



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXOS

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



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



MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

**Ministro de Obras Públicas
Sr. Alfredo Moreno Charme**

**Director General de Aguas
Sr. Óscar Cristi Marfil**

**Jefe División Estudios y Planificación
Sr. Mauricio Lorca Miranda**

**Inspector Fiscal
Sra. Carolina Herrera Araya**

**Inspector Fiscal Subrogante
Sr. Óscar López Arenas
Sr. Jorge Espinoza Marino**

**Asesor Modelación Integrada
Sr. Pedro Sanzana Cuevas**

**Consultora
Jefe de Proyecto
Sr. Claudio Reyes Hurtado**

**Especialistas y Profesionales
Sr. Eugenio Celedón Correa
Sr. Eugenio Celedón Cariola
Sr. Alejandro Rodríguez Lazcano
Sra. María Sol Tejada
Sra. Gabriela Chaura
Sr. Alexis Vergara Cisterna
Sr. Miguel Segur Pelayo
Sr. Diego Carpentier Nazal
Sr. Óscar Romera Martínez
Sr. Diego Niklitschek Flores
Sr. Sebastián Carvajal Marambio
Sr. Francisco Vergara Rizzo
Sr. Nicolás Bravo Reyes
Sra. Yumisleidys Sánchez Sánchez
Srta. Claudia Armijo Cortés
Sr. Francisco Molina Villagrán
Sr. Diego Gálvez Pino**



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



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO A - ABREVIATURAS

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Anexo A – Abreviaturas

| | |
|---------------------|--|
| A SUS | Agencia Sustentabilidad |
| AGRIMED | Centro de Agricultura y Medio Ambiente |
| AGROMET | Red Agroclimática Nacional |
| AMX | AMX de Chile S.A. |
| APR | Agua potable rural |
| AQT | Aquaterra |
| ASICENT | Asociación de Industriales del Centro |
| BNA | Banco Nacional del Agua |
| CA | Código de Aguas |
| CAL CHILE | CAL Chile |
| CAS | Comunidades de Aguas Subterráneas |
| CAZALAC | Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe |
| CCD | Con Contacto Directo |
| CEAZA | Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas |
| CI Chango | Comunidad Indígena Chango |
| CI COLLA | Comunidad Indígena Colla |
| CI Diaguita | Comunidad Indígena Diaguita |
| CIMM | Centro de Investigación Minería y Metalúrgica |
| CIREN | Centro de Información de Recursos Naturales |
| CITRA | Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología |
| CNR | Comisión Nacional de Riego |
| CO2 | Dióxido de Carbono |
| COCHILCO | Comisión Chilena del Cobre |
| CODEFF | Comité Nacional Pro Defensa de la Flora y Fauna |
| CODELCO | Corporación Nacional del Cobre |
| COMITÉ CAC | Comité Ambiental Comunal |
| CONADI | Corporación Nacional de Desarrollo Indígena |
| CONAF | Corporación Nacional Forestal |
| COOP | Cooperativa |
| COR CHAÑARAL | Corporación Desarrollo Chañaral |
| CORE | Consejo regional |
| CORFO | Corporación de Fomento de la Producción |
| CPA | Catastro Público de Aguas |
| CR2 | Center for Climate and Resilience Research |
| DAA | Derechos de Aprovechamiento de Aguas |



| | |
|----------------------------|---|
| DARH | Departamento de Administración de Recursos Hídricos |
| DB | Demanda bruta |
| DES. Bahía Caldera | Desaladora Bahia Caldera |
| DES. Candelaria | Desaladora Candelaria |
| DES. Cerro Negro | Desaladora Cerro Negro |
| DES. Mantosverde | Desaladora Mantosverde |
| DES. St. Domingo | Desaladora Santo Domingo |
| DGA | Dirección General de Aguas |
| DH | Demanda hídrica |
| DIA | Declaraciones de Impacto Ambiental |
| DIRPLAN | Dirección de planeamiento, Ministerio de Obras Públicas |
| DMC | Dirección Meteorológica de Chile |
| DN | Demanda neta |
| DOH | Dirección de Obras Hidráulicas |
| Dw | Capacidad de agua en zona profunda |
| ECCONSA | Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios |
| EIA | Estudios de Impacto Ambiental |
| ENAMI | Empresa Nacional de Minería |
| ERCB | Energy Resource Conservation Board |
| ERNC | Energías Renovables no Convencionales |
| ESSBIO | Empresa de Servicios Sanitarios del Bío Bío S.A. |
| ET | Evapotranspiración anual |
| ETO | Evapotranspiración de referencia |
| Etc | Evapotranspiración de cultivo |
| f | Fracción de cobertura forestal / Coeficiente de preferencia de dirección de flujo |
| FAO | Food and Agriculture Organization |
| FNDR | Fondo Nacional de Desarrollo Regional |
| GORE | Gobierno Regional |
| GPRS | General Packet Radio Service |
| IEB | Instituto de Ecología y Biodiversidad |
| IM CALDERA | Ilustre Municipalidad de Caldera |
| IM CHAÑARAL | Ilustre Municipalidad de Chañaral |
| IM Diego de Almagro | Ilustre Municipalidad de Diego de Almagro |
| INDAP | Instituto de Desarrollo agropecuario |
| INE | Instituto Nacional de Estadísticas |
| IPCC | Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático |
| JDV | Junta de Vigilancia |



| | |
|-------------------------|---|
| JJ VV | Junta de Vecinos |
| Kc | Coefficiente de cultivo |
| Kd | Conductividad de la zona profunda |
| Ks | Conductividad de la zona de raíces |
| MBN | Ministerio de Bienes Nacionales |
| MCG | Modelo de Circulación General |
| Min. Cerro Negro | Minera Cerro Negro |
| MINVU | Ministerio de Vivienda y Urbanismo |
| MMA | Ministerio del Medio Ambiente |
| MOP | Ministerio de Obras Públicas |
| NMP | Número más Probable |
| NO | Noroeste |
| OCDE | Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos |
| ODEPA | Oficina de Estudios y Políticas Agrarias |
| OMM | Organización Mundial de Meteorología |
| ONEMI | Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del interior |
| OUs | Organizaciones de Usuarios del Agua |
| P | Precipitación media anual |
| PDAM | Planta Desaladora de Agua de Mar para la región de Atacama |
| pH | Potencial de Hidrógeno |
| PIB | Producto Interno Bruto |
| Pp | Precipitación |
| PRI | Proyecto Rajo Inca |
| PRICOST | Plan Regulador Intercomunal Costero |
| PRODESAL | Programa de Desarrollo de Acción Local |
| Q | Caudal |
| RAPP | Red de Áreas Protegidas Privadas |
| RCA | Resolución de Calificación Ambiental |
| RETC | Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes |
| RN | Reserva Nacional |
| RRF | Factor de Resistencia a la Escorrentía |
| S. AGRI | Seremi de Agricultura |
| S. DSF | Seremi Desarrollo Social y Familia |
| S. ENE | Seremi de Energía |
| S. MBN | SEREMI Ministerio de Bienes Nacionales |
| S. MINVU | Seremi MINVU |
| S. MMA | Seremi de Medio Ambiente |
| S. MOP | SEREMI MOP |



| | |
|------------------------|--|
| SAG | Servicio Agrícola y Ganadero |
| SC Bahía Salado | Sociedad civil Bahía Salado |
| SC SALADO | Sociedad civil Salado |
| SCD | Sin Contacto Directo |
| SEA | Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental |
| SEIA | Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental |
| SERNAGEOMIN | Servicio Nacional de Geología y Minería |
| SERNATUR | Servicio Nacional de Turismo |
| SHAC | Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común |
| SI | Sindicato pescadores y buzos |
| SIFAC | Sistema Informático de Facturación y Contabilidad |
| SIG | Sistema de Información Geográfica |
| SINIA | Sistema Nacional de Información Ambiental |
| SISS | Superintendencia de Servicios Sanitarios |
| SM. SALADO | Asociación Minera El Salado |
| SMA | Superintendencia del Medio Ambiente |
| SNAP | Sistema Nacional de Áreas Protegidas |
| SNASPE | Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado |
| SNIA | Sistema Nacional de Información del Agua |
| SRTM | Shuttle Radar Topography Mission |
| STI | Sindicato Trabajadores Independientes |
| SUBDERE | Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo |
| Sw | Capacidad de agua en zona de raíces |
| U. ATACAMA | Universidad de Atacama |
| UNDRR | Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres |
| UTM | Unidad Tributaria Mensual |
| VMF | Visual Modflow Flez 6.1 |
| WEAP | Water Evaluation and Planning System |
| WWF | World Wide Fund for Nature |
| ZOITs | Zonas de Interés Turístico |
| ZR | Zona de Riego |



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



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HIDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO B - REFERENCIAS

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A - NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021

1. ANEXO B – REFERENCIAS

- Aguas Chañar. (2017a). *Actualización Plan de Desarrollo 2016-2031. Diego de Almagro - El Salado*. Diego de Almagro: Aguas Chañar S.A.
- Aguas Chañar. (2017b). *Actualización Plan de Desarrollo 2016-2031. Caldera - Chañaral*. Caldera: Aguas Chañar S.A.
- Aguas Chañar. (2017c). *Actualización Plan de Desarrollo 2016-2031. Inca de Oro*. Inca de Oro: Aguas Chañar S.A.
- Baez-Villanueva, O. M., Zambrano-Bigiarini, M., Beck, H. E., McNamara, I., Ribbe, L., Nauditt, A., Birkel, C., Verbist, K., Giraldo-Osorio, J. D., & Thinh, N. X. (2020). RF-MEP: A novel Random Forest method for merging grided precipitation products and ground-based measurements. *Remote Sensing of Environment*, 239:111606. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111606>.
- Barros Van Hovell, A. (2011). Titularidad y subjetividad de las aguas nativas chilenas en el marco del convenio 169 de la OIT y la declaración de la ONU sobre los derechos de los pueblos indígenas. *Actas de Derechos de Aguas*(1), 197-218.
- Bisselink, B., Zambrano-Bigiarini, M., Burek, P., & de Roo, A. (2016). Assessing the role of uncertain precipitation estimates on the robustness of hydrological model parameters under highly variable climate conditions. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 112-129.
- Bonnail, E., Cruz-Hernández, P., Galleguillos, S., Izquierdo, T., & Abad, M. (2020). La contaminación metálica en la bahía de Chañaral (norte de Chile): retrospectiva, prospección y proyección. *Geogaceta*(67), 59-62.
- Carter, V., Schemenauer, R., Osses, P., & Streeter, H. (2007). The Atacama Desert Fog Collection Project at Falda Verde, Chile. Proceedings of the 4th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew (pág. 4). La Serena: Fog Conference Logo.
- Centro de Cambio Global-Universidad Católica de Chile, Stockholm Environment Institute, (2009). Guía Metodológica – Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP. Santiago, Boston.
- Cereceda, P. (2000). Los atrapanieblas, tecnología alternativa para el desarrollo rural. *Revista Medio Ambiente y Desarrollo*, Cipma, 16(4), 51-56.



- Cereceda, P., Larrain, H., Osses, P., Lázaro, P., Pinto, R., & Schemenauer, R. (2001). Penetración continental de la niebla de advección en Tarapacá, Chile. *8vo Encuentro Geógrafos América Latina*.
- Cereceda, Pilar, Farias, M., Osses, P., Schemenauer, R., & Larrain, H. (2003). Remote Sensing: Methods and techniques to determine potential areas for fog water collection. *XI IRCSA Conference - Proceedings*.
- Cienfuegos, R., González, G., Moris, R., Escauriaza, C., Gironás, J., Castro, L., & Zuazo, V. (2015). *Diagnóstico preliminar. Adaptación ambiental y salud pública post aluvión: Chañaral y Atacama*. Santiago: Centro de Políticas Públicas UC.
- CODEFF. (1999). *Las Áreas Silvestres Protegidas Privadas en Chile*. Santiago de Chile.
- CORFO (2009) *Fortalecimiento de capacidades para enfrentar los desafíos del cambio global en Chile, Santiago, Chile, Elaborado por: Centro de Cambio Global de la Universidad Católica*
- Comisión Nacional del Medio Ambiente y Dirección General de Aguas. (2009). *Plan de Gestión para la Cuenca del Río Copiapó*. Santiago de Chile: Ministerio de Obras Públicas. Gobierno de Chile.
- Consejo Minero. (2019). *Estudio de interconexión hídrica: Oportunidades y Desafíos para Chile*. Santiago: Realizado por SMI ICE Chile.
- Consejo Nacional de la Cultura y las Artes. (2011). *Estudio diagnóstico del pueblo Colla*. Santiago: Gobierno de Chile.
- Cornejo, P., Riquelme, R., Mpodozis, C. (1998). *Mapa Geológico de la Hoja Salvador, Región de Atacama*. Escala 1:100.000, versión preliminar: Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Corporación Nacional del Cobre. (2011). *Reconocimiento Hidrogeológico: Flotación de Escorias convertidor Teniente Fundición Potrerillos*. División Salvador: Elaborado por Hugo Enríquez Amaro.
- Corporación Nacional del Cobre. (2016). *Declaración de Impacto Ambiental "Proyecto Continuidad Operacional Salvador"*. Apéndice 2-C Línea de Base Medio Físico. Elaborado por SRK Consulting.
- Corporación Nacional del Cobre. (2018a). *Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Rajo Inca. Capítulo 3. Línea base Medio Humano*. Servicio de Evaluación Ambiental.
- Corporación Nacional del Cobre. (2018b). *Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Rajo Inca. Capítulo 1. Descripción del proyecto*. Servicio de Evaluación Ambiental.
-



- Corporación Nacional del Cobre. (2018c). *Modelo Conceptual Hidrogeológico YIM*. Santiago: Realizado por GAC Consultores.
- Cuadra, M. (2000). Teoría y práctica de los derechos ancestrales de agua de las comunidades atacameñas. *Estudios Atacameños*(19), 93-112.
- Díaz, Á., & Mercado, T. (2017). Determinación del número de curva en la subcuenca de Betancí (Córdoba, Colombia) mediante teledetección y SIG. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(2).
- Dirección de Obras Hidráulicas. (2020a). *Estudio de Impacto Ambiental "Obras fluviales y de control aluvional en la cuenca río Salado, región de Atacama. Capítulo 3.6 Línea de base de Hidrología e Hidrogeología*. Gobierno de Chile.
- Dirección de Obras Hidráulicas. (2020b). *Estudio de Impacto Ambiental "Obras fluviales y de control aluvional en la cuenca río Salado, región de Atacama". Capítulo 3.1 Línea base de Clima y Meteorología*. Gobierno de Chile.
- Dirección General de Aguas. (2009). *Evaluación de los recursos hídricos subterráneos en cuencas de la región de Atacama ubicadas entre el Río Copiapó y la Región de Antofagasta*. Santiago: Departamento de Administración de Recursos Hídricos.
- Dirección General de Aguas. (2016). *Atlas del Agua, Chile 2016*. Santiago de Chile.
- Dirección General de Aguas. (2017b). *Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile*. Santiago de Chile: Ministerio de Obras Públicas.
- Dirección General de Aguas. (2018). *Aplicación de la metodología de actualización del balance hídrico nacional en las cuencas de las macrozonas norte y centro*. Santiago: Realizado por Fundación para la transferencia tecnológica. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Dirección General de Aguas. (2019). *Aplicación de la metodología de actualización del balance hídrico nacional en las cuencas de la macrozona sur y parte norte de la macrozona austral*. Santiago: Realizado por Universidad de Chile.
- Dirección General de Aguas (2020). Plan Estratégico de Gestión Hídrica Cuenca del Maule, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Santiago Chile
- Dirección General de Aguas. (2021d). *Diagnóstico para la implementación de red nacional de alerta de eventos hidrometeorológicos extremos*. Santiago: Realizado por INRHED SPA - EMERGE Ingeniería.
-



-
- Ferrando, F. (1992). Clasificación hidrodinámica de Chile. *Cuadernos I. Geográfica*, 18-19, 57-74.
- Fessehaye, M., Abdul-Wahab, S., Savage, M., Kohler, T., Gherezghiher, T., & Hurni, H. (2014). Fog-water collection for community use. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 52-62.
- Figueroa, R., & Chía, E. (2016). Introducción al número especial. Gobernanza Territorial, Conflictos y Aprendizajes. *Revista Geográfica Valparaíso*, 56, 1-6
- Fundación Chile. (2016). *Aguas residuales como nueva fuente de agua. Diagnóstico del potencial reúso de aguas residuales en la Región de Valparaíso*. Valparaíso: Gobierno Regional de Valparaíso.
- Fundación COPEC-UC, 2021. XVII Seminario Internacional. Uso del agua de Mar. ¿Es una solución para la escasez hídrica? *Ponencia SACYR agua, señala que a nivel mundial la tarifa de venta para contratos de desalinización de agua de mar oscila entre 0,49 y 1,03 USD/m3*
- Gajardo R., 1983. Sistema básico de clasificación de la vegetación nativa chilena. Santiago, Chile: Elaborado por Corporación Nacional Forestal.
- Godoy, E. y Lara, L. (1998). *Hojas Chañaral y Diego de Almagro, Región de Atacama*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos No. 5-6, 1 mapa escala 1:100.000, Santiago.
- Henríquez, G. (2013). *Caracterización de Humedales Altoandinos para una gestión sustentable de las actividades productivas del sector norte del país*. Centro de Información de Recursos Naturales CIREN.
- Instituto Nacional de Estadísticas. (1993). *Censos 1970-1982. Cifras comparativas*.
- Jorquera-Jaramillo, C., & Martínez, E. (2010). Actividades productivas y desafíos ambientales de la región de Atacama. En M. Lorca, E. Jiménez, G. Cabello, & L. Burgueño, *Estudio Fortalecimiento de la Identidad Regional de Atacama* (págs. 144-159). Santiago: LOM Ediciones.
- Larrain, H., Velásquez, F., Cereceda, P., Espejo, R., Pinto, R., Osses, P., & Schemenauer, R. (2002). Fog measurements at the site "Falda Verde" north of Chañaral compared with other fog stations of Chile. *Atmospheric Research*, 64, 273-284.
- Lliboutry, L. (1956). *Nieves y glaciares de Chile. Fundamentos de Glaciología*. Santiago: Universidad de Chile.



- Luebert, F., & Pliscoff, P. (2004). *Clasificación de pisos de vegetación y análisis de representatividad ecológica de áreas propuestas para la protección de la ecorregión*. Valdivia: WWF Chile.
- Lufi, S. Ery, S. & Rispiningtati. (2020). Hydrological Analysis of TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) Data in Lesti Sub Watershed. *Civil and Environmental Science Journal*, 18-30.
- Matthews, S.; Cornejo, P.; Riquelme, R. (2006). *Carta Inca de Oro, Región de Atacama*. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, Serie Geológica Básica, No. 102, 79 p.1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- Minera Santo Domingo. (2013). *Minera Santo Domingo SCM. Proyecto Santo Domingo. Estudio de Impacto Ambiental*. Santiago: Elaborado por Knight Piésold Consulting.
- Ministerio de Obras Públicas. (2012). *Guía de antecedentes territoriales y culturales de los pueblos indígenas de Chile*. Santiago de Chile: Ministerio de Obras Públicas.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2018). *Plan Nacional de Protección de Humedales 2018-2022*. Santiago de Chile: MMA.
- Ministerio de Minería. (2020). *Documento Base PNM 2050, región de Atacama*. Santiago: Gobierno de Chile.
- Motovilov, Y. G., Gottschack, L., Engeland, K., & Rhode, A. (1999). Validation of a distributed hydrological model. *Agricultural and Forest Meteorology*, 257-277.
- Nueva Atacama. (2021). *Cargos y valores*. Chañaral: Diario Chañarillo. Obtenido de http://www.siss.gob.cl/586/articles-4498_Nueva_Atacama_G2_abr_2021.pdf
- Osses, E., Farias, M., Nuñez, R., Cereceda, P., & Larrain, H. (2005). Coastal Fog, Satellite Imagery, and Drinking Water: Student Fieldwork in the Atacama Desert. *Geocarto International*, 20(1), 1-6.
- SAG. (2009). *Guía descriptiva de los sistemas vegetacionales azonales hídricos terrestres de la ecorregión altiplánica (SVAHT)*. Santiago de Chile: Unidad de Asuntos Públicos Corporativos. SAG.
- Salas, N., Daniele, L., & Vargas, G. (2015). *Prospección geoquímica post-aluvión en Chañaral: primeros resultados en sedimentos (Atacama, Chile)*. La Serena: XIV Congreso Geológico Chileno.
- Sarricolea P., MJ. Herrera, O. Meseguer-Ruiz. (2017). *Climatic regionalization of continental Chile*. *Journal of Maps* 13(2)66-73.
-

-
- Schemenauer, R. S., & Joe, P. I. (1989). The collection efficiency of a massive fog collector. *Atmospheric Research*, 24(1-4), 53-69. [https://doi.org/10.1016/0169-8095\(89\)90036-7](https://doi.org/10.1016/0169-8095(89)90036-7)
- SERNAGEOMIN. (2003). *Mapa Geológico de Chile: Versión digital*. Santiago de Chile: SERNAGEOMIN.
- Servicio de Evaluación Ambiental. (2020). *Resuelve dar cierre a proceso de consulta a pueblos indígenas, del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto "Rajo Inca"*. Región de Atacama: República de Chile.
- SEIA. (2022). Sistema de Evaluación Ambiental. Obtenido de <https://www.sea.gob.cl/>
- Silva, S. (2018). *Rol de la comunidad en la gestión del riesgo de desastres, desde la mirada de los funcionarios públicos municipales*. Santiago: Memoria para optar al grado de Magister en Gobierno, Políticas Públicas y Territorio, Universidad Alberto Hurtado.
- Squeo, F., Arancio, G., Gutiérrez, J., Letelier, L., MTK, A., León-Lobos, P., & Rentería-Arrieta, L. (2008). *Flora amenazada de la región de Atacama y Estrategias para su Conservación*. La Serena: Ediciones Universidad de La Serena.
- Resolución Exenta N°131. (2015). *Califica ambientalmente el proyecto denominado "Proyecto Diego de Almagro"*. III región de Atacama: Comisión de Evaluación.
- Ross, C. L. (2018). *Grupos hidrológicos globales de suelos (HYSOGs250m) para el modelado de escorrentía basado en números de curvas*. Tennessee, Estados Unidos: ORNL DAAC. doi:<https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1566>
- Tomlinson, A. J., Cornejo, P., Mpodozis, C. (1999). *Hoja Potrerillos, Región de Atacama*. Servicio Nacional de Geología y Minería (Chile), Mapas Geológicos, No. 14, 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- Topete, J. (2014). *Estimación de regímenes hidrotérmicos del suelo mediante el modelo de simulación calibrado Newhall, en tres grupos texturales de suelos del estado de Jalisco, México*. México: Universidad de Guadalajara.
- Vargas, G., Pérez, S., & Aldunce, P. (2018). *Aluviones y resiliencia en Atacama. Construyendo saberes sobre riesgos y desastres*. Social-Ediciones: Santiago.
- Vergara, A. (2011). "CUANDO EL RÍO SUENA, PIEDRAS TRAE": RELAVES DE COBRE EN LA BAHÍA DE CHAÑARAL, 1938-1990". *Cuadernos de historia*, 35, 135-151. doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0719-12432011000200005>
- Vitry, C., & Chía, E. (2016). Contextualisation d'un instrument et apprentissages pour l'action collective. *Management & Avenir*, 83, 121-141.
-

2. ANEXO B – REFERENCIAS A SITIOS WEB

- Banco Central. (2018). *Producto Interno Bruto (PIB) por clase de actividad económica a precios corrientes y constantes*. Producto Interno Bruto Por Clase de Actividad Económica, Trimestral, Volumen a Precios Del Año Anterior Encadenado. [En línea] <https://si3.bcentral.cl/estadisticas/principal1/excel/ccnn/trimestrales/excel.html>
- Consejo Minero. (2020). *Cifras actualizadas de la minería, mayo 2020*. Santiago: [En línea] Extraído de página web Consejo Minero.
- Consejo Minero. (2021). *CODELCO*. Recuperado el 14 de Agosto de 2021, de Sitio web Consejo Minero, Quiénes Somos: [En línea] <https://consejominero.cl/quienes-somos/socios/CODELCO/>
- Corporación Nacional Forestal (2018d). *Catastro uso de suelo y vegetación*. Santiago. [En línea] <https://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/catastro-vegetacional/>
- De la Vega, F. (17 de Junio de 2020). *Expertos de la U. de Chile alertan sobre los riesgos de la desertificación en el país*. [En línea] <https://www.uchile.cl/noticias/164396/academicos-u-de-chile-alertan-sobre-riesgos-de-la-desertificacion>
- Dirección General de Aguas. (2017a). *Actualización del Balance Hídrico Nacional*. Santiago de Chile: Ministerio de Obras Públicas. [En línea] <https://snia.mop.gob.cl/sad/REH5796v1.pdf>
- Dirección General de Aguas. (2021a). *Subcuencas BNA*. Obtenido de Mapoteca Digital, sitio web DGA: [En línea] <https://dga.mop.gob.cl/estudiospublicaciones/mapoteca/Paginas/Mapoteca-Digital.aspx>
- Dirección General de Aguas. (2021b). *Catastro Público de Aguas*. [En línea] <https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/Paginas/default.aspx>
- Dirección General de Aguas. (2021c). *Estaciones Meteorológicas*. Obtenido de Información oficial hidrometeorológica y de Calidad de Aguas [En línea] <https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes>
- Dirección Meteorológica de Chile. (2015). *Boletín Eventos Extremos*. [En línea] <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/publicaciones/boletinEventosExtremos>



- Dirección Meteorológica de Chile. (2016). Boletín Eventos Extremos. [En línea]
<https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/publicaciones/boletinEventosExtremos>
- Dirección Meteorológica de Chile. (2017). Boletín Eventos Extremos. [En línea]
<https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/publicaciones/boletinEventosExtremos>
- Dirección Meteorológica de Chile. (2018). Boletín Eventos Extremos. [En línea]
<https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/publicaciones/boletinEventosExtremos>
- Dirección Meteorológica de Chile. (2019). Boletín Eventos Extremos. [En línea]
<https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/publicaciones/boletinEventosExtremos>
- Dirección Meteorológica de Chile. (2021). *Estación "Desierto de Atacama, Caldera"*. Recuperado el 14 de Agosto de 2021, de Red de Estaciones Banco de Datos: [En línea]
<https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/index/menuTematicoEstaciones>
- Equipo Ladera Sur. (2017). El Balance tras la catástrofe que afectó a Chañaral. [En línea]
<https://laderasur.com/estapasando/el-balance-tras-la-catastrofe-que-afecto-a-chanaral/>
- Gobierno Regional de Atacama, 2019. Sistema territorial de cuencas hidrográficas, Región de Atacama. [En línea] https://goreatacama.gob.cl/wp-content/uploads/2019_03_28_7._Sistema_Cuencas_Hidrogr%C3%A1ficas.pdf. Fecha de la consulta: 24/05/2021
- Griem W., 2020. Apuntes de geología general: Los minerales más importantes. Fecha de consulta: 20 de mayo de 2021. [En línea]
<https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap02e.html>.
- Instituto Nacional de Estadísticas. (1992). *Sitio web Redatam Censo de Población y Vivienda*. Censo de Población y Vivienda. [En línea] https://redatam-ine.ine.cl/redbin/RpWebEngine.exe/Portal?BASE=CENSO_2017&lang=esp
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2002). *Sitio web Redatam Censo de Población y Vivienda*. Censo de Población y Vivienda. [En línea] https://redatam-ine.ine.cl/redbin/RpWebEngine.exe/Portal?BASE=CENSO_2017&lang=esp
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2007). *Superficie sembrada producción y rendimiento de cultivos industriales, en riego y seco*. Obtenido de Cuadros Estadísticos, Censo
-

-
- Agropecuario: [En línea] <https://www.ine.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/censos-agropecuarios>
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2017). *Sitio web Redatam Censo de Población y Vivienda*. Censo de Población y Vivienda. [En línea] https://redatam-ine.ine.cl/redbin/RpWebEngine.exe/Portal?BASE=CENSO_2017&lang=esp
- Instituto de Ecología y Biodiversidad. (26 de Junio de 2018). *Pueblo sin agua, pueblo muerto: la advertencia del Acta de Tarapacá sobre la sobreexplotación en el Desierto de Atacama*. [En línea] <https://ieb-chile.cl/noticia/pueblo-sin-agua-pueblo-muerto-la-advertencia-del-acta-de-tarapaca-sobre-la-sobreexplotacion-en-el-desierto-de-atacama/>
- Mawün. (2021). *Mawün: Explorador de precipitaciones*. Obtenido de Sitio web CR2: Center for Climate and Resilience Research: [En línea] <https://www.cr2.cl/mawun-explorador-de-precipitaciones/>
- Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2017). *Encuesta de caracterización socioeconómica nacional CASEN*. [En línea] <http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/encuesta-casen-2017>
- Ministerio de Medio Ambiente. (2020). *Programa Inventario Nacional de Humadales*. [En línea] <https://humadaleschile.mma.gob.cl/inventario-humadales/>
- Ministerio de Medio Ambiente (2021). *Áreas protegidas de Chile*. [En línea] https://ide.mma.gob.cl/download/capa?name=%C3%81reas%20Protegidas&service=Areas_Marinas_Costeras_Protegidas&layer=0
- Norma Chilena Oficial. (2005). *Nch409/1.Of2005*. Publicado por CIPER Chile. [En línea] <https://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh409.pdf>
- Nueva Atacama. (09 de Diciembre de 2020). *Nueva Atacama oficializa la entrega de la mejor agua de la historia*. Obtenido de Sitio web Nueva Atacama: [En línea] https://www.nuevaatacama.cl/noticia_384-389_nueva-atacama-oficializa-la-entrega-de-la-mejor-agua-de-la-historia-091220165252
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. (2021). *Estadísticas del sector. Comercio Exterior*. Obtenido de Sitio web ODEPA, sección Comercio Exterior: [En línea] <https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/comercio-exterior>
- SERNAGEOMIN. (2019). *Depósitos de relaves*. [En línea] <https://www.sernageomin.cl/datos-publicos-deposito-de-relaves/>
-



Servicio de Evaluación Ambiental. (2018). Resolución Exenta N°16. Califica Ambientalmente el proyecto "Proyecto Desarrollo Mantoverde." [En línea] https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=2132151350

SEIA. (23 de Noviembre de 2021). *Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental*. [En línea] https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=2148728097

Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura. (2017). *Anuarios Estadísticos. Desembarques y Acuicultura*. Obtenido de Estadísticas. Informe y Datos. Sitio web SERNAPESCA: [En línea] <http://www.sernapesca.cl/informes/estadisticas>

Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2021). *Archivos de consumo, producción y número de clientes a nivel nacional (2005-2020)*. [En línea] <https://www.siss.gob.cl/586/w3-channel.html>



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



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO C – GLOSARIO

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Anexo C - Glosario

Acuífero: Un acuífero es el conjunto de rocas que permiten la permeabilidad del agua y la pueden acumular en sus poros o grietas. A esta agua retenida en las estructuras rocosas se la conoce como agua subterránea y puede llegar a presentar manifestaciones de hasta dos millones de kilómetros cuadrados de tamaño.

Aldea: Según el Instituto Nacional de Estadísticas, las Aldeas son asentamientos humanos localizados en el medio rural cuya población fluctúa entre 301 y 2.000 habitantes. Presenta generalmente amanzanamiento y/o continuidad de viviendas en torno a una vía de comunicación estructurante.

Aluviones: Son corrientes de lodos que se manifiestan con flujos rápidos y crecidas intempestivas de aguas turbias que arrastran, a su paso, materiales de distintos tamaños, desde suelos finos a grandes bloques de roca, desplazándose en los cauces de las quebradas y ocasionando desbordes y cambios de cauce en algunos casos. Las intensas precipitaciones, conjuntamente con la existencia de condiciones favorables como la presencia de suelos inestables, taludes debilitados y deforestación, son sus causas principales.

Anticiclón del Pacífico: El Anticiclón Subtropical Semi-Permanente del Pacífico Sur o simplemente Anticiclón del Pacífico Sur, es una gran área de la atmósfera en la que el aire desciende y rota en el sentido contrario a la agujas del reloj, como se ha dibujado esquemáticamente en la gráfica anterior. Su posición casi inamovible (de ahí viene el apelativo de "semi-permanente") hace que el anticiclón juegue un rol fundamental en el clima de nuestro país y sea buena parte de la razón del clima tranquilo (generalmente) que poseemos.

Área silvestre protegida: Según la UICN, un área protegida es "un espacio geográfico claramente definido, reconocido, dedicado y gestionado, mediante medios legales u otros tipos de medios eficaces para conseguir la conservación a largo plazo de la naturaleza y de sus servicios ecosistémicos y sus valores culturales asociados".

Bofedales: Un bofedal es un humedal de altura, y se considera una pradera nativa poco extensa con permanente humedad. Los vegetales o plantas que habitan el bofedal reciben el nombre de "vegetales hidrofíticos". Los bofedales se forman en zonas como las del macizo andino ubicadas sobre los 3.800 metros de altura, en donde las planicies almacenan aguas provenientes de precipitaciones pluviales, deshielo de glaciares y principalmente afloramientos superficiales de aguas subterráneas.



Cambio climático: Variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, define el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. La CMNUCC diferencia, pues, entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales.

Coefficiente de cultivo: Coeficiente entre la evapotranspiración de cultivo y la evapotranspiración de referencia.

Conductividad Específica: La conductividad es la capacidad de una sustancia de conducir la corriente eléctrica. El principio por el cual los instrumentos miden la conductividad es simple: se colocan dos placas en la muestra, se aplica un potencial a través de las placas (normalmente una onda sinusoidal de voltaje) y se mide la corriente que pase por la solución. La conductividad (G), lo inverso de la resistencia (R), se determina por el voltaje y los valores de corriente, de acuerdo con la ley de Ohm.

Convención Constituyente: Se entiende por convención o asamblea constituyente a aquel órgano conformado por representantes directos del pueblo soberano, con competencia para sancionar y modificar su constitución o ley fundamental, y definir su organización política.

Cuenca: Es el área o superficie drenada por un río principal y sus afluentes. Se expresa en km².

Demanda Bruta: Coeficiente entre la demanda neta del cultivo y la eficiencia de riego.

Demanda Hídrica: Cantidad de agua que requiere un cultivo para producir los rendimientos esperados.

Demanda Neta: Cantidad de agua que requiere un cultivo para producir los rendimientos esperados, luego de descontar la precipitación efectiva.

Desierto: El desierto es un área de tierra extremadamente seca y con escasas precipitaciones. Es uno de los biomas más importantes de la Tierra dada la variedad de plantas y animales adaptados a vivir en tales condiciones.

Distrito censal: División administrativa utilizada en el censo agropecuario del 2007.



Dólares FOB: También por las siglas en inglés de Free on Board, que en español puede utilizarse como Franco a bordo. Al igual que el valor CIF, es una cláusula de compraventa, pero se diferencia en cuanto a que el valor del transporte y seguro es cubierto por el comprador, es decir por el país de procedencia.

Eficiencia de riego: Relación entre el volumen de agua captado por las raíces de las plantas y el volumen aplicado en el riego.

Encuesta Nacional de Empleo: La Encuesta Nacional de Empleo es un instrumento que nos permite conocer la situación de trabajo que tienen las personas que viven en Chile, por ejemplo: cuántas personas están trabajando actualmente, cuántas están desocupadas, etc. El resultado principal de la encuesta es la tasa de desocupación del país.

Escasez hídrica: La escasez hídrica es un término complejo porque involucra procesos hidrológicos, meteorológicos y también los usos que se le da al agua (Zambrano-Bigiarini, 2019 a y b). Para determinar si una zona está afectada por escasez hídrica, es necesario conocer el funcionamiento de los principales procesos hidrológicos que ocurren a nivel de las cuencas, y cuantificar la oferta y la demanda de agua dulce.

Feldespatos: Los feldespatos son un grupo de minerales formados por silicatos dobles de aluminio y de calcio, sodio, potasio, algunas veces de bario o mezclas de esas bases. Es de la familia de los tectosilicatos.

Gases de efecto invernadero: Componente gaseoso de la atmósfera, natural o antropógeno, que absorbe y emite radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación terrestre emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera y por las nubes. Esta propiedad ocasiona el efecto invernadero. El vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃) son los gases de efecto invernadero primarios de la atmósfera terrestre. Además, la atmósfera contiene cierto número de gases de efecto invernadero enteramente antropógeno, como los halocarbonos u otras sustancias que contienen cloro y bromo, y contemplados en el Protocolo de Montreal. Además del CO₂, N₂O y CH₄, el Protocolo de Kyoto contempla los gases de efecto invernadero hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC).

Glacis: Un glacis es un plano inclinado de débil pendiente, menor a 10°, y recubierto por material detrítico. En su parte superior ocurren procesos de arroyada en surcos del tipo rill wash, y en su parte media e inferior arroyada en manto del tipo sheet flood. Los glacis son excelentes acuíferos naturales, como en la Pampa del Tamarugal en la cual hubo comunidades agrícolas en la época prehispánica cuya base cultural era la distribución de agua mediante canales y acequias. Un pedimento o glacis rocoso, es un plano inclinado labrado directamente en la roca fundamental de tipo cristalino, y que está ligeramente cubierto de material disgregado.



Inundaciones: Las grandes precipitaciones elevan el nivel de los ríos hasta superar la capacidad del cauce, provocando inundaciones que afectan la infraestructura urbana, agrícola y vial. En la sierra predominan las inundaciones rápidas por desborde de ríos andinos caracterizados por fuertes pendientes y flujos hiperconcentrados. Se ha observado una fuerte vinculación entre el fenómeno El Niño y las inundaciones. El incremento del nivel de los ríos se produce en el último trimestre del año y alcanza su valor máximo a mediados del primer trimestre. Las inundaciones, pueden producirse por la reducción de la sección transversal del río, por colmatación, cambios abruptos en la dirección del flujo de las aguas e invasión de la llanura de inundación del río.

Lixiviación: Proceso hidrometalúrgico mediante el cual se provoca la disolución de un elemento desde el mineral que lo contiene para ser recuperado en etapas posteriores mediante electrólisis. Este proceso se aplica a las rocas que contienen minerales oxidados, ya que éstos son fácilmente atacables por los ácidos.

Llanura depositacional: Llanuras deposicionales, formadas por la deposición de materiales dejados por agentes como el viento, ríos, olas y glaciares. Su fertilidad y relevancia económica depende principalmente del tipo de sedimentos depositados.

Materias primas: Una materia prima es todo bien que es transformado durante un proceso de producción hasta convertirse en un bien de consumo.

Neógeno: Período geológico que es el segundo y último de la era cenozoica y sigue al período paleógeno; se extiende desde hace unos 25 millones de años hasta hace unos 2 millones de años.

Nodo: Punto de control correspondiente al cierre de la subcuenca.

Pediaplano: Un pediaplano es una planicie que resulta de la yuxtaposición de varios pedimentos. La formación de un pedimento se debe a procesos de erosión y transporte de materiales en manto o sheet flood, por el cual la lámina de agua se esparce como un flujo turbulento. A esto se agrega la arroyada difusa del tipo rill wash, a través de pequeños canalículos anastomosados. También la coalescencia de grandes conos de deyección contribuye a la formación de glaciares y pedimentos.

Piso vegetacional: El concepto de Piso de Vegetación se define como espacios caracterizados por un conjunto de comunidades vegetales con una fisionomía y unas especies dominantes asociadas a un piso bioclimático específico.

Plan Regulador Comunal: Es un instrumento de planificación territorial que contiene un conjunto de disposiciones sobre adecuadas condiciones de edificación, y espacios urbanos y de comodidad en la relación funcional entre las zonas habitacionales, de trabajo, equipamiento y esparcimiento (Artículo 41 LGUC).

Plan regulador intercomunal costero: El Plan Regulador Intercomunal Costero (PRI), es un instrumento de planificación territorial, que norma la utilización del territorio en las zonas no urbanas, es decir, fuera de los radios urbanos de las respectivas comunas de una región.

Planta desaladora: Una planta desaladora o planta desalinizadora es una instalación que convierte el agua salada del mar (o salobre) en agua apta para el consumo humano, así como para usos industriales y de regadío.

Precipitación efectiva: Parte de las precipitaciones que se infiltra en el suelo y permanece a disposición de las raíces de las plantas.

Proceso de consulta indígena: La consulta a los pueblos indígenas es un mecanismo de participación basado en el Diálogo entre el Estado y los pueblos indígenas; ante todo es un derecho de los pueblos indígenas y un deber del Estado que proviene del Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) sobre Pueblos Indígenas y Tribales en Países Independientes, que surge cada vez que se adoptan medidas legislativas o administrativas susceptibles de afectarlos directamente.

Régimen fluvial: Es la alimentación de un río, la fuente de alimentación puede ser de origen pluvial, si se abastece de las lluvias; de régimen nivoso, por derretimiento de las nieves; o de régimen mixto, lluvia y derretimiento de nieve.

Regresión lineal: El objetivo de un modelo de regresión es tratar de explicar la relación que existe entre una variable dependiente (variable respuesta) Y un conjunto de variables independientes (variables explicativas). La regresión lineal es un campo de estudio que enfatiza la relación estadística entre dos variables continuas conocidas como variables de predicción y respuesta.

Remociones en masa (deslizamientos): Pueden producirse a causa de diversos factores como inestabilidad de taludes, sismo y deforestación, pero en la mayoría de los casos están combinados con la presencia de agua, producida por las precipitaciones de agua que saturan los suelos y debilitan su resistencia, lo cual si se encuentran condiciones estructurales favorables, como pendientes fuertes o deforestación, pueden dar lugar al deslizamiento del terreno. Los deslizamientos producen catástrofes pero sus consecuencias pueden ser muy graves si se ve afectada la población, o bien, si los daños se producen en las infraestructuras hidráulicas, en la infraestructura vial, o, si se produce la pérdida de cultivos y terrenos agrícolas. (Hauser, 1993 y 2000).

Rocas intrusivas: Cuando la solidificación del magma se produce en el seno de la litósfera, la roca resultante se denomina plutónica o intrusiva; si el enfriamiento se produce, al menos en parte, en la superficie o a escasa profundidad, la roca resultante se denomina volcánica o extrusiva y estos, a su vez, se subdividen en familias a partir de las diferentes texturas,

asociaciones minerales y modo de ocurrencia. Las formas que adoptan los cuerpos ígneos durante su cristalización delimitan diferentes estructuras ígneas.

Rocas metamórficas: Las rocas metamórficas (del griego meta, cambio, y morphe, forma, "cambio de forma") resultan de la transformación de rocas preexistentes que han sufrido ajustes estructurales y mineralógicos bajo ciertas condiciones físicas o químicas, o una combinación de ambas, como son la temperatura, la presión y/o la actividad química de los fluidos agentes del metamorfismo. Estos ajustes, impuestos comúnmente bajo la superficie, transforman la roca original sin que pierda su estado sólido generando una roca metamórfica. La roca generada depende de la composición y textura de la roca original, de los agentes del metamorfismo, así como del tiempo en que la roca original estuvo sometida a los efectos del llamado proceso metamórfico. Por la naturaleza de su origen puede haber una gradación completa entre las rocas metamórficas y las ígneas o sedimentarias de las que se formaron. El estudio de estas rocas provee información muy valiosa acerca de procesos geológicos que ocurrieron dentro de la Tierra y sobre su variación a través del tiempo.

Rocas sedimentarias: Las rocas sedimentarias (del latín sedimentum, asentamiento) se forman por la precipitación y acumulación de materia mineral de una solución o por la compactación de restos vegetales y/o animales que se consolidan en rocas duras. Los sedimentos son depositados, una capa sobre la otra, en la superficie de la litósfera a temperaturas y presiones relativamente bajas y pueden estar integrados por fragmentos de roca preexistentes de diferentes tamaños, minerales resistentes, restos de organismos y productos de reacciones químicas o de evaporación.

Salares: Las salinas, salares o salitrales, son grandes planicies blancas formadas hace millones de años sobre cuencas endorreicas, estas enormes depresiones fluviales alimentadas por el agua de deshielo y lluvias, no poseen salida al mar.

Sequías: Con carácter general, se puede considerar como la insuficiente disponibilidad de agua en una región, por un periodo prolongado, para satisfacer las necesidades del recurso hídrico en la zona. No obstante, puede enfocarse desde distintos aspectos y así se puede considerar la sequía meteorológica, agronómica o hidrológica, según la duración y efectos de la misma. La sequía produce importantes efectos para la salud pública, el medio ambiente y los sistemas productivos dependientes del agua y ha causado la pérdida de vidas humanas, el deterioro ambiental, incrementando incluso la posibilidad de incendios forestales y la destrucción de campos y cultivos, además de reducirse la producción hidroeléctrica.

Servicios financieros y empresariales (3): El sector Servicios Financieros, corresponde a una actividad comercial, prestadora de servicios de intermediación relacionados al ámbito



de generación de valor a través del dinero. Desde el punto tributario, son actividades que están clasificadas en el comercio.

Servicios personales (4): Los servicios personales comprenden las empresas dedicadas a prestar servicios relacionados con el cuidado o apariencia física de la persona tales como: salones de belleza, tratamiento del cabello, salones de masaje, de sauna, actividades termales y balnearios, actividades de mantenimiento físico y corporal; tatuajes y otros servicios relacionados; lavado, limpieza y teñido de prendas textiles y de piel; servicios funerarios; actividades de servicios personales efectuadas por videntes, astrólogos, ... y cualquier otro servicio personal relacionado con las actividades antes señaladas.

Shapefile: Formato que se utiliza para almacenar la ubicación geométrica y la información de atributos de las entidades geográficas.

Stakeholders: Público o grupo de interés.

Tranque de relave: El agua que se ha utilizado en el proceso de concentración de cobre y, en general, en todo el proceso productivo, no puede ser vertida a las corrientes naturales porque tiene contaminantes. Esta agua industrial se lleva a los tranques de relave donde lentamente los contaminantes se van depositando en el fondo y el agua se va limpiando hasta hacerla utilizable por los seres vivos.

Tundra: Terreno abierto y llano, de clima muy frío y subsuelo helado, falta de vegetación arbórea, con suelo cubierto de musgos y líquenes y pantanoso en muchos sitios.

Unidad hidrogeológica: Por unidad hidrogeológica se entiende uno o varios acuíferos agrupados a efectos de conseguir una racional y eficaz administración del agua.

Zona de Riego: Zonificación que representa las áreas de riego en el programa WEAP.



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO D - FIGURAS

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Anexo D. Figuras

El Anexo D – Figuras, consta de una carpeta en formato digital con todas las figuras incluidas en el Informe Ejecutivo, exceptuando las imágenes SIG. El índice de las figuras señaladas se detalla a continuación.

Figura 2-7 Proyección de población de la cuenca

Figura 2-8 Pirámide de población

Figura 2-9 Línea de tiempo de desarrollo cultural, región de Atacama

Figura 2-10 Distribución del Producto Interno Bruto de la Región de Atacama

Figura 2-13 Precipitación histórica para el período 1985-2020 (mm). Comparación precipitación observada

Figura 2-21 Modelo conceptual del sistema de agua potable Diego de Almagro

Figura 2-24 Interacción de actores claves

Figura 2-25 Grupos de actores de la cuenca por eje de seguridad hídrica

Figura 2-26 Mapa de actores según seguridad hídrica para el consumo humano. Interés – Influencia.

Figura 4-2 Distribución anual de la precipitación a nivel de cuenca

Figura 4-3 Caudal total, según probabilidad de excedencia Q5, Q50, Q85 y Q95, período actual (2015-2020)

Figura 4-4 Proyección de la precipitación (mm) en el período 2015-2050. Promedio móvil de 10 años de la precipitación

Figura 4-5 Caudal total, según probabilidad de excedencia Q5, Q50, Q85 y Q95, período proyectado (2021-2050)

Figura 4-7 Diagrama de Piper según campaña de monitoreo, proyecto Rajo Inca, CODELCO

Figura 5-1 Ejes de brechas hídricas



Figura 5-2 Ejes de la Planificación Estratégica

Figura 5-3 Árbol de Problemas para la seguridad hídrica de las personas

Figura 5-4 Árbol de Problemas para ecosistemas

Figura 5-5 Árbol de Problemas para las actividades productivas

Figura 5-6 Árbol de Problemas ante desastres socionaturales

Figura 5-7 Árbol de Problemas de Gestión

Figura 7-1 Árbol de Soluciones para la seguridad hídrica de las personas

Figura 7-2 Árbol de Soluciones para ecosistemas

Figura 7-3 Árbol de Soluciones para las actividades productivas

Figura 7-4 Árbol de Soluciones ante desastres socionaturales

Figura 7-5 Árbol de Soluciones para la Gestión Institucional

Figura 7-7 Árbol de Soluciones para la Gobernanza

Figura 7-8 Líneas de Acción del Plan Estratégico

Figura 7-9 Cronograma de implementación del Plan Estratégico

Figura 8-1 Alineamiento del Plan Estratégico y la Gobernanza

Figura 8-2 Actores que forman parte de la Gobernanza



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



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO E – ANTECEDENTES RECOPIADOS

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Anexo E. Antecedentes Recopilados

El Anexo E – Antecedentes Recopilados consta de una carpeta en formato digital que contiene 133 fichas bibliográficas en formato .PDF y un archivo en formato .xlsx con el resumen de su contenido. En cada una de estas fichas se encuentra información asociada a la fuente bibliográfica, como el título, año, autor, propósito de la información y algunos resultados de interés. Cada una de ellas se encuentra identificada mediante un número ID propio. A continuación, se presenta un resumen de los antecedentes recopilados.

Tabla 1. Lista de antecedentes recopilados

| Título | Año |
|--|------|
| Agricultura chilena reflexiones y desafíos al 2030. El cambio climático y los recursos hídricos de Chile | 2018 |
| Titularidad y subjetividad de las aguas nativas chilenas en el marco del convenio 169 de la OIT y la declaración de la ONU sobre los derechos de los pueblos indígenas | 2011 |
| The Atacama Desert Fog Collection Project at Falda Verde, Chile | 2007 |
| Declaración de Impacto Ambiental "SISTEMA DE EXPLOTACIÓN DE MINERALES DE HIERRO Y COBRE DE MINA OSORNINA, COPIAPÓ – CHILE " | 2010 |
| Identificación de las principales áreas agrícolas y de interés para el MINAGRI como aporte para el ordenamiento territorial del país | 2007 |
| Penetración continental de la niebla de advección en Tarapacá, Chile | 2001 |
| Los atrapanieblas, tecnología alternativa para el desarrollo rural. | 2000 |
| Remote Sensing: Methods and techniques to determine potential areas for fog water collection | 2003 |
| Diagnóstico preliminar. Adaptación ambiental y salud pública post aluvión: Chañaral y Atacama. | 2015 |
| Eventos extremos de precipitación y temperatura en Chile: proyecciones para fines de siglo XXI. | 2013 |
| Las áreas silvestres protegidas privadas en Chile | 1999 |
| Proyecto "Flotación de Escorias convertidor Teniente Fundición Potrerillos". Anexo 15: Reconocimiento hidrogeológico | 2011 |
| Estudio de Impacto Ambiental "Rajo Inca". Capítulo 3-A Medio físico. | 2018 |
| Estudio de Impacto Ambiental "Rajo Inca". Anexos | 2018 |
| Mejoramiento de calidad de aguas de riego | 2003 |
| Plan de Gestión para la Cuenca del Río Copiapó | 2009 |
| Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI. Informe final | 2006 |
| Análisis de vulnerabilidad silvoagropecuaria, recursos hídricos y edáficos de Chile frente a escenarios de cambio climático. Informe final | 2008 |
| Cifras actualizadas de la minería, mayo 2020 | 2020 |
| Codelco | 2021 |
| Estudio diagnóstico del pueblo Colla. | 2011 |



| | |
|---|------|
| Reconocimiento Hidrogeológico: Flotación de Escorias convertidor Teniente Fundición Potrerillos | 2011 |
| Declaración de Impacto Ambiental "Proyecto Continuidad Operacional Salvador". Apéndice 2-C Línea de Base Medio Físico | 2016 |
| Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Rajo Inca. Capítulo 3. Línea base Medio Humano | 2018 |
| Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Rajo Inca. Capítulo 1. Descripción del proyecto | 2018 |
| Estrategia nacional de cambio climático y recursos vegetaciones | 2016 |
| Diagnóstico de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río Copiapó y Proposición de un modelo de Explotación Sustentable | 2006 |
| Teoría y práctica de los derechos ancestrales de agua de las comunidades atacameñas | 2000 |
| Expertos de la Universidad de Chile alertan sobre los riesgos de la desertificación en el país | 2020 |
| Determinación del número de curva en la subcuenca de Betancí (Córdoba, Colombia) mediante teledetección y SIG | 2017 |
| Diseño de obras fluviales y de control aluvional en la cuenca del Río Salado, Región de Atacama. Capítulo 3.7. Calidad de Agua y Sedimentos | 2020 |
| Diseño de obras fluviales y de control aluvional en la cuenca del Río Salado, Región de Atacama. Capítulo 3.6. Hidrología e Hidrogeología | 2020 |
| Diseño de obras fluviales y de control aluvional en la cuenca del Río Salado, Región de Atacama. Capítulo 3.1. Línea base de Clima y Meteorología | 2020 |
| Análisis crítico de la red fluviométrica nacional: red de calidad de aguas III, IV y V región. | 1983 |
| Estudio del Mapa Hidrogeológico Nacional Escalas 1:1.000.000 y 1:2.500.000. | 1986 |
| Análisis y determinación de caudales de reserva para abastecimiento de la población y usos de interés nacional | 2006 |
| Determinación de reservas de aguas superficiales de acuerdo a lo dispuesto en el artículo 147 que modifica el código de aguas | 2008 |
| Determinación de caudales ecológicos en cuencas con fauna íctica nativa y en estado de conservación | 2008 |
| Levantamiento de información sobre derechos no inscritos susceptibles de regularizar en las cuencas del Río Salado y Salar de Atacama (Región de Antofagasta), Quilimarí y Pupío (Región de Coquimbo) y Ligua y Petorca (Región de Valparaíso). | 2008 |
| Control y seguimiento del cumplimiento de resoluciones de calificación ambiental, fase i. Informe final | 2009 |
| Evaluación de los recursos hídricos subterráneos en cuencas de la Región de Atacama ubicadas entre el río Copiapó y la Región de Antofagasta. | 2009 |
| Análisis de metodología y determinación de caudales de reserva turísticos | 2010 |
| Análisis y evaluación de los recursos hídricos suterráneos de los acuíferos costeros ubicados entre los ríos Salado y Huasco, III Región de Atacama | 2010 |
| Criterios y metodología para la determinación del caudal ecológico en el marco del SEIA | 2011 |
| Evaluación de caudales ecológicos en cuencas de la IV, V y VI región | 2014 |
| Análisis crítico de la red de calidad de aguas superficiales y subterráneas de la DGA | 2014 |
| Inventario de cuencas, subcuencas y subsubcuencas de Chile. | 2014 |
| Atlas del Agua | 2016 |
| Caracterización de suelos y generación de información meteorológica para prevención de riesgos hidrometeorológicos cuencas Salado y Copiapó | 2016 |



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

| | |
|--|------|
| Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile | 2017 |
| Actualización del Balance Hídrico Nacional | 2017 |
| Aplicación de la metodología de actualización del balance hídrico nacional en las cuencas de las macrozonas norte y centro | 2018 |
| Derechos de Aprovechamiento de aguas registrados en DGA | 2021 |
| Subcuencas BNA | 2021 |
| Búsqueda de derechos y solicitudes de expedientes de pozos. | 2021 |
| Catastro Público de Aguas | 2021 |
| Estaciones Meteorológicas | 2021 |
| Boletín Eventos Extremos | 2015 |
| Boletín Eventos Extremos | 2016 |
| Boletín Eventos Extremos | 2017 |
| Boletín Eventos Extremos | 2018 |
| Boletín Eventos Extremos | 2019 |
| Estación "Desierto de Atacama, Caldera" | 2021 |
| El balance tras la catástrofe que afectó a Chañaral | 2017 |
| Análisis del déficit hídrico en la agricultura, Chile | 2011 |
| Servicios ecosistémicos para la gestión del agua | 2016 |
| Medidas, acciones, soluciones (mas) seguridad hídrica. | 2019 |
| Transición hídrica. El futuro del agua en Chile | 2019 |
| Escenarios hídricos de fundación Chile 2030-2050 | 2019 |
| Estudio y Modelación 2D del Aluvión de marzo de 2015 en Chañaral, Atacama | 2018 |
| Gestión del riesgo de sequía y otros eventos climáticos extremos en Chile | 2010 |
| Radiografía del agua | 2018 |
| Fog-water collection for community use | 2014 |
| Introducción al número especial. Gobernanza Territorial, Conflictos y Aprendizajes. | 2016 |
| Balance ambiental 2014. Sacrificando Chile por la inversión | 2014 |
| Sistema básico de clasificación de la vegetación nativa chilena | 1983 |
| Estrategia nacional de cambio climático | 2006 |
| Política nacional de para la gestión de riesgo de desastres | 2014 |
| Sistema territorial de cuencas hidrográficas, Región de Atacama | 2019 |
| Apuntes de geología general: Los minerales más importantes | 2020 |
| Caracterización de Humedales Altoandinos para una gestión sustentable de las actividades productivas del sector norte del país | 2013 |
| Pueblo sin agua, pueblo muerto: la advertencia del Acta de Tarapacá sobre la sobreexplotación en el Desierto de Atacama. | 2018 |
| Censo de población y vivienda año 1992 | 1992 |
| Censos 1970-1982, cifras comparativas. Tomo II: I Región a Región Metropolitana | 1993 |
| Censo de población y vivienda año 2002 | 2002 |



| | |
|--|------|
| Censo agropecuario Forestal | 2007 |
| Censo de población y vivienda año 2017 | 2017 |
| Río Salado | 1973 |
| Actividades productivas y desafíos ambientales de la Región de Atacama | 2010 |
| Fog measurements at the site "Falda Verde" north of Chañaral compared with other fog stations of Chile | 2002 |
| Nieves y Glaciares de Chile. Fundamentos de Glaciología | 1956 |
| Clasificación de pisos de vegetación y análisis de representatividad ecológica de áreas propuestas para la protección de la ecorregión | 2004 |
| Hidrogeología e hidrogeoquímica de la cuenca de la Quebrada de Paipote, Región de Atacama. | 2011 |
| Mawün: Explorador de precipitaciones | 2021 |
| Encuesta de caracterización socioeconómica nacional CASEN | 2017 |
| Base para planificación territorial en el desarrollo hidroeléctrico futuro | 2015 |
| Análisis de representatividad ecosistémica de las áreas protegidas públicas y privadas en Chile. Informe final | 2008 |
| Informe del estado del medio ambiente resumen ejecutivo | 2011 |
| Plan nacional de adaptación al cambio climático. Propuesta | 2013 |
| Plan de acción para la protección y conservación de la biodiversidad, en un contexto de adaptación al cambio climático | 2013 |
| Anfibios de Chile, un desafío para la conservación | 2013 |
| Plan de adaptación al cambio climático en biodiversidad | 2014 |
| Guía de orientación para incorporar la dimensión ambiental en procesos de ordenamiento territorial sustentable | 2015 |
| Aplicación de los criterios de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) para la evaluación de riesgo de los ecosistemas terrestres de Chile | 2015 |
| Estrategia nacional de biodiversidad 2017-2030 | 2017 |
| Documento Base PNM 2050, Región de Atacama | 2020 |
| Análisis y valoración de la funcionalidad de la red fluviométrica y asignación de derechos de aprovechamiento. Informe final | 2006 |
| Política nacional para los recursos hídricos 2015 | 2012 |
| Plan Nacional de Protección de Humedales 2018-2022 | 2018 |
| Programa Inventario Nacional de Humedales | 2020 |
| Actualización Plan de Desarrollo 2016-2031. Diego de Almagro – El Salado | 2017 |
| Actualización Plan de Desarrollo 2016-2031. Caldera – Chañaral | 2017 |
| Actualización Plan de Desarrollo 2016-2031. Inca de Oro | 2017 |
| Cambios territoriales y tecnológicos en el riego agrícola en Chile entre los años 1997 y 2007 | 2012 |
| Estadísticas del sector. Comercio Exterior | 2021 |
| Coastal Fog, Satellite Imagery, and Drinking Water: Student Fieldwork in the Atacama Desert. | 2005 |
| Grupos hidrológicos globales de suelos (HYSOGs250m) para el modelado de escorrentía basado en números de curvas | 2018 |



| | |
|---|------|
| Prospección geoquímica en Chañaral después del aluvión de marzo de 2015, Región de Atacama, Chile. | 2017 |
| The collection efficiency of a massive fog collector | 1989 |
| Catastro vitícola nacional 2017 | 2017 |
| Resolución Exenta N°16. Califica Ambientalmente el proyecto "Proyecto Desarrollo Mantoverde." | 2018 |
| Catastro de depósitos de relave | 2015 |
| Anuarios Estadísticos. Desembarques y Acuicultura | 2017 |
| Flora amenazada de la Región de Atacama y Estrategias para su Conservación | 2008 |
| Informe de gestión del sector sanitario, | 2016 |
| Informe de gestión del sector sanitario, superintendencia de servicios sanitarios | 2017 |
| Archivos de consumo, producción y número de clientes a nivel nacional (2005-2020). | 2021 |
| Estimación de regímenes hidrotérmicos del suelo mediante el modelo de simulación calibrado Newhall, en tres grupos texturales de suelos del estado de Jalisco, México | 2014 |
| Aluviones y Resiliencia en Atacama. Construyendo saberes sobre riesgos y desastres | 2018 |
| La OCDE y el medio ambiente en Chile | 2010 |
| Impacto socioeconómico de las centrales hidroeléctricas en la cuenca media del río maule | 2011 |
| Aluviones y resiliencia en Atacama. Construyendo saberes sobre riesgos y desastres | 2018 |
| Contextualisation d'un instrument et apprentissages pour l'action collective. | 2016 |

Fuente: Elaboración propia



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO F – ASPECTOS METODOLÓGICOS

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Anexo F. Aspectos Metodológicos

El Anexo F – Aspectos Metodológicos consta de cinco carpetas digitales. El Anexo F1 es el informe principal, donde se detallan los pasos metodológicos, así como también las fuentes en las cuales se basaron las principales mediciones incluidas en el Informe Ejecutivo. En Anexo F2 se presentan los cálculos realizados para determinar la demanda hídrica. En Anexo F3 se muestran los datos para determinar el balance hídrico y la oferta de agua de la cuenca en estudio. En Anexo F4 se presentan los cálculos para determinar las brechas hídricas identificadas. Finalmente, en Anexo F5 se muestra la información asociada a población. El índice del Anexo F se presenta a continuación.

Anexo F1. Aspectos Metodológicos

Anexo F2. Resultados demandas

Anexo F3. Balance y oferta

Anexo F4. Brechas

Anexo F5. Población



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO F1 – ASPECTOS METODOLÓGICOS

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



ÍNDICE ANEXO F1

Página

| | |
|--|-------------|
| <u>1. INTRODUCCIÓN.....</u> | <u>1-3</u> |
| <u>2. DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA</u> | <u>2-4</u> |
| 2.1. Proyección de población | 2-4 |
| 2.1.1. Antecedentes | 2-4 |
| 2.1.2. Materiales y métodos | 2-4 |
| <u>3. DEMANDA HÍDRICA.....</u> | <u>3-5</u> |
| 3.1. Consumo de Agua Potable Urbana | 3-5 |
| 3.1.1. Fuentes utilizadas..... | 3-5 |
| 3.1.2. Metodología demanda actual e histórica | 3-6 |
| 3.1.3. Metodología demanda futura..... | 3-7 |
| 3.1.4. Restitución por tratamiento | 3-7 |
| 3.1.5. Resultados Consumo de Agua Potable Urbana | 3-7 |
| 3.2. Necesidades mínimas ambientales | 3-7 |
| 3.2.1. Caudal ecológico | 3-7 |
| 3.2.2. Reservas ambientales | 3-8 |
| 3.3. Consumo de agua por uso minero | 3-10 |
| 3.3.1. Fuentes utilizadas..... | 3-10 |
| 3.3.2. Demanda actual: Modelos conceptuales | 3-10 |
| 3.3.3. Metodología demanda futura..... | 3-11 |
| 3.4. Consumo de agua por uso industrial | 3-12 |
| 3.4.1. Fuentes utilizadas..... | 3-12 |
| 3.4.2. Metodología demanda futura..... | 3-12 |
| 3.5. Consumo de agua por uso pecuaria | 3-12 |
| 3.5.1. Fuentes utilizadas..... | 3-12 |
| 3.5.2. Metodología demanda futura..... | 3-13 |
| <u>4. OFERTA DE AGUA</u> | <u>4-14</u> |
| 4.1. Análisis de la Oferta | 4-14 |
| 4.2. Modelos probabilísticos para oferta de caudales | 4-15 |
| 4.2.1. Antecedentes..... | 4-15 |
| 4.2.2. Materiales y métodos | 4-16 |
| <u>5. BALANCE DE AGUA</u> | <u>5-18</u> |
| <u>6. BRECHAS HÍDRICAS</u> | <u>6-20</u> |



1. INTRODUCCIÓN

El presente documento desarrolla los aspectos metodológicos que se utilizaron para la elaboración del Informe Final del Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca río Salado. El propósito de este Plan es contar con un instrumento capaz de orientar la toma de decisiones relacionadas con el agua, mediante la generación de portafolios de acciones para la seguridad hídrica, enfocadas en el mejoramiento de la información, instituciones e infraestructura de agua, adaptación al cambio climático y un sistema de gobernanza.

En base a lo expuesto en dicho informe, el presente documento funciona como una base para comprender la metodología que se encuentra detrás de gran parte de los cálculos estimados para la proyección de población y demanda hídrica, principalmente. Queda fuera del ámbito de este documento, la metodología ocupada para la elaboración del o los modelos que guían el desarrollo del Informe Final, la cual se presenta de modo general en el Anexo H.

De esa manera, este documento comienza explicando la metodología para la construcción de la proyección de población en las comunas que conforman la cuenca río Salado, cálculo que sirvió de base para gran parte de los escenarios de gestión desarrollados en el Plan, que tuvieron como eje a las personas. Luego, se explican las fuentes y los pasos seguidos para conocer la demanda hídrica de diferentes áreas: agua potable urbana, agua potable rural, necesidades mínimas ambientales, uso minero, uso industrial y uso pecuario. Cada una de estas demandas también fueron proyectadas y, por ende, en cada apartado se explica la manera en la que fue calculada dicha proyección.

Luego, se explica la metodología detrás de los cálculos sobre oferta hídrica en la cuenca río Salado, sus variables y la manera en que fue calculado el balance de agua de la cuenca. Finalmente, se explican las principales brechas hídricas que luego dan lugar a problemas y soluciones para la gestión hídrica.



2. DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA

La sección correspondiente a la “Descripción de la cuenca” del informe ejecutivo está desarrollada en base a una metodología de revisión de antecedentes bibliográficos y análisis, según información secundaria (ver Anexo B y E) e información levantada en actividades de participación ciudadana (ver Anexo I). A continuación, se describen las metodologías específicas citadas dentro del informe ejecutivo de dicha sección.

2.1. Proyección de población

2.1.1. Antecedentes

Para calcular estimaciones y variación poblacional, Granados (1987) realiza un análisis respecto a los diferentes métodos para realizar proyecciones de población. El autor establece, entre otros métodos: regresión lineal, regresión exponencial y regresión con curvas polinómicas.

Si bien la ecuación lineal para proyecciones de población no ha sido recomendada, es posible que esta técnica matemática pueda en la actualidad dar buenos resultados, ya que aun cuando este procedimiento asume que el crecimiento futuro será, en términos absolutos, el mismo que en el pasado, esto implícitamente quiere decir que la población estaría creciendo a una tasa decreciente (si la población está en aumento), supuesto razonable dados los descensos de la fecundidad observados, especialmente a partir del año 1970 (Granados, 1987).

2.1.2. Materiales y métodos

Mediante el software RStudio, se realizó una regresión lineal utilizando los comandos *lm* y *predict* para analizar la distribución de los datos de población a partir de los resultados de censos históricos de 1970, 1982, 1992, 2002 y 2017; con el fin de predecir los datos de población para los años 2020, 2030, 2040 y 2050 a través del método de regresión lineal.

Como primer paso, se aplica un modelo de regresión lineal a todos los datos de cada comuna perteneciente a la cuenca en estudio desde los años 1970 a 2017, mediante el comando *lm*. Luego, se realiza la proyección mediante el comando *predict* para el resultado de esta modelación. Los datos que arroja corresponden a la predicción dados los antecedentes históricos para los años 2020, 2030, 2040 y 2050. Los resultados comunales permiten identificar el total de población proyectada para la cuenca.

3. DEMANDA HÍDRICA

En el siguiente punto se presenta la metodología de estimación de la demanda hídrica. Dicha estimación considera periodos de tiempo histórico (1990-2014), actual (2015-2020) y proyectado o futuro (2021-2050). En la cuenca se determinó la demanda para consumo humano, minería, industrial y cálculo de las necesidades mínimas ambientales.

3.1. Consumo de Agua Potable Urbana

En Chile, el 99,7% de la población está cubierta por empresas sanitarias (SISS, 2020). En la cuenca de estudio existe 1 empresa sanitaria abasteciendo centros urbanos: Nueva Atacama, que distribuye el agua a las localidades de Chañaral, Diego de Almagro, El Salado e Inca de Oro; adicionalmente, CODELCO distribuye agua potable a la localidad de El Salvador. Según el último censo de Población y Vivienda (INE, 2017) la tendencia muestra un aumento de la población urbana respecto a la población rural (INE, 2020), considerando este criterio como tendencia de consumo. Según indicó la OECD en 2012, que los países en desarrollo como Chile tengan un aumento demográfico y económico repercute directamente en el consumo de agua potable urbana. Sin embargo, los planes de desarrollo de la empresa sanitaria indican que no se espera un aumento poblacional y, por lo tanto, la demanda de consumo humano se mantiene constante en las proyecciones futuras.

3.1.1. Fuentes utilizadas

La Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) es la institución normativa y fiscalizadora de las empresas sanitarias que prestan los servicios de agua potable y alcantarillado. Estas empresas son entidades de servicio en formato de concesionaria por un período de tiempo estipulado. Por otra parte, la SISS tiene atribuciones respecto al servicio de agua potable en: otorgar concesión de servicios sanitarios, fijación de tarifas por los servicios (agua potable y alcantarillado) y fiscalización de la normativa vigente.

En relación con lo anterior, se dispone de la siguiente información de la SISS:

- Planes de desarrollo de concesiones vigentes
- Georreferenciación de plantas sondajes y otros
- PR027001- Registros del Sistema de Facturación Clientes Regulados, Clientes no regulados (52 BIS) y Coberturas (SIFAC II),
- PR018001. Producción de agua de las fuentes

Adicionalmente, Nueva Atacama puso a disposición la siguiente información:

- Ubicación y naturaleza de la captación
- Volúmenes históricos captadas por localidad 2009-2020
- Porcentajes de pérdidas por localidad
- Volumen facturado por localidad
- Volumen tratado y *bypass*
- Registro histórico de niveles

Por último, se consideran los datos de Población del INE para los años 1970, 1982, 2002, 2017.

3.1.2. Metodología demanda actual e histórica

El **SIFAC II**¹ concentra la información que entregan las empresas sanitarias a la SISS respecto a los clientes regulados, clientes no regulados (52 Bis 2) y otros. Dentro de esa información, se entrega el **volumen consumido (m³/mes)**, y **volumen producido (m³/mes)** por localidad y fecha. La documentación entregada por la SISS y ESSBIO tiene un periodo de tiempo de 1999-2019.

Las sanitarias tienen clientes de tipo **residencial, industrial, comercial, institucional y otros**. El Plan de Desarrollo de cada localidad indica la dotación por tipo de cliente. En este caso, la dotación se presenta para clientes regulados, no regulados y 52 bis. De esta forma se define el consumo actual, el cual con la tendencia poblacional se estima el consumo histórico. El Plan de Desarrollo incluye una estimación sobre las pérdidas en la distribución y producción. Por lo tanto, con dicho dato por localidad se obtiene la producción.

Como información adicional se calculan los valores de Consumos máximos mensual y consumo máximo horario según la **Tabla 3-1**:

Tabla 3-1 Coeficientes de máximos punta mensuales y diarios

| ID | Nombre coeficiente | Caldera | Chañaral | Diego Almagro | Salado | Inca de Oro |
|------|--------------------------------------|---------|----------|---------------|--------|-------------|
| CMMC | Coeficiente mes de máximo Consumo | 1,448 | 1,282 | 1,131 | 1,323 | 1,500 |
| CDMC | Coeficiente de Día de máximo Consumo | 1,100 | 1,100 | 1,100 | 1,100 | 1,100 |
| FMDC | Factor máximo Diario | 1,593 | 1,4100 | 1,244 | 1,455 | 1,650 |
| FHMC | Factor Máximo horario | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 |

Fuente: Planes de desarrollo Nueva Atacama, 2017

¹ Formulario SISS PR027001

3.1.3. Metodología demanda futura

La demanda hídrica futura para el uso de agua potable urbana viene definida por el aumento demográfico urbano y la variabilidad en la productividad. Según la división de consumo en el apartado anterior, podemos diferenciar una estimación por cada tipo de uso. En las cuencas de estudio la demanda poblacional permanece constante, ya que la población mantiene una tendencia decreciente, y por lo tanto se considera mantener la demanda constante como factor de seguridad.

3.1.4. Restitución por tratamiento

La restitución de agua post tratamiento de aguas servidas, según los Planes de Desarrollo de las empresas sanitarias, está definido en un 80% respecto al agua consumida.

3.1.5. Resultados Consumo de Agua Potable Urbana

Para visualizar los resultados, ver Anexo F2 APU.

3.2. Necesidades mínimas ambientales

3.2.1. Caudal ecológico

La metodología utilizada para calcular caudal ecológico se obtiene de la revisión de fuentes de información generadas y validadas por DGA. Destaca la revisión del estudio "Actualización Informe Evaluación de los Recursos Hídricos superficiales de la cuenca del Río Maule Región del Maule" (DGA, 2016). Este documento utilizó algunos criterios que se deben precisar: para aquellos cauces donde se constituyeron derechos con un caudal ecológico mínimo, considerando como fórmula de cálculo el criterio del diez por ciento del caudal medio anual, se considerará el cincuenta por ciento del caudal de probabilidad de excedencia de noventa y cinco por ciento, para cada mes, con las restricciones siguientes:

- i. Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia es menor al diez por ciento del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo para ese mes será el diez por ciento del caudal medio anual.
- ii. Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia es mayor al diez por ciento del caudal medio anual y menor al veinte por ciento del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia.

- iii. Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia es mayor al veinte por ciento del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el veinte por ciento del caudal medio anual.”

Para determinar los caudales medios en fuentes sin registros fluviométricos, se utilizó la siguiente fórmula:

$$Q_1 = \frac{A_1}{A_2} \times Q_2$$

Donde:

Q1 = Caudal medio de la cuenca en estudio.

Q2 = Caudal medio de la cuenca base.

A1 = Área de la cuenca en estudio.

A2 = Área de la cuenca base.

Para lo anterior las cuencas vecinas deben tener características similares.

Así, los caudales ecológicos determinados en este estudio, es decir, que no estaban determinados previamente, se obtuvieron mediante uno de los siguientes criterios (el más limitante):

- Caudal ecológico = 10% del caudal medio anual.
- Caudal ecológico = 50% del caudal mínimo del estiaje del año (con 95% de probabilidad de excedencia).

Sus resultados se presentan en el Anexo F2 Calculo de las demandas – AMB.

3.2.2. Reservas ambientales

Para obtener el consumo ambiental o de protección ambiental, se toma en consideración lo expuesto en DGA (2017), SIT N°419, estudio denominado “Estimación de la Demanda Actual, Proyecciones Futuras y Caracterización de la Calidad de los Recursos Hídricos en Chile.

En Chile, se definen tres medios de protección ambiental:

- ✓ Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE).
- ✓ Sitios Prioritarios para la Conservación de la Diversidad Biológica.
- ✓ Sitios Ramsar

El citado estudio revisó y analizó las siguientes fuentes documentales:

- La base de información utilizada para identificar las áreas de protección SNASPE, Sitios Prioritarios para la Conservación de la Diversidad Biológica y Sitios Ramsar, en todas las regiones del país, corresponde a:
 - ✓ Mapoteca de la DGA, Unidad SIG, actualizada al año 2016.
 - ✓ Ministerio del Medio Ambiente, División de Recursos Naturales y de Biodiversidad.
- Las estadísticas de caudales medios mensuales fueron obtenidas de las estaciones fluviométricas de la web de la DGA.

Se agrega también que el estudio referido consideró estudios e iniciativas de la División de Estudios y Planificación (en conjunto con las Direcciones Regionales, y el Departamento de Administración de Recursos Hídricos) que durante los años 2009 y 2010 realizaron una serie de informes técnicos con el objetivo de proponer y analizar técnicamente los procedimientos y mecanismos para la aplicación de la Norma de Reserva por Interés Nacional (Artículo 147 Bis Inciso 3º del Código de Aguas) relacionado con la conservación ambiental y el desarrollo local de determinadas cuencas.

En estos documentos, se utilizan los siguientes principios:

- Se busca encontrar un caudal de conservación (protección) ambiental, definido por la suma del caudal ecológico más el de reserva por interés nacional, que es el tramo comprendido entre el caudal ecológico y el 20% de probabilidad de excedencia. Esto permitirá mantener la mayor parte del tiempo, en su condición natural, la distribución de caudales en la cuenca, y de esta manera mantener prácticamente inalterada la magnitud, frecuencia y duración del régimen hídrico.
- Caudal para protección ambiental:

$$Q_{\text{protección ambiental}} = Q_{\text{prob.de excedencia 20\%}} - Q_{\text{ecológico}}$$

Este cálculo se aplica a las zonas de protección (SNASPE, Sitios Prioritarios para la Conservación de la Diversidad Biológica y Sitios Ramsar) existentes, identificando una estación fluviométrica de referencia de la red hidrométrica de la DGA en cada caso.



3.3. Consumo de agua por uso minero

3.3.1. Fuentes utilizadas

Para identificar el consumo de agua para uso minero, se utilizó la plataforma de búsqueda del Servicio de Evaluación Ambiental². Mediante este portal, se buscaron los diferentes proyectos relativos al área de minería en la cuenca en estudio. Cada uno de estos proyectos, por normativa ambiental, son evaluados – según las consecuencias que puede traer cada proyecto individualmente – a partir de Estudios de Impacto Ambiental (EIA) o Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA).

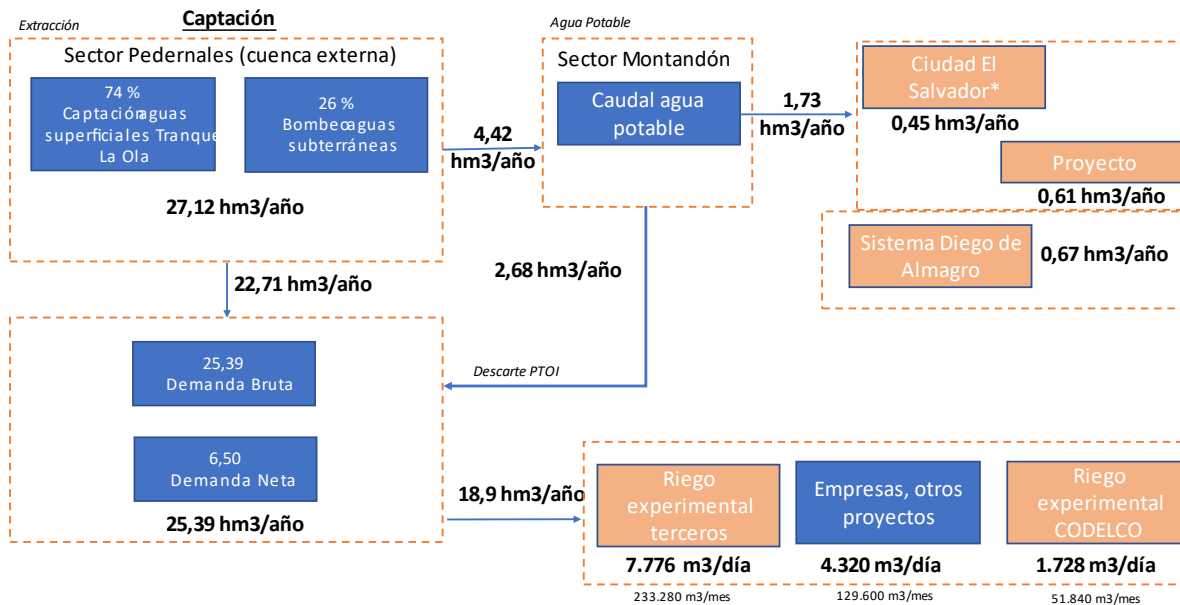
Dicho esto, se identificaron los proyectos que ya fueron evaluados en el informe ejecutivo. Cada uno de estos DIA o EIA – según corresponda – contiene un resumen ejecutivo y varios anexos que permiten analizar las diferentes características del proyecto. De esta forma, se consultaron estos archivos para identificar el consumo de agua que se utiliza para procesos industriales, poniendo atención también en los diferentes usos, destinos, fuentes de extracción, entre otras variables.

3.3.2. Demanda actual: Modelos conceptuales

Una vez identificados los diferentes usos y el consumo de agua, se realizaron diferentes modelos conceptuales de los principales proyectos, con el fin de entender a cabalidad los procesos, relaciones y valores que comprenden el consumo de agua para usos mineros.

A continuación, la **Figura 3-1** muestra el modelo conceptual construido para representar el consumo de agua de División Salvador de la empresa CODELCO. En este caso, se identificaron diferentes usos de agua industrial y agua potable por parte de la empresa, de manera que se ilustrara de manera fehaciente, en el modelo, de qué manera se utiliza el agua que se extrae, en este caso, del Sector Pedernales (cuenca externa) y que luego es trasladada hacia la cuenca del río Salado y utilizada en diferentes áreas.

² <https://sea.gob.cl/>



Fuente: Elaboración propia en base a EIA Rajo Inca (2020)

Figura 3-1 Modelo Conceptual de consumo de agua, División Salvador Rajo Inca CODELCO

3.3.3. Metodología demanda futura

Para calcular la proyección de demanda, se utilizó como base el consumo de agua identificado a partir de los estudios de impacto ambiental, descrito en la sección anterior, y el PIB de minería descrito en la sección 2.1.3. del informe ejecutivo. En ese sentido, valores proyectados **hasta el año 2050** (bajo la premisa de que el crecimiento PIB sigue una tendencia lineal), sitúan el PIB Regional en **3.146 MM\$,** con un promedio de disminución anual de -0,2%.

Por ese motivo, se mantuvo la demanda de agua minera proyectada sin cambios, de manera que se representara el no aumento de la producción en base a las proyecciones del PIB regional minero.

3.4. Consumo de agua por uso industrial

3.4.1. Fuentes utilizadas

Para calcular la demanda actual y proyectada del agua para uso industrial, se utilizó como base el informe “Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile”, de la Dirección General de Aguas (2017b).

Una vez identificada la demanda actual, se generó una planilla con todos los datos e industrias disponibles en la cuenca. A partir de los análisis de descargas industriales líquidas registradas al año base 2015, a nivel de subcuenca, cuenca y región, el informe estimó los respectivos caudales de demanda hídrica consuntiva según proceso industrial, de acuerdo a la metodología y consideraciones descritas en el Capítulo 10 del Volumen I de dicho documento. Los valores de demanda se indicaron en términos de caudal medio anual (en m³/s y l/s) y volumen anual demandado (Mm³/año)

3.4.2. Metodología demanda futura

Para calcular la proyección de demanda, se utilizó como base el consumo de agua identificado a partir del informe DGA (2017b), descrito en la sección anterior, y el PIB industrial descrito en la sección 2.1.3. del informe ejecutivo, con base en valores dados por el Banco Central (2018). En ese sentido, valores proyectados **hasta el año 2050** (bajo la premisa de que el crecimiento PIB sigue una tendencia lineal), sitúan el PIB Regional en **3.146 MM\$**, con un promedio de disminución anual de -0,2%.

Por ese motivo, las proyecciones dadas a la demanda industrial, en ese sentido, ha tendido a arrojar valores en leve disminución hacia el año 2050.

3.5. Consumo de agua por uso pecuario

3.5.1. Fuentes utilizadas

Para calcular la demanda actual y proyectada del agua para uso industrial, se utilizó como base el informe “Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile”, de la Dirección General de Aguas (2017b).

Una vez identificada la demanda actual, se generó una planilla con todos los datos e industrias disponibles en la cuenca.

La estimación de la demanda pecuaria actual (con año base en 2015), a nivel de subcuencas, cuencas y región, se calculan en términos de volumen anual demandado



(Mm³/año) y caudal medio anual (m³/s y l/s), según la metodología del Capítulo 6 del Volumen I de dicho informe. Se incluyó además la demanda según tipo de ganadería – bovina, ovina, caprina, producción avícola, porcina, equina, camélidos y otros–, tanto para subcuencas y cuenca del río Salado.

3.5.2. Metodología demanda futura

Para calcular la proyección de demanda, se utilizó como base el consumo de agua identificado a partir del informe DGA (2017b), descrito en la sección anterior, y el PIB agropecuario descrito en la sección 2.1.3. del informe ejecutivo, con base en valores dados por el Banco Central (2018). En ese sentido, valores proyectados **hasta el año 2050** (bajo la premisa de que el crecimiento PIB sigue una tendencia lineal), reflejan un leve aumento en el PIB en dicho sector.

Por ese motivo, las proyecciones dadas a la demanda pecuaria han tendido a arrojar valores con un leve aumento hacia el año 2050.

4. OFERTA DE AGUA

La metodología para identificación de oferta de agua según los caudales superficiales y la recarga subterránea, se basa en la modelación hidrológica de la plataforma WEAP (*Water Evaluation and Planning System*), detallada en el Anexo H., secciones 1 y 2. El modelo conceptual superficial se presenta de manera simple, mencionando las principales localidades de la cuenca y los cauces más importantes, que corresponden a cauces intermitentes que se activan sólo cuando ocurren precipitaciones importantes. También se describe el modelo numérico, que se lleva a cabo en la plataforma WEAP, detallando la fuente de obtención de las distintas forzantes meteorológicas junto al procesamiento que se le ha dado especialmente a las forzantes meteorológicas de precipitación y temperatura.

En conclusión, la oferta de agua superficial y subterránea es calculada a través de los resultados del modelo WEAP, desarrollado en el presente estudio. Por lo tanto, el punto de "Oferta de Agua" describe y analiza los resultados de dicho modelo.

A continuación, se presenta la metodología de análisis para la presentación de los resultados de oferta de agua superficial y subterránea. Para más información sobre la metodología del desarrollo del modelo conceptual y modelo numérico, referirse al Anexo H.

4.1. Análisis de la Oferta

La oferta de caudales se presenta según año hidrológico (es decir, entre abril y marzo del año siguiente) y luego dividido en tres períodos de tiempo, a saber:

Período histórico: abril del año 1990 hasta marzo del año 2015 (período 1990-2014);

Período actual: abril del año 2015 hasta marzo del año 2021 (período 2015-2020);

Periodo proyectado o futuro: abril del año 2021 hasta marzo del 2051 (período 2021-2050).

A partir de esta información, se generaron tres tablas, tanto para oferta de aguas superficiales como para aguas subterráneas. La principal variable por considerar en la oferta de agua superficial es la escorrentía ($\text{hm}^3/\text{año}$); mientras que para aguas subterráneas se considera la recarga del acuífero ($\text{hm}^3/\text{año}$) y la variación del volumen según sectores acuíferos (hm^3). Estos datos corresponden a **promedios anuales** según el periodo definido.

Para la extracción y procesamiento de datos, se construyeron diferentes hojas de cálculos insertas en el "Anexo F4. Balance". En la sección 1. *Oferta de Tablas*, se sistematizó la información de escorrentía para los períodos antes señalados, según puntos de control

superficial, definidos como “Nodos”, siendo éstos un conjunto de unidades hidrológicas formadas en el modelo WEAP (Anexo H, sección 1).

Respecto a la presentación de los datos subterráneos, la división se hace en referencia los sectores acuíferos definidos en la sección 2.2.3 del anexo H.

Adicionalmente, se calcularon modelos probabilísticos para la oferta de caudales, detallados en la sección 4.2 del presente documento.

4.2. Modelos probabilísticos para oferta de caudales

A continuación, se presentan los aspectos metodológicos, procedimientos estadísticos realizados y fundamentos para identificar distribución de caudales y modelos probabilísticos óptimos para la operatividad de los datos obtenidos a partir de nodos de control.

4.2.1. Antecedentes

La metodología se basó en un análisis comparativo de tres modelos probabilísticos correspondientes a funciones de distribución de probabilidad de Gumbel, Log-Pearson III y Weibull. Esta metodología ha sido propuesta para estudios hidrológicos y estimación de caudales en investigaciones como las de Smith y Campuzano (2002), Aguilera (2007), Seoane (2015), entre otras.

4.2.1.1. Modelos probabilísticos

El comportamiento de las variables se describe con ayuda de distribuciones de probabilidad. Entre ellas, en este estudio se consideraron tres modelos diferentes, los cuales se describen a continuación.

- *Modelo de probabilidad Gumbel:*

Este modelo se basa en la premisa de que cuando se tienen N muestras, cada una de las cuales contiene n eventos, al seleccionar el máximo de x de los n eventos de cada muestra, es posible demostrar que, a medida que n aumenta, la función de distribución de probabilidad de x tiene un cierto comportamiento dado por este modelo. Los parámetros de esta distribución tienden a los siguientes valores, en base a la media aritmética y la desviación estándar de la muestra:

$$d = \frac{1}{0,779696 * S} ; \mu = \text{media} - 0,450047 * S$$

- *Modelo de probabilidad Log-Pearson III:*

Esta distribución posee una gran flexibilidad y diversidad de forma, asimilando su utilización para precipitaciones o caudales máximos anuales. Resultados de un estudio realizado en 1.505 estaciones en Estados Unidos, han determinado que la función de Pearson Tipo III

es la que mejor representa a las series de caudales mínimos intermitentes, donde se presentan descargas con valores cero (Aguilera, 2007).

- *Modelo de probabilidad Weibull:*

La distribución de Weibull es una distribución de probabilidad continua y suele aplicarse en teoría de valores extremos, meteorología, entre otras. En hidrología, particularmente, este modelo es utilizado para analizar variables aleatorias como valores máximos de la precipitación, descarga de ríos y estudios de sequía.

4.2.1.2. Ajuste de los datos

Para determinar el modelo que se ajuste de mejor forma a la distribución de los datos, se realiza un procedimiento que se entiende como bondad de ajuste, permitiendo predecir el comportamiento de la variable en estudio. Para determinar su calidad, se realiza una contrastación para cada dato que se obtenga en la frecuencia acumulada y en la frecuencia teórica acumulada; para ello se utilizan métodos cuantitativos (Aguilera, 2007).

En este estudio, se utilizó el método de Kolmogorov-Smirnov, un test no paramétrico que permite probar si dos muestras provienen del mismo modelo probabilístico. Este test es válido para distribuciones continuas y sirve tanto para muestras grandes como para muestras pequeñas.

4.2.2. Materiales y métodos

El procesamiento de los datos se realizó a través del *software* EasyFit, el cual permite ajustar automáticamente las distribuciones a los datos de muestra y seleccionar el mejor modelo. El entorno integrado del programa incluye la administración y análisis de datos e informes, lo que permite organizar el trabajo y hacerlo más productivo. Adicionalmente, este *software* permitió visualizar gráficos de distribuciones y examinar sus propiedades, generar números aleatorios, calcular estadísticas descriptivas, aplicar modelos probabilísticos e identificar el mejor ajuste de los datos en base al método de Kolmogorov-Smirnov.

Como primer paso, se realizó un tratamiento inicial de la información disponible, permitiendo dividir los datos en dos períodos de tiempo, a saber, 1990-2020 y 2020-2050, de manera que fuera posible describir el comportamiento histórico, actual y proyectado de los caudales de la cuenca.



Luego, se procesaron los datos en el *software EasyFit*, creando gráficos de distribución de las variables (historiogramas) para cada mes del año según ambos períodos de tiempo. Posteriormente, se modelaron los datos a partir de los tres modelos probabilísticos descritos con anterioridad, donde se identificaron aquellos que tuvieran un mejor ajuste.

En base al modelo que se ajustara de mejor forma a la distribución de cada mes, se calcularon distribuciones de excedencia para 95%, 85%, 50% y 5%., identificando los caudales resultados de cada una de estas distribuciones, para cada mes, nodo y período de tiempo estudiado.

5. BALANCE DE AGUA

El balance de agua busca identificar las principales variables a considerar tanto como elementos de entrada al modelo, como también elementos de salida de este. Precisamente, la variable asociada a **entrada** para aguas superficiales es la precipitación; mientras que entre las variables de **salida** se considera la evapotranspiración real ($\text{hm}^3/\text{año}$), escorrentía ($\text{hm}^3/\text{año}$) y recarga ($\text{hm}^3/\text{año}$). Para aguas subterráneas, por su parte, se consideran recargas al acuífero y flujos de entrada; así como también extracciones y flujos de salida. Tanto para aguas superficiales como subterráneas, se calcula un balance asociado a las entradas del modelo.

El cálculo realizado tanto para el balance de aguas superficiales como subterráneas, considera la realización de tres tablas para cada una (según los tres períodos antes mencionados en la sección 4 Oferta de agua), donde se detalla el promedio anual de las variables de entrada y salida, junto con el incremento y la disminución de la humedad del suelo, como parte del balance total.

En el caso del balance subterráneo, los datos se basan en los resultados de la modelación en base a WEAP. Sin embargo, éste se trata de un modelo no acoplado, esto es, se tienen los resultados a partir de la modelación y luego son sistematizadas y recalculadas en el software Excel, para posteriormente realizar los cálculos finales que dan lugar a las tablas y la información que se muestra tanto en el balance superficial como subterráneo.

A. Balance superficial

Entradas

- Precipitación: Volumen de agua precipitado en la superficie total analizada
- Escorrentía: Volumen de agua que drena desde otro nodo aguas arriba

Salidas

- ET: Evapotranspiración definida como la evaporación de agua directa en la superficie sumada a la transpiración de la masa vegetal.
- Escorrentía: Volumen de agua que escurre a otro nodo o hacia el mar
- Recarga: Volumen de agua que se percola hacia el sistema subterráneo (acuífero)

Finalmente se calcula el error del balance según la diferencia entre las salidas menos las entradas dividido la precipitación.



B. Balance subterráneo

Entradas

- Recarga: Volumen de agua que se percola hacia el sistema subterráneo (acuífero), coincide con la recarga del balance superficial
- Flujo: Volumen de agua procedente de otro sector acuífero

Salidas

- Flujo: Volumen de agua saliente hacia otro sector acuífero
- Extracciones: Volumen extraído por acción humana

En el balance se incluye la variación de almacenamiento desde el inicio del periodo hasta el final del periodo, siendo el error de balance esta diferencia entre la recarga (entrada).

6. BRECHAS HÍDRICAS

Las brechas hídricas en la cuenca se identifican como resultado del diagnóstico de la línea base realizada para el presente estudio. Esta información es presentada según la estructura planteada para la formulación del plan, siendo aquellas las que se indican en la **Figura 6-1**.



Fuente: Elaboración propia

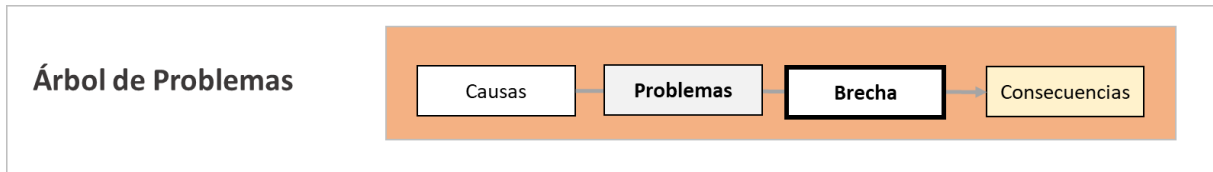
Figura 6-1 Ejes de la Planificación Estratégica

- **Seguridad Hídrica para las Personas:** Síntesis de la información levantada en el diagnóstico de la línea base en infraestructura hidráulica, demandas actuales y futuras en el consumo humano y saneamiento. Consiste en la provisión de agua para consumo humano y saneamiento, en cantidad, calidad y en la oportunidad requerida para un desarrollo adecuado a nivel individual y colectivo, ya sea en condiciones urbanas o rurales. Se realizó un análisis de la seguridad hídrica para las personas, en localidades urbanas abastecidas por la empresa sanitaria Nueva Atacama. No se identificó consumo de agua de tipo no urbano dentro de esta cuenca, ya que todas las localidades son abastecidas por la empresa sanitaria; y las

instalaciones mineras (como El Salvador), son abastecidas por las empresas mineras correspondientes.

- **Seguridad Hídrica para los ecosistemas:** Síntesis de la información levantada en el diagnóstico de la línea base en aspectos de la situación actual en los ecosistemas acuáticos y terrestres de la cuenca, así como los pasivos ambientales presentes. Se refiere a la provisión de agua y condiciones de protección, soporte territorial, estudio y otros para la mantención de los ecosistemas terrestres, acuáticos continentales y marinos presentes en la cuenca.
- **Seguridad Hídrica para las actividades productivas:** Síntesis de la información levantada en el diagnóstico de la línea base en demandas actuales de cada sector productivo (minería, agricultura, pecuario), estado de la infraestructura, proyecciones, limitaciones y desarrollo futuro para la satisfacción de la demanda de dichas actividades. Las actividades productivas que dependen de la provisión de agua en la cuenca corresponden principalmente al desarrollo minero, asociado a grandes faenas como CODELCO División Salvador, y otras de menor tamaño como la Planta de ENAMI en El Salado.
- **Seguridad Hídrica ante desastres socionaturales:** Síntesis de la información levantada en el diagnóstico de la línea base en los eventos socionaturales presentes en la cuenca.
- **Gestión institucional:** Síntesis de la información levantada en el diagnóstico de la línea base en el estado actual de la información en recursos hídricos, coordinación entre actores, gestión y fiscalización del recurso.
- **Gobernanza:** Síntesis de los antecedentes de implementación de una gestión integrada de recursos hídricos a nivel de cuenca.

Para la definición de las brechas se utilizó la metodología de Árbol de Problemas, con 4 conceptos: Causa, Problema, Brecha y Consecuencia (ver **Figura 6-2**).



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-2 Estructura árbol de problemas

Causa: Explicación natural o antrópica de la brecha definida

Problema: Definición de las condiciones de un conjunto de causas, esta puede tener una relación directa o indirecta con la causa.

Brecha: Diferencia entre la situación actual (problema) y la situación deseada u objetivo (plan)

Consecuencia: Efectos que derivan de un problema o varios problemas



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO G - SIG

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Anexo G. SIG

El Anexo G – SIG consta de una carpeta digital con el informe técnico G1 Proyecto SIG, donde se detallan los pasos metodológicos y prácticos seguidos para realizar los principales modelos y productos cartográficos incluidos en el Informe Ejecutivo y anexos correspondientes. Por otro lado, también se incluye el archivo en formato .xlsx Anexo G2 Diccionario, en el cual se muestran las bases de datos espaciales utilizadas, además de las definiciones correspondientes a cada una de las variables incluidas en el análisis de datos. A continuación, se muestra el índice del Anexo G.

Anexo G1. Proyecto SIG

Anexo G2. Diccionario



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO G1 – PROYECTO SIG

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A - NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Índice del Anexo G. SIG

| | Página |
|---|---------------|
| 1. PROYECTO SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)..... | 1-3 |
| 1.1. PRESENTACIÓN..... | 1-3 |
| 1.2. CONSIDERACIONES GENERALES Y ALCANCES DEL SIG..... | 1-3 |
| 1.2.1. SOFTWARE Y VERSIÓN UTILIZADA | 1-4 |
| 1.2.2. OBJETIVOS Y MODO DE USO DEL SOFTWARE EN ESTA CONSULTORÍA..... | 1-4 |
| 1.2.3. SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL..... | 1-5 |
| 1.2.4. SALIDA DE LA INFORMACIÓN: CREACIÓN DE MAPAS, CARTAS Y FIGURAS .. | 1-6 |
| 1.3. ESQUEMA DE PRESENTACIÓN DEL PROYECTO | 1-7 |
| 1.3.1. ESTRUCTURA DE LA INFORMACIÓN PRESENTADA | 1-7 |
| 1.3.2. ARCHIVOS GDB..... | 1-8 |
| 1.3.3. FUENTE PROCEDENCIA DE ARCHIVOS GDB | 1-10 |
| 1.4. DIRECTORIO SIG..... | 1-11 |



1. PROYECTO SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

1.1. Presentación

El siguiente documento comprende la descripción de la materialización de todos los productos y procesos cartográficos propios de un SIG, asociados a los resultados obtenidos de la descripción de la cuenca río Salado.

En específico, el Proyecto SIG presentado en esta etapa del Estudio, contiene los resultados de la descripción de la cuenca, logrando con esto un análisis descriptivo acabado entre las diferentes unidades territoriales y las variables asociadas a la gestión hídrica.

1.2. Consideraciones Generales y Alcances del SIG

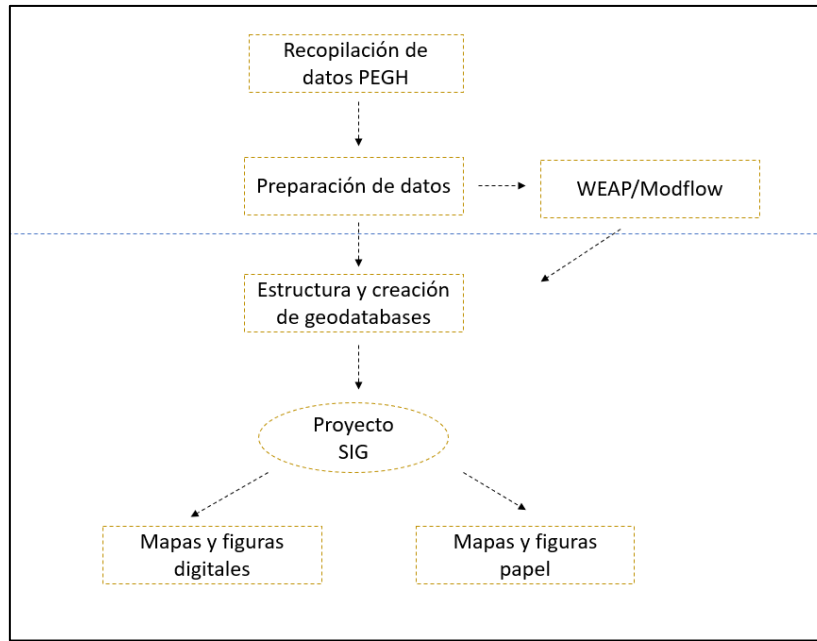
La Dirección General de Aguas, para lograr sus diferentes funciones, utiliza diversos instrumentos de desarrollo e investigación, siendo uno de estos el trabajo y la entrega de información en formato SIG; el cual tiene como fin ser una herramienta de análisis geoespacial y producción de cartografía en temáticas hídricas, así como también ser utilizada para la toma de decisiones.

Es por ello que, a continuación, se presentan las consideraciones utilizadas para el trabajo en SIG en este Estudio: sus alcances, objetivos, esquematización y presentación de la información normalizada y estandarizada, con el fin de que los datos sean de rápida manipulación e interpretación por parte de quien la reciba y utilice en un equipo DGA.

Los pasos para la confección del producto SIG de este Estudio consideró las siguientes etapas:

- Recopilación y sistematización de los resultados del proyecto.
- Creación de árbol de directorios y ordenamiento de los resultados obtenidos desde las diferentes áreas.
- Estructuración del proyecto SIG para compatibilidad con ArcGIS v10.2 y generación de geodatabases.
- Creación de cartografía (en su mayoría infografías) en formatos: *.mxd (de almacenaje propio de información del software ArcGIS), *.jpg y *.pdf (de salida y visualización).
- Presentación de resultados en formato digital (en dispositivo de almacenamiento) y formato papel (para imprimir e impresos) de un tamaño mayor a carta y que lo requiera el Proyecto.

La **Figura 1-1** esquematiza los procedimientos SIG detallados anteriormente.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-1 Procedimientos SIG utilizados en el Estudio

1.2.1. Software y versión utilizada

Se ha trabajado en ArcGIS versión 10.2. Asimismo, para este Estudio se utilizó para la generación, análisis y entrega de la información en "feature class" a través de geodatabase. Estos son archivos que permiten reunir un conjunto de "Datasets" geográficos contenidos dentro de una carpeta común. Esto, con el objetivo de administrar y ordenar de manera idónea toda la información existente y que el usuario pueda navegar en esta fácilmente.

1.2.2. Objetivos y modo de uso del Software en esta Consultoría

Dada la naturaleza del Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca río Salado, se considera en sus objetivos generales y específicos el uso de SIG para la implementación de herramientas de análisis territorial como cartografías, mapas o figuras de las temáticas de estudio. Esto permite complementar la toma de decisiones y las políticas o planes a nivel de Estado, que se desarrollen en el futuro.



Gracias a los distintos procesos de edición de información dentro del *Software Arcgis*, se obtuvo una mayor cantidad de capas que permitieron mejorar la generación de datos para la cuenca río Salado, mejorando el enfoque de los datos entregados por las instituciones públicas de las cuales se extrajo esta información. Así, esta no solo puede servir como repositorio de capas geográficas, sino que permite la caracterización espacial, que es muy importante dentro de un plan de este tipo.

En este sentido, es que la información espacial presente dentro de este proyecto buscó el objetivo de acompañar lo descrito en los informes, y además permitir a los usuarios acceder de manera más cercana a la información, permitiendo mayor interacción.

Los usuarios tienen acceso a la información de esta consultoría a partir de la base de datos espacial que se entrega clasificada en temáticas, las cartografías en formato PDF y JPG, y el diccionario de datos, en caso de que se necesite revisar de manera expedita las capas utilizadas. En este sentido, es que el diccionario es la herramienta primaria para hacer consultas específicas y buscar la información directamente en el repositorio o en las cartografías.

1.2.3. Sistema de Referencia Espacial

Como requisito fundamental en este Proyecto SIG, toda la información entregada a la DGA debe estar georreferenciada. Por lo tanto, todos los *feature class* y geodatabases, fueron homogenizados y transformados a un sistema único de referencia espacial, el cual de acuerdo con la zona geográfica en que se encuentra la cuenca en estudio, corresponde a lo detallado en la **Tabla 1-1**:

Tabla 1-1. Sistema de Referencia Espacial utilizado en el Estudio

| | |
|------------------------------|-----------------------------------|
| Sistema de Proyección | Universal Transversal de Mercator |
| Coordenadas | X, Y (Este y Norte) |
| Huso | 19 sur |
| Datum | WGS 84 |

Fuente: Elaboración propia



1.2.4. Salida de la Información: creación de mapas, cartas y figuras

La información que permitió generar las infografías (mapas) que complementan el Estudio, corresponden a archivos *Feature Class* dentro de un *geodatabase*, recabados durante el proceso de descripción de la cuenca y materializados en cartografías través de archivos *.mxd. Todos estos archivos fueron editados y normalizados para que puedan ser abiertos sin impedimentos en cualquier equipo DGA.

Los elementos anexos de un mapa, ya sean tablas, gráficos u otros, fueron utilizados con el fin de complementar la información entregada en este, su diseño fue revisado con el fin de evitar algún tipo de saturación en el *layout*.

En aquellos casos que corresponde, en el análisis del proyecto y en los resultados se elaboraron cartografías bajo los términos estipulados entre las partes involucradas.

La configuración del tamaño de salida de mapas y figuras derivados de los archivos *.mxd y *layouts* correspondientes son entregados en los siguientes tamaños:

- Carta o tamaño menor, para mapas o figuras insertos en el informe

Todos los mapas y figuras de salida que son entregados en este estudio tienen una resolución de 300 DPI.

Cuando fue necesario utilizar archivos a nivel nacional, estos fueron normalizados a Huso 19 sur.



1.3. Esquema de Presentación del Proyecto

Se considera una carpeta SIG que organiza la información para que el usuario acceda fácilmente a la información, dada la gran variedad de tópicos que involucra la generación de resultados.

A continuación, se describen aquellos elementos SIG que se encuentran en la carpeta correspondiente:




















1. **Proyectos:** se encuentran en archivos *.MXD asociados a cada capítulo del informe.
2. **Mapas, Cartas y/o Figuras:** Exportaciones en formato *.jpg, y *.pdf de los proyectos *.mxd, por lo tanto, se estructuran de la misma manera que el punto anterior:
3. **Archivos GBD:** Geodatabase o Base de datos espacial que contiene los archivos vectoriales o ráster. Son los datos necesarios para que el proyecto SIG pueda ser representado visualmente por el usuario. Se presentan "*datasets*" temáticos que agrupan diversos "*feature class*" para el correcto entendimiento y representación.
4. **Diccionario de capas:** Adicionalmente se encuentra disponible el archivo diccionario. Con este el usuario puede hacer consultas de las capas que requiera.

Los archivos con un mayor peso son incluidos de manera comprimida en formato *.rar. Por lo tanto, es el usuario de la DGA quien debe identificar la capacidad de espacio en disco del equipo que utilice, y luego descomprimir los archivos para analizarlos como estime conveniente.

1.3.1. Estructura de la información presentada

Las cartografías del presente proyecto son utilizadas para generar infografías, que son el tipo de imagen donde se representaron las variables trabajadas o mencionadas en los distintos informes. Estas se encuentran ordenadas de acuerdo con el posicionamiento de cada una en los documentos. Se dispone en formato .ppt, pdf y jpg para el uso que se le quiera dar posterior a la presentación de estas.

A continuación, la **Figura 1-2** indica cada infografía que se ha trabajado en este estudio:

-  Figura 2-1 Cuencas de Estudio.mxd
-  Figura 2-2 Geomorfología.mxd
-  Figura 2-3 Mapa Geológico a escala 1_1.000.000.mxd
-  Figura 2-4 Grupos hidrológicos de Suelo (GHS).mxd
-  Figura 2-5 Hidrografía de la cuenca.mxd
-  Figura 2-6 Unidades de interés hidrogeológico cuenca Costeras e Isla entre los ríos Salado y Copiapó.mxd
-  Figura 2-7 Localidades principales dentro de la cuenca.mxd
-  Figura 2-13 Climas (Köppen).mxd
-  Figura 2-16 Uso del suelo.mxd
-  Figura 2-17 Pisos vegetaciones Cuenca Costeras e Islas Río Salado-Río Copiapó.mxd
-  Figura 2-18 Áreas protegidas y de relevancia ambiental.mxd
-  Figura 2-19 Tranques de relave.mxd
-  Figura 2-20 Plantas Desaladoras de Agua de Mar.mxd
-  Figura 2-21 Localización pozos de extracción.mxd
-  Figura 2-22 Estaciones Meteorológicas.mxd
-  Figura 2-23 Sectores de alto interés hidrogeológico.mxd
-  Figura 2-24 Plantas Desaladoras de Agua de Mar proyectadas.mxd
-  Figura 3-1 Demandas de agua en la cuenca (hm3_año).mxd
-  Figura 4-4 Volumen de acuíferos en la cuenca (Hm3).mxd

Fuente: Elaboración propia

Figura 1-2 Listado Infografías

1.3.2. Archivos GDB

El proyecto se presenta en una *Geodatabase* organizada en 12 "*Dataset*", en ellos se distribuye la información geoespacial utilizada tanto para el desarrollo de la cartografía, cartas y figuras, como para almacenar los archivos elaborados directamente por el Proyecto. La organización de la *Geodatabase* se muestra en la **Figura 1-3**.

-
- [-] 3_GDB
 - [-] CARTA_BASE.gdb
 - [+] CARTA_BASE
 - [+] DEMOGRAFIA
 - [+] DPA
 - [+] DEM
 - [+] HILLSHADE
 - [+] RELIEVE_NACIONAL
 - [-] DGA.gdb
 - [+] CUENCAS
 - [+] DERECHOS
 - [+] RED_HIDROMETRICA
 - [-] GDB_PLAN.gdb
 - [+] CARTA_BASE_MODIFICADAS
 - [+] DGA_MODIFICADAS
 - [+] INFRAESTRUCTURA
 - [+] MEDIO_AMBIENTE
 - [+] MODELO
 - [+] PAC

Fuente: Elaboración propia

Figura 1-3 Estructura Geodatabase

Todas las coberturas utilizadas para la elaboración del componente SIG presentan el sistema de referencia UTM WGS84 Huso 19 sur, tal como se detalla en el numeral 1.2.3.

1.3.3. Fuente procedencia de archivos GDB

Los archivos utilizados para la generación de información territorial dentro del presente proyecto tienen distintas fuentes de origen. A continuación, se describe cada uno de los "Dataset" y la fuente primaria de datos.

En la GDB carta base, se encuentran "feature class" de límites regionales, provinciales, comunales, además de la división político-administrativa, desde IDE CHILE y DGA. Además, se encuentran disponibles archivos de anotaciones utilizados en cartografías que son realizados por el consultor.

En GDB DGA, se encuentran disponibles aquellos archivos que tienen como origen una fuente primaria DGA.

En GDB PLAN, se encuentran disponibles aquellos archivos que corresponden a las capas utilizadas durante el transcurso del estudio. Se incluyen los siguientes datasets en la **Figura 1-4**:

- [-] GDB_PLAN.gdb
 - [+] CARTA_BASE_MODIFICADAS
 - [+] DGA_MODIFICADAS
 - [+] INFRAESTRUCTURA
 - [+] MEDIO_AMBIENTE
 - [+] MODELO
 - [+] PAC

Fuente: Elaboración propia

Figura 1-4 Listado Datasets GDB PLAN

En el DATASET carta base modificada se incluyen aquellos "feature class", que han sido modificados desde el GDB carta base. Se han ido cambiando debido a requerimientos en cartografías, datos o estructuración del plan.

En el DATASET DGA modificadas se incluyen archivos que, al igual que en carta base modificada, se han debido transformar por diversas razones, pero en este caso la fuente principal es la DGA.

En el DATASET Infraestructura se insertan todos aquellos "feature class", correspondientes a la categoría de infraestructura, industria o similares. Entre los archivos que existen dentro de este se encuentra la red vial, faenas mineras, plantas desaladoras, entre otros.



En el DATASET Medio Ambiente, se adjuntan aquellos "*feature class*", que hacen referencia a temáticas medio ambientales, como climas, pisos vegetacionales y unidades geológicas.

En DATASET modelo, se insertan aquellos archivos geospaciales que se trabajaron para desarrollar las tareas hidrogeológicas que se han planteado en este estudio.

Si se desea consultar con mayor detalle la fuente de cada archivo, estas se encuentran disponibles dentro del diccionario de capas del presente proyecto.

1.4. Directorio SIG

A continuación, la **Figura 1-5** muestra el árbol del directorio SIG, un diagrama que permite identificar claramente la forma en la que está organizado el directorio de los proyectos SIG, las capas de información y las cartografías incluidas en el informe ejecutivo. De esta forma, el orden interno de este directorio permite definir una estructura para el uso correcto de las capas de información, en caso de que cualquier usuario requiera de su utilización. Cualquier modificación en dicha estructura, afectará en el orden interno del directorio y, por consiguiente, éste carecerá de coherencia y podría verse afectado su normal funcionamiento.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-5 Árbol de Directorio SIG



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

**ANEXO H
MODELOS HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO**

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N° 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021

Índice del Anexo H. Modelos Hidrológico e Hidrogeológico

Página

| | | |
|-----------|--|-------------|
| 1. | INTRODUCCIÓN | 1-4 |
| 2. | MODELO CONCEPTUAL | 2-5 |
| 2.1 | Modelo Hidrológico Conceptual Superficial | 2-5 |
| 2.2 | Modelo Hidrológico Conceptual Subterráneo..... | 2-6 |
| 2.2.1 | Campañas geofísicas | 2-8 |
| 2.2.2 | Basamento | 2-9 |
| 2.2.3 | Sectores Acuíferos..... | 2-10 |
| 2.2.4 | Propiedades hidrogeológicas | 2-12 |
| 2.2.5 | Nivel estático | 2-13 |
| 2.2.6 | Pozos y captaciones..... | 2-14 |
| 2.2.7 | Condiciones de borde..... | 2-14 |
| 2.2.8 | Flujos entre sectores acuíferos | 2-16 |
| 2.2.9 | Comentarios Adicionales sobre Dinámica Regional | 2-19 |
| 2.2.10 | Modelo en Surfer..... | 2-20 |
| 3. | MODELO HIDROLÓGICO NUMÉRICO | 3-23 |
| 3.1 | Cauces Superficiales | 3-23 |
| 3.2 | Subcuencas Superficiales | 3-24 |
| 3.3 | Forzantes Meteorológicas | 3-30 |
| 3.3.1 | Forzantes meteorológicas período histórico (Abril 1985 - Marzo 2020) ... | 3-30 |
| 3.3.2 | Forzantes Meteorológicas período futuro (Abril 2020 - Marzo 2060)..... | 3-43 |
| 3.3.3 | Procesamiento de la Información Meteorológica | 3-50 |
| 3.4 | Demanda de Agua Potable Urbana..... | 3-53 |
| 3.5 | Demanda de Agua para Uso Agrícola | 3-54 |
| 3.6 | Demanda de Agua para Uso Minero | 3-54 |
| 3.7 | Otros suministros | 3-55 |
| 3.8 | Embalses | 3-56 |
| 3.9 | Centrales Hidroeléctricas | 3-56 |
| 3.10 | Sectores Acuíferos..... | 3-56 |
| 3.11 | Resumen esquemático modelo WEAP | 3-57 |
| 3.12 | Parámetros y Factores de ajuste | 3-61 |



| | | |
|--------|---|------|
| 3.13 | Calibración del Modelo | 3-65 |
| 3.14 | Balance Hídrico | 3-68 |
| 3.15 | Escenarios de gestión. | 3-74 |
| 3.15.1 | Reutilización de agua tratada PTAS Chañaral. | 3-74 |
| 3.15.2 | Cambio de fuentes de suministro de agua potable. | 3-78 |
| 3.16 | Brechas de la modelación Hidrológica..... | 3-82 |

Anexos

Anexo H - 1: Validación de la precipitación

Anexo H - 2: Validación de la precipitación acumulada

Anexo H - 3: Validación de la temperatura

Anexo H - 4: Modelo Hidrológico conceptual subterráneo en Surfer

Anexo H - 5: Modelo WEAP

Anexo H - 6: Resultados escenario base modelo WEAP

Anexo H - 7: Información capacitación

1. INTRODUCCIÓN

En el presente anexo se detalla todo lo referente a la modelación superficial y subterránea de la cuenca río Salado, tanto en el ámbito conceptual como en el numérico. En el Anexo H-7, se puede encontrar un apoyo audiovisual con todo el respaldo de la capacitación de modelación realizada como parte del desarrollo del presente estudio.

El modelo conceptual superficial se presenta de manera simple, mencionando las principales localidades de la cuenca y los cauces más importantes, que corresponden a cauces intermitentes que se activan solo cuando ocurren precipitaciones importantes.

Por otra parte, el modelo conceptual subterráneo se divide en una serie de subcapítulos, en los que se van individualizando y explicando cada una de las propiedades hidrogeológicas y geográficas que lo componen, y que podrían ser incluidas en un futuro modelo numérico subterráneo, tales como niveles estáticos, conductividad hidráulica, almacenamiento, etc.

También se describe el modelo numérico, que se lleva a cabo en la plataforma WEAP (*Water Evaluation and Planning System*) y que puede ser encontrado en el Anexo H-5 junto con el instalador de la versión de WEAP utilizada. Este software permite la modelación tanto superficial como subterránea de la cuenca, aunque se especializa en la componente superficial. Este modelo incluye los principales cauces superficiales presentes en la zona, considera subcuencas superficiales delimitadas mediante herramientas SIG y subdivididas en bandas de elevación y áreas por uso de suelo. Adicionalmente, se detalla la fuente de obtención de las distintas forzantes meteorológicas junto al procesamiento que se le ha dado especialmente a las forzantes meteorológicas de precipitación y temperatura, que consiste en una validación inicial de diversos modelos de precipitación y temperatura, la elección de un modelo para cada forzante, y la extracción de series de tiempo para toda el área de la cuenca, que son utilizados como información de entrada para el modelo en WEAP. Asimismo, se detallan demandas de agua relevantes en la cuenca, tales como demanda de agua para consumo humano e industrial (minero). La calibración del modelo se realiza tomando en cuenta diferentes criterios dada la escasa disponibilidad de información en la cuenca.

Posteriormente, se entrega un balance hídrico de la cuenca, presentado a nivel de nodos tanto superficiales como subterráneos, que incluye las entradas y salidas consideradas en el modelo.

Para finalizar, se presenta la estructura y resultados de los escenarios de gestión, que se basan en la reutilización de agua tratada para un predio agrícola, y la adición de nuevas fuentes de agua para abastecer las localidades de la cuenca.

2. MODELO CONCEPTUAL

2.1 Modelo Hidrológico Conceptual Superficial

La cuenca río Salado se ubica en la zona norte de la región de Atacama, extendiéndose con una superficie de aproximadamente 7.600 km² sobre las zonas de la cordillera de Domeyko, Depresión Intermedia y cordillera de la Costa. Corresponde a una cuenca exorreica, que luego de tener su nacimiento en la cordillera de Domeyko, desarrolla su flujo de manera general en dirección oeste, desembocando en el océano Pacífico cerca de la localidad de Chañaral. En su extremo norte, la cuenca río Salado limita con la cuenca Costeras Quebrada Pan de Azúcar – Río Salado, mientras que en su margen este limita con las cuencas endorreicas ubicadas entre la frontera internacional con Argentina y la Vertiente del Pacífico, que se ubican en las zonas de la Cordillera de Los Andes y el Altiplano. Por último, en su margen sur, la cuenca río Salado limita con la cuenca del río Copiapó y otras cuencas costeras menores. El territorio pertenece a las comunas de Chañaral y Diego de Almagro.

El clima de la cuenca es desértico, presentando precipitaciones escasas que, de acuerdo con los registros medios anuales de las estaciones de la cuenca y cercanas a esta, están dentro del rango de 9 a 48 mm anuales, aproximadamente (DOH, 2020). La porción superficial de las aguas que precipitan dentro de la cuenca escurre en dirección este-oeste a través de los principales cauces superficiales, y desemboca finalmente en el océano Pacífico. Se destaca que los cauces son intermitentes, activándose únicamente cuando precipita de manera importante en la cuenca, eventos que suceden con baja frecuencia (GORE Atacama, 2019). Dentro de los principales cauces de la cuenca, tal como se puede ver en la **Figura 2-1**, se pueden mencionar el río Salado y las quebradas de Las Salinas, Chañaral Alto, de La Angostura, Saladito y Las Ánimas.

En el último tiempo, se destacan dos eventos de precipitación importantes, ocurridos en los años 2015 y 2017. En estos eventos se generaron aluviones afectando a las principales localidades que se encuentran contiguas a los cauces, como Diego de Almagro, El Salado y Chañaral (DOH, 2020). Dentro de la cuenca se ubican además las localidades de Inca de Oro y El Salvador, las que se pueden observar en la **Figura 2-1**.

Todas las localidades ubicadas en la cuenca son abastecidas desde fuentes subterráneas. En el caso de Chañaral, su abastecimiento de agua proviene de una aducción desde pozos ubicados en la cuenca del río Copiapó (aducción sistema Caldera-Chañaral); por otra parte, Inca de Oro y El Salado cuentan con pozos propios ubicados en la cuenca río Salado, mientras que El Salvador es abastecida desde pozos ubicados en el sector del Salar de Pedernales, ubicados fuera de la cuenca, al noreste de esta.

Se cuenta con una estación meteorológica de la DGA dentro de la cuenca: estación Las Vegas (Código BNA: 03210001-5). No existen estaciones fluviométricas, por lo que el monitoreo sistemático de caudales no se encuentra disponible.

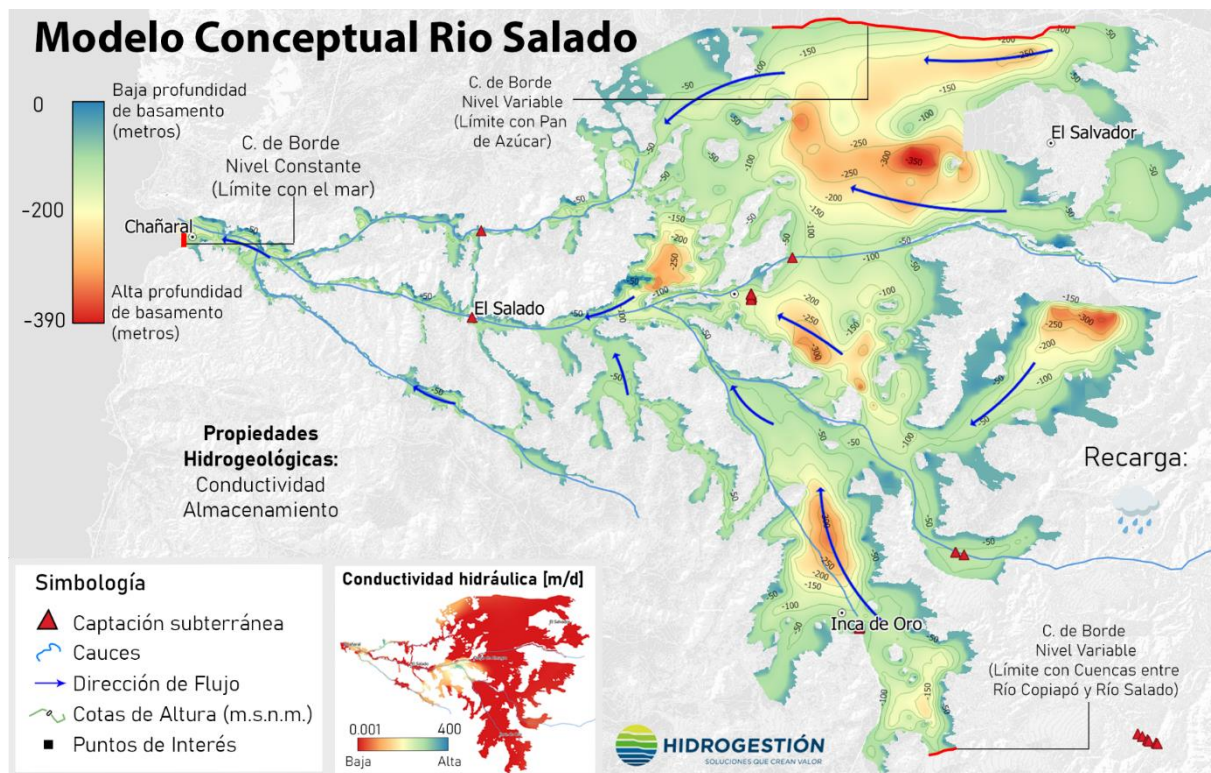


Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-1. Cauces y localidades principales en cuenca río Salado

2.2 Modelo Hidrológico Conceptual Subterráneo

A continuación (ver **Figura 2-2**), se dan detalles del modelo hidrogeológico conceptual desarrollado para el acuífero de la cuenca río Salado. Un modelo realizado en el software Surfer ha sido incluido en el Anexo H-4 de este estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-2. Modelo Conceptual río Salado

El acuífero de la cuenca río Salado es un sistema hidrogeológico de mediana extensión. En el sector oriente está constituido por varios valles fluviales y aluviales antiguos poco continuos entre sí, con una pendiente en dirección oeste. Al llegar a la cordillera de La Costa, estos caudales confluyen en estrechos valles fluviales que siguen su camino hasta llegar a la desembocadura en el mar cerca de la localidad de Chañaral. De estos, el más importante es el valle del río Salado, que le da nombre a la cuenca.

Se sostiene la hipótesis de que la cuenca de estudio tiene una condición de pluviometría anual muy baja, en consecuencia, la recarga natural superficial es muy baja o nula, debiendo esta realidad reflejarse en una condición de inexistencia de recursos de agua subterránea significativos, lo que no se condice con la realidad de las captaciones existentes, su capacidad productiva y el comportamiento del acuífero frente a las extracciones reales en el tiempo. En consecuencia, es lógico pensar y considerar como fuente de recarga natural de los acuíferos de la meseta intermedia y las cuencas costeras, la existencia de interconexión entre estas zonas y los sectores de las mesetas cordilleranas o las altas cumbres, donde sí existe una pluviometría significativa y presencia de nieve como un regulador de agua sólida que recargar los acuíferos y que escurre desde el oriente hacia el poniente, alimentando de aguas subterráneas las zonas más bajas, en un territorio marcado por numerosas fallas geológicas y formado desde sus orígenes como consecuencia

de grandes movimientos tectónicos y eventos volcánicos, de materiales granulares que subyace a un importante espesor de roca que lo confina, y que puede constituir una gran fuente de recarga a las zonas más bajas hacia el territorio costero por conexión subterránea y permeabilidades poco conocidas o evaluadas. Estas eventuales conexiones a través de fallas, del acuífero de la cuenca del Salado con el acuífero de la cuenca aguas arriba ubicado en la cordillera de Los Andes, podrían ser corroboradas en estudios futuros.

Para plasmar esta idea en algo más concreto se requiere entonces una modelación hidrológica subterránea, que comprenda la simulación de las características del recurso hídrico de los acuíferos en la cuenca, que en la práctica se traduce en la interpretación de la **interacción de estos recursos con los diferentes componentes de recarga y descarga de agua** repartidos espacialmente en unidades hidrogeológicas. Tal modelo queda fuera de los alcances de este trabajo puesto que no se cuenta con mediciones necesarias de nivel para comprobar el buen funcionamiento de un modelo de estas características. Sin embargo, en este documento se sientan las bases (i.e. se crean los principales archivos de entrada) para realizarlo si así se decidiese en el futuro.

Este hipotético modelo debe intentar representar lo mejor posible los flujos subterráneos en la zona del río Salado, por lo que el objetivo es incluir el mayor porcentaje de la cuenca que tenga un flujo y relleno significativo para obtener un buen resultado.

Luego, para elaborarlo es necesario tener un conocimiento base de las características del acuífero. Razón por la cual se llevan a cabo campañas geofísicas en terreno, tanto de gravimetría como de transiente electromagnético (TEM) para recopilar antecedentes de la zona de estudio, se hacen análisis de pozos existentes, y se estiman parámetros hidrogeológicos clave.

2.2.1 Campañas geofísicas

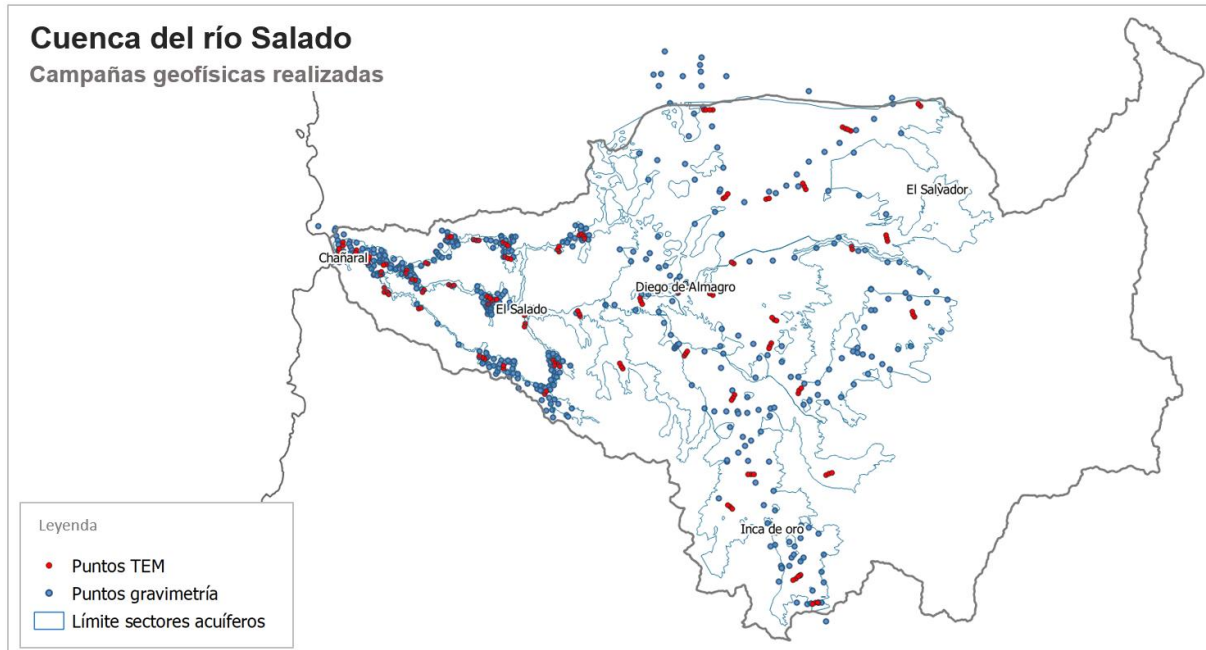
Dos campañas geofísicas se llevaron a cabo en este estudio, de las que se pueden encontrar detalles en el anexo K, secciones 2.2, 2.3 y 2.4 para el diseño de la campaña de gravimetría, TEM y resultados de ambas, respectivamente.

La campaña de gravimetría tiene como objetivo conocer la geometría del acuífero en general de la cuenca, con miras a la elaboración de un plan de gestión. Esta consiste en hacer mediciones de la variación de densidad en puntos específicos del terreno para identificar los **límites del relleno sedimentario** de la cuenca. En esta campaña se realizaron varios perfiles distribuidos tanto en la depresión intermedia como en los valles de la cordillera de La Costa.

Por otra parte, en paralelo a la campaña de gravimetría, se realizó una de transiente electromagnética (TEM), que mide la resistividad electromagnética del subsuelo. Esta herramienta puede dar cuenta de los cambios del suelo en subterráneo, por lo que sirve

como una segunda mirada a la profundidad del basamento, además de ser una base para estimar un primer acercamiento de la **permeabilidad** del acuífero y una aproximación del **nivel estático** de las aguas subterráneas.

Las estaciones de gravimetría y TEM medidas en terreno se observan en la **Figura 2-3**.

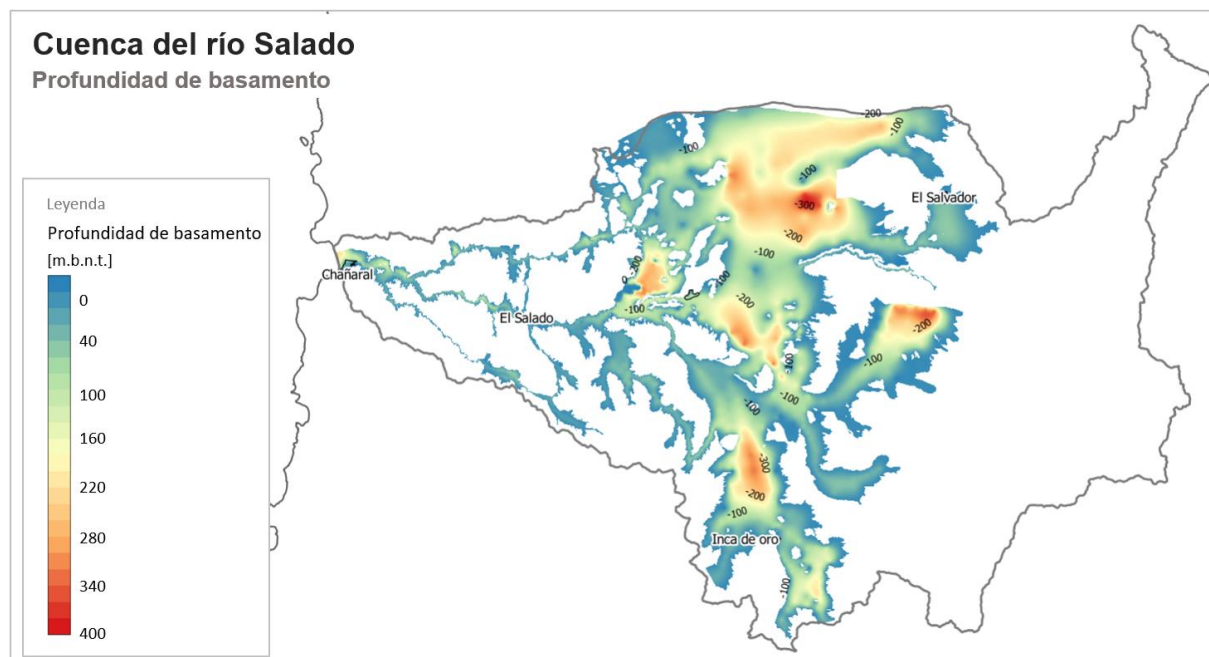


Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-3. Campañas geofísicas realizadas

2.2.2 Basamento

En base a las campañas geofísicas antes mencionadas, se calculan las profundidades del basamento en todos los puntos de medición (ver **Figura 2-4**). A partir de estos valores de profundidad se hace entonces una interpolación a través del método Kriging, estimando de esta forma el volumen y los límites en el espacio del acuífero. Más detalles se pueden encontrar en el anexo K, sección 2.4.1 de este informe.



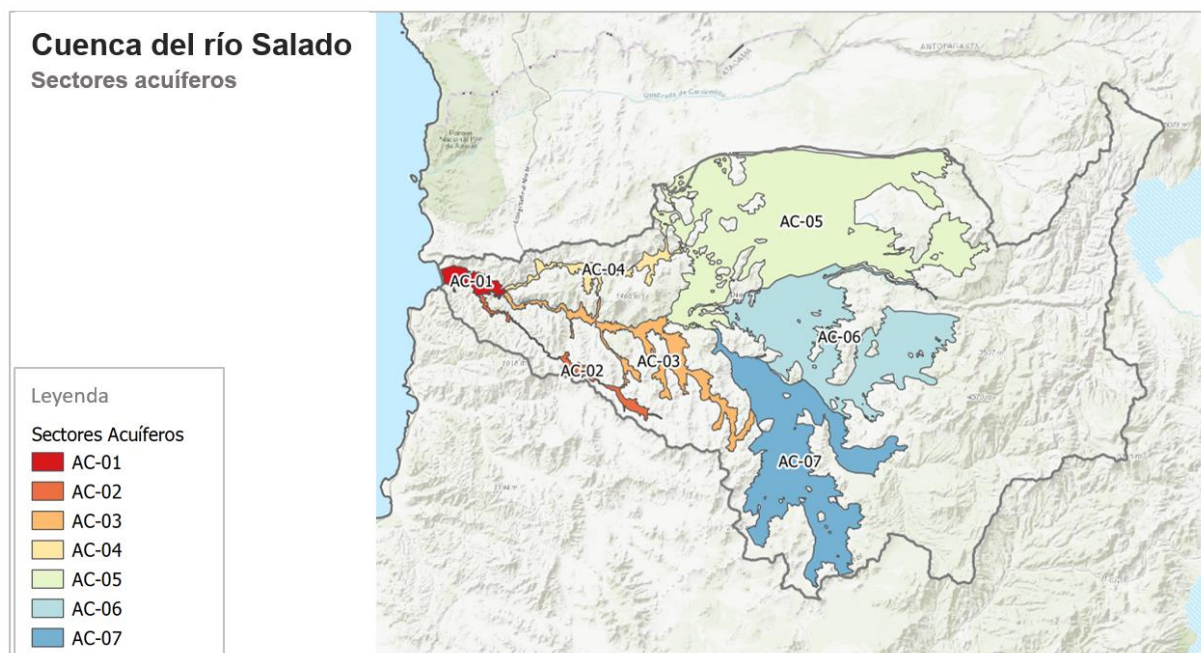
Fuente: Elaboración propia

Figura 2-4. Profundidad de basamento en metros

2.2.3 Sectores Acuíferos

En conjunto con la creación del basamento, se realiza un análisis de la subdivisión del acuífero, pudiendo así delimitar las distintas unidades hidrogeológicas que componen el acuífero mayor de la cuenca. Para hacer esto se tomaron en cuenta las separaciones en profundidad observadas a través de la gravimetría, el área de conexión entre cuencas, la geometría de la subcuenca que la contiene y la geología.

En total se dividió el acuífero en 7 unidades hidrogeológicas (ver **Figura 2-5**), las que sectorizan e intentan representar el comportamiento del agua en subsuperficie en una forma ordenada y más fácil de manejar. Más detalles se pueden encontrar en el anexo K de este informe, sección 2.4.2.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-5. Sectores acuíferos

Junto a esto, se calcula el volumen stock inicial disponible en los distintos acuíferos (ver **Tabla 2-1**). Este volumen se determina tomando la diferencia entre el nivel estático y el basamento, y luego multiplicándolo por el coeficiente de almacenamiento promedio del acuífero (**Figura 2-7**).

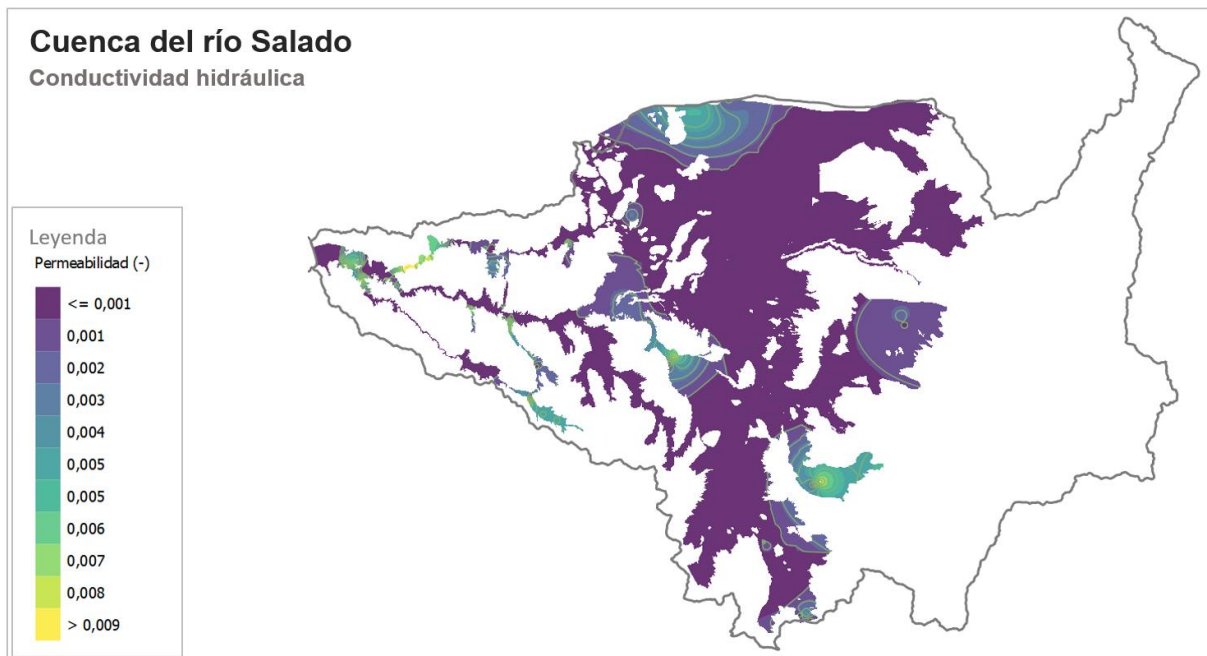
Tabla 2-1. Volumen stock en sectores acuíferos de la cuenca río Salado

| Acuífero | Coef. Almacenamiento Promedio del sector (-) | Volumen Stock (hm ³) | Espesor saturado promedio(m) |
|--------------|--|----------------------------------|------------------------------|
| AC-01 | 0,106 | 208,3 | 66 |
| AC-02 | 0,103 | 72,1 | 23 |
| AC-03 | 0,102 | 311,3 | 30 |
| AC-04 | 0,108 | 109,5 | 30 |
| AC-05 | 0,1 | 10.547,7 | 109 |
| AC-06 | 0,1 | 4.123,9 | 107 |
| AC-07 | 0,103 | 3.464,6 | 89 |
| Total Cuenca | | 18.837,4 | |

Fuente: Elaboración propia.

2.2.4 Propiedades hidrogeológicas

A partir del análisis de pozos existentes en la zona y de los resultados de la campaña de TEM, se estima una conductividad hidrogeológica de los diferentes acuíferos mencionados. Para calcularla se hace una correlación entre los valores de resistividad y el tipo de material que se le asigna a esta. Luego, usando la distribución de resistividades mostradas en los perfiles TEM se hace una regresión lineal, asignando un valor promedio para todo el espesor del acuífero bajo el perfil correspondiente (ver **Figura 2-6**). En el anexo K, sección 2.4.3 se pueden observar más detalles respecto a las propiedades hidrogeológicas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-6. Conductividad hidráulica

Para el caso del almacenamiento (**Figura 2-7**), y ya que no se tiene acceso a ningún tipo de prueba en terreno sobre la hidrogeología, se hace una correlación lineal con los valores de permeabilidad para estimarla, puesto que en general estas 2 propiedades tienen un comportamiento similar.



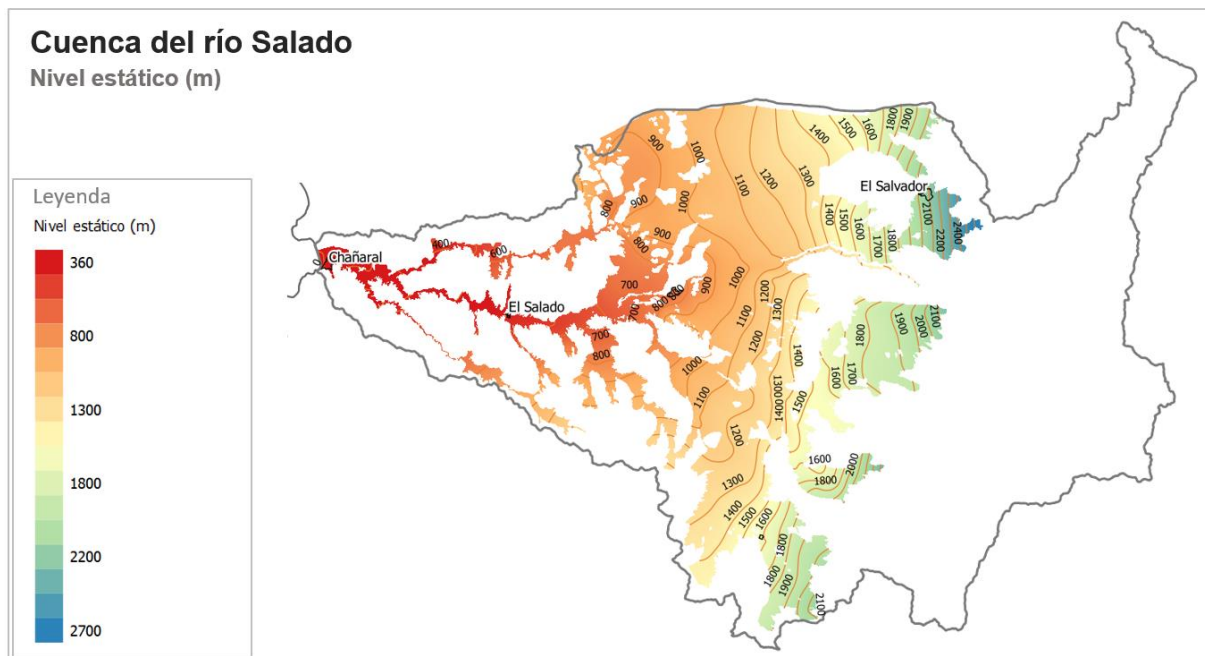
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-7. Coeficiente de almacenamiento en el acuífero de la cuenca río Salado

2.2.5 Nivel estático

El nivel estático es uno de los principales datos de entrada para una modelación correcta, pues nos da el estado inicial del agua en el acuífero y, por lo tanto, el volumen disponible del recurso. Para aproximar el nivel estático se utilizaron los perfiles obtenidos desde la campaña TEM, dado que estos perfiles suelen mostrar un cambio brusco de resistividad a la profundidad en que el estrato comienza a saturarse con agua. Más detalles acerca de la obtención del nivel estático se pueden observar en el anexo K, sección 2.4.4.

Dado que estos perfiles entregan solo un dato puntual del nivel en donde se llevan a cabo las pruebas, se aplica el método de interpolación de Kriging para obtener el nivel en forma de ráster continuo en el espacio (ver **Figura 2-8**).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-8. Nivel estático con curvas de nivel.

2.2.6 Pozos y captaciones

Debido a que la cuenca es una zona desértica de escasos recursos hídricos, baja población y sin actividad agrícola importante, no se cuenta con una cantidad significativa de captaciones subterráneas. En la **Figura 2-9** se ubican los pozos y norias que se pudieron encontrar en la cuenca.

2.2.7 Condiciones de borde

Entre los parámetros de un modelo hidrogeológico se encuentran las condiciones de borde, que representan el valor de algún flujo de entrada y salida o nivel conocido, a los que el resto del modelo están supeditados. Para el caso de este modelo esta condición se aplica a las 3 conexiones de entrada o salida conocidas: el océano, la conexión subterránea con el acuífero limitante al norte y al sur.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-9. Captaciones subterráneas de la cuenca

En el caso del límite con el acuífero al norte de la cuenca, no se tiene una idea clara sobre el comportamiento del nivel, la dirección de flujo, o las características hidrogeológicas de la zona debido a que no hay ningún tipo de medición histórica en el sector, por lo que se impondrá como condición de **nivel constante** un valor estimado a partir de la capa de nivel estático basada en los perfiles TEM. Esta idea se hace más fuerte cuando se tiene en cuenta que hay poca actividad subterránea y escasa recarga superficial en estas cuencas, lo cual hace más probable que este nivel tenga poca variación en el tiempo. Con respecto a la conexión con el acuífero al sur (cuencas costeras entre río Salado y Copiapó), también se tiene una condición de borde de nivel constante, asociado al nivel estático calculado en este trabajo.

Para el caso del nivel del mar, este se asigna como una condición de nivel estático igual a 0 m.s.n.m. A continuación, la **Figura 2-10** muestra las condiciones de borde de la modelación.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-10. Ubicación de las condiciones de borde

2.2.8 Flujos entre sectores acuíferos

Se debe tener en cuenta que el agua subterránea, al igual que la superficial, siempre está fluyendo de acuerdo con las propiedades físicas del acuífero en que se encuentra, por lo tanto, en los límites entre un acuífero y otro hay un flujo constante del recurso. Para abordar este parámetro e ingresarlo al modelo, se hace una **estimación** de los flujos entre los distintos sectores acuíferos definidos en la modelación de la cuenca a partir de la ecuación de Darcy, que se presenta a continuación. Estos valores representan caudales que constantemente están pasando en las conexiones.

$$Q = \frac{K \cdot A}{x} (h_o - h)$$

Donde:

Q : Caudal circulante en la conexión (m^3/s)

K : Permeabilidad de la sección transversal de la conexión (m/s)

A : Área transversal de la conexión (m^2)

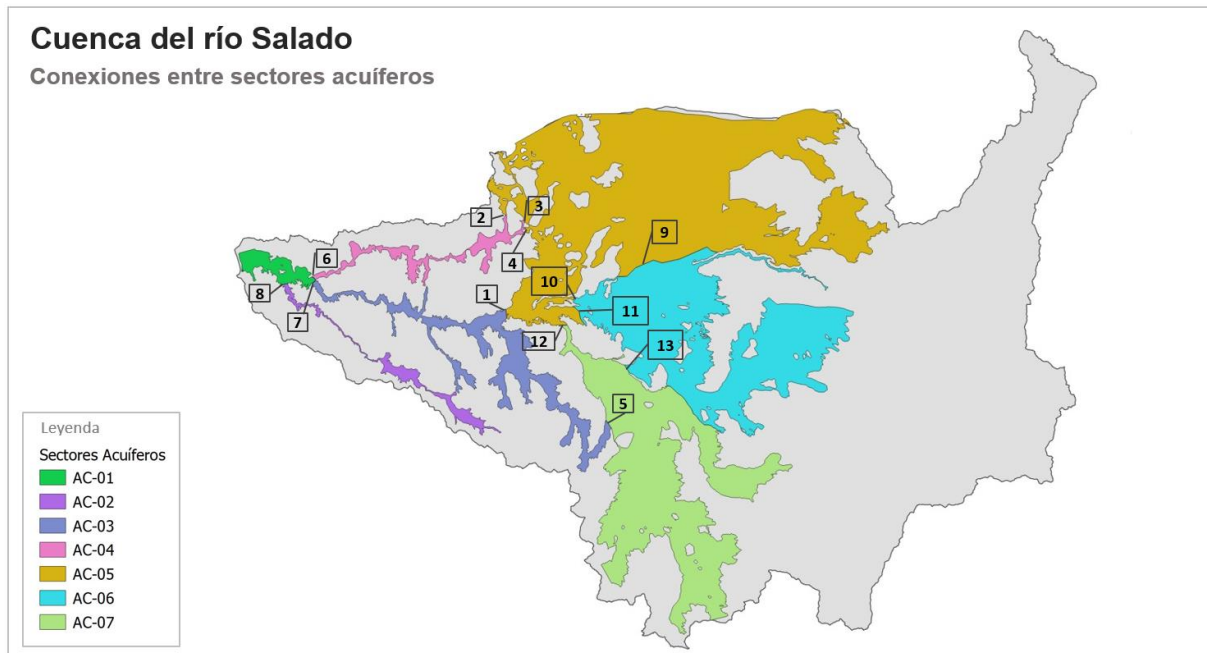
h_o : Nivel del agua aguas arriba de la conexión (m s.n.m.)

h : Nivel del agua aguas abajo de la conexión (m s.n.m.)

x : Distancia entre el lugar con nivel de aguas h_o y el lugar con nivel de aguas h (m)

Además, se realiza el cálculo con apoyo en las isohipsas, que delimitan sectores según los niveles estáticos. En la conexión 9, estas curvas se posicionan de norte a sur, es decir, el flujo se desarrolla en sentido este-oeste. Por lo tanto, entre los sectores acuíferos delimitados por la conexión 9 no existe flujo.

Las conexiones principales en las que se ha calculado el flujo subterráneo se detallan en la **Figura 2-11**, mientras que en la **Tabla 2-2** se observa el caudal que se estima circula a través de estas conexiones.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-11. Conexiones subterráneas entre sectores acuíferos en los que se ha estimado el flujo subterráneo

Tabla 2-2. Caudales subterráneos estimados en las conexiones

| Conexión | Caudal subterráneo en la conexión (m³/s) |
|-----------------|--|
| 1 | 0,038 |
| 2 | 0,00013 |
| 3 y 4 | 0,00039 |
| 5 | 0,00114 |
| 6 | 0,01309 |
| 7 | 0,00262 |
| 8 | 0,0467 |
| 9 | - |
| 10 | 0,02505 |
| 11 | 0,02371 |
| 12 | 0,02469 |
| 13 | 0,01114 |

Fuente: Elaboración propia.

Estos caudales se utilizan como primera referencia para la modelación hidrológica en WEAP, y corresponden al caudal que actualmente pasa a través de las conexiones (estimados a partir de la campaña TEM). Sin embargo, dado que provienen de un cálculo con errores inherentes (capas de nivel estático y conductividades estimadas a partir de interpretación de campaña TEM, ver Anexo K, secciones 2.4.3 y 2.4.4), en la modelación se modifican y se considera que el caudal en las conexiones incluye además la recarga subterránea que se produce en cada sector, de forma que los volúmenes modelados de los sectores acuíferos tengan una evolución temporal razonable. Durante la modelación estos caudales se modifican dentro de un rango dado por las permeabilidades máximas y mínimas del tipo de suelo asociado a cada perfil (más detalle se encuentra en el Anexo K, sección 2.4.3), que se puede observar en la **Tabla 2-3**, sin embargo, se mantienen dentro del orden de magnitud obtenido en la **Tabla 2-2**.

Tabla 2-3. Rango de caudales potenciales en conexiones subterráneas

| Conexión | K perfil (m/d) | Tipo suelo | Rango K (m/d) | Q min (m ³ /s) | Q max (m ³ /s) |
|----------|----------------|-------------|---------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 | 1,037 | Arena Fina | 1 a 5 | 0,0358 | 0,1791 |
| 2 | 0,062 | Limo | 0,01 a 1 | 2.E-05 | 0,0021 |
| 3 y 4 | 0,086 | Limo | 0,01 a 1 | 4.E-05 | 0,0045 |
| 5 | 0,048 | Limo | 0,01 a 1 | 0,0002 | 0,0237 |
| 6 | 2,502 | Arena Fina | 1 a 5 | 0,0052 | 0,0262 |
| 7 | 0,623 | Limo | 0,01 a 1 | 4.E-05 | 0,0042 |
| 8 | 6,881 | Arena Media | 5 a 20 | 0,0340 | 0,1359 |
| 9 | | | | | |
| 10 | 1,322 | Arena Fina | 1 a 5 | 0,0189 | 0,0947 |
| 11 | 0,890 | Limo | 0,01 a 5 | 0,0003 | 0,1329 |
| 12 | 2,699 | Arena Fina | 1 a 5 | 0,0091 | 0,0457 |
| 13 | 1,199 | Arena Fina | 1 a 5 | 0,0093 | 0,0465 |

Fuente: elaboración propia, basado en (SEA, 2012)

Destacan los valores obtenidos en las conexiones 1 y 8 como los más altos. Se debe principalmente a las áreas transversales tomadas como referencia para realizar el cálculo (en el caso de la conexión 1), y la alta permeabilidad de la zona (en la conexión 8).

2.2.9 Comentarios Adicionales sobre Dinámica Regional

Una vez se han terminado de crear todas las capas de información correspondientes a la cuenca y se tiene un entendimiento más completo de la cuenca a través de las campañas en terreno se puede hacer un resumen del funcionamiento conceptual de esta.

Esta corresponde a una cuenca de régimen pluvial, de escasa recarga superficial durante todo el año pero que, gracias a eventos poco recurrentes de precipitación y acumulación de nieve, logra mantener de todas formas un cierto caudal a través de sus cauces y un volumen subterráneo, lo que se puede comprobar a través de afloramientos muy localizados, la constante explotación de pozos subterráneos, y un nivel estático apreciable a través de las campañas en terreno.

Este volumen se concentra principalmente en las zonas con relleno sedimentario de la cuenca, como lo son la depresión intermedia, que, gracias al gran volumen de acumulación, es el sector con la mayor cantidad de recursos subterráneos de toda la cuenca, en especial las unidades hidrogeológicas en el norte de la cuenca, donde la profundidad de basamento puede llegar hasta los 390 m bajo la superficie.

Estos grandes acuíferos reciben los recursos desde el deshielo proveniente de zonas más altas al oriente de la cuenca, desde los cauces, desde pequeños afloramientos y

probablemente desde acuíferos vecinos de otras cuencas, y fluyen lentamente de forma subterránea para entrar en los acuíferos estrechos y poco profundos de la Cordillera de la Costa.

Estos volúmenes menores van luego avanzando en dirección poniente para desembocar hacia el litoral costero en Chañaral y luego al mar, siendo el principal aportante el valle de Río Salado.

2.2.10 Modelo en Surfer

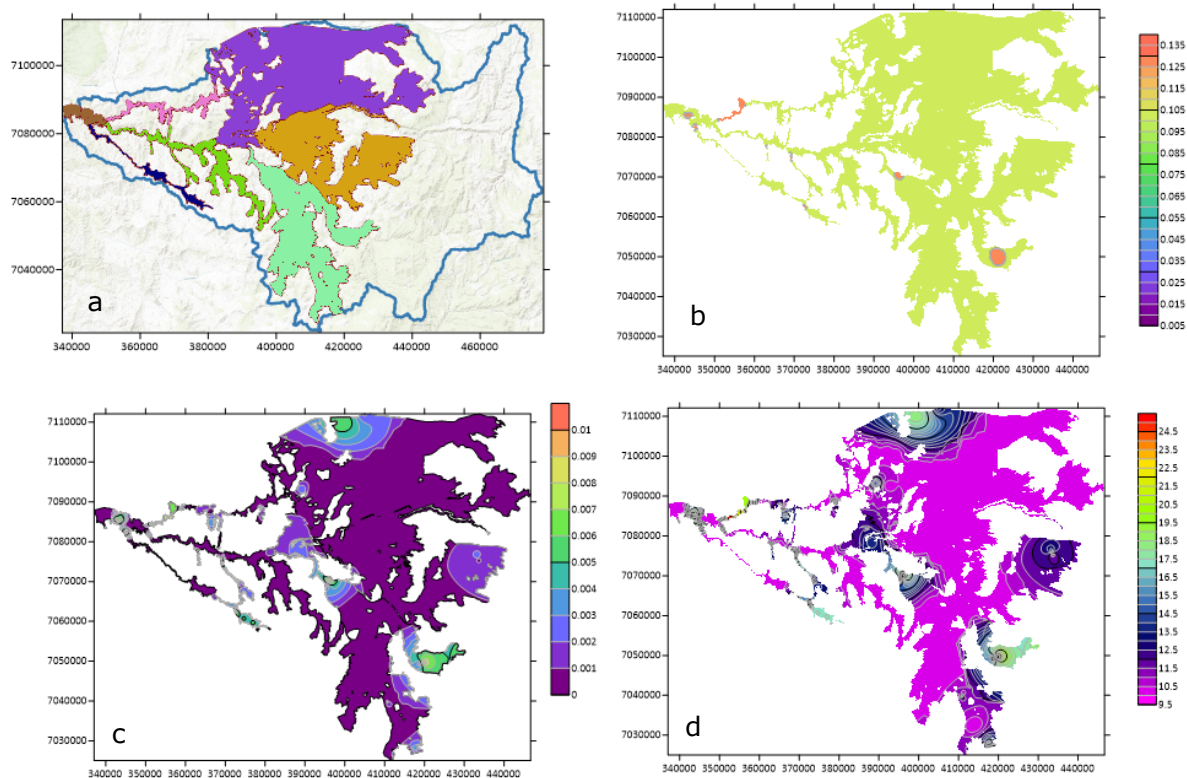
El modelo hidrológico subterráneo se presenta en el software Surfer (ver Anexo H-4). Este es un software ampliamente usado en distintas industrias, como la construcción, energía, medio ambiente y recursos hídricos. Permite de forma sencilla **visualizar, analizar datos y comunicar resultados**. Entre sus herramientas, se encuentra el poder crear distintos tipos de mapa, como mapas de contorno, de relieve, de puntos, en superficie 3D, entre otros. Además, incluye distintos algoritmos de interpolación para ser utilizados en datos XYZ. Otro aspecto a destacar es la opción de añadir mapas de base y combinar distintos tipos de mapas para crear la presentación más informativa posible.

La fuente de información utilizada para estos datos es la página web del software:
<https://www.goldensoftware.com/products/surfer>

En particular, para el modelo conceptual de Salado, se utilizó la topografía obtenida desde Global Mapper como mapa base. Se añadieron al proyecto las capas generadas en QGIS y ArcGis, que corresponden a:

- coeficiente de almacenamiento
- coeficiente de infiltración
- niveles estáticos
- permeabilidad
- profundidad del basamento

Estas capas se someten a un procesamiento en Surfer, en la que se interpolan los puntos para crear un área, escogiendo el mapa de contornos para una mejor visualización (ver **Figura 2-12**).



Fuente: Elaboración propia

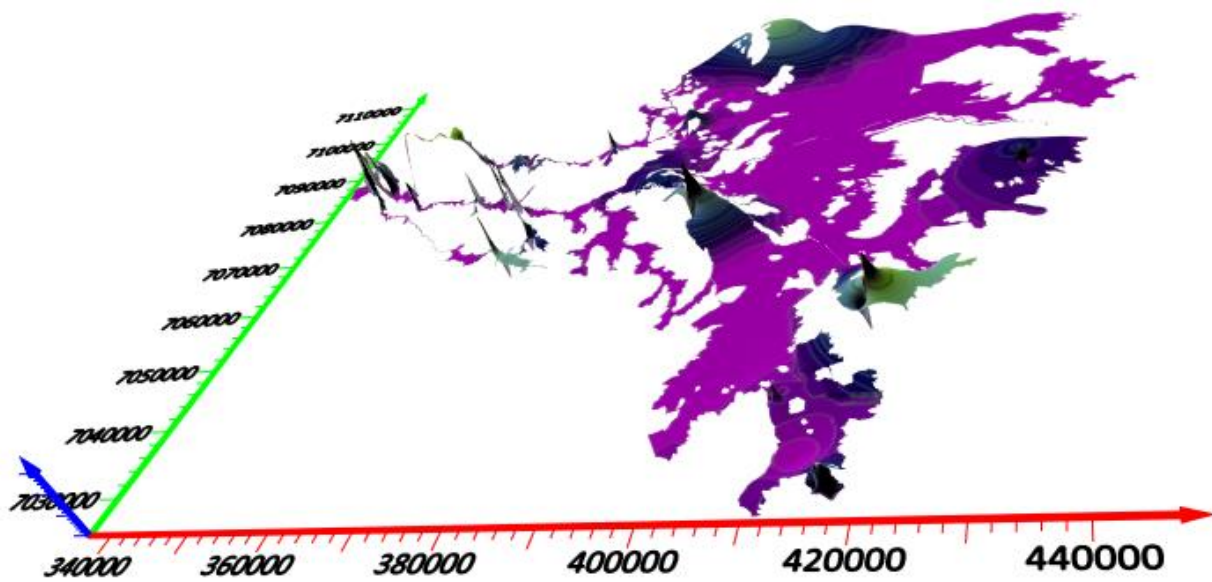
Figura 2-12. Visualización de capas interpoladas en software Surfer.

Nota: a) Sectores acuíferos Salado; b) Coeficiente de almacenamiento; c) Permeabilidad; d) Coeficiente de Infiltración

A su vez, se cargan las capas correspondientes a ubicación de pozos, estaciones TEM y estaciones gravimétricas en formato .shp. sobre el mapa base del contorno del acuífero.

Surfer permite modificar la escala de colores, añadir simbología y cuadros de textos en los mapas; todas estas herramientas se integran para lograr el mapa conceptual presentado en este informe.

A modo de ejemplo de la visualización en 3D, en la **Figura 2-13** se presenta la capa de permeabilidad en 3 dimensiones.



Fuente: Elaboración propia en software Surfer.

Figura 2-13. Visualización en 3D capa de permeabilidad.

3. MODELO HIDROLÓGICO NUMÉRICO

En el siguiente capítulo se hará descripción del modelo WEAP elaborado en este plan. Principalmente, se describe la información que se ingresó como insumo, cómo se representan y añaden al modelo los elementos hidrológicos como ríos, acuíferos, las forzantes meteorológicas utilizadas, entre otras características, lo que se explica en cada subcapítulo para los diversos elementos.

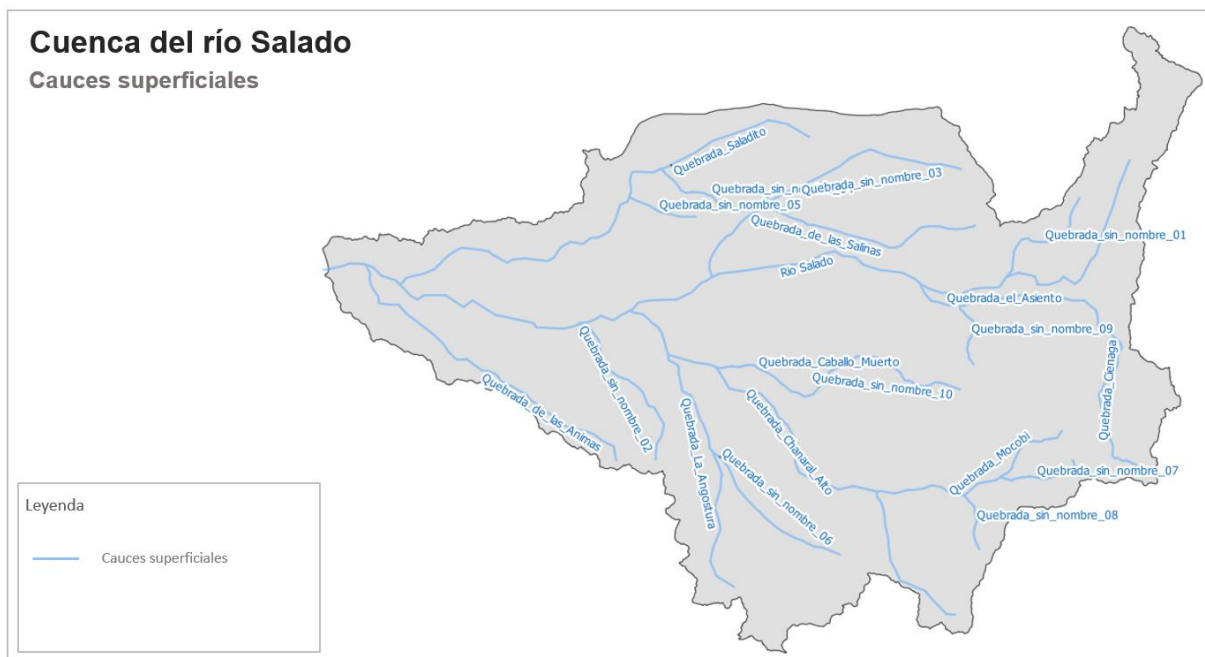
3.1 Cauces Superficiales

Los cauces que se incluyen en la modelación WEAP se indican en la **Figura 3-1**. Estos coinciden con los cauces presentados en la sección 2.1 y corresponden a:

- Quebrada Ciénaga
- Quebrada El Asiento
- Quebrada de Las Salinas
- Quebrada Saladito
- Quebrada Caballo Muerto
- Quebrada Mocobi
- Quebrada Chañaral Alto
- Quebrada La Angostura
- Quebrada de Las Ánimas
- Río Salado
- Quebrada Sin Nombre 01
- Quebrada Sin Nombre 02
- Quebrada Sin Nombre 03
- Quebrada Sin Nombre 04
- Quebrada Sin Nombre 05
- Quebrada Sin Nombre 06
- Quebrada Sin Nombre 07
- Quebrada Sin Nombre 08
- Quebrada Sin Nombre 09
- Quebrada Sin Nombre 10

Una parte importante de los cauces de la cuenca en estudio no posee nombre, por lo que han sido nombrados como "Quebrada Sin Nombre".

Cada uno de estos cauces pueden ser vistos en la **Figura 3-1** y han sido representados en el programa WEAP por medio de elementos **Río ("River")**, que corresponden a elementos lineales a los que se realizan aportes y extracciones de caudal de distintos elementos que representan subcuencas, sitios de demanda, entre otros.

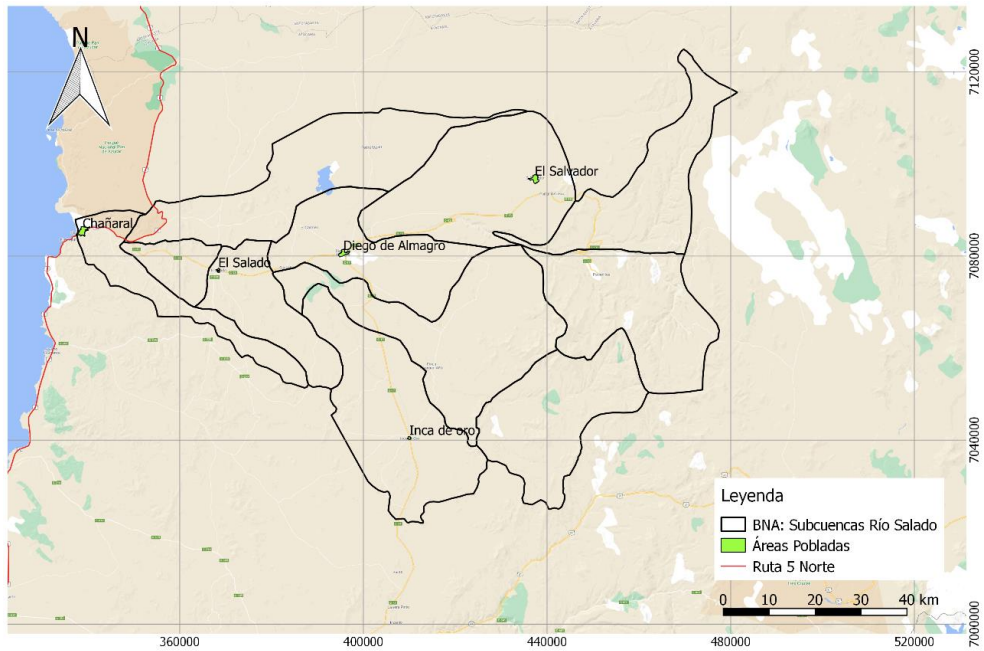


Fuente: Elaboración propia

Figura 3-1. Cauces superficiales considerados en la modelación hidrológica

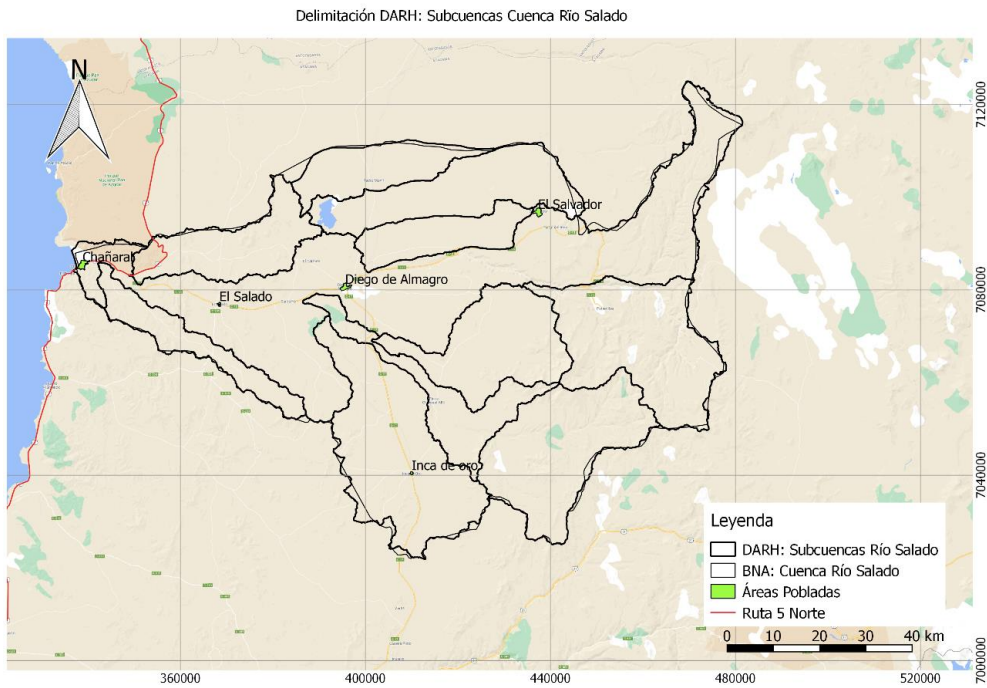
3.2 Subcuencas Superficiales

En la modelación hidrológica superficial, se han delimitado las principales subcuencas dentro de la cuenca de estudio. Los criterios para realizar esta delimitación están basados en reproducir las subcuencas definidas por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH) de la Dirección General de Aguas, y las subcuencas del Banco Nacional de Aguas (BNA). Estas subcuencas se observan en la **Figura 3-2** y **Figura 3-3**. Por otra parte, se tomó como referencia el estudio de impacto ambiental "Obras Fluviales y de Control Aluvional en la cuenca río Salado, región de Atacama" (DOH, 2020), en el que se calculó el caudal líquido y detrítico para el evento aluvional ocurrido en la zona en marzo de 2015, para diversos puntos a lo largo del cauce del río Salado, que se muestran en la **Figura 3-4**; estos puntos también son tomados en cuenta para delimitar subcuencas. Otro criterio relevante utilizado para la delimitación son las zonas de interés hidrogeológico, ya sea identificadas en estudios anteriores como "Evaluación de los recursos hídricos subterráneos en cuencas de la región de Atacama ubicadas entre el río Copiapó y la región de Antofagasta" (DGA, 2009), y las documentadas en los SHAC (sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común). Estas zonas se presentan en la **Figura 3-5** y **Figura 3-6**, respectivamente. Cabe destacar que la cuenca río Salado cuenta con un único SHAC que abarca toda la cuenca.



Fuente: Elaboración propia basado en Mapoteca DGA (2021)

Figura 3-2. Subcuencas BNA utilizadas como referencia para delimitar subcuencas en WEAP



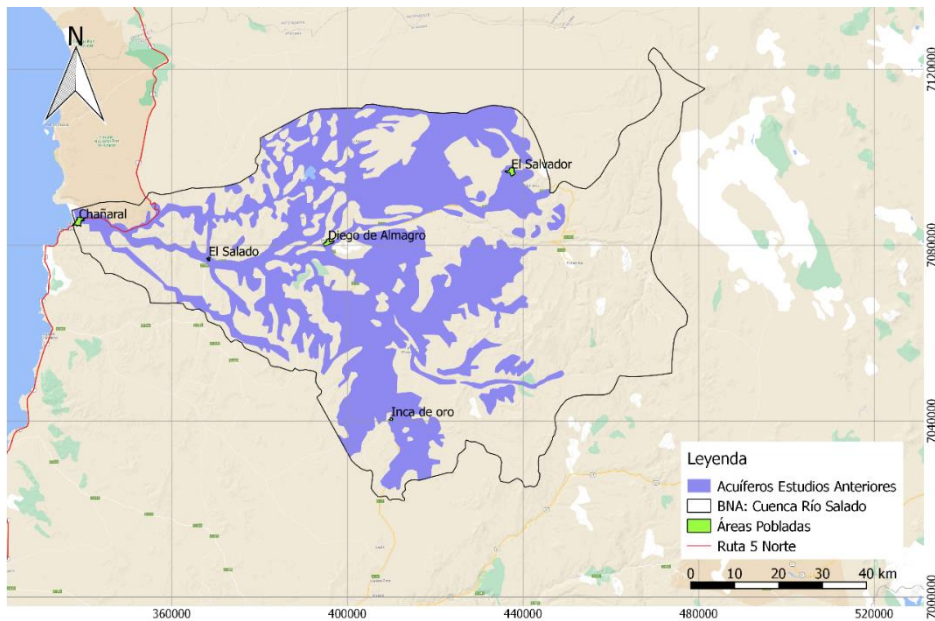
Fuente: Elaboración propia basado en Mapoteca DGA (2021).

Figura 3-3. Subcuencas DARH utilizadas como referencia para delimitar subcuencas en WEAP



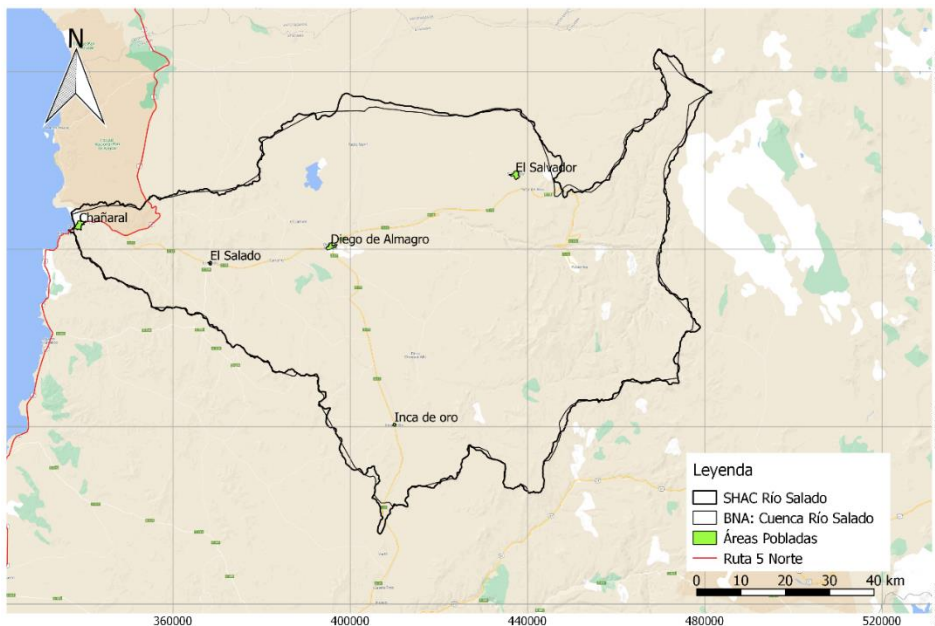
Fuente: DOH (2020)

Figura 3-4. Puntos de estimación de caudales detríticos y líquidos del aluvión de marzo de 2015.



Fuente: Elaboración propia en base a DGA 2009.

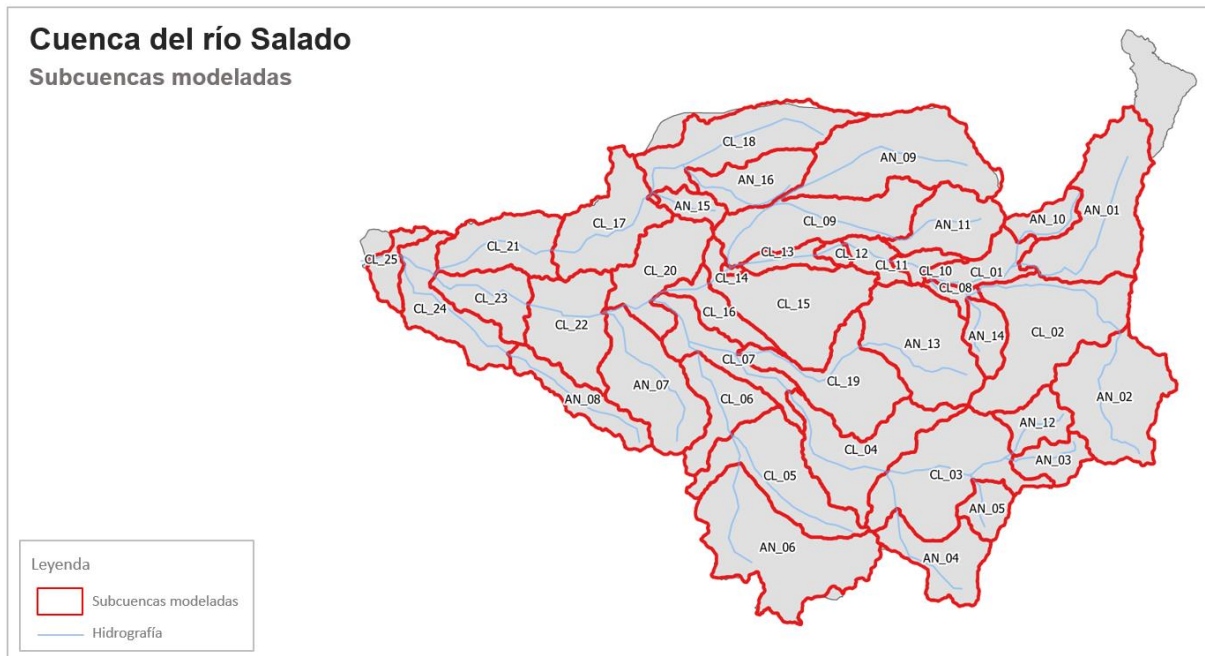
Figura 3-5. Sectores de importancia hidrogeológica según DGA (2009), utilizado como referencia para delimitación de subcuencas.



Fuente: Elaboración propia en base a Mapoteca DGA (2021).

Figura 3-6. Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común.

El proceso de delimitación de las subcuencas se ha realizado por medio de herramientas SIG a través de procesamiento de modelos digitales de elevación (DEM, por sus siglas en inglés). En la **Figura 3-7** se observan las 41 subcuencas que se incluyen en la modelación WEAP, demarcadas en línea roja gruesa.

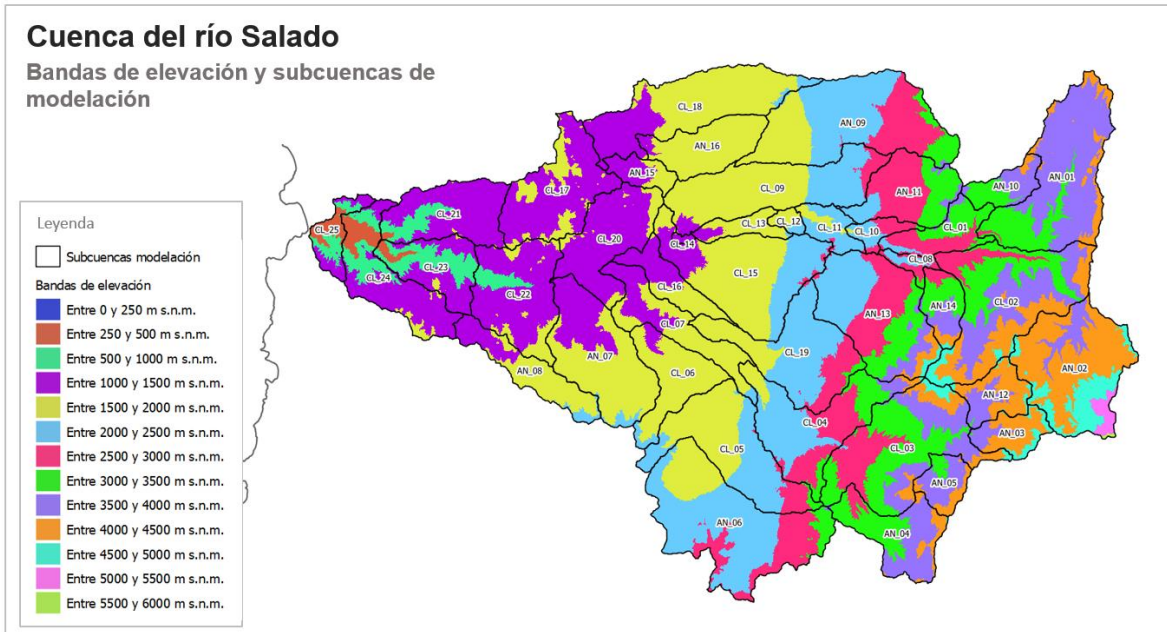


Fuente: Elaboración propia

Figura 3-7. Subcuencas consideradas en la modelación WEAP

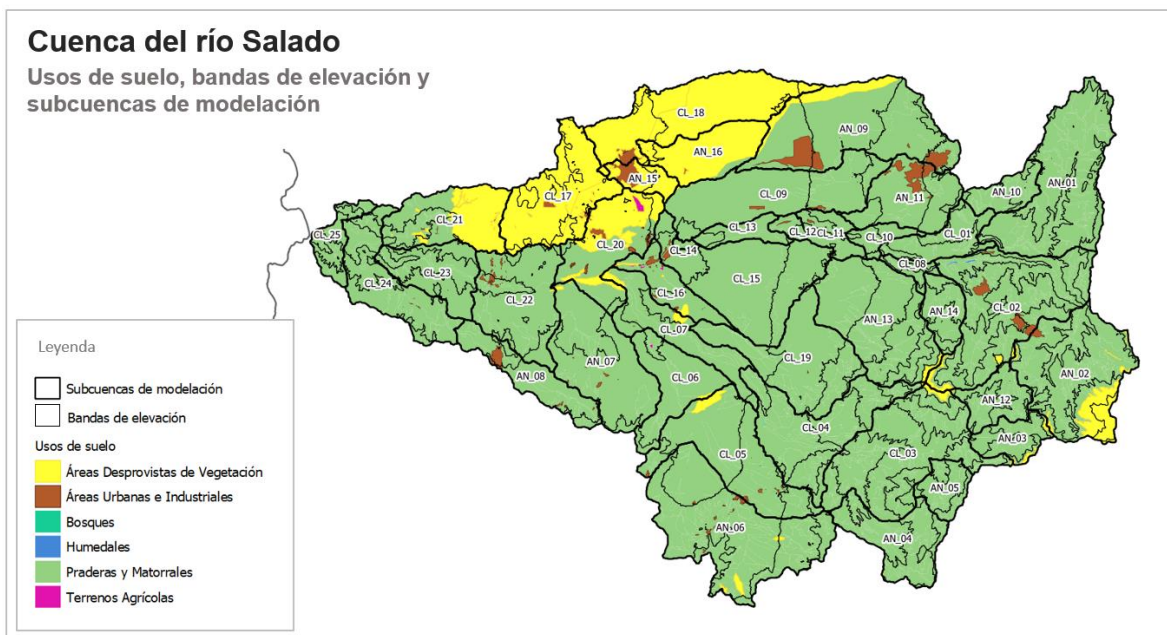
Estas se dividen en 2 tipos de subcuencas, dependiendo de su origen y ubicación. Las cuencas de cabecera se nombran con el prefijo "AN", de "aporte natural". Estas corresponden a cuencas en los que nacen cauces superficiales, y no reciben aporte desde otras cuencas. Por otra parte, las cuencas "CL" son "cuencas laterales"; estas reciben aporte superficial desde otras cuencas.

Para la modelación en WEAP, las subcuencas son subdivididas en bandas de elevación, y éstas luego son subdivididas en áreas por usos de suelo. En la **Figura 3-8** se puede ver la cuenca en estudio y las bandas de elevación que son consideradas, mientras que en la **Figura 3-9** se pueden apreciar los usos de suelo, las bandas de elevación y las subcuencas tomadas para la modelación hidrológica. Es decir, en el programa WEAP se han creado un elemento **Unidad Hidrológica ("catchment")** para cada subcuenca, dentro de estos elementos se han creado las **bandas de elevación**, y dentro de las bandas de elevación se han creado cada uno de los **usos de suelo**, caracterizando, de esta manera, las variaciones en la extensión de la cuenca en términos de la evolución de su altitud y distintos usos de suelo.



Fuente: Elaboración propia a partir del DEM obtenido de la misión SRTM de la NASA.

Figura 3-8. Bandas de elevación y subcuencas para la modelación hidrológica



Fuente: Elaboración propia a partir de la información del estudio de CONAF (2016)

Figura 3-9. Usos de suelo, bandas de elevación y subcuencas para modelación

3.3 Forzantes Meteorológicas

3.3.1 Forzantes meteorológicas período histórico (Abril 1985 - Marzo 2020)

Las forzantes meteorológicas consideradas como entradas al modelo WEAP corresponden a precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y fracción de nubosidad.

En cuanto a precipitación y temperatura en el periodo histórico (abril de 1985 a marzo de 2020), para obtener datos distribuidos en la totalidad del área de estudio se toman modelos meteorológicos de diferentes centros de estudio, que han modelado la precipitación y la temperatura en la zona. Los datos de estos modelos se encuentran disponibles en escala diaria, mensual y anual, y para este estudio se consideran a escala diaria.

Dentro del análisis para la elección de los modelos meteorológicos a utilizar se consideran un modelo para temperatura y seis para precipitación. Para la validación de estos modelos se comparan los valores de temperatura y precipitación que éstos han simulado con los datos observados en diferentes estaciones meteorológicas cercanas y en la zona de estudio. Por otra parte, para la representación de las forzantes meteorológicas de humedad relativa y velocidad del viento, se utiliza la información incluida en el estudio "Aplicación de la Metodología de Actualización del Balance Hídrico Nacional en las Cuencas de las Macrozonas Norte y Centro" (DGA, 2018). Por último, para la obtención de la fracción de nubosidad se utiliza la información obtenida a partir del producto ERA5.

3.3.1.1 Fuentes de Obtención de Forzantes Meteorológicas para el Período Histórico

3.3.1.1.1 Precipitación

Para la caracterización de la **precipitación** ocurrida en la cuenca, se toman en consideración los siguientes modelos. Como se detalla más adelante, éstos son sometidos a validación y a partir de este proceso se selecciona el modelo con mejor comportamiento para la zona de estudio:

- CR2MET v2.0

Este es un modelo desarrollado por el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2), basado en datos de reanálisis atmosféricos y datos locales de topografía y precipitación. Los datos del CR2MET v2.0 contienen información de precipitación en una grilla rectangular de 0,05° latitud-longitud (5 km aproximadamente) para el territorio de Chile continental en el período 1979 a 2020 a escala diaria.

- RFMEP

El modelo RFMEP (Random Forest based Merging Procedure) (Baez-Villanueva et al., 2020), combina información de mediciones terrestres, productos de precipitación y características topográficas para representar la distribución de precipitación en zonas con escasez de datos. Fue creado especialmente para Chile combinando series de precipitación registradas en 331 pluviómetros, con datos de reanálisis de ERA5, y un modelo digital de superficie (SRTM V4.1). El producto del modelo RFMEP se encuentra disponible para el período comprendido entre los años 1982 a 2018, a una escala espacial de 0,05°.

- IMERG

El producto de precipitación de IMERG (*Integrated Multi Satellite Retrievals for GPM*) proviene de correr el algoritmo IMERG, que proporciona los datos de precipitación multisatélite para el equipo GPM, de Estados Unidos (misión *Global Precipitation Measurement*). El producto se encuentra disponible para el período 2000 – 2019, en una escala espacial de 0,1° (10 km aproximadamente).

- CHIRPS

Este producto de precipitación (*Climate Hazards groups InfraRed Precipitation with Stations*) es un algoritmo desarrollado para apoyar a la Red de Sistemas de Alerta Temprana de Hambruna de la Agencia de los Estados Unidos para el desarrollo internacional (FEWS NET por sus siglas en inglés *Famine Early Warning System Network*). El producto está disponible desde el año 1982 hasta el 2019, en una escala espacial de 0,05° y abarca desde la latitud 50°S hasta 50°N.

- TMPA

Este conjunto de datos de precipitación es el resultado del algoritmo TMPA (*TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis*), que proporciona estimaciones de precipitación basado en las mediciones de TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission Project*). Los datos se encuentran disponibles entre los años 1998 y 2019, a una escala espacial de 0,25° (25 km aproximadamente).

- ERA5

Desarrollado por ECMWF (*European Center for Medium-Range Weather Forecasts*), este modelo proporciona datos de precipitación en una grilla de 30km x 30km abarcando todo el planeta. Se encuentra disponible para el período comprendido entre los años 1979 y 2018.

Las bases de datos de estos modelos se han descargado del explorador de precipitaciones mawun.cr2.cl, desarrollado por Mauricio Zambrano-Bigiarini y Rodrigo Marinao, utilizando una escala diaria y seleccionando las estaciones cercanas a la cuenca de estudio.

3.3.1.1.2 Temperatura

Para la caracterización de la **temperatura** en la cuenca en el periodo histórico, se utiliza el modelo CR2MET v2.0, que como se ha mencionado anteriormente, es un producto desarrollado por el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2). Este producto contiene información de temperatura en una grilla rectangular de 0,05° latitud-longitud (5 km aproximadamente) para el territorio de Chile continental en el período 1979 a 2020, a escala diaria.

3.3.1.1.3 Humedad Relativa

La información de **humedad relativa** también es obtenida a partir de información grillada. En estos casos, la fuente de información corresponde al estudio "Aplicación de la Metodología de Actualización del Balance Hídrico Nacional en las cuencas de las macrozonas norte y centro" (DGA, 2018), el cual incluye humedad relativa con valores tri horarios desde 1979 a 2015, que abarcan desde la región de Arica y Parinacota hasta la región del Maule. Estos datos, disponibles en formato de grilla, son agregados a nivel diario para su uso en la modelación hidrológica.

3.3.1.1.4 Velocidad del Viento

La información de **velocidad del viento** también es obtenida a partir del estudio Aplicación de la Metodología de Actualización del Balance Hídrico Nacional en las cuencas de las macrozonas norte y centro (DGA, 2018), el cual incluye velocidad del viento con valores tri horarios desde 1979 a 2015, que abarcan desde la región de Arica y Parinacota hasta la región del Maule. Estos datos, disponibles en formato de grilla, son agregados a nivel diario para su uso en la modelación hidrológica.

3.3.1.1.5 Fracción de nubosidad

Por último, la información de **fracción de nubosidad** es obtenida a partir del producto ERA5, que como ya se ha mencionado en el caso de la precipitación, es desarrollado por el European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Este producto contiene una variedad de datos meteorológicos diarios, grillados a nivel mundial con una resolución de 30 km, entre ellos, la fracción de nubosidad. Para ser usada en el modelo de este estudio, esta información es agregada a nivel diario abarcando el periodo comprendido entre 1979 y 2018.

3.3.1.2 Validación de Modelos Meteorológicos para Precipitación y Temperatura

Tanto para precipitación como para temperatura, la información de los modelos considerados ha sido sometida a una validación comparándola con las magnitudes observadas en las estaciones meteorológicas de la zona. Las estaciones utilizadas para esta

validación se presentan en la **Tabla 3-1**, indicando el código de la estación, a qué entidad pertenece (Dirección General de Aguas, DGA, o Dirección Meteorológica de Chile, DMC) y de qué datos se dispone. De cada una de ellas se obtiene la estadística de precipitación y temperatura (según corresponda) de la información pública manejada por la DGA y la DMC.

Tabla 3-1. Estaciones meteorológicas utilizadas para la validación

| Código Estación | Nombre Estación | Fuente | Dato |
|-----------------|-----------------------------|--------|-----------------------------|
| 02942001-7 | Aguas Verdes | DGA | Precipitación y Temperatura |
| 02943001-2 | Tal-Tal | DGA | Precipitación |
| 02943002-0 | Tal-Tal (DCP) | DGA | Precipitación y Temperatura |
| 03210001-5 | Las Vegas | DGA | Precipitación y Temperatura |
| 03340001-2 | Caldera | DGA | Precipitación |
| 03404002-8 | Jorquera en la Guardia | DGA | Precipitación |
| 03430007-0 | Los Loros | DGA | Precipitación y Temperatura |
| 03431001-7 | Rio Copiapó en la Puerta | DGA | Precipitación |
| 03431004-1 | Elibor Campamento | DGA | Precipitación |
| 03441001-1 | Pastos Grandes | DGA | Precipitación |
| 03450004-5 | Copiapó | DGA | Precipitación y Temperatura |
| 03604001-7 | El Totoral | DGA | Precipitación |
| 03701001-4 | Canto de Agua | DGA | Precipitación |
| 270008 | Desierto de Atacama Caldera | DMC | Precipitación y Temperatura |

Fuente: Elaboración propia

Para validar los modelos meteorológicos, tanto para precipitación como para temperatura, se comparan los datos observados en las estaciones meteorológicas, mencionadas anteriormente, con los resultados de los modelos meteorológico para los puntos donde se ubican las estaciones. Se consideran tres parámetros de eficiencia:

- Eficiencia de Kling-Gupta (KGE):

$$KGE = 1 - \sqrt{\left((r - 1)^2 + \left(\frac{\sigma_{sim}}{\sigma_{obs}} - 1 \right)^2 + \left(\frac{\mu_{sim}}{\mu_{obs}} - 1 \right)^2 \right)}$$

Donde:

r = coeficiente de correlación lineal entre datos observados y simulados

σ_{sim} = desviación estándar datos simulados

σ_{obs} = desviación estándar datos observados

μ_{sim} = promedio datos simulados

μ_{obs} = promedio datos observados

- Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE):

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{t=T} (Pp_{sim}(t) - Pp_{obs}(t))^2}{\sum_{t=1}^{t=T} (Pp_{obs}(t) - \overline{Pp_{obs}})^2}$$

Donde:

T = número total de pasos de tiempo

$Pp_{sim}(t)$ = precipitación simulada en tiempo "t"

$Pp_{obs}(t)$ = precipitación observada en tiempo "t"

$\overline{Pp_{obs}}$ = promedio de la precipitación observada

- Coeficiente de determinación (R^2):

$$R^2 = \frac{(\sum_{t=1}^{t=T} (Pp_{obs}(t) - \overline{Pp_{obs}})(Pp_{sim}(t) - \overline{Pp_{sim}}))^2}{\sum_{t=1}^{t=T} (Pp_{obs}(t) - \overline{Pp_{obs}})^2 \sum_{t=1}^{t=T} (Pp_{sim}(t) - \overline{Pp_{sim}})^2}$$

Donde:

$\overline{Pp_{sim}}$ = promedio de la precipitación simulada

Para facilitar el análisis de los indicadores de eficiencia se han tomado tres tramos para clasificar cada indicador como bajo, medio o alto. Estos rangos se observan en la **Tabla 3-2**. En la **Tabla 3-3** se presentan las fuentes de obtención de los rangos. siguiendo los colores verde, amarillo y rojo en las tablas es posible entender los rangos tomados para simplificar el análisis.

Tabla 3-2. Rango de resultados de parámetros de eficiencia

| Clasificación | KGE | NSE | R ² |
|---------------|----------|-----------|----------------|
| Bajo | <0,5 | <0,36 | <0,39 |
| Medio | 0,5-0,75 | 0,36-0,75 | 0,4-0,59 |
| Alto | >0,75 | >0,75 | >0,6 |

Fuente: Elaboración propia

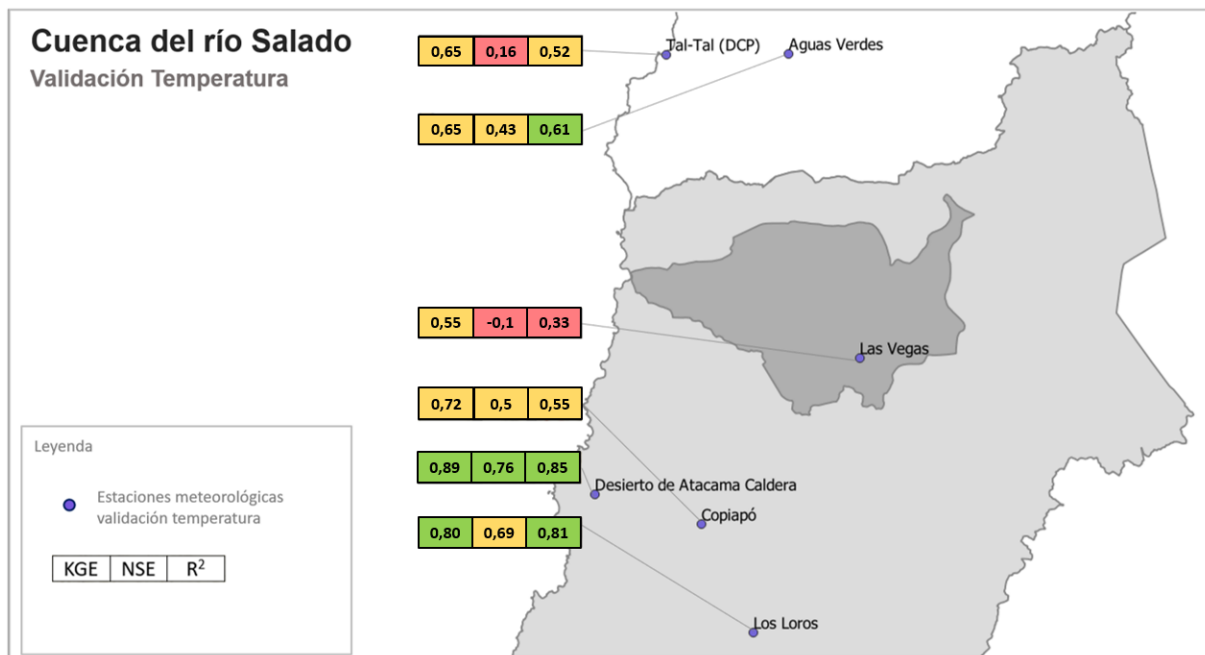
Tabla 3-3. Rangos de resultados parámetros de eficiencia según diversos autores

| KGE | | NSE | | R ² | |
|--|----------|---|-----------|------------------------------------|----------|
| Excelente | >0,9 | Buena | >0,75 | Muy fuerte | 0,8-1 |
| Bueno | 0,75-0,9 | Aceptable | 0,36-0,75 | Fuerte | 0,6-0,79 |
| Intermedio | 0,5-0,75 | No Aceptable | <0,36 | Moderada | 0,4-0,59 |
| Pobre | 0,0-0,5 | | | Baja | 0,2-0,39 |
| Muy pobre | <0,0 | | | Muy baja | 0-0,19 |
| (Bisselink, Zambrano-Bigiarini, Burek, & de Roo, 2016) | | (Motovilov, Gottschalk, Engeland, & Rodhe, 1999) | | (Lufi, Ery, & Rispiningtati, 2020) | |

3.3.1.2.1 Validación de la Temperatura

Para la temperatura, se valida el modelo CR2MET v2.0 obteniendo los resultados presentados en la **Figura 3-10**. En dicha figura, junto a cada estación meteorológica se ubican los valores de KGE, NSE y R² (en ese orden de izquierda a derecha) obtenidos en la comparación de temperaturas observadas y estimadas en CR2MET v2.0, resaltados en colores de acuerdo con su clasificación como bajo, medio o alto, en rojo, amarillo o verde, respectivamente.

No obstante, en la **Tabla 3-4** también se presentan los resultados de KGE, NSE y R², junto a la cantidad de días con dato de temperatura observada (días considerados en la comparación de temperaturas observadas y simuladas), el promedio de las temperaturas diarias observadas y el promedio de las temperaturas diarias simuladas (para los días en que se cuenta con valores observados).



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-10. Resultados validación temperatura modelo CR2MET

De acuerdo con lo expuesto en la **Tabla 3-4** se puede ver que, en el caso de la temperatura, lo entregado por CR2MET v2.0 en la mayoría de las estaciones clasifica con indicadores medios o altos al ser comparado con las series de temperaturas observadas. Destacan como excepciones las estaciones Tal-Tal (DCP) y Las Vegas, que a pesar de que en éstas se obtienen NSE que clasifican como bajo, los demás indicadores obtenidos en aquellas estaciones (excepto el R² en Las Vegas) clasifican como medios. Se puede notar, además, que en cuanto a diferencias porcentuales el modelo se mantiene dentro de un 5% de error con respecto a los datos observados en general, exceptuando la estación Los Loros, donde el modelo subestima la realidad en aproximadamente un 10%.

Si bien en la estación Las Vegas los indicadores clasifican como bajos o medios, en general el modelo se ajusta bien a la región en que se ubica la zona de estudio, lo que refleja un buen comportamiento de las temperaturas entregadas por CR2MET v2.0 en la zona de interés. Debido a lo expuesto, se considera que el resultado de temperatura es aceptable, por lo tanto, se utilizan las temperaturas simuladas por el modelo CR2MET v2.0 como entradas para el modelo hidrológico.

Tabla 3-4. Resultado Validación Temperatura Modelo CR2MET

| Nombre estación | KGE | NSE | R² | Cantidad de días con T° observada | (*) T° diaria media obs. (°C) | (*) T° diaria media sim. (°C) | Diferencia obs. vs sim. (%) |
|-----------------------------|------------|------------|----------------------|--|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| Aguas Verdes | 0,65 | 0,43 | 0,61 | 1253 | 16,35 | 15,52 | -5,08 |
| Tal-Tal (DCP) | 0,65 | 0,16 | 0,52 | 1743 | 17,51 | 17,79 | 1,60 |
| Las Vegas | 0,55 | -0,10 | 0,33 | 1070 | 14,75 | 14,51 | -1,63 |
| Los Loros | 0,8 | 0,69 | 0,81 | 324 | 18,03 | 16,24 | -9,93 |
| Copiapó | 0,72 | 0,50 | 0,55 | 4250 | 16,34 | 15,93 | -2,51 |
| Desierto de Atacama Caldera | 0,89 | 0,76 | 0,85 | 4065 | 15,36 | 16,02 | 4,30 |

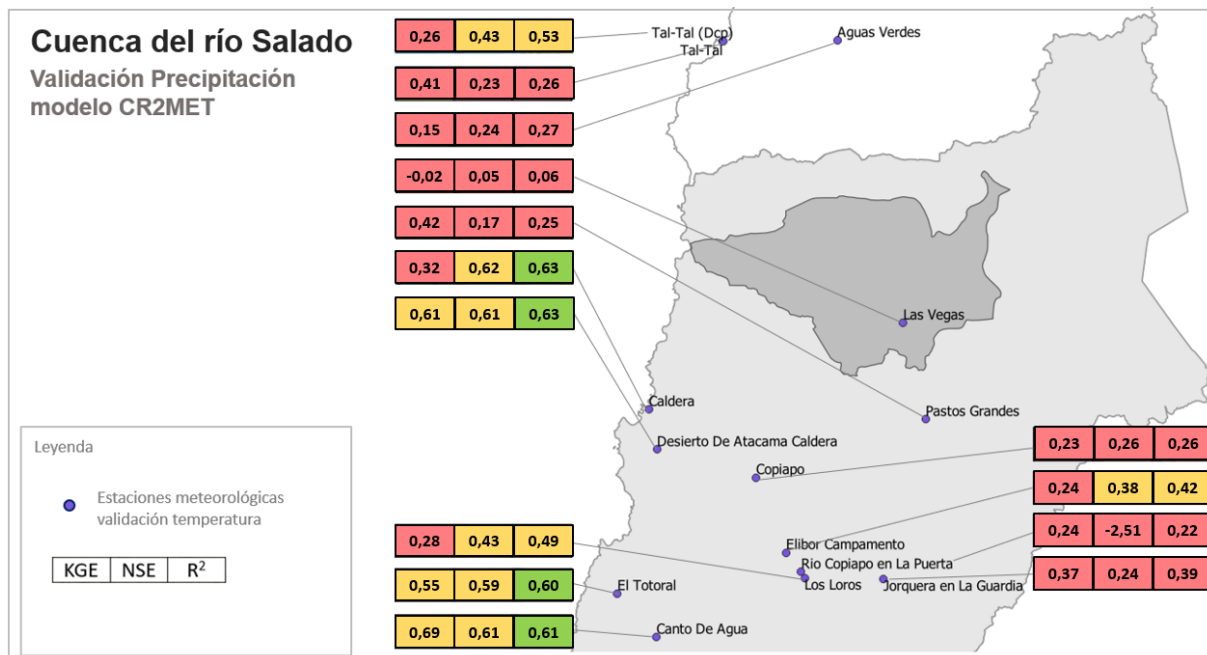
Nota: (*) Temperaturas calculadas considerando solo aquellos días en los que se cuenta con temperaturas observadas.

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.2.2 Validación de la Precipitación

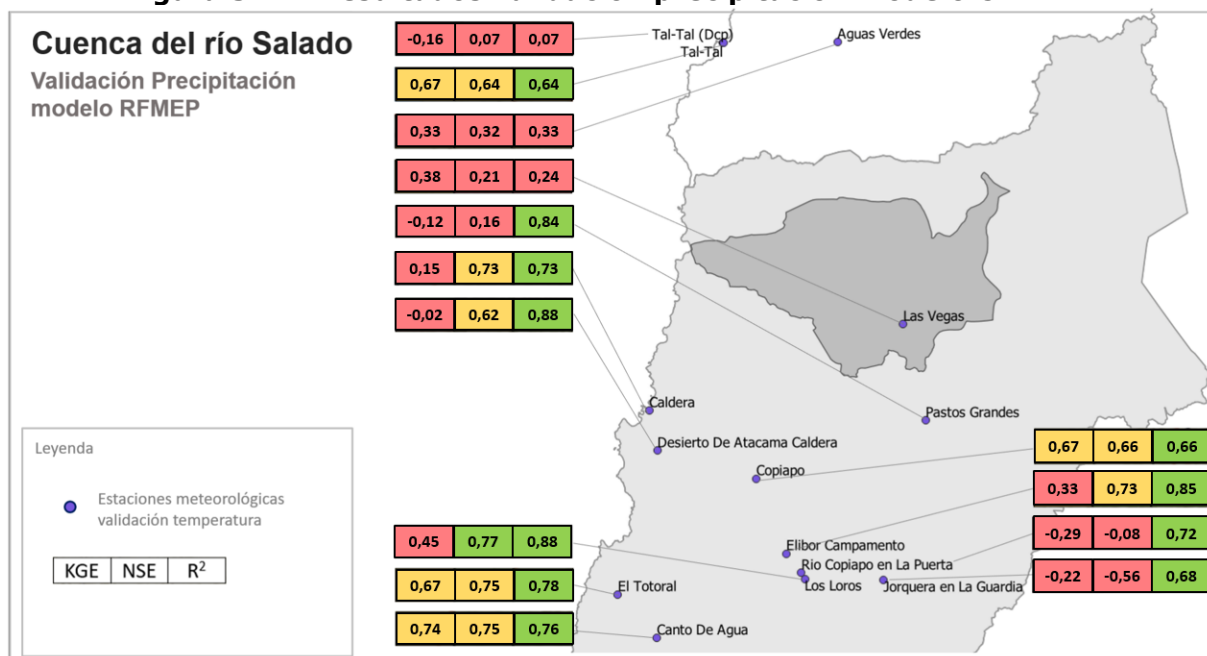
Por otra parte, para la precipitación se validan los seis modelos meteorológicos mencionados con anterioridad. Análogo a lo presentado en la **Figura 3-10**, desde la **Figura 3-11** a la **Figura 3-16** se presentan los resultados obtenidos en la validación de cada modelo, con los indicadores remarcados en rojo, amarillo y verde de acuerdo con la clasificación de cada indicador en bajo, medio y alto como se indicó en la **Tabla 3-2**. Adicionalmente, en el Anexo H-1 se presentan detalles sobre las series de precipitaciones comparadas.

- CR2MET v2.0 (**Figura 3-11**)
- RFMEP (**Figura 3-12**)
- IMERG (**Figura 3-13**)
- CHIRPS (**Figura 3-14**)
- TMPA (**Figura 3-15**)
- ERA5 (**Figura 3-16**)



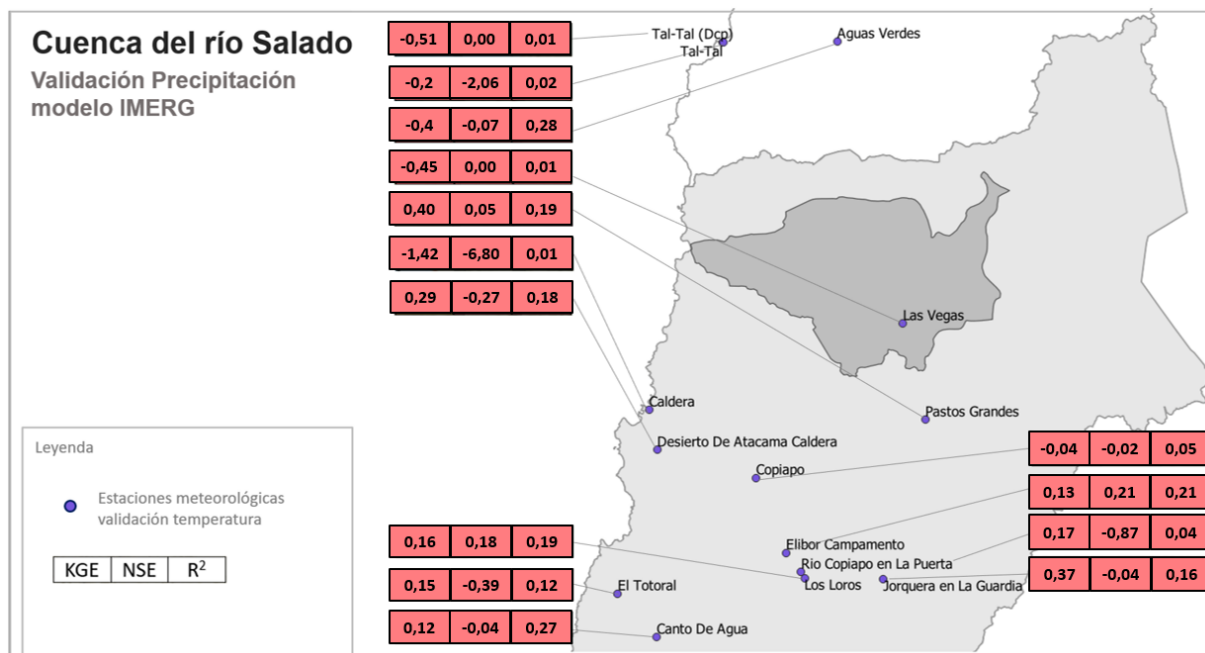
Fuente: Elaboración Propia

Figura 3-11. Resultados validación precipitación modelo CR2MET



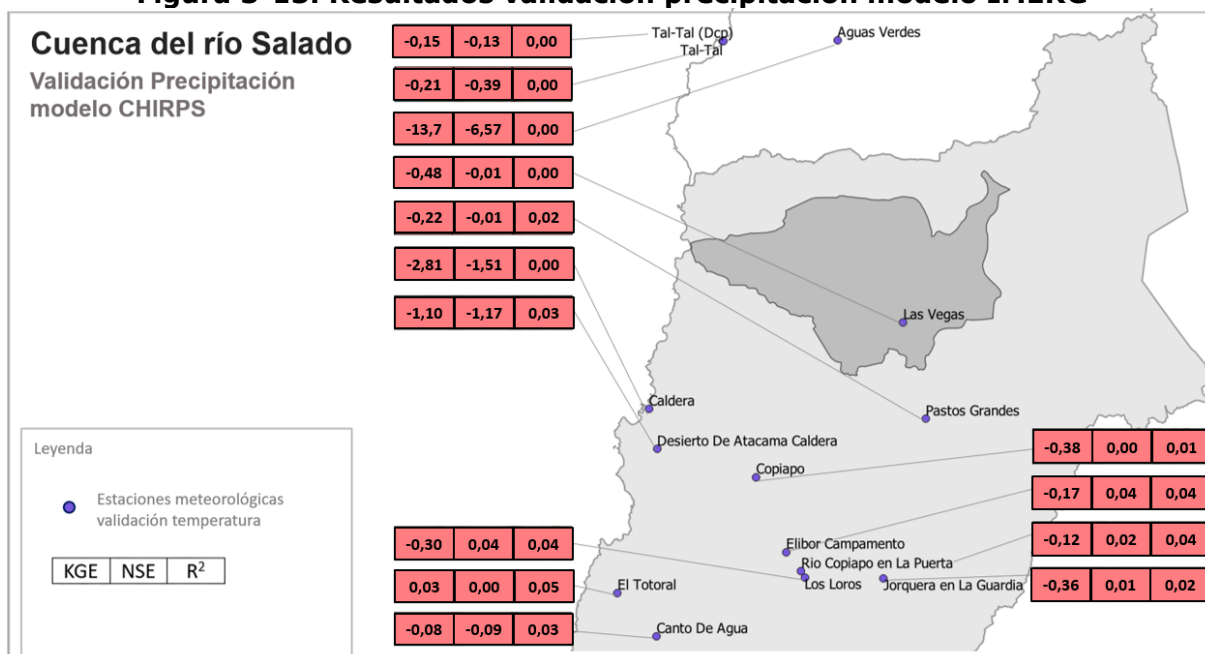
Fuente: Elaboración propia

Figura 3-12. Resultados validación precipitación modelo RFMEP



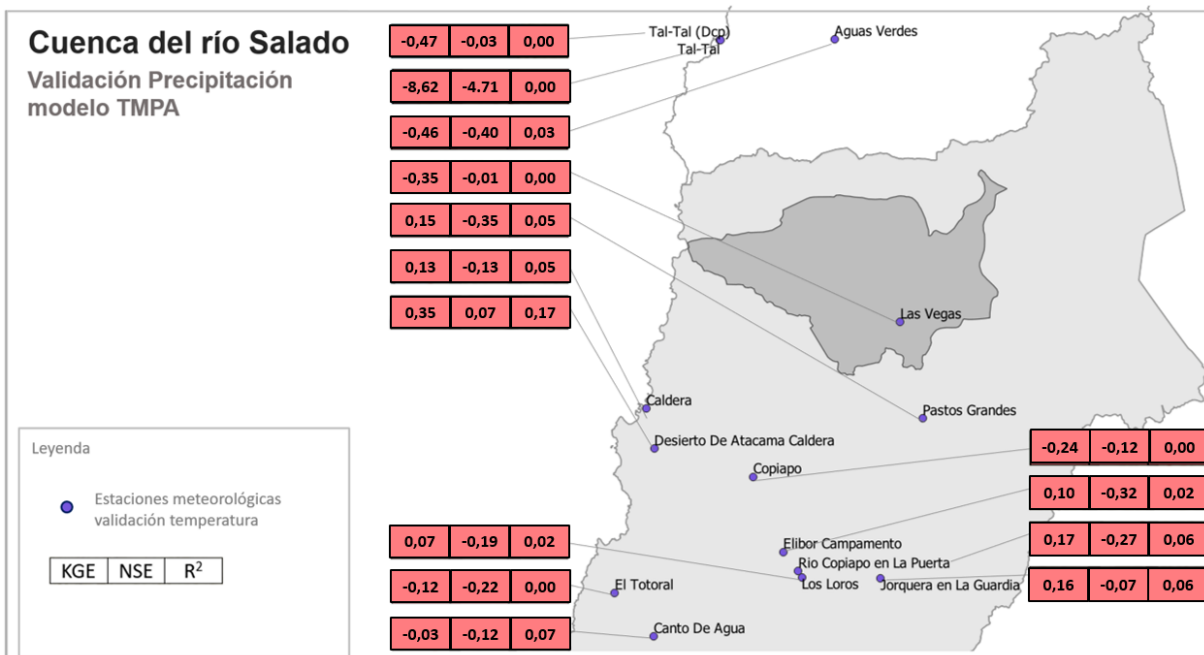
Fuente: Elaboración propia

Figura 3-13. Resultados validación precipitación modelo IMERG



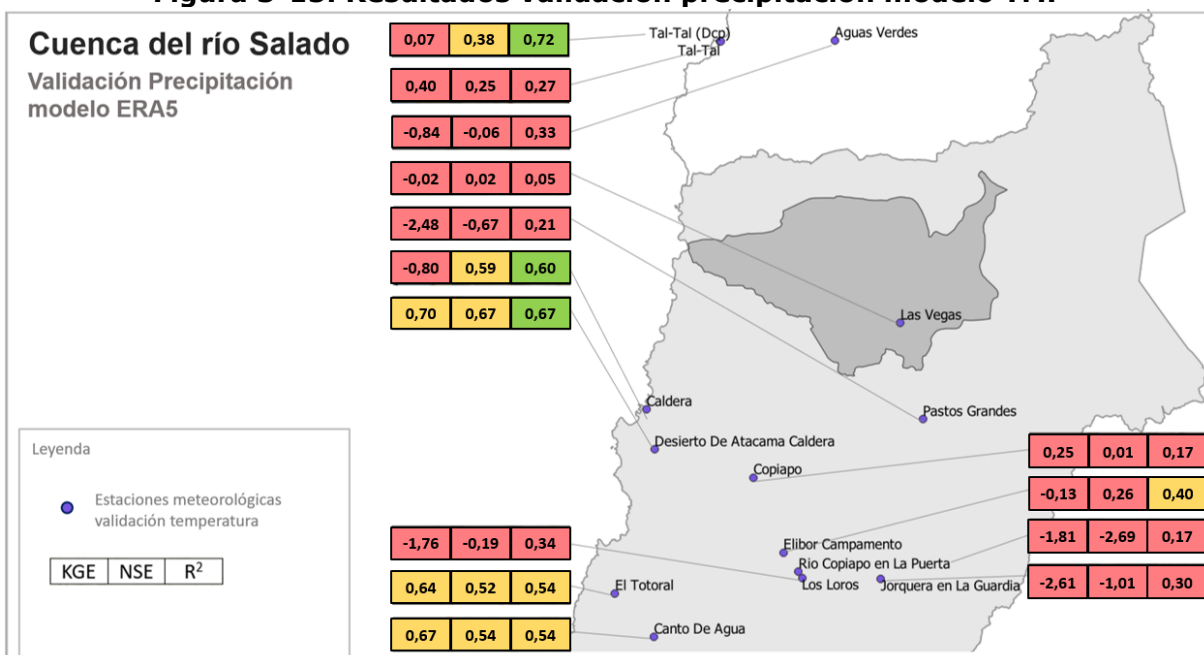
Fuente: Elaboración propia

Figura 3-14. Resultados validación precipitación modelo CHIRPS



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-15. Resultados validación precipitación modelo TMP



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-16. Resultados validación precipitación modelo ERA5

Se observa que, al comparar los parámetros de eficiencia para los distintos modelos, destacan los obtenidos por los modelos CR2MET v2.0 y RFMEP.

3.3.1.2.3 Validación de la Precipitación Acumulada

Por otra parte, también se ha realizado un análisis de comparación entre precipitaciones acumuladas observadas y simuladas en las estaciones meteorológicas de la zona. Para esta comparación, solo se ha tomado en cuenta la precipitación de aquellos días en los que se cuenta con valores observados y simulados simultáneamente. Es decir, se considera precipitación acumulada a partir del momento en que se cuenta con valores de precipitación simulada por los modelos, siempre y cuando exista precipitación observada para aquel periodo en la estación meteorológica.

Además, para los modelos CR2MET v2.0 y RFMEP se considera un análisis adicional de precipitación acumulada, adoptando como días con precipitación aquellos que tienen dato observado superior a 5 mm, mientras que los días con valor menor a 5 mm, se considera como sin precipitación.

Gráficos de las precipitaciones acumuladas por estación se pueden encontrar en el Anexo H-2.

En general, los modelos CR2MET v2.0 y RFMEP tienden a sobreestimar las precipitaciones acumuladas en comparación a lo observado en las estaciones meteorológicas, pero de todas formas se ajustan mejor a la precipitación observada en la estación que los modelos CHIRPS, TMPA, IMERG y ERA5. Al analizar las precipitaciones acumuladas sobre el umbral de 5 mm, los modelos CR2MET y RFMEP se ajustan mejor a las precipitaciones observadas. Para ambos modelos se calcula el coeficiente R^2 de dispersión estadística, que responde a la ecuación siguiente:

$$\text{Coeficiente de determinación } R^2 = 1 - \left(\frac{S_e}{S_y}\right)^2$$

Donde:

$$\text{Desviación estándar del error } S_e = \sqrt{\sum_{t=1}^{n=1} \frac{(Pp_{obs} - Pp_{sim})^2}{n}}$$

n = número de datos

Pp_{obs} = precipitación observada

Pp_{sim} = precipitación simulada

$$\text{Desviación estándar } S_y = \sqrt{\sum_{t=1}^{n=1} \frac{(Pp_{obs} - \overline{Pp_{obs}})^2}{n}}$$

Mientras más cercano a 1 el valor de R^2 , mejor se ajusta el modelo a la precipitación observada. Los resultados se observan en la **Tabla 3-5**, con una escala de color donde el

verde representa valores sobre 0,5; el amarillo valores entre 0 y 0,5; y finalmente el rojo valores inferiores a 0.

Tabla 3-5. Resultados validación de modelos con umbral de 5 mm de precipitación.

| Estación | R² CR2MET > 5 mm | R² RFMEP > 5 mm |
|-----------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Aguas Verdes | 0.9 | -0.07 |
| Tal-Tal | -0.38 | -0.44 |
| Tal Tal DCP | -0.51 | -2.65 |
| Las Vegas | 0.68 | 0.76 |
| Caldera | 0.86 | 0.64 |
| Jorquera en La Guardia | 0.89 | -0.84 |
| Los Loros | 0.66 | 0.73 |
| Río Copiapó en La Puerta | -8.56 | -0.58 |
| Elibor Campamento | 0.72 | 0.4 |
| Pastos Grandes | 0.53 | -0.04 |
| Copiapó | 0.02 | 0.77 |
| El Totoral | 0.97 | 0.49 |
| Canto de Agua | 0.86 | 0.6 |
| Desierto de Atacama Caldera | 0.95 | 0.48 |

Fuente: Elaboración propia

La selección de 5 mm como umbral para la corrección de la precipitación entregada por el CR2MET v2.0 es realizada luego de probar una serie de valores para aquel umbral. Después de probar distintos umbrales entre 0 y 10 mm, y tomando como indicador de decisión el R² mencionado recientemente, se encuentra que un umbral de 5 mm es el que permite la mejor representación de la precipitación acumulada en la mayoría de las estaciones meteorológicas consideradas en el análisis.

Se observa que para 10 de las 14 estaciones, el modelo CR2MET presenta resultados de ajuste medio a alto (color verde). Los resultados insatisfactorios se dan en las estaciones Tal Tal, Tal Tal DCP, Río Copiapó en la Puerta y Copiapó (menores a 0,5: color amarillo y rojo). Las primeras 2 se encuentran alejadas de la zona de estudio, hacia el norte en la región de Antofagasta. Las estaciones que entregan resultados medios a altos se encuentran cercanas o incluso dentro de la zona de estudio, por lo que el modelo CR2MET v2.0 se considera apropiado, a pesar de que las estaciones Río Copiapó en la Puerta y Copiapó, que entregan resultados insatisfactorios, se encuentran cercanas a la zona de estudio.

Por otra parte, el modelo RFMEP entrega resultados calificados como insatisfactorios para más estaciones que el modelo CR2MET (6 estaciones con resultados malos, 3 con resultados medios, y solo 5 con resultados buenos).

Con esto, se decide utilizar el modelo CR2MET con un umbral de 5 mm para representar la precipitación en la zona de estudio.

En el Anexo H-1 se encuentran las series de precipitación asociadas a cada estación para los 6 modelos meteorológicos, la validación realizada, los períodos concurrentes para cada estación y los días con valor cero en estación y modelos. Por otra parte, en el Anexo H-2 se presentan gráficos de precipitación acumulada para cada estación, en los que se compara la precipitación acumulada observada versus la simulada en cada modelo meteorológico.

Finalmente, en el Anexo H-3 se presentan las series de temperatura asociadas a las estaciones meteorológicas y al modelo CR2MET, el valor promedio mensual de temperatura y los períodos coincidentes para estación y modelo.

3.3.2 Forzantes Meteorológicas período futuro (Abril 2020 - Marzo 2060)

Para el período futuro se consideran las mismas 5 forzantes meteorológicas que para el período histórico.

Para el caso de la velocidad del viento, la fracción de nubosidad y la humedad relativa, se utiliza una extensión de las series históricas, considerado el promedio mensual de cada variable para extender la serie.

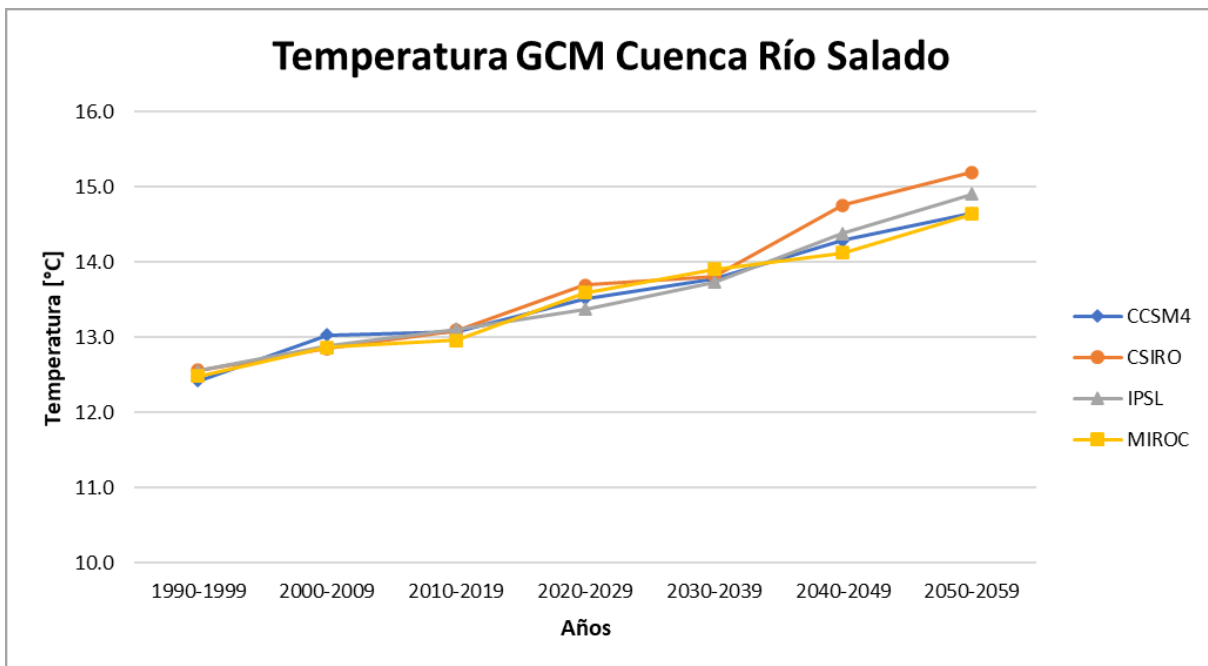
Distinto es el caso de la precipitación y temperatura, para las cuales se elige un modelo GCM (modelos globales de clima acoplados, por sus siglas en inglés). Estos modelos permiten evaluar escenarios de clima futuros, utilizando supuestos como concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera y forzantes naturales y antrópicas. Se evaluaron 4 modelos que fueron analizados en el estudio "Aplicación de la Metodología de Actualización del Balance Hídrico Nacional en las cuencas de las macrozonas norte y centro" (DGA, 2018), y que se presentan en la **Tabla 3-6**. Se destaca que estos modelos fueron generados por cada centro de investigación a escala global, en grillas con tamaño de pixel en general mayores a 100 km, y que para traducirlo a la escala regional (zona norte y centro de Chile) se utilizó el proceso de regionalización "QDM" (*Quantile Delta Mapping*), para lograr una grilla de tamaño de pixel 5 km (se usa como referencia la grilla de CR2MET, mencionada en la sección 3.3.1.1.3)

Tabla 3-6. Modelos de cambio climático evaluados para período futuro

| Modelo | Institución |
|---------------|---|
| CSIRO-MK3-6-0 | Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization in collaboration with Queensland Climate Change Centre of Excellence, Australia. |
| CCSM4 | National Center for Atmospheric Research, USA. |
| MIROC-ESM | Agency for Marine-Earth Science and Technology, Atmosphere and Ocean Research Institute (University of Tokyo), and National Institute for Environmental Studies, Japan. |
| IPSL-CM5A-LR | Institut Pierre-Simon Laplace, France. |

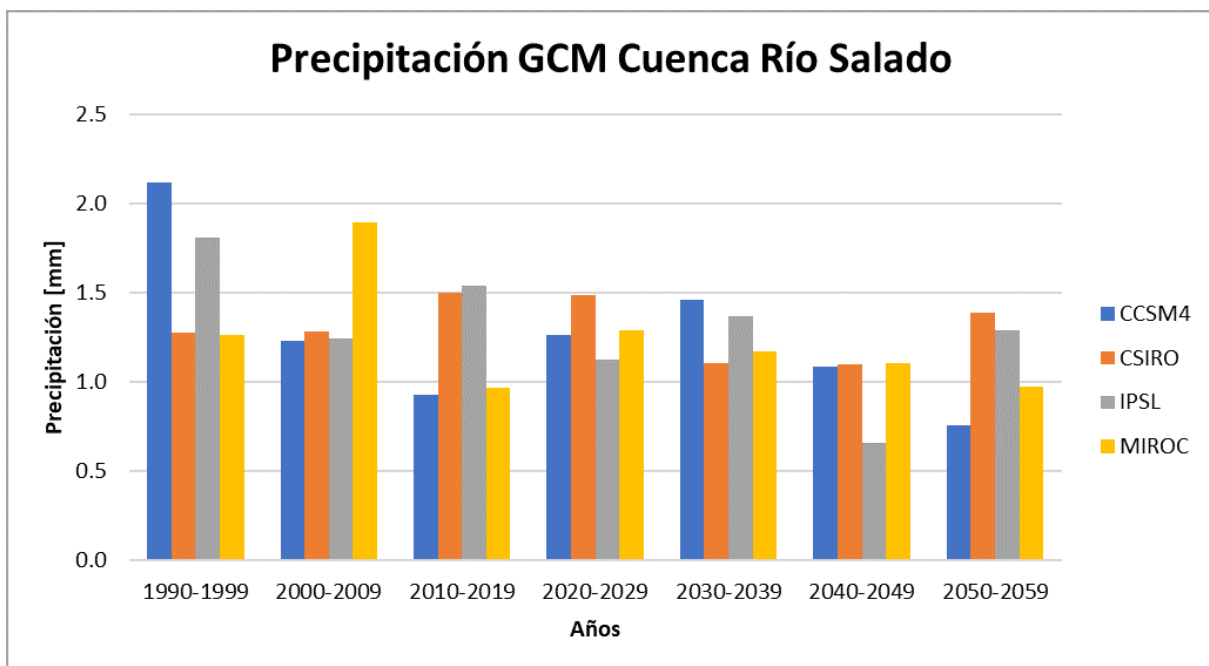
Fuente: DGA (2018)

Estos modelos corresponden al escenario de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) RCP8.5, que presenta una trayectoria de emisiones de GEI con tasas similares a las actuales, y representa el escenario pesimista con respecto al esfuerzo por disminuir la emisión de GEI al año 2100. Un resumen de la variación de la precipitación y la temperatura para los 4 modelos considerados se presenta en la Figura 3-17 y la Figura 3-18 para la zona de estudio. Los valores presentados corresponden a promedios de temperatura y precipitación por décadas, para las décadas indicadas en el eje Años de cada figura.



Fuente: DGA, 2018

Figura 3-17. Temperatura para modelos GCM en cuenca río Salado



Fuente: DGA, 2018

Figura 3-18. Precipitación para modelos GCM en cuenca río Salado

Para escoger un modelo, se realiza una validación de la precipitación y temperatura similar a la realizada para el período histórico, en la que se compara la data observada en las estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio con los datos simulados por los modelos de cambio climático en su periodo histórico (Enero 1985 a Diciembre 2019).

3.3.2.1 Validación de la Temperatura

La validación de la temperatura se realiza utilizando datos de las estaciones presentadas en la Tabla 3-1, para las que se calculan los parámetros Eficiencia de Kling-Gupta (KGE), Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) y Coeficiente de determinación (R^2). Los resultados para cada modelo se observan en la **Figura 3-19**.

Si bien ninguno de los 4 modelos entrega resultados buenos, MIROC y CSIRO destacan por sobre IPSL y CCSM4 al comparar el parámetro de eficiencia NSE.

La elección entre los modelos MIROC y CSIRO queda sujeta a los resultados de precipitación, de manera de utilizar el mismo modelo GCM para ambas forzantes meteorológicas en el período futuro.



| MODELO IPSL | KGE | NSE | R2 |
|-----------------------------|------|-------|------|
| Aguas Verdes | 0,34 | -1,20 | 0,15 |
| Tal Tal (DCP) | 0,71 | 0,27 | 0,52 |
| Las Vegas | 0,40 | -0,83 | 0,21 |
| Los Loros | 0,60 | 0,13 | 0,36 |
| Copiapo | 0,66 | 0,38 | 0,45 |
| Desierto de Atacama Caldera | 0,71 | 0,27 | 0,58 |
| MODELO MIROC | KGE | NSE | R2 |
| Aguas Verdes | 0,44 | -1,03 | 0,24 |
| Tal Tal (DCP) | 0,72 | 0,36 | 0,52 |
| Las Vegas | 0,47 | -0,67 | 0,26 |
| Los Loros | 0,59 | 0,12 | 0,35 |
| Copiapo | 0,67 | 0,39 | 0,46 |
| Desierto de Atacama Caldera | 0,75 | 0,33 | 0,59 |
| MODELO CSIRO | KGE | NSE | R2 |
| Aguas Verdes | 0,37 | -1,04 | 0,16 |
| Tal Tal (DCP) | 0,68 | 0,35 | 0,49 |
| Las Vegas | 0,44 | -0,45 | 0,21 |
| Los Loros | 0,55 | 0,08 | 0,32 |
| Copiapo | 0,67 | 0,40 | 0,46 |
| Desierto de Atacama Caldera | 0,75 | 0,34 | 0,59 |
| MODELO CCSM4 | KGE | NSE | R2 |
| Aguas Verdes | 0,33 | -1,29 | 0,13 |
| Tal Tal (DCP) | 0,68 | 0,17 | 0,47 |
| Las Vegas | 0,41 | -0,70 | 0,19 |
| Los Loros | 0,61 | 0,16 | 0,37 |
| Copiapo | 0,67 | 0,40 | 0,46 |
| Desierto de Atacama Caldera | 0,72 | 0,29 | 0,55 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-19. Resultados validación Temperatura modelos GCM

3.3.2.2 Validación de la Precipitación

En cuanto a la precipitación, se realiza en primera instancia la validación calculando los parámetros KGE, NSE y R^2 . Los resultados se observan en las **Tabla 3-7** a **Tabla 3-10**, donde cada una corresponde a un modelo GCM.

Tabla 3-7. Resultados parámetros de eficiencia Modelo IPSL

| Estación | KGE | NSE | R2 |
|-----------------------------|------------|------------|-----------|
| Aguas Verdes | -0,21 | -0,17 | 0,00 |
| Taltal | -0,22 | -0,22 | 0,00 |
| Taltal (DCP) | -0,66 | -0,01 | 0,00 |
| Las Vegas | -0,41 | -0,06 | 0,00 |
| Caldera | -0,14 | -0,01 | 0,04 |
| Jorquera en la Guardia | 0,00 | -0,75 | 0,00 |
| Los Loros | 0,09 | -0,54 | 0,01 |
| Río Copiapó en la Puerta | -0,17 | -1,87 | 0,00 |
| Elibor Campamento | 0,08 | -0,35 | 0,02 |
| Pastos Grandes | 0,05 | -0,57 | 0,01 |
| Copiapó | -0,17 | -0,17 | 0,01 |
| El Totoral | -0,14 | -0,32 | 0,00 |
| Canto de Agua | 0,03 | -0,53 | 0,00 |
| Desierto de Atacama Caldera | -0,33 | -0,02 | 0,02 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-8. Resultados parámetros de eficiencia Modelo MIROC

| Estación | KGE | NSE | R2 |
|-----------------------------|------------|------------|-----------|
| Aguas Verdes | -0,12 | -0,38 | 0,00 |
| Taltal | -0,03 | -0,38 | 0,01 |
| Taltal (DCP) | -0,58 | -0,03 | 0,00 |
| Las Vegas | -0,39 | -0,07 | 0,00 |
| Caldera | -0,35 | -0,12 | 0,00 |
| Jorquera en la Guardia | 0,05 | -0,74 | 0,00 |
| Los Loros | 0,03 | -0,67 | 0,00 |
| Río Copiapó en la Puerta | -0,03 | -1,23 | 0,00 |
| Elibor Campamento | 0,02 | -0,47 | 0,00 |
| Pastos Grandes | 0,03 | -0,71 | 0,00 |
| Copiapó | -0,17 | -0,27 | 0,00 |
| El Totoral | -0,20 | -0,20 | 0,00 |
| Canto de Agua | -0,06 | -0,38 | 0,00 |
| Desierto de Atacama Caldera | -0,38 | -0,12 | 0,00 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-9. Resultados parámetros de eficiencia Modelo CSIRO

| Estación | KGE | NSE | R2 |
|-----------------------------|------------|------------|-----------|
| Aguas Verdes | -0,21 | -0,17 | 0,00 |
| Taltal | -0,23 | -0,22 | 0,00 |
| Taltal (DCP) | -0,58 | -0,02 | 0,00 |
| Las Vegas | -0,41 | -0,07 | 0,00 |
| Caldera | -0,27 | -0,20 | 0,00 |
| Jorquera en la Guardia | 0,00 | -0,75 | 0,00 |
| Los Loros | 0,00 | -0,69 | 0,00 |
| Río Copiapó en la Puerta | -0,14 | -1,42 | 0,00 |
| Elibor Campamento | -0,03 | -0,52 | 0,00 |
| Pastos Grandes | -0,03 | -0,69 | 0,00 |
| Copiapó | -0,24 | -0,25 | 0,00 |
| El Totoral | -0,19 | -0,32 | 0,00 |
| Canto de Agua | -0,05 | -0,52 | 0,00 |
| Desierto de Atacama Caldera | -0,43 | -0,11 | 0,00 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-10. Resultados parámetros de eficiencia Modelo CCSM4

| Estación | KGE | NSE | R2 |
|-----------------------------|------------|------------|-----------|
| Aguas Verdes | -0,10 | -0,41 | 0,00 |
| Taltal | -0,11 | -0,55 | 0,00 |
| Taltal (DCP) | -0,41 | -0,08 | 0,00 |
| Las Vegas | -0,41 | -0,07 | 0,00 |
| Caldera | -0,20 | -0,29 | 0,00 |
| Jorquera en la Guardia | -0,01 | -0,88 | 0,00 |
| Los Loros | -0,01 | -0,83 | 0,00 |
| Río Copiapó en la Puerta | -0,49 | -4,13 | 0,00 |
| Elibor Campamento | -0,02 | -0,66 | 0,00 |
| Pastos Grandes | -0,02 | -0,79 | 0,00 |
| Copiapó | -0,20 | -0,31 | 0,00 |
| El Totoral | -0,12 | -0,54 | 0,00 |
| Canto de Agua | -0,03 | -0,73 | 0,00 |
| Desierto de Atacama Caldera | -0,38 | -0,14 | 0,00 |

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en las tablas, los resultados de la validación son insuficientes para todos los modelos, considerando que esta valoración la tienen parámetros KGE menores a 0,5, parámetros NSE menores a 0,36 y R² menores a 0,39.

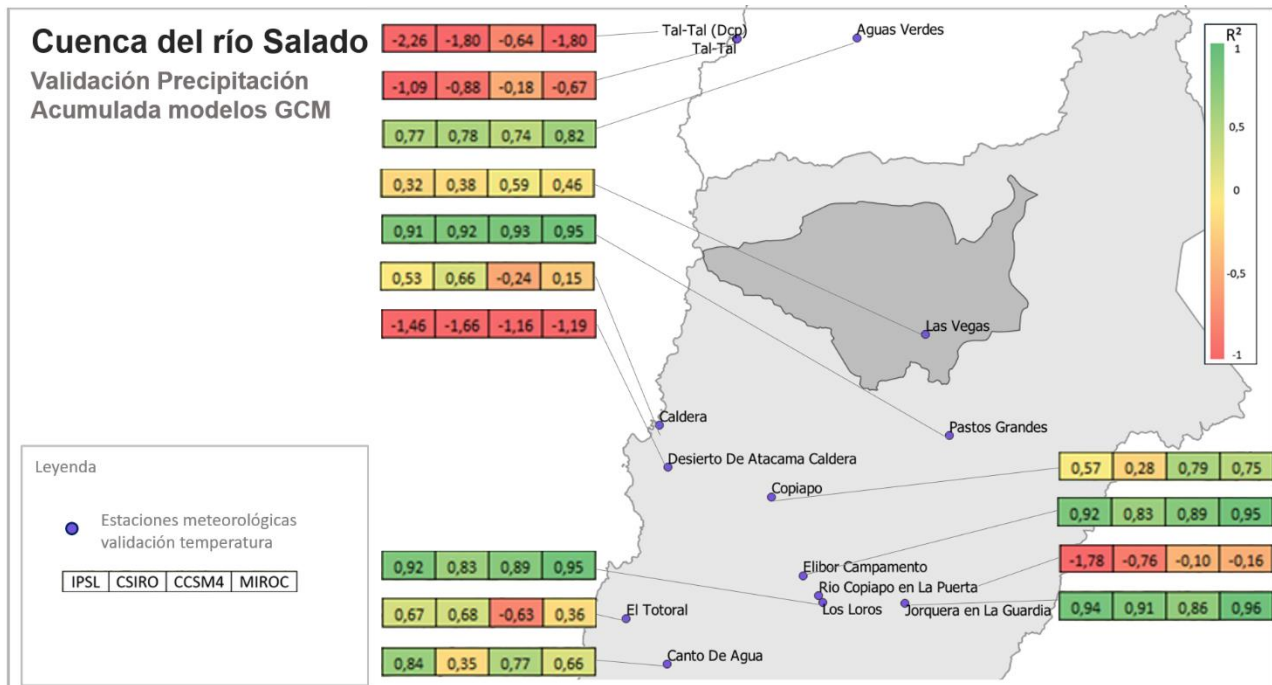
3.3.2.3 Validación de la Precipitación Acumulada

Debido a los resultados obtenidos en la validación de la precipitación para modelos GCM, se realiza un análisis adicional de precipitación acumulada, tal como se efectuó para el período histórico. Se lleva a cabo comparando las precipitaciones acumuladas en cada estación con la precipitación acumulada en el mismo período (1985 a 2019) para cada

modelo, para los días en que tanto la estación como el modelo tienen dato. A las series de precipitación acumulada se les calculó el coeficiente R^2 de dispersión estadística presentado en la sección anterior, que representa qué tan acercados o alejados se encuentran los pares de puntos de precipitación acumulada con respecto a una recta de pendiente 1 (línea de igualdad, que indicaría que ambas series son idénticas).

A modo de resumen, en la **Figura 3-20** y **Tabla 3-11** se presentan los resultados de R^2 para la precipitación acumulada en todas las estaciones y todos los modelos. Se observa que en general, los modelos CCSM4 y MIROC resultan en mejores ajustes con respecto a los datos observados, con un R^2 promedio de 0,25 y 0,23 respectivamente, versus un 0,06 y 0,11 de los modelos IPSL y CSIRO. Si se comparan los 2 mejores modelos sin considerar las estaciones que entregan peores resultados (Tal-Tal, Tal-Tal (DCP), Río Copiapó en la Puerta y Desierto de Atacama Caldera), se obtiene que el modelo MIROC presenta un mejor ajuste con un R^2 de 0,70 (en la **Tabla 3-11**, fila "PROMEDIO *").

Con esto, **se escoge el modelo MIROC para representar la precipitación en el período futuro. La elección del modelo de temperatura, por lo tanto, se inclina también hacia el modelo MIROC.**



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-20. Resultado de validación precipitación acumulada para modelos GCM

Tabla 3-11. Promedio de R² precipitación acumulada

| Estación | Comentario | IPSL | CSIRO | CCSM4 | MIROC |
|-----------------|----------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| PROMEDIO | Todas las estaciones | 0,06 | 0,11 | 0,25 | 0,23 |
| PROMEDIO* | Excepto estaciones insuficientes | 0,74 | 0,66 | 0,56 | 0,70 |

Fuente: Elaboración Propia

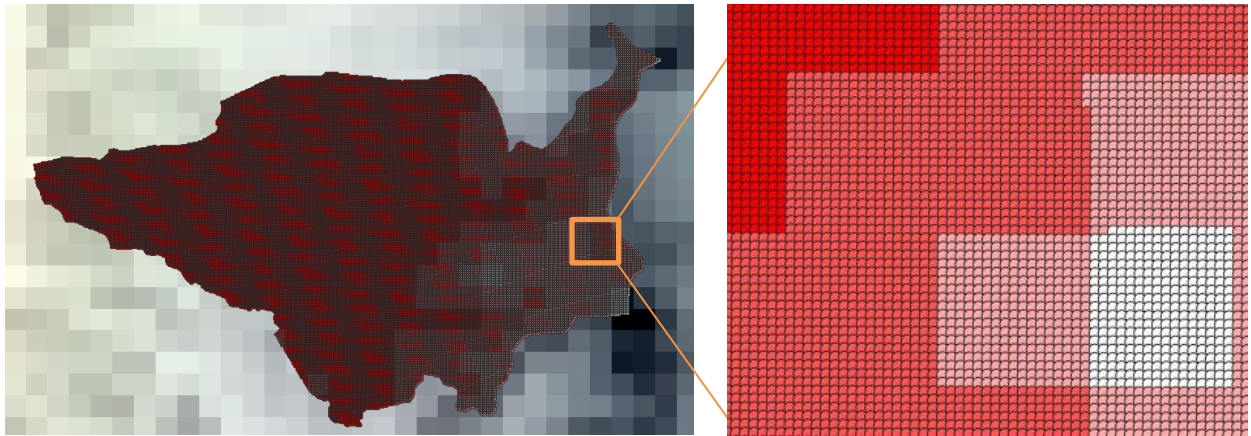
El detalle de las series de precipitación acumulada se puede encontrar en el Anexo H-2.

3.3.3 Procesamiento de la Información Meteorológica

La información meteorológica se tiene distribuida para toda el área de la cuenca, en una grilla rectangular de 0,05° latitud-longitud (5x5 km, aproximadamente) para la temperatura, proveniente del modelo CR2MET, y en una grilla de 0,05° latitud-longitud para la precipitación, resultado del modelo RFMEP. A su vez, la humedad relativa y velocidad del viento también se encuentran en una grilla con una resolución de 0,05° latitud-longitud, mientras que la fracción de nubosidad se encuentra en una grilla de 10 x 10 km.

Para extraer la información a un formato manejable, se realiza un tratamiento en SIG. Se utiliza una nube de puntos espaciados cada 300 metros, y se realiza un cruce entre esta nube de puntos y cada una de las capas que contienen la información meteorológica. Este proceso entrega una serie de tiempo diaria de precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y fracción de nubosidad asociada a cada punto espaciado cada 300 (m). De manera ilustrativa, en la **Figura 3-21** se observa la nube de puntos utilizada para la cuenca río Salado, sobre la grilla de temperatura. Además, se observa un acercamiento a un sector, donde se aprecia la separación entre los puntos, la distribución de estos sobre cada pixel de la grilla y el valor de temperatura de cada uno, dentro de un rango, para el día presentado. De manera equivalente, en la **Figura 3-22** se presenta la figura para la precipitación, para un día del período histórico considerado.

Con esto, se cuenta con una serie diaria de las 5 forzantes meteorológicas para cada uno de los puntos espaciados cada 300 m ubicados dentro de la cuenca.



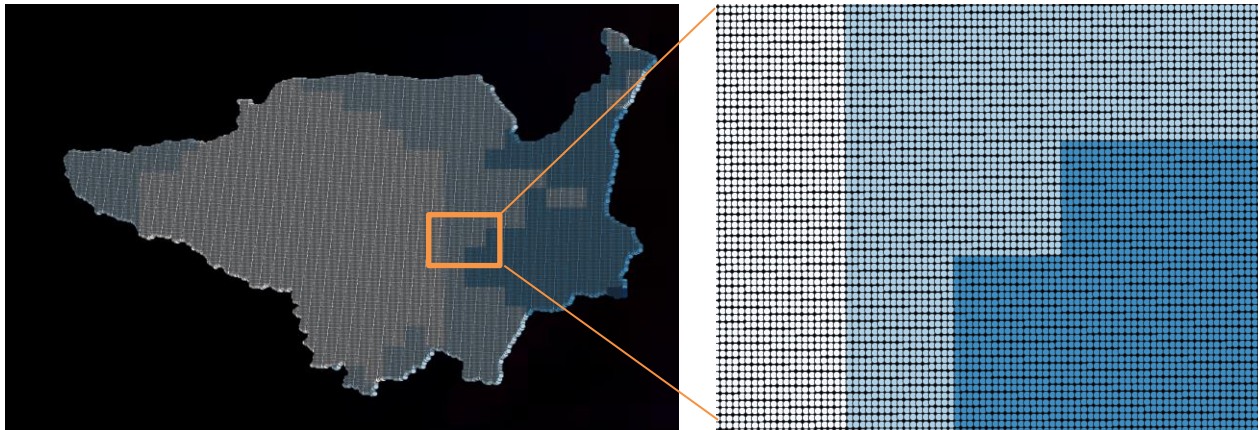
Temperatura CR2met Salado

- -0.5 - 5
- 5 - 10
- 10 - 15
- 15 - 20.4

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-21. Nube de puntos espaciados cada 300 (m), sobre capa que contiene información meteorológica de temperatura.

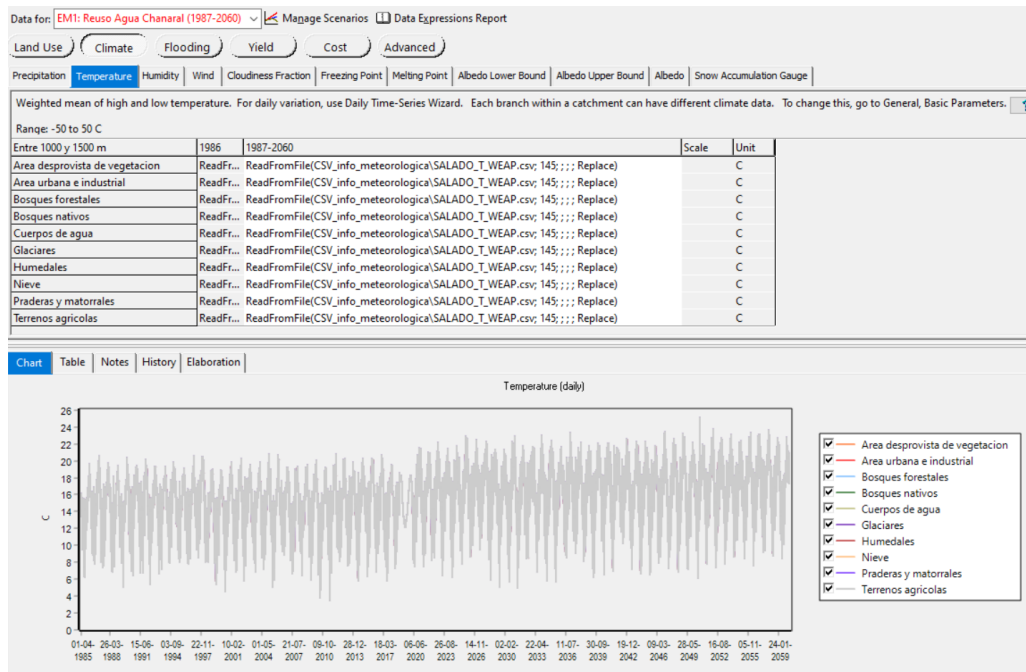
Para el ingreso de la información al modelo WEAP, se agrupan las forzantes meteorológicas según bandas de elevación en unidades hidrológicas. Para esto, se promedia el valor de todos los puntos que caen dentro de una banda de elevación en una unidad hidrológica obteniéndose un valor representativo por día y por banda de elevación dentro de cada unidad hidrológica. Esto se carga en el modelo WEAP a través de un archivo .csv, para cada forzante meteorológica, y para cada banda de elevación de cada subcuenca. Esto se observa en la **Figura 3-23** para la temperatura.



Precipitación CR2MET [mm]

- 0 - 5
- 5 - 10
- 10 - 15
- 15 - 20

Figura 3-22. Nube de puntos espaciados cada 300 (m), sobre capa que contiene información meteorológica de precipitación.



Fuente: modelo WEAP

Figura 3-23. Ingreso de información meteorológica al modelo WEAP

3.4 Demanda de Agua Potable Urbana

En la modelación hidrológica se han considerado las principales localidades de la cuenca en estudio:

- Chañaral
- Diego de Almagro
- El Salado
- Inca de Oro
- El Salvador

La ubicación de cada una de estas localidades se presenta en la **Figura 3-24** y han sido incluidas en el modelo WEAP a través de elementos **Sitio de Demanda ("Demand Site")** y nombrados como LOC_Nombre_localidad. La totalidad de estas localidades cuentan con abastecimiento de agua puramente subterráneo. Mientras que las localidades de Diego de Almagro, El Salado e Inca de Oro cuentan con fuentes subterráneas ubicadas dentro de la cuenca río Salado, las localidades de El Salvador y Chañaral son abastecidas desde fuentes subterráneas externas a la cuenca, ubicadas en el sector de Pedernales en el caso de El Salvador, y ubicadas en el valle del río Copiapó en el caso de Chañaral (aducción sistema Caldera-Chañaral). El cálculo de la demanda de agua estimada para estas localidades se presenta en detalle en el Anexo F.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-24. Localidades consideradas en la modelación hidrológica

3.5 Demanda de Agua para Uso Agrícola

Dentro de la cuenca en estudio no se presenta una actividad agrícola que use una cantidad de agua que sea relevante para los objetivos de la modelación en el presente plan de gestión hídrica.

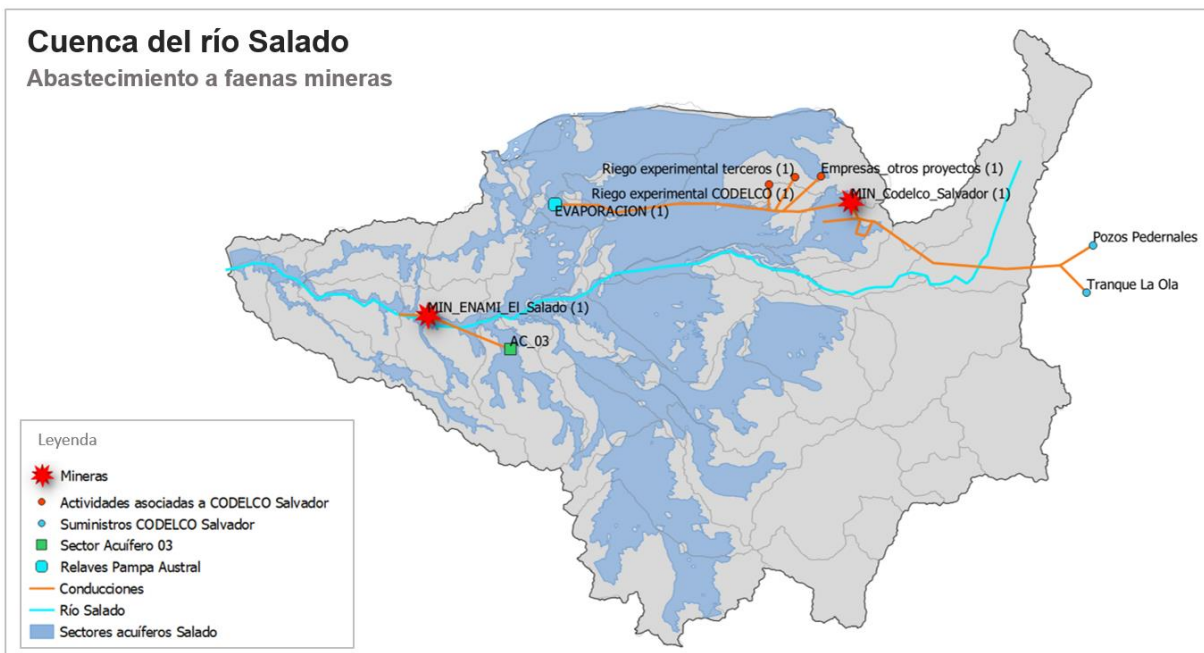
3.6 Demanda de Agua para Uso Minero

En el área de la cuenca existen 2 faenas mineras de importancia que se consideran dentro de la modelación. Estas corresponden a la División Salvador de CODELCO y El Salado de ENAMI. En la modelación se representan a través de **Sitio de Demanda ("Demand Site")**, denominados con el prefijo MIN previo al nombre de la minera (por ejemplo, MIN_CODELCO_Salvador). Estas faenas, además de demandar agua para la operación misma, contempla uso de agua para agua potable (en los campamentos), humectación de caminos y riegos experimentales. A su vez, existe un tranque de relave de CODELCO Salvador, denominado Pampa Austral. A este tranque se derivan las aguas utilizadas por la faena minera, y en el modelo se representa como un **sitio de demanda** (llamado "Evaporación") que consume el 100% del agua que le llega, lo que corresponde a la evaporación que se produce en el tranque.

El abastecimiento de agua a las faenas proviene de diversas fuentes (ver **Figura 3-25**):

- CODELCO Salvador: extracción de pozos y captación de aguas superficiales del tranque La Ola, perteneciente a la cuenca del Salar de Pedernales.
- ENAMI El Salado: extracción de afloramiento dentro de la cuenca, a 1,8 km al este de la faena, proveniente del sector acuífero 03.

La demanda de agua de cada una de las faenas se presenta en la **Tabla 3-12**. Más detalles se pueden encontrar en el informe principal de este estudio, sección 3.4.1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-25. Abastecimiento de agua a faenas mineras

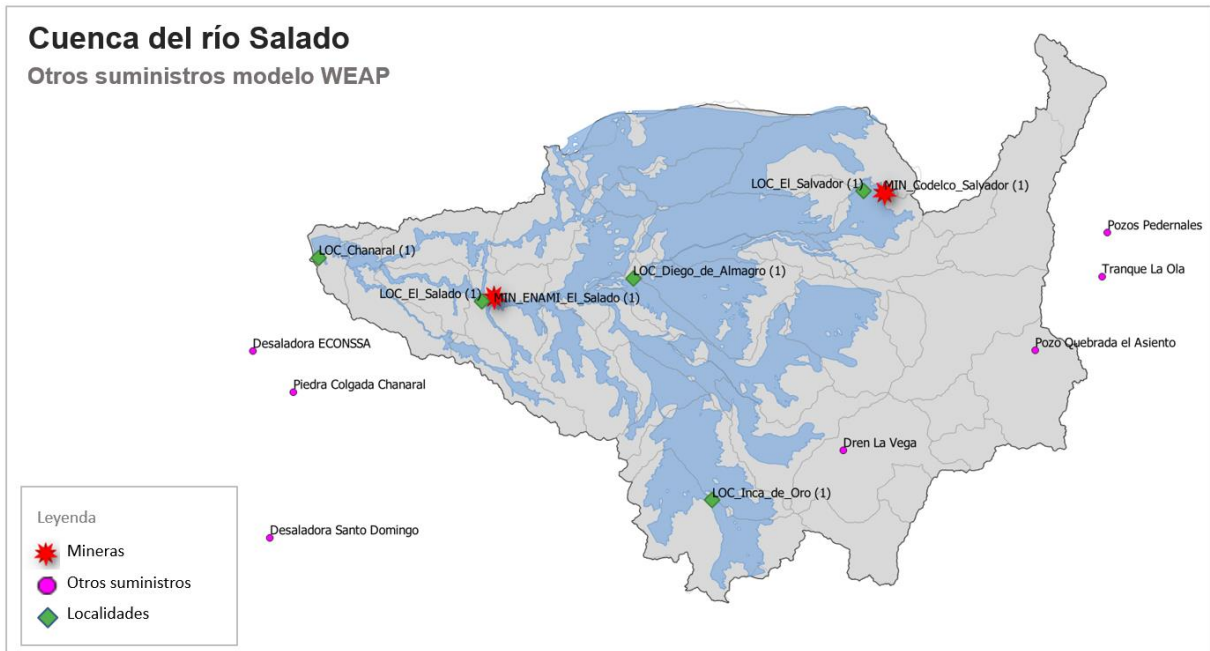
Tabla 3-12. Demanda de agua para uso minero

| Empresa | Nombre | Demanda (hm ³ /año) |
|---------|-------------------------------|--------------------------------|
| CODELCO | División Salvador y Rajo Inca | 27,10 |
| ENAMI | Planta El Salado | 0,30 |

Fuente: CODELCO (2020) y ENAMI (2020)

3.7 Otros suministros

Dentro del modelo se incluyen fuentes de agua que no pertenecen al área dentro de la cuenca. Entre ellas destacan plantas desaladoras, pozos fuera de la cuenca, tranques fuera de la cuenca, entre otros. En la **Figura 3-26** se observan en estrella roja las faenas mineras, en rombos verdes las localidades, y en círculos morados los suministros externos a la cuenca. Estos últimos se ubicaron en posiciones que no corresponden con la realidad, de manera de facilitar la visibilidad del modelo WEAP. En el modelo se representan con elementos **Otros suministros ("Other Supplies")**.



Fuente: elaboración propia en base a modelo WEAP

Figura 3-26. Otros suministros modelo WEAP

3.8 Embalses

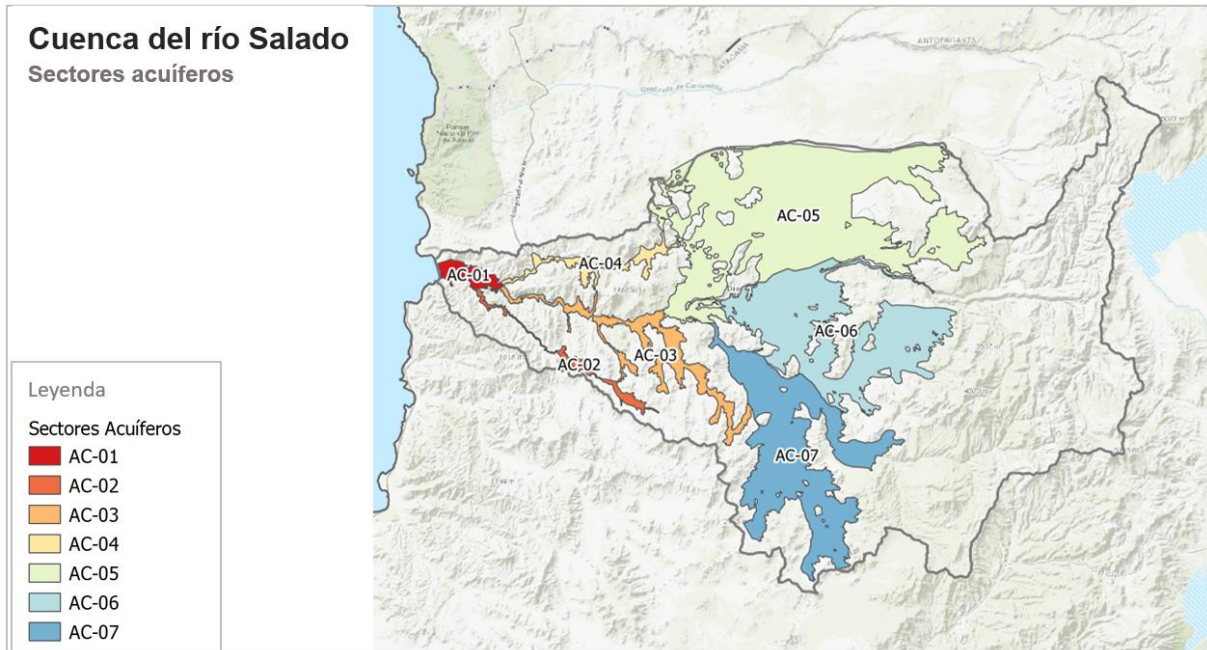
La cuenca en estudio no presenta embalses para fines agrícolas o hidroeléctricos.

3.9 Centrales Hidroeléctricas

La cuenca en estudio no presenta centrales hidroeléctricas.

3.10 Sectores Acuíferos

Gracias a las campañas de gravimetría y prospección TEM realizadas en el presente estudio, ha sido posible contar con información más certera sobre las características que posee el acuífero en la cuenca de estudio. En base a lo descrito en la sección 2.2, se han tomado **siete sectores acuíferos** para la zona, los que pueden ser vistos en la **Figura 3-27**. Cada uno de estos sectores acuíferos son representados en el modelo WEAP mediante elementos **Aguas Subterráneas ("groundwater")**, a los que se les asigna su capacidad para almacenar agua que ha sido estimada en la sección 2.2. Adicionalmente, se imponen los flujos entre sectores acuíferos que también han sido analizados en la sección 2.2.



Fuente: Elaboración propia.







Figura 3-27. Sectores acuíferos considerados en la modelación WEAP



3.11 Resumen esquemático modelo WEAP

En este capítulo se resumen los elementos utilizados en el modelo WEAP (Ríos, elementos de agua subterránea, otros suministros, sitios de demanda, unidades hidrológicas) y cómo se representan. Las conexiones existentes se representan con los elementos derivación, escorrentía/infiltración, flujos de retorno y links de transmisión.

Los elementos y su simbología se presentan en la **Tabla 3-13**.

Tabla 3-13. Elementos del modelo WEAP

| Elemento (español – inglés) | Simbología | Elementos en el modelo |
|---|---|--|
| Río - <i>River</i> |  | Río Salado; Quebradas Ciénaga, El Asiento, Las Salinas, Saladito, Caballo Muerto, Mocobi, Chañaral Alto, La Angostura, Las Ánimas; Quebradas sin nombre 1 a 10. |
| Agua subterránea - <i>Groundwater</i> |  | Sectores acuíferos AC_01 a AC_07, Mar, AC_Cuencas costeras Salado_Copiapó |
| Otros suministros - <i>Other Supplies</i> |  | <ul style="list-style-type: none"> • Pozos Pedernales • Tranque la Ola • Pozo Quebrada el Asiento • Dren La Vega • (Pozo) Piedra Colgada Chañaral • Desaladora Santo Domingo Desaladora ECONSSA |
| Sitio de demanda - <i>Demand site</i> |  | <ul style="list-style-type: none"> • Localidades: LOC_Chanaral LOC_Diego_de_Almagro LOC_El_Salado LOC_El_Salvador LOC_Inca_de_Oro • Mineras y actividades asociadas: MIN_Codelco_Salvador MIN_ENAMI_El_Salado EVAPORACION (Tranque Pampa Austral) Riego experimental CODELCO Riego experimental terceros Empresas otros proyectos • Escenarios de gestión: Demanda Agrícola Chañaral Pozos Escenario de Gestión (2) • Otros: Captación La Finca Noria Dren |
| Unidad hidrológica - <i>Catchment</i> |  | Cuencas de aporte natural: AN_01 a AN_16 <ul style="list-style-type: none"> • Cuencas laterales: CL_01 a CL_25 |
| Derivación - <i>Diversion</i> |  | <ul style="list-style-type: none"> • Sistema Salvador – Diego de Almagro – Salado • Planta Osmosis Inversa • Devolución CODELCO Salvador (a tranque Pampa Austral) • Agua no utilizada por Salado o D. Almagro (desde Captación La Finca Noria Dren) • Agua riego a Chañaral (escenario de gestión 1) • Pozos escenarios de gestión (escenario de gestión 2) |

| Elemento (español – inglés) | Simbología | Elementos en el modelo |
|--|---|--|
| Escorrentía/Infiltración – <i>Runoff/infiltration</i> |  | Entre Unidades hidrológicas y sectores acuíferos; entre sectores acuíferos |
| Flujo de retorno – <i>Return flow</i> |  | <ul style="list-style-type: none"> • Desde LOC_El_Salvador a LOC_El_Salvador Return (en Quebrada de las Salinas) • Desde MIN_CODELCO_Salvador a MIN_CODELCO_Salvador return (en derivación Devolución CODELCO Salvador) • Desde LOC_Inca_de_Oro a LOC_Inca_de_Oro return (en Quebrada_sin_nombre_06). • Desde LOC_Diego_de_Almagro a LOC_Diego_de_Almagro return (en río Salado) • Desde MIN_ENAMI_El_Salado a MIN_ENAMI_El_Salado return (a río Salado) • Desde LOC_El_Salado a LOC_El_Salado return (en río Salado) • Desde LOC_Chanaral a LOC_Chanaral return (a derivación Agua a riego Chanaral) y a Mar • Desde captación la finca noria dren a Captación la finca noria dren return (inicio de derivación Agua no utilizada por Salado o D. Almagro) • Desde Pozos escenario de gestión a Pozos escenario de gestión return (inicio de derivación pozos escenarios de gestión) |

| | | |
|---|--|--|
| <p>Link de transmisión – <i>Transmission Link</i></p> | | <ul style="list-style-type: none"> • Hacia LOC_El_Salvador: Desde salida Nodo 2 (Extracción de derivación Planta de Osmosis Inversa) • Hacia MIN_CODELCO_Salvador: Desde salida Nodo 1 (extracción de derivación Sistema Salvador Diego de Almagro Salado) • Hacia LOC_Inca_de_Oro: Desde Dren La Vega Desde salida Nodo 11 (Extracción de derivación Pozos escenario de gestión) • Hacia LOC_Diego_de_Almagro: Desde salida Nodo 5 (derivación de agua no utilizada por Salado o D. Almagro, de Captación la Finca Noria Dren) Desde Desaladora Santo Domingo Desde salida Nodo 1 (extracción de derivación Sistema Salvador Diego de Almagro Salado) Desde Pozo Quebrada el Asiento Desde salida Nodo 3 (Extracción de derivación Planta de Osmosis Inversa) • Hacia MIN_ENAMI_El_Salado: Desde sector acuífero 3 (AC_03) • Hacia LOC_El_Salado: Desde salida Nodo 5 (derivación de agua no utilizada por Salado o D.Almagro, de Captación la Finca Noria Dren) Desde Desaladora Santo Domingo Desde salida Nodo 11 (Extracción de derivación Pozos escenario de gestión) Desde Pozo Quebrada el Asiento Desde salida Nodo 4 (Extracción de derivación Planta de Osmosis Inversa) • Hacia LOC_Chanaral: Desde (pozo) Piedra Colgada Chanaral Desde Desaladora ECONSSA • Hacia Afluencia tributaria 1 (inicio de la derivación Sistema Salvador Diego de Almagro Salado): Pozos Pedernales Tranque la Ola • Hacia Captación La Finca Noria Dren: Desde sector acuífero 7 (AC_07) • Hacia EVAPORACION (tranque Pampa Austral): Desde salida Nodo 7 (final de Devolución Codelco Salvador) • Hacia Riego Experimental CODELCO: Desde Salida Nodo 10 (Desde derivación Devolución CODELCO Salvador) |
|---|--|--|

| Elemento (español – inglés) | Simbología | Elementos en el modelo |
|-----------------------------|------------|--|
| | | <ul style="list-style-type: none"> • Hacia Riego experimental terceros: Desde Salida Nodo 11 (Desde derivación Devolución CODELCO Salvador) • Hacia empresas otros proyectos: Desde Salida Nodo 8 (Desde derivación Devolución CODELCO Salvador) • Hacia pozos escenarios de gestión: Desde sector acuífero 5 (AC_05) • Hacia Demanda agrícola Chanaral: Desde Salida Nodo 12 (desde fin derivación agua riego a Chañaral) |

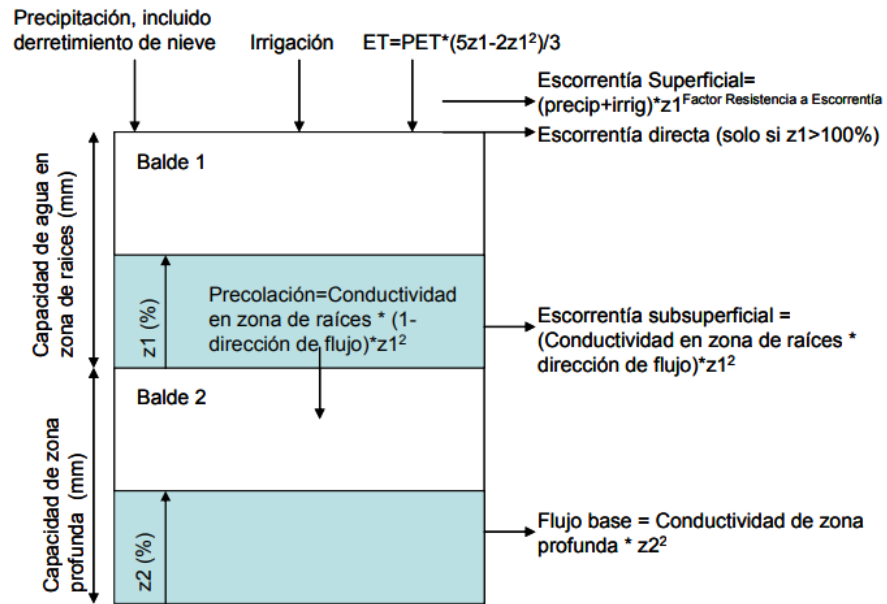
Fuente: Elaboración propia

3.12 Parámetros y Factores de ajuste

El modelo en WEAP tiene involucrados variados parámetros, utilizados para realizar los cálculos y entregar resultados de escorrentía, recarga, entre otras características de la cuenca. El software WEAP modela los procesos hidrológicos como 2 baldes: el primero en la zona superficial y el segundo en profundidad (ver **Figura 3-28**).

Estos parámetros pueden variar dependiendo de la pendiente del terreno, del uso de suelo del terreno y también del sector de la cuenca que se está modelando.

Para variar los parámetros, estos se multiplican por factores que se ingresan al modelo en la sección de **“Key Assumptions” o supuestos claves**, que modifican los parámetros según el sector que se está modelando, el uso de suelo y la pendiente (ver **Tabla 3-14**).



Fuente: (Centro de Cambio Global Universidad Católica de Chile, 2009)

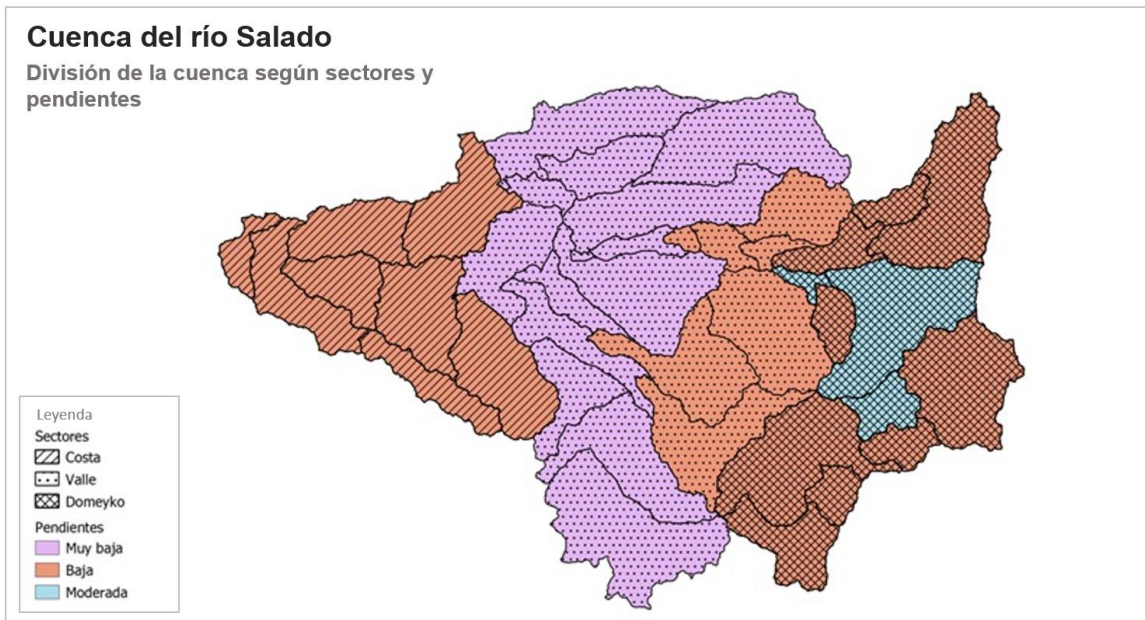
Figura 3-28: elementos hidrológicos modelados en WEAP

Tabla 3-14. Supuestos claves que modifican parámetros del modelo

| Sigla | Nombre | F. pendiente | F. uso de suelo | F. ajuste (sector) |
|------------------------|--|--------------|-----------------|--------------------|
| Kc | Coefficiente de cultivo | | X | X |
| Sw | Capacidad de agua en zona de raíces | X | X | X |
| Dw | Capacidad de agua en zona profunda | X | | X |
| RRF | Factor de resistencia a la escorrentía | X | X | X |
| Ks | Conductividad en zona de raíces | X | X | X |
| Kd | Conductividad en zona profunda | X | | X |
| f | Dirección de flujo | X | | X |
| Z ₁ inicial | % de almacenamiento primer balde | | X | |

Fuente: Elaboración propia

La cuenca se divide según pendiente, en pendiente muy baja, baja o moderada, y en sectores según costa, valle y Domeyko (ver **Figura 3-29**). La clasificación por pendiente también aplica para cada banda de elevación, agregándose las pendientes altas y muy altas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-29. División de la cuenca según sectores y pendientes

Los factores utilizados se observan en las **Tabla 3-15** a **Tabla 3-18**. Estos valores, de manera inicial, se toman como referencia desde estudios anteriores realizados en el territorio chileno, específicamente de DGA (2009) y CORFO (2009).

Tabla 3-15. Factores según pendiente

| Factores de pendiente | Dw | Kd | Ks | RRF | Sw | f |
|-----------------------|------|-------|-----|-----|------|------|
| Muy alta | 1500 | 43460 | 5 | 0,5 | 0,75 | 0,9 |
| Alta | 2000 | 43460 | 2,5 | 0,6 | 0,8 | 0,9 |
| Moderada | 3000 | 65185 | 2 | 0,7 | 0,85 | 0,85 |
| Baja | 4500 | 86915 | 1,2 | 0,8 | 0,9 | 0,8 |
| Muy baja | 5000 | 86915 | 1 | 1 | 1 | 0,8 |

Fuente: Elaboración propia basado en DGA (2020) y Corfo (2009).

Tabla 3-16. Factores según uso de suelo

| Factores de uso de suelo | Kc | Sw | RRF | Ks | Z1 inicial |
|--------------------------------|---------------|-----|-----|------|------------|
| Área desprovista de vegetación | Valor mensual | 150 | 1,6 | 21,7 | 15 |
| Área urbana e industrial | | 150 | 3 | 21,7 | 10 |
| Bosques forestales | | 750 | 4 | 21,7 | 20 |
| Bosques nativos | | 750 | 4 | 21,7 | 20 |
| Cuerpos de agua | | 120 | 0,1 | 26 | 100 |
| Glaciares | | 700 | 3 | 21,7 | 60 |
| Humedales | | 750 | 4 | 21,7 | 25 |
| Nieve | | 700 | 3 | 21,7 | 60 |
| Praderas y matorrales | | 560 | 2 | 21,7 | 25 |
| Terrenos agrícolas | | 350 | 4 | 21,7 | 20 |

Fuente: Elaboración propia basado en DGA, 2020 y Corfo 2009

Tabla 3-17. Factor Kc con variación mensual según uso de suelo

| Valor mensual Kc (uso de suelo) | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Area desp. de vegetacion | 0,63 | 0,56 | 0,49 | 0,43 | 0,41 | 0,47 | 0,51 | 0,66 | 0,69 | 0,76 | 0,75 | 0,67 |
| Area urbana e industrial | 0,94 | 0,88 | 0,85 | 0,86 | 0,87 | 0,97 | 1,00 | 1,10 | 1,08 | 1,11 | 1,09 | 1,03 |
| Bosques forestales | 1,00 | 0,99 | 0,97 | 0,97 | 0,99 | 1,09 | 1,10 | 1,16 | 1,11 | 1,12 | 1,11 | 1,06 |
| Bosques nativos | 0,99 | 0,96 | 0,93 | 0,92 | 0,93 | 1,05 | 1,08 | 1,16 | 1,12 | 1,12 | 1,11 | 1,06 |
| Cuerpos de agua | 0,88 | 0,83 | 0,79 | 0,79 | 0,79 | 0,87 | 0,90 | 1,01 | 1,00 | 1,03 | 1,01 | 0,95 |
| Glaciares | 0,43 | 0,32 | 0,25 | 0,22 | 0,20 | 0,19 | 0,21 | 0,35 | 0,42 | 0,53 | 0,54 | 0,46 |
| Humedales | 0,91 | 0,90 | 0,89 | 0,89 | 0,91 | 1,03 | 1,04 | 1,09 | 1,04 | 1,05 | 1,03 | 0,97 |
| Nieve | 0,43 | 0,32 | 0,25 | 0,22 | 0,20 | 0,19 | 0,21 | 0,35 | 0,42 | 0,53 | 0,54 | 0,46 |
| Praderas y matorrales | 0,88 | 0,84 | 0,80 | 0,79 | 0,79 | 0,89 | 0,92 | 1,01 | 0,99 | 1,01 | 0,99 | 0,94 |
| Terrenos agrícolas | 0,73 | 0,56 | 0,07 | 0,12 | 0,12 | 0,28 | 0,56 | 0,74 | 0,89 | 1,04 | 1,00 | 0,93 |

Fuente: Elaboración propia basado en DGA, 2020 y Corfo 2009

Tabla 3-18. Factores de ajuste por sector

| Factores de Ajuste | Kc | Sw | Dw | RRF | Ks | Kd | f |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|----------|
| Sector Domeyko | 3,5 | 0,6 | 0,7 | 1,25 | 1 | 1 | 0,47 |
| Sector Valle | 4 | 0,6 | 0,7 | 1,25 | 1 | 1 | 0,8 |
| Sector Costa | 3,5 | 0,6 | 0,7 | 1,25 | 1 | 1 | 0,4 |

Fuente: Elaboración propia basado en DGA, 2020 y Corfo 2009

También se consideran factores de ajuste de flujos subterráneos (**Tabla 3-19**), para amplificar o disminuir los flujos entre acuíferos obtenidos a partir de las campañas de terreno (ver sección 2.2.8 de este Anexo) y obtener volúmenes razonables de los acuíferos a lo largo del tiempo.

Tabla 3-19. Factores de ajuste para flujos entre acuíferos

| Ajuste de flujos subterráneos. | |
|--|-------|
| AC_02 hacia AC_01 | 0,1 |
| AC_03 hacia AC_01 | 13,84 |
| AC_03 hacia AC_07 | 1 |
| AC_04 hacia AC_01 | 1,47 |
| AC_05 hacia AC_03 | 1,5 |
| AC_05 hacia AC_04 | 1,5 |
| AC_05 hacia AC_06 | 1 |
| AC_06 hacia AC_05 | 1,5 |
| AC_06 hacia AC_07 | 0,2 |
| AC_07 hacia AC_05 | 1 |
| AC_07 hacia AC_Cuencas Costeras Salado_Copiapó | 1,2 |

Fuente: Elaboración propia

3.13 Calibración del Modelo

Dada la nula disponibilidad de estaciones fluviométricas en la zona de estudio, no existen caudales medidos con los que comparar los resultados entregados por el modelo, por lo que se vio en la obligación de recurrir a otras fuentes de información para llevar a cabo la calibración. Se entiende que estas fuentes de información, a pesar de su utilidad, nunca podrían reemplazar los datos fiables que entregarían estaciones hidrométricas en terreno.

La calibración del modelo WEAP se llevó a cabo tomando como referencia la información contenida en el estudio Aplicación de la Metodología de Actualización del Balance Hídrico Nacional en las cuencas de las macrozonas norte y centro (DGA, 2018). En esta calibración se comparan los resultados obtenidos en la modelación del presente estudio con la

información que en DGA (2018) se indica para la cuenca río Salado. Los valores considerados en esta comparación corresponden a promedios de montos medios anuales de precipitación, evapotranspiración real, escorrentía superficial y percolación (en milímetros al año) entre los años hidrológicos comprendidos entre abril de 1985 y marzo de 2015.

En esta línea, cabe destacar que una vez realizada la validación de la precipitación que entrega el producto CR2MET v2.0 al compararlo con las estadísticas de estaciones pluviométricas, y considerando la posterior corrección de los valores de precipitación que este producto entrega (utilizar precipitación sobre umbral de 5 mm), todo esto con el objetivo de tener montos más cercanos a las magnitudes observadas en las estaciones, el promedio de la precipitación media anual obtenida para la cuenca en el periodo de calibración resulta ser de 22,7 (mm/año), cerca de un 40% por sobre la precipitación que el estudio de DGA (2018) indica para la cuenca (este estudio utiliza la versión CR2MET v1.3). De esta manera, se realizó un primer ejercicio que consistió en una calibración con el objetivo de obtener valores de precipitación (**Tabla 3-20**), evapotranspiración real, caudal superficial y percolación aproximadamente un 40% mayores a los valores entregados por DGA (2018).

Tabla 3-20. Diferencia en precipitación PEGH y BHN (DGA, 2018), período Abril 1985 – Marzo 2015.

| | Precipitación (mm/año) |
|------|-------------------------------|
| PEGH | 22,71 |
| BHN | 16,00 |

Sin embargo, tomando en consideración los caudales subterráneos estimados entre sectores acuíferos, calculados con la información levantada en terreno en la campaña geofísica realizada en el presente estudio, se pudo constatar que la recarga generada en la modelación ciñéndose a los montos de DGA (2018), generaba evoluciones poco realistas del volumen de agua almacenado en los sectores acuíferos, dando como resultado que los volúmenes en los acuíferos aumentarían o disminuirían en gran magnitud durante el período en estudio, siendo esta situación alejada de la realidad. Dado esto, se vio en la necesidad de buscar una situación intermedia en la calibración, que permitiera contar con un balance hídrico de la cuenca que fuera cercano al indicado en DGA (2018), pero que a la vez tenga sentido con los caudales subterráneos estimados con la información de la campaña geofísica.

Dadas estas condiciones, la calibración apuntó a obtener valores cercanos tanto al estudio de DGA (2018) como a los caudales subterráneos entre sectores acuíferos obtenidos mediante campañas de terreno, poniendo especial énfasis en mantener los resultados de este PEGH en torno a los órdenes de magnitud dados por las dos fuentes de información ya mencionadas. El proceso, por lo tanto, siguió los pasos que se detallan a continuación:

1. Ingreso de la precipitación al modelo, correspondiente a un valor aproximado de 40% sobre la precipitación del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2018).
2. Edición de los parámetros del modelo (Kc, Sw, Dw, RRF, Ks, Kd, f) para obtener una recarga de entre 5 y 10% de la precipitación. Este valor se toma como referencia de estudios anteriores, como DGA (2018) (ver **Tabla 3-21**), y de la experiencia del equipo consultor en proyectos realizados anteriormente en la zona de estudio.
3. Edición de los parámetros del modelo (Kc, Sw, Dw, RRF, Ks, Kd, f) para obtener una evapotranspiración real entre 10 y 25 mm/año aproximadamente, correspondiente a los valores de DGA (2017), como se observa en la **Figura 3-30**.



Fuente: Elaboración propia basado en DGA (2017)

Figura 3-30. Evapotranspiración real

4. Modificación de los caudales subterráneos entre sectores acuíferos (se utiliza un supuesto clave de ajuste de flujos subterráneos) y en desembocadura, de manera de obtener volúmenes razonables en los acuíferos, en cuanto a su evolución en el tiempo.

La precipitación, escorrentía, evapotranspiración real y recarga, tanto para el PEGH como para el Balance Hídrico Nacional (DGA, 2018) se presentan en la **Tabla 3-21**.

Tabla 3-21. Diferencia en resultados PEGH y BHN (DGA, 2018), período Abril 1985 – Marzo 2015.

| | Precipitación (mm/año) | Escorrentía (mm/año) | ET Real (mm/año) | Recarga (mm/año) |
|------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| PEGH | 22,71 | 5,03 | 19,16 | 1,20 |
| BHN | 16,00 | 1,70 | 12,80 | 1,60 |

Fuente: Elaboración propia.

Es importante recalcar que, a pesar de los esfuerzos realizados, existe una incertidumbre considerable en la calibración del modelo hidrológico y, por lo tanto, en los resultados que el modelo entrega. Sin duda esta situación corresponde a una brecha en este estudio, que se debe investigar en el futuro mediante un monitoreo hidrométrico que pueda implementarse en la cuenca y que de indicios de los montos de los volúmenes involucrados en el balance hídrico de la cuenca.

3.14 Balance Hídrico

El balance de aguas superficiales se realizó con los volúmenes de ingreso y egreso del ambiente superficial de la cuenca, tomando como volúmenes de control las unidades superficiales que se pueden ver en la **Figura 3-31**.

Por el lado del ingreso de aguas, se tiene la precipitación, mientras que en el lado de la salida de agua, se cuenta con la evapotranspiración estimada hasta el año 2050, percolaciones hacia el acuífero y los caudales superficiales generados. Para el caso de las percolaciones, sólo se considera el agua proveniente de las precipitaciones en la cuenca, excluyendo la recarga desde los cursos de agua. Esta exclusión se debe a que no se cuenta con datos de niveles de pozos de observación ni un modelo acoplado WEAP-MODFLOW, por lo que no se ha modelado en detalle la fracción subterránea de la cuenca del río Salado, y por lo tanto no ha sido posible calcular de manera realista la conductividad del río, y la recarga vertical hacia los acuíferos desde los cauces superficiales.

Además, se considera en el balance la humedad en los primeros horizontes del suelo; la que es considerada en el balance como aumentos o disminuciones de agua almacenada en el volumen de control (unidades superficiales). Con esto se cierra la ecuación de balance volumétrico en las unidades superficiales con un error despreciable. Es decir:

$$I - Q = \frac{\partial V}{\partial t}$$

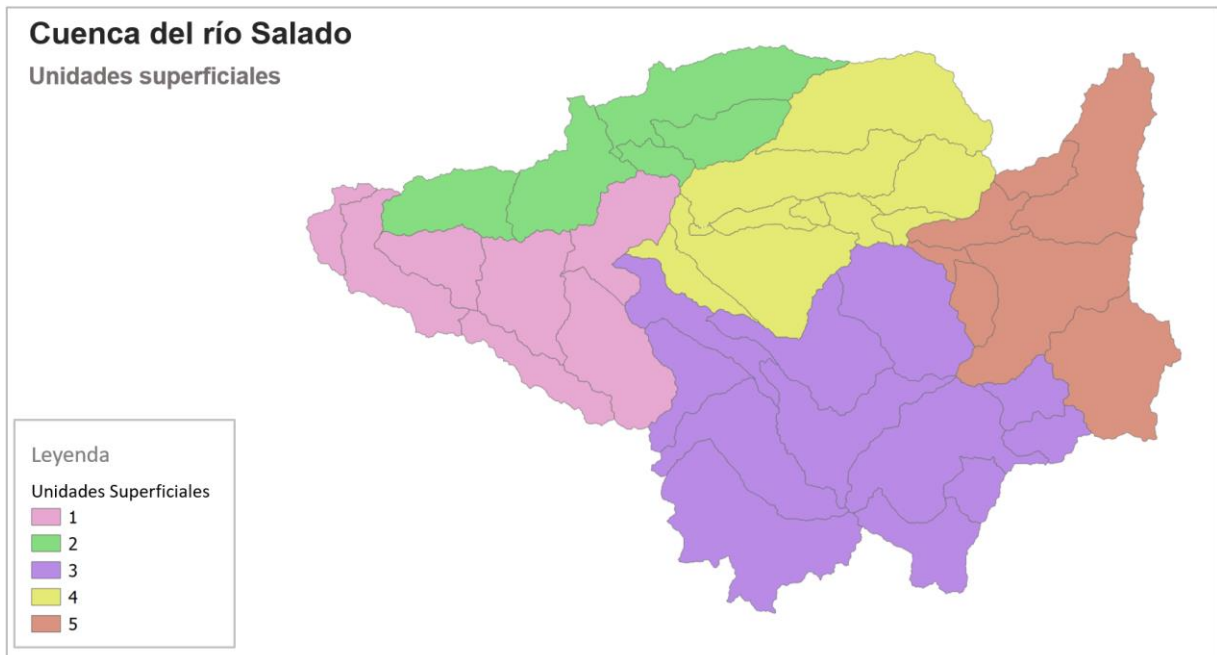
donde I y Q son los flujos de entrada y salida en la unidad superficial en cuestión, y V es el volumen almacenado al interior de dicha unidad superficial. Más específicamente, la

ecuación anterior aplicada al balance de cada unidad superficial con un paso de tiempo mensual es:

$$P - ET - Q_s - R = \Delta V$$

donde:

- P : Precipitación caída en la unidad superficial durante el mes analizado
- ET : Evapotranspiración real ocurrida en la unidad superficial durante el mes analizado
- Q_s : Escorrentía superficial efluente en la unidad superficial durante el mes analizado
- R : Volumen de agua superficial de la unidad superficial que percola como recarga al acuífero durante el mes analizado
- ΔV : Variación (incremento o disminución) del volumen de agua almacenado en la unidad superficial en forma de humedad del suelo



Nota: Las líneas grises internas corresponden a las subcuencas tomadas en la modelación WEAP.

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-31. Unidades superficiales tomadas para la cuenca del río Salado

En la **Tabla 3-22**, **Tabla 3-23** y **Tabla 3-24** se muestran los balances de aguas superficiales para el período histórico, actual y proyectado, respectivamente.

Tabla 3-22. Balance de aguas superficial, periodo histórico 1990-2014

| | US 1 | US 2 | US 3 | US 4 | US 5 | Cuenca |
|---|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Entradas | 13,84 | 9,78 | 67,46 | 23,91 | 41,38 | 156,38 |
| Precipitación (hm ³ /año) | 13,84 | 9,78 | 67,46 | 23,91 | 41,38 | 156,38 |
| Salidas | 13,18 | 9,68 | 64,40 | 22,24 | 38,60 | 148,10 |
| ET Real (hm ³ /año) | 9,86 | 3,53 | 50,49 | 20,35 | 36,69 | 120,92 |
| Escorrentía (hm ³ /año) | 1,66 | 3,73 | 10,69 | 1,43 | 1,91 | 19,42 |
| Recarga (hm ³ /año) | 1,66 | 2,42 | 3,22 | 0,46 | 0,00 | 7,77 |
| Variación humedad de suelo | 0,67 | 0,10 | 3,06 | 1,67 | 2,77 | 8,26 |
| Incremento en humedad del suelo (hm ³ /año) | 12,86 | 7,05 | 58,09 | 22,01 | 34,50 | 134,51 |
| Decrecimiento en humedad del suelo (hm ³ /año) | 12,20 | 6,95 | 55,04 | 20,34 | 31,73 | 126,25 |
| Balance | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,01 |
| Error respecto a precipitación (%) | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-23. Balance de aguas superficial, periodo actual 2015-2020

| | US 1 | US 2 | US 3 | US 4 | US 5 | Cuenca |
|---|--------------|--------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| Entradas | 10,36 | 6,40 | 72,66 | 21,30 | 44,84 | 155,56 |
| Precipitación (hm ³ /año) | 10,36 | 6,40 | 72,66 | 21,30 | 44,84 | 155,56 |
| Salidas | 13,13 | 6,82 | 85,38 | 28,25 | 56,35 | 189,95 |
| ET Real (hm ³ /año) | 10,66 | 3,28 | 69,92 | 26,61 | 53,41 | 163,89 |
| Escorrentía (hm ³ /año) | 1,22 | 2,16 | 12,03 | 1,23 | 2,95 | 19,58 |
| Recarga (hm ³ /año) | 1,25 | 1,38 | 3,44 | 0,41 | 0,00 | 6,48 |
| Variación humedad de suelo | -2,77 | -0,42 | -12,73 | -6,95 | -11,46 | -34,34 |
| Incremento en humedad del suelo (hm ³ /año) | 9,75 | 5,11 | 62,36 | 19,95 | 36,60 | 133,76 |
| Decrecimiento en humedad del suelo (hm ³ /año) | 12,52 | 5,53 | 75,09 | 26,91 | 48,05 | 168,10 |
| Balance | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,06 | -0,05 |
| Error respecto a precipitación (%) | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-24. Balance de aguas superficial, periodo proyectado 2021-2050

| | US 1 | US 2 | US 3 | US 4 | US 5 | Cuenca |
|---|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Entradas | 10,26 | 8,27 | 41,19 | 16,83 | 30,17 | 106,72 |
| Precipitación (hm ³ /año) | 10,26 | 8,27 | 41,19 | 16,83 | 30,17 | 106,72 |
| Salidas | 10,26 | 8,27 | 41,19 | 16,82 | 30,15 | 106,69 |
| ET Real (hm ³ /año) | 8,53 | 4,11 | 35,48 | 16,00 | 29,09 | 93,22 |
| Escorrentía (hm ³ /año) | 0,93 | 2,56 | 4,36 | 0,63 | 1,06 | 9,53 |
| Recarga (hm ³ /año) | 0,80 | 1,60 | 1,34 | 0,20 | 0,00 | 3,94 |
| Variación humedad de suelo | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,03 |
| Incremento en humedad del suelo (hm ³ /año) | 9,41 | 6,22 | 37,20 | 15,50 | 27,15 | 95,49 |
| Decrecimiento en humedad del suelo (hm ³ /año) | 9,41 | 6,22 | 37,19 | 15,50 | 27,13 | 95,45 |
| Balance | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Error respecto a precipitación (%) | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, el balance de aguas subterráneas se realizó evaluando los flujos entrantes y saliente en los sectores acuíferos. Para esto, se han tomado como zonas de evaluación los sectores acuíferos definidos anteriormente (Ver **Figura 3-27**).

En la **Tabla 3-25**, **Tabla 3-26** y **Tabla 3-27** se incluyen las entradas de caudal en los sectores acuíferos, constituidas por los flujos que entran desde otros sectores acuíferos (flujo subterráneo) y la recarga desde la superficie por concepto de percolación natural de la precipitación. Por otro lado, también se presentan las salidas de volúmenes de agua, correspondientes a los flujos salientes hacia otros sectores acuíferos (flujo subterráneo) y a las extracciones de aguas subterráneas. Además, se incluye la variación en el volumen de agua almacenado en cada sector acuífero.

En definitiva, se evalúa la misma ecuación de balance que en el caso superficial:

$$I - Q = \frac{\partial V}{\partial t}$$

Pero que, en el caso del balance de aguas subterráneas, queda de la siguiente manera:

$$R + F_a - Ex - F_e = \Delta V$$

donde:

- R : Recarga proveniente desde la superficie
- F_a : Flujo subterráneo afluente desde otros sectores acuíferos
- Ex : Extracciones de aguas subterráneas
- F_e : Flujo subterráneo efluente hacia otros sectores acuíferos
- ΔV : Variación (incremento o disminución) del volumen de agua almacenado en el sector acuífero

En las siguientes tablas se presentan los balances en términos de valores medios de los flujos para los periodos 1990-2014, 2015-2020 y 2021-2050.

Tabla 3-25. Balance de aguas subterráneas, periodo histórico 1990-2014

| | AC-01 | AC-02 | AC-03 | AC-04 | AC-05 | AC-06 | AC-07 | SHAC |
|---|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| Entrada | 4,58 | 0,57 | 2,39 | 2,28 | 5,12 | 2,51 | 5,24 | 22,69 |
| Recarga (hm ³ /año) | 0,14 | 0,57 | 0,74 | 1,09 | 1,96 | 1,12 | 2,14 | 7,77 |
| Flujo subt. (hm ³ /año) | 4,44 | - | 1,65 | 1,19 | 3,17 | 1,38 | 3,10 | 14,93 |
| Salidas | 4,64 | 0,44 | 2,70 | 2,15 | 4,23 | 2,55 | 4,39 | 21,10 |
| Flujo subt. (hm ³ /año) | 4,64 | 0,44 | 2,40 | 2,15 | 4,23 | 2,55 | 4,11 | 20,51 |
| Extracciones (hm ³ /año) | - | - | 0,30 | - | - | - | 0,28 | 0,58 |
| Variación del volumen almacenado | -0,07 | 0,14 | -0,31 | 0,14 | 0,89 | -0,04 | 0,85 | 1,60 |
| Incremento (hm ³ /año) | 0,12 | 0,52 | 0,64 | 1,02 | 1,86 | 1,00 | 1,97 | 7,14 |
| Decrecimiento (hm ³ /año) | 0,19 | 0,39 | 0,95 | 0,88 | 0,97 | 1,04 | 1,13 | 5,54 |
| Balance (hm³/año) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Error de Balance | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-26. Balance de aguas subterráneas, periodo actual 2015-2020

| | AC -01 | AC -02 | AC -03 | AC -04 | AC -05 | AC -06 | AC -07 | SHAC |
|---|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| Entrada | 4,50 | 0,47 | 2,24 | 1,78 | 4,46 | 2,48 | 5,47 | 21,41 |
| Recarga (hm ³ /año) | 0,06 | 0,47 | 0,59 | 0,59 | 1,29 | 1,10 | 2,37 | 6,48 |
| Flujo subt. (hm ³ /año) | 4,44 | - | 1,65 | 1,19 | 3,17 | 1,38 | 3,10 | 14,93 |
| Salidas | 4,65 | 0,44 | 2,70 | 2,15 | 4,23 | 2,55 | 4,39 | 21,10 |
| Flujo subt. (hm ³ /año) | 4,65 | 0,44 | 2,40 | 2,15 | 4,23 | 2,55 | 4,11 | 20,52 |
| Extracciones (hm ³ /año) | - | - | 0,30 | - | - | - | 0,28 | 0,58 |
| Variación del volumen almacenado | -0,14 | 0,03 | -0,46 | -0,37 | 0,23 | -0,07 | 1,08 | 0,31 |
| Incremento (hm ³ /año) | 0,05 | 0,41 | 0,48 | 0,52 | 1,16 | 0,93 | 2,16 | 5,71 |
| Decrecimiento (hm ³ /año) | 0,20 | 0,38 | 0,94 | 0,88 | 0,94 | 1,00 | 1,08 | 5,40 |
| Balance (hm³/año) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Error de Balance | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-27. Balance de aguas subterráneas, periodo proyectado 2021-2050

| | AC-01 | AC-02 | AC-03 | AC-04 | AC-05 | AC-06 | AC-07 | SHAC |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Entrada | 4,48 | 0,29 | 1,95 | 1,85 | 4,45 | 1,83 | 4,01 | 18,86 |
| Recarga (hm ³ /año) | 0,05 | 0,29 | 0,30 | 0,66 | 1,28 | 0,44 | 0,92 | 3,94 |
| Flujo subt. (hm ³ /año) | 4,44 | - | 1,65 | 1,19 | 3,17 | 1,38 | 3,10 | 14,93 |
| Salidas | 4,64 | 0,44 | 2,70 | 2,15 | 4,23 | 2,55 | 4,39 | 21,09 |
| Flujo subt. (hm ³ /año) | 4,64 | 0,44 | 2,40 | 2,15 | 4,23 | 2,55 | 4,10 | 20,51 |
| Extracciones (hm ³ /año) | - | - | 0,30 | - | - | - | 0,28 | 0,58 |
| Variación del volumen almacenado | -0,16 | -0,15 | -0,75 | -0,29 | 0,22 | -0,72 | -0,38 | -2,23 |
| Incremento (hm ³ /año) | 0,04 | 0,25 | 0,22 | 0,60 | 1,20 | 0,35 | 0,78 | 3,43 |
| Decrecimiento (hm ³ /año) | 0,20 | 0,40 | 0,98 | 0,89 | 0,98 | 1,07 | 1,16 | 5,67 |
| Balance (hm³/año) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Error de Balance | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |

Fuente: Elaboración propia

Como referencia, para comparar la recarga se tiene el estudio de (DGA, 2009). En él se indica un valor de recarga para toda la cuenca río Salado, que corresponde a 110 L/s. La recarga obtenida en este informe alcanza los 246 L/s para el período histórico.

Por otra parte, el Balance Hídrico Nacional (DGA, 2018) estimó para la cuenca río Salado una recarga de aproximadamente 370 L/s para el período 1985-2015.

Se considera que los valores de los 3 estudios se mantienen dentro de límites aceptables, tomando en cuenta que la cuenca prácticamente no posee una red hidrométrica que permita realizar mejores evaluaciones.

3.15 Escenarios de gestión.

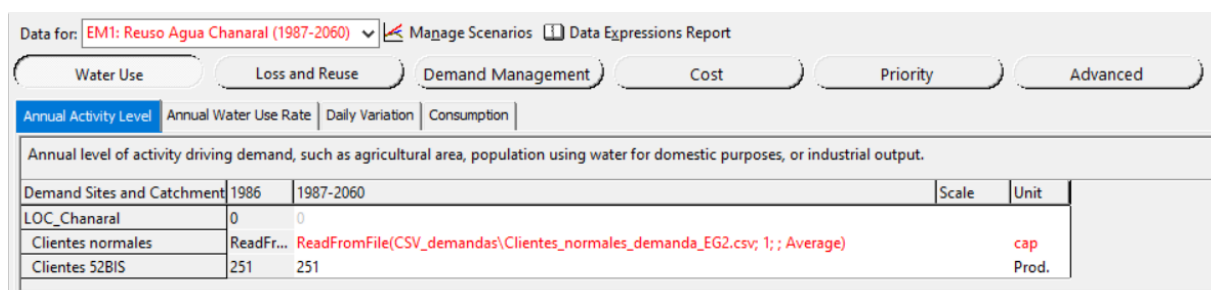
Para la modelación hidrológica de la cuenca río Salado se consideran 2 escenarios de gestión que serán descritos a continuación. Además, un resumen y discusión sobre ellos se observa en el informe principal, sección 5.5.1.

3.15.1 Reutilización de agua tratada PTAS Chañaral.

3.15.1.1 Construcción del escenario en WEAP

Para este escenario se considera la población de Chañaral con tendencia al alza, y las demás ciudades (El Salado, Diego de Almagro, Inca de Oro) con población constante desde 2020. Estas ciudades se ingresan al modelo como un sitio de demanda, añadiendo las siguientes variables, que se observan a modo de ejemplo en la **Figura 3-32**.

- la población por año desde 1985 hasta 2060 (*Annual Activity Level*), que se ingresa desde un archivo CSV donde se presenta la población diaria desde 1985 a 2060 para las localidades.
- el uso de agua por habitante por año (*Annual Water Use Rate*)
- la variación de demanda diaria (*Daily Variation*), que puede ser constante o variar según el mes.
- el consumo: 20% de agua potable, el 80% restante sale como agua servida (*Consumption*)

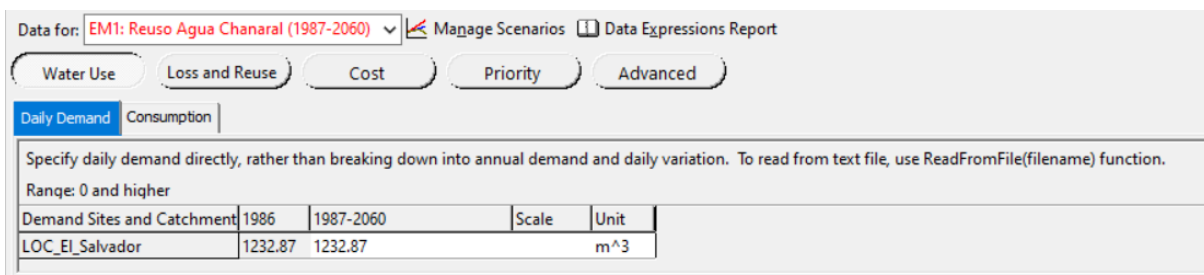


| Demand Sites and Catchment | 1986 | 1987-2060 | Scale | Unit |
|----------------------------|-----------|---|-------|-------|
| LOC_Chanaral | 0 | 0 | | |
| Clientes normales | ReadFr... | ReadFromFile(CSV_demandas\Clientes_normales_demanda_EG2.csv; 1;; Average) | | cap |
| Clientes 52BIS | 251 | 251 | | Prod. |

Fuente: Extraído de software WEAP

Figura 3-32. Ingreso de datos de demanda de localidades

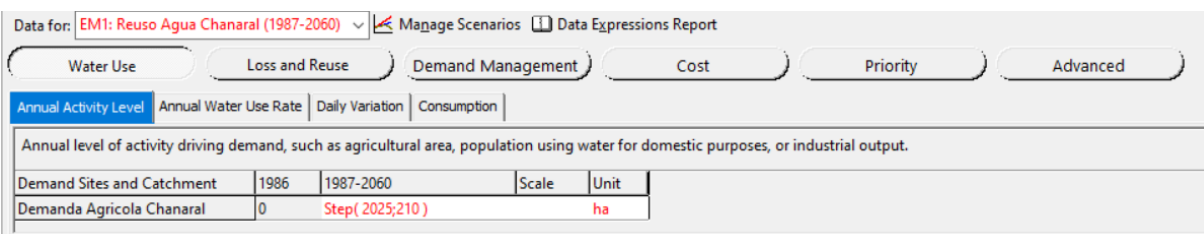
La demanda de la población de El Salvador y de los clientes 52BIS (parques, entre otros) se ingresa con el método avanzado (*Advanced*), incorporando únicamente el uso de agua diario y el consumo. El uso de agua diario implícitamente incorpora la cantidad de habitantes/clientes, el uso por habitante/cliente por año y la variación diaria, como se observa en la **Figura 3-33**. La demanda de estos clientes es constante en el tiempo.



Fuente: Extraído de software WEAP

Figura 3-33. Ingreso de datos de demanda de localidades por método avanzado

Se agrega un sitio de riego aledaño a la localidad de Chañaral, que se añade como un sitio de demanda agrícola. Se incorpora en WEAP con el mismo método que requiere ingresar número de clientes, uso de cada cliente por año, variación diaria y consumo. En este caso, la demanda corresponde a un sitio de riego de 210 hectáreas, que demandan 6.000 m³/há/año, variación diaria constante, y consume el 100% del agua que se le suministra. Este sitio de riego comienza a funcionar en el año 2025, como se aprecia en la Figura 3-34.



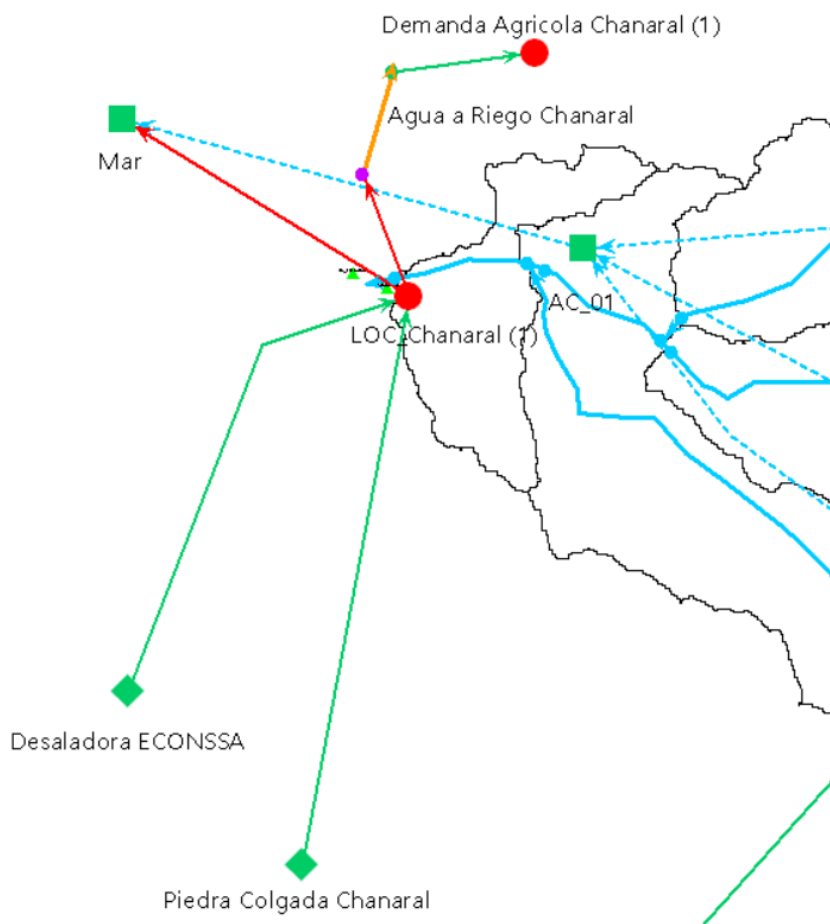
Fuente: Extraído de software WEAP

Figura 3-34. Ingreso de demanda sitio agrícola Chañaral

El sitio de demanda de la localidad de Chañaral es alimentado por las fuentes que se indican a continuación (ver **Figura 3-35**), y en el modelo se genera la conexión a través de elementos "Transmission Link" (enlace de transmisión):

- Planta desaladora ECONSSA, que empieza la operación en año 2021.
- Pozo Piedra Colgada (Piedra Colgada Chanaral).

Ambas fuentes corresponden a lugares fuera de la cuenca de estudio, por lo que se ingresan al modelo como "Other Supplies" (otros suministros).



Fuente: elaboración propia en WEAP

Figura 3-35. Configuración Escenario "Reutilización de agua tratada PTAS Chañaral"

El sitio de demanda de riego se alimenta del agua que no se consume en Chañaral (el 80% de la demanda se agua potable). Ambos sitios se unen en el modelo mediante un elemento flujo de retorno (*Return flow*) que alimenta una derivación ("*Diversion*", que representa una tubería que conduce agua), que alimenta un enlace de transmisión (*Transmission link*) y que finalmente entrega agua al sitio de riego.

El agua no utilizada por la localidad de Chañaral retorna al mar a través de un emisario submarino, que en el modelo se representa como agua a través de un flujo de retorno (*Return Flow*) que desagua en el mar (representado por el elemento de aguas subterráneas Mar (*Groundwater*)). Pevio a la construcción del sitio agrícola, el 100% de las aguas desechadas por Chañaral se llevan al mar; posterior a la construcción del sitio en el año 2025, también existe la posibilidad de llevar las aguas de Chañaral a él.

3.15.1.2 Resultados del escenario.

El escenario permite el riego de 210 hectáreas agrícolas, mediante el reúso del agua servida de la ciudad de Chañaral. La población (clientes normales) abastecida al año 2050 con respecto al año 2021 se presenta en la **Tabla 3-28** (la localidad de El Salvador solo cuenta con datos de consumo bruto de agua, no de cantidad de población):

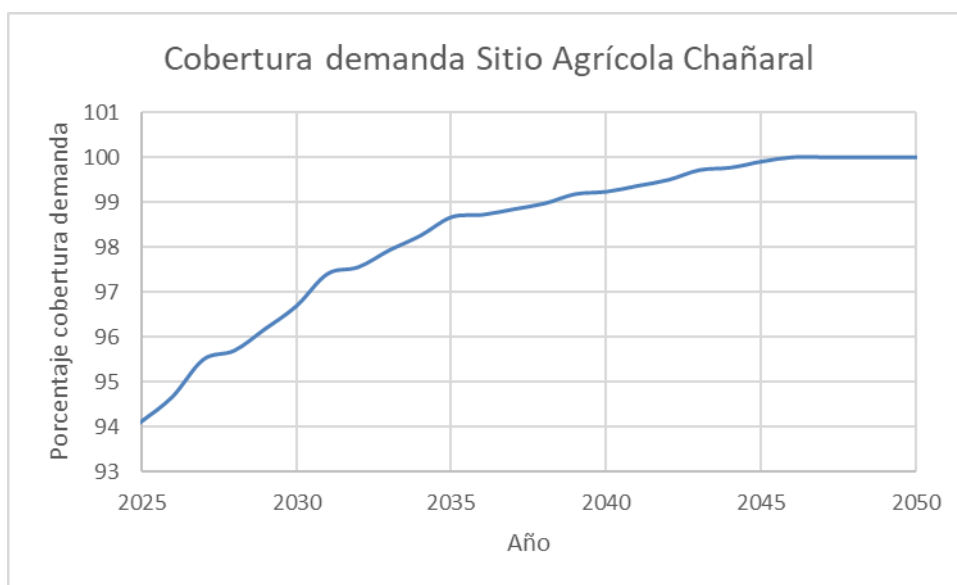
Tabla 3-28. Población abastecida en escenario de gestión 1

| Localidad | Población al 2021 | Población al 2050 | Variación |
|------------------|-------------------|-------------------|-----------|
| Chañaral | 10,439 | 13,931 | 33,45% |
| Diego de Almagro | 8,121 | 8,121 | 0% |
| El Salado | 788 | 788 | 0% |
| Inca de Oro | 334 | 334 | 0% |

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo WEAP

Todas las localidades alcanzan una cobertura del 100% de la demanda hacia el 2050, exceptuando Diego de Almagro, que alcanza un 73,68%.

El sitio agrícola de la ciudad de Chañaral comienza su operación en el año 2025. La evolución de la cobertura de la demanda desde 2021 a 2050 se observa en la **Figura 3-36**. Inicialmente, no se cubre la demanda de las 210 hectáreas completas, lo que se alcanza en el año 2046 de la mano con el aumento de población.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-36. cobertura demanda sitio de riego escenario 1.

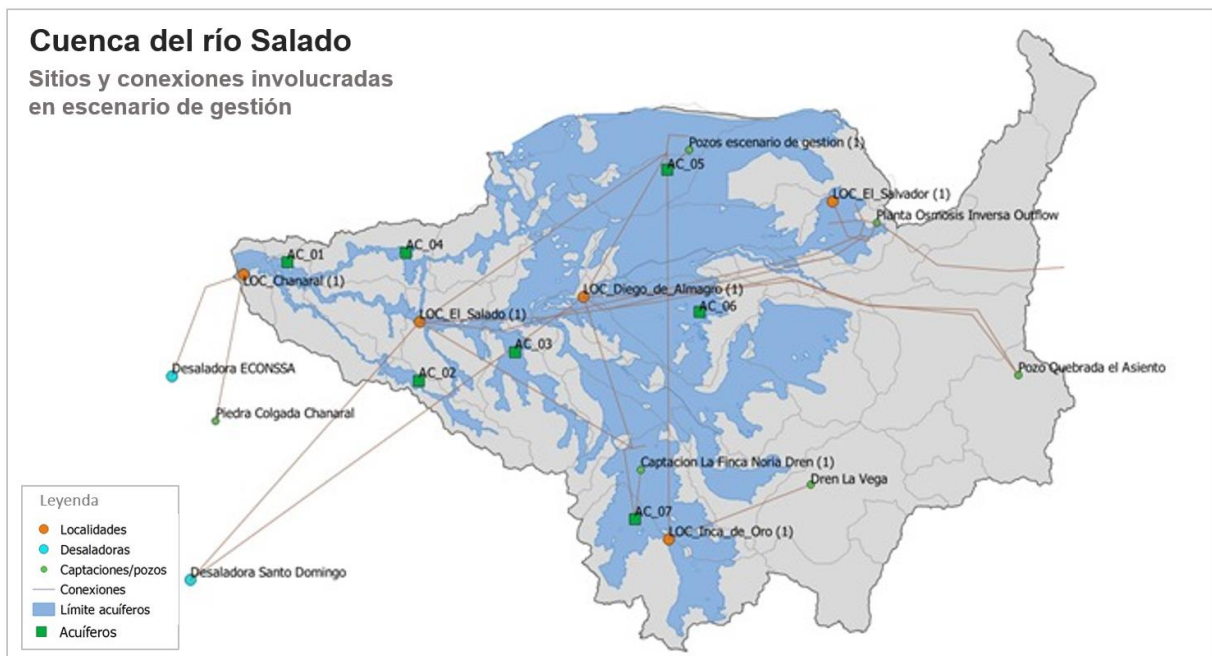
3.15.2 Cambio de fuentes de suministro de agua potable.

3.15.2.1 Construcción del escenario

Para este escenario, se considera creciente la población de las localidades ubicadas dentro de la cuenca: Chañaral, Diego de Almagro, El Salado, Inca de Oro, y se mantiene constante la población de El Salvador. El crecimiento de la población se ingresa en el modelo a través de la lectura de un archivo CSV que contiene la población diaria de cada localidad (equivalente a lo presentado en la **Figura 3-32**)

Estas localidades se alimentan desde diversas fuentes, que se diferencian a partir del año 2025, según la **Tabla 3-29**, y **Fuente:** Elaboración propia

Figura 3-37 donde se indica la fuente y si el agua pertenece o no a la cuenca (número de sector acuífero o fuera de la cuenca).

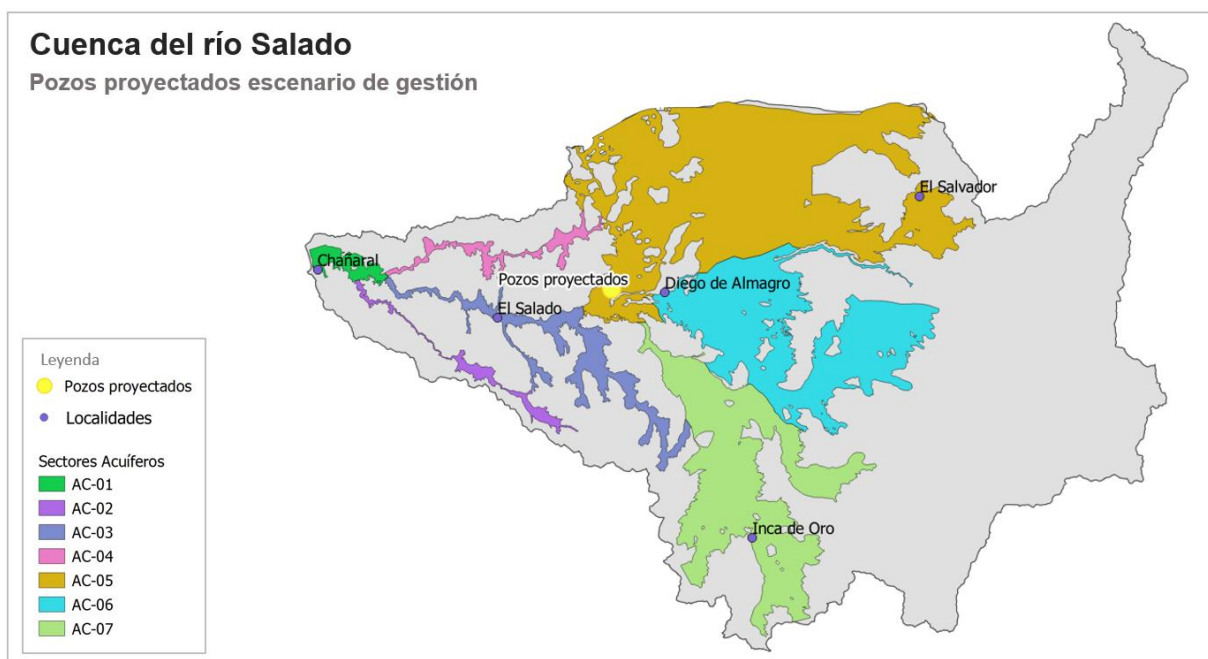


Fuente: Elaboración propia

Figura 3-37. Sitios y conexiones involucradas en escenario de gestión "Cambio de fuentes de suministro de agua potable"

Como nuevos suministros, se proyecta la construcción de 2 pozos en la zona entre El Salado y Diego de Almagro, sobre el sector acuífero 5, cada uno con una capacidad de bombeo de 30 l/s. La ubicación de los pozos se observa en la **Figura 3-38**. Este se ubica sobre el sector acuífero 5, por lo que en la figura anterior, se produce una extracción desde el elemento de aguas subterráneas AC_05 para representar los pozos proyectados. Además, para alimentar las localidades de El Salado y Diego de Almagro se agrega como nuevo

suministro agua desalada de la desaladora Santo Domingo, que entrega 10 l/s. Ambos suministros comienzan a entregar agua desde el año 2025.



Fuente: Elaboración propia

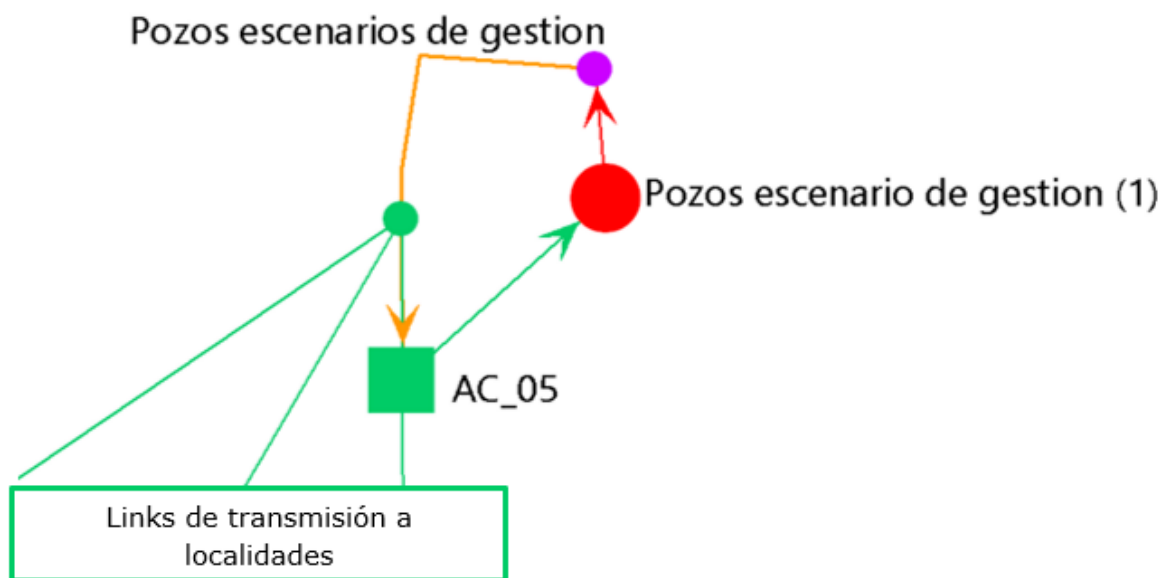
Figura 3-38. Ubicación de los pozos proyectados para el escenario de gestión 2

Tabla 3-29. Suministro a localidades cuenca río Salado

| Fuente | Alimenta a | |
|---|--|---|
| | Previo 2025 | Posterior 2025 |
| Planta Osmosis Inversa CODELCO Salvador (fuera) | El Salvador, El Salado, Diego de Almagro | El Salvador, El Salado, Diego de Almagro |
| Pozo Quebrada el Asiento (fuera) | El Salado, Diego de Almagro | |
| La Finca Noria Dren (AC_07) | El Salado, Diego de Almagro. | El Salado, Diego de Almagro. |
| Dren La Vega (fuera) | Inca de Oro | |
| Pozo Piedra Colgada (fuera) (en Fuente: Elaboración propia Figura 3-37: Piedra Colgada Chanaral) | Chañaral | Chañaral |
| Desaladora ECONSSA (fuera) | Chañaral | Chañaral |
| Desaladora Santo Domingo (fuera) | | El Salado, Diego de Almagro, Inca de Oro |
| Pozos proyectados (AC_05) (pozos escenario de gestión) | | El Salado, Diego de Almagro, Inca de Oro. |

Fuente: Elaboración propia

Las conexiones entre fuentes y localidades se representan en el modelo como un enlace de transmisión (*Transmission Link*). Las fuentes que se ubican fuera de la cuenca se representan a través de un elemento "Other Supplies" (otros suministros), las fuentes que se ubican dentro de la cuenca, que en este caso son los pozos proyectados y la Noria/Dren La Finca, se representan como un nodo de demanda, que demanda la capacidad de producción de los pozos y consume el 0%. Por lo tanto, toda el agua que pasa a través del nodo es entregada a través de un flujo de retorno (Return Flow) a un siguiente elemento, que es una derivación (*Diverssion*). Desde esta derivación salen enlaces de transmisión a los sitios de demanda alimentados por los pozos. Para el caso de los pozos proyectados, este circuito se observa en la **Figura 3-39**, siendo equivalente para la Noria/Dren la Finca.



Fuente: Extraído de software WEAP

Figura 3-39. Representación de agua extraída de acuíferos dentro de la cuenca

Los enlaces de transmisión que entregan agua desde los nuevos suministros se "activan" a partir del año 2025, utilizando la configuración de "Maximum Flow Percent of Demand" (máximo caudal como porcentaje de demanda), que indica qué porcentaje de la demanda que necesita un sitio de demanda puede pasar a través del enlace de transmisión. Para los nuevos suministros, al inicio se configura como 0.0%, ya que la demanda no puede ser suplida por estos. A partir del 2025, se configura como 100% ya que estos suministros sí pueden entregar agua, al 100% de su capacidad. Esta configuración se observa en la **Figura 3-40**.

| | | | | |
|---|------|----------------------------|---------|------|
| Data for: EM2: Escenario de Gestion con Pozos (1987-2060) Manage Scenarios Data Expressions Report | | | | |
| Linking Rules Losses Cost | | | | |
| Maximum Flow Volume Maximum Flow Percent of Demand Supply Preference | | | | |
| Maximum flow (as a % of total demand), due to physical, contractual or other constraints. If no constraint, leave blank. To turn off flow, set to 0.0 (because 0 means no constraint). For daily variation, use Daily Time-Series Wizard. Range: 0 to 100 % | | | | |
| to LOC_Diego_de_Almagro | 1986 | 1987-2060 | Scale | Unit |
| from Desaladora Santo Domingo | 0.0 | Step(1970;0.0; 2026;100) | Percent | |

Fuente: Extraído de software WEAP

Figura 3-40 Configuración para "activación" de nuevos suministros de agua.

De la misma manera, para los suministros que dejan de entregar agua (Pozo Quebrada el Asiento y Dren La Vega), en el año 2025 se les configura una entrega de 0.0% de caudal como porcentaje de demanda.

3.15.2.2 Resultados del escenario

En este escenario se modifican las fuentes de agua, agregando una extracción directamente desde el acuífero N5, además de una planta desaladora que suministra agua a El Salado, Diego de Almagro e Inca de Oro (Desaladora Santo Domingo).

La población abastecida en este escenario se presenta en la **Tabla 3-30**.

Tabla 3-30. población abastecida en el escenario de gestión 2

| Localidad | Población al 2021 | Población al 2050 | Variación |
|------------------|-------------------|-------------------|-----------|
| Chañaral | 10.439 | 13.931 | 33,45 % |
| Diego de Almagro | 8.121 | 10.863 | 33,76 % |
| El Salado | 788 | 1.054 | 33,75 % |
| Inca de Oro | 334 | 447 | 33,82 % |

Fuente: Elaboración propia

La cobertura de la demanda alcanza el 100% para todas las localidades al año 2050.

La variación del almacenamiento del acuífero N5 se observa en **Tabla 3-31**.

Tabla 3-31. Variación almacenamiento acuífero 5

| Período | Volumen Ac 05 (hm ³) | Variación sobre periodo anterior |
|-----------|----------------------------------|----------------------------------|
| 2021-2030 | 10590,28 | |
| 2031-2040 | 10578,20 | -0,11% |
| 2041-2050 | 10572,40 | -0,05% |

Fuente: Elaboración propia

3.16 Brechas de la modelación Hidrológica

En el desarrollo del modelo hidrológico del presente plan se han detectado algunas brechas que podrían ser mejoradas en futuros estudios. Estas brechas se producen por múltiples factores, entre los que se pueden contar: limitaciones propias de la plataforma WEAP, a la falta de información que existe en la zona, las dificultades propias que existen en un ambiente como el de la cuenca, y a simplificaciones realizadas con fines de modelación, las que son tomadas siempre y cuando se logren los objetivos del presente plan.

Con el objetivo de que se tengan en cuenta al hacer una lectura del estudio, a continuación, se detallan las principales brechas detectadas.

- Inexistencia de información para poder generar un modelo numérico que se pueda calibrar y así ajustar las variables de entrada del mismo. De estas, la más importante son los niveles estáticos observados.
- La capacidad de representación de acuífero y flujos subterráneos es muy limitada en un modelo WEAP, por lo que existe una incertidumbre en cuanto a flujos. Además de que no se pueden calcular niveles estáticos.
- Coeficientes de infiltración de la cuenca fueron estimados desde la capa de permeabilidades, la que a su vez se obtuvo de la interpretación de los datos de la campaña geofísica de estaciones TEM, lo que entrega un grado de incertidumbre importante en una variable que puede variar su valor en 6 órdenes de magnitud (desde $10e-6$ hasta 1 cm/s en general). Por lo tanto, la recarga estimada del acuífero debe ser revisada en base a información adicional que se debe obtener en la cuenca, como pruebas de bombeo en pozos construidos.
- Flujos entre acuíferos tienen el mismo problema de incertidumbre, al ser estimados en base a la permeabilidad calculada en la cuenca.

En especial, estas situaciones limitan la caracterización y estudio de la cuenca especialmente desde el punto de vista subterráneo. Esto debido a que no es posible estudiar las aguas subterráneas desde el enfoque de la evolución de sus niveles en el espacio o de los caudales subterráneos que se generan entre un sector de acuífero y otro. De esta forma, no es posible cuantificar la evolución del nivel de la napa en el tiempo y en el espacio e indicar qué zonas tendrían problemas de abastecimiento producto de la depresión de niveles, tampoco es posible cotejar los resultados de volumen de agua almacenado en el acuífero y así poder validar las proyecciones a futuro.

Una de las soluciones para abordar estas brechas es la construcción de un modelo numérico de aguas subterráneas, que podría ser elaborado en plataformas MODFLOW. Este modelo podría ser posteriormente acoplado con el modelo WEAP construido en este estudio; proceso en el cual también se iría ajustando el modelo WEAP, de manera que éste entregue

una modelación que permita ser considerada en un modelo integrado. Sin embargo, para la creación de este modelo de aguas subterráneas es necesario primeramente monitorear el acuífero de la zona de estudio a través de pozos de observación de niveles, y hacerlo durante un tiempo suficientemente extenso como para poder utilizar esa información en una calibración de modelo numérico; ideal sería contar con una estadística en distintos lugares de la cuenca con una extensión mayor a 10 años o incluso más. Excepcionalmente, como situación inicial para comenzar un modelo que después podría seguir siendo perfeccionado, sería aceptable una estadística de 5 años.

Contenido de los Anexos:

Anexo H - 1: Validación de la precipitación

Este anexo contiene un archivo Excel donde se detallan las series de precipitación observadas y simuladas por los 6 modelos meteorológicos para las estaciones cercanas a la zona de estudio. Además, un archivo Word donde se entregan detalles de la validación de la precipitación para el período histórico (1985 a 2015).

Anexo H - 2: Validación de la precipitación acumulada

Este anexo contiene un archivo Excel donde se detallan las series de precipitación acumuladas observadas y simuladas por los 6 modelos meteorológicos para las estaciones cercanas a la zona de estudio, además de un análisis adicional para 2 de los modelos donde solo se consideran los días con precipitación sobre 5 mm. Por otra parte se presenta un archivo Word con un resumen de las precipitaciones acumuladas, mostrando gráficamente la comparación entre precipitación observada y modelada (acumulada).

Anexo H - 3: Validación de la temperatura

Corresponde a un archivo Excel con las series de temperatura observadas y simuladas por los 6 modelos meteorológicos para las estaciones cercanas a la zona de estudio.

Anexo H - 4: Modelo Hidrológico conceptual subterráneo en Surfer

Este anexo corresponde a un archivo que se visualiza en el software Surfer, que contiene las capas relacionadas con el modelo hidrológico subterráneo, generadas a partir de las campañas llevadas a cabo en terreno.

Anexo H - 5: Modelo WEAP

Contiene el modelo WEAP elaborado para este plan, incluyendo el escenario base y 2 escenarios de gestión. Además, un archivo Word que indica la configuración que debe tener el computador para abrir el modelo.

Anexo H - 6: Resultados escenario base modelo WEAP

Contiene planilla Excel con resultados del modelo WEAP según año hidrológico para unidades superficiales presentadas en Figura 3-31 y acuíferos.

Anexo H - 7: Información capacitación

En este anexo se ubican todos los documentos relacionados a la capacitación de modelación llevada a cabo en el marco de este PEGH.



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO H1 – VALIDACIÓN PRECIPITACIÓN PERÍODO HISTÓRICO

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Anexo H1

En este Anexo se entregan detalles de la validación realizada para la precipitación en el período histórico (1985-2015), según los diferentes modelos aplicados. El índice de tablas se señala a continuación. Para más información, consultar carpeta digital Anexo H-1 del proyecto.

Tabla 1. Resultados validación precipitación modelo CR2MET

Tabla 2. Resultados validación precipitación modelo RFMEP

Tabla 3. Resultados validación precipitación modelo IMERG

Tabla 4. Resultados validación precipitación modelo CHIRPS

Tabla 5. Resultados validación precipitación modelo TMPA



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO H2 – VALIDACIÓN PRECIPITACIÓN ACUMULADA

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Anexo H2

En este Anexo se entregan detalles de la validación realizada para la precipitación acumulada en todo el período de estudio: histórico (1985-2015) y futuro (2015-2060). El índice de figuras se señala a continuación. Para más información, consultar carpeta digital Anexo H-2 del proyecto.

Figura 1. Precipitación ac. modelos meteorológicos estación Aguas Verdes

Figura 2. Precipitación ac. modelos meteorológicos estación Tal-Tal

Figura 3. Precipitación ac. modelos meteorológicos estación Tal-Tal (DCP)

Figura 4. Precipitación ac. modelos meteorológicos estación Las Vegas

Figura 5. Precipitación ac. modelos meteorológicos estación Caldera

Figura 6. Precipitación ac. modelos meteorológicos estación Jorquera en la Guardia

Figura 7. Precipitación ac. modelos meteorológicos estación Los Loros

Figura 8. Precipitación ac. modelos meteorológicos estación Río Copiapó en la Puerta

Figura 9. Precipitación ac. modelos meteorológicos estación Elibor Campamento

Figura 10. Precipitación ac. modelos meteorológicos estación Pastos Grandes

Figura 11. Precipitación ac. modelos meteorológicos estación Copiapó

Figura 12. Precipitación ac. modelos meteorológicos estación El Totoral

Figura 13. Precipitación ac. modelos meteorológicos estación Canto de Agua

Figura 14. Precipitación ac. modelos meteorológicos estación Desierto de Atacama Caldera

Figura 15. Precipitación acumulada modelos GCM estación Aguas Verdes

Figura 16. Precipitación acumulada modelos GCM estación Tal-Tal

Figura 17. Precipitación acumulada modelos GCM estación Tal-Tal DCP

Figura 18. Precipitación acumulada modelos GCM estación Las Vegas

Figura 19. Precipitación acumulada modelos GCM estación Caldera



Figura 20. Precipitación acumulada modelos GCM estación Jorquera en la Guardia

Figura 21. Precipitación acumulada modelos GCM estación Los Loros

Figura 22. Precipitación acumulada modelos GCM estación Río Copiapó en la Puerta

Figura 23. Precipitación acumulada modelos GCM estación Elibor Campamento

Figura 24. Precipitación acumulada modelos GCM estación Pastos Grandes

Figura 25. Precipitación acumulada modelos GCM estación Copiapó

Figura 26. Precipitación acumulada modelos GCM estación El Totoral

Figura 27. Precipitación acumulada modelos GCM estación Canto de Agua

Figura 28. Precipitación acumulada modelos GCM estación Desierto de Atacama Caldera



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



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO H3 – VALIDACIÓN DE LA TEMPERATURA

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Anexo H3

En este Anexo se entregan detalles de la validación realizada para la temperatura en el período histórico (1985-2015) y actual (2015-2020), según las diferentes estaciones. La carpeta se compone de un archivo formato .xlsx donde se muestran los datos según se muestra a continuación. Para más información, consultar carpeta digital Anexo H-3 del proyecto.

MAPA

AGUAS VERDES

TAL-TAL (DCP)

LAS VEGAS

LOS LOROS

COPIAPÓ

DESIERTO DE ATACAMA CALDERA



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

**ANEXO H4 – MODELO HIDROLÓGICO
CONCEPTUAL SUBTERRÁNEO EN SURFER**

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Anexo H4

En este Anexo se entrega el modelo realizado a través del software *Surfer*. Para más información, consultar carpeta digital Anexo H-4, donde es posible encontrar el archivo en correspondiente en formato “.srf”.



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO H5 – MODELO WEAP

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Anexo H5

En este Anexo se entrega el modelo realizado a través del software WEAP. Para más información, consultar carpeta digital Anexo H-5, donde es posible encontrar el archivo en correspondiente en formato “.weap”. Además, se incluye el instalador ejecutable del software respectivamente.



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO H6 – RESULTADOS ESCENARIO BASE MODELO WEAP

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Anexo H6

En este Anexo se entregan los resultados del balance hídrico realizado para aguas superficiales y subterráneas mediante el software WEAP. La carpeta digital consta de un archivo en formato .xlsx donde es posible encontrar la información proporcionada según las diferentes variables para calcular cada balance hídrico. Se incluyen datos para el período 1985 – 2060. Para más información, consultar la carpeta digital Anexo H-6.



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO H7 – INFORMACIÓN CAPACITACIÓN

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Anexo H7

En este Anexo se entregan los resultados de las tres jornadas de capacitación realizadas durante el proyecto. Cada una de las carpetas incluyen un archivo en formato .pdf y otro archivo de video en formato .mp4, además de los archivos utilizados en cada una de las jornadas de capacitación. Para más información, consultar carpeta digital Anexo H-7, que se encuentra organizada de la siguiente forma.

Jornada 1

Jornada 2

Jornada 3



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO I – PAC

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Índice del informe PAC

Página

| | | |
|-----------|---|-------------|
| 1. | <u>INTRODUCCIÓN</u> | 1-4 |
| 1.1 | Presentación | 1-4 |
| 1.2 | Spectrum of Public Participation | 1-5 |
| 1.3 | Objetivos | 1-6 |
| 2. | <u>METODOLOGÍA</u> | 2-7 |
| 2.1 | Definición de escalas de análisis | 2-7 |
| 2.2 | Identificación de actores. Mapa de Agentes | 2-8 |
| 2.3 | Reunión de presentación o lanzamiento | 2-14 |
| 2.4 | Reuniones bilaterales | 2-15 |
| 2.5 | Talleres de participación | 2-15 |
| 2.5.1 | Primer Ciclo | 2-16 |
| 2.5.2 | Segundo Ciclo | 2-20 |
| 2.5.3 | Aspectos transversales | 2-22 |
| 3. | <u>ANÁLISIS DE ACTIVIDADES</u> | 3-24 |
| 3.1 | Identificación de actores | 3-24 |
| 3.2 | Reunión de presentación o lanzamiento | 3-28 |
| 3.3 | Reuniones bilaterales | 3-29 |
| 3.4 | Talleres de participación Ciudadana | 3-29 |
| 3.4.1 | Primer Ciclo | 3-29 |
| 3.4.2 | Segundo Ciclo | 3-47 |
| 4. | <u>RESULTADOS DE PARTICIPACIÓN</u> | 4-60 |
| 5. | <u>CONCLUSIONES DE PARTICIPACIÓN</u> | 5-61 |



Apéndices

I1. Identificación de actores

Listado de actores

Mapa de actores

I2. Lanzamiento

Minuta de actividad

Programa de actividad

Presentación

Video

Invitaciones

Asistentes

Votaciones

I3. Reunión Jefes de Unidad DGA

- **Minuta de actividad**



1. INTRODUCCIÓN

1.1 Presentación

El eje central de la Participación Ciudadana (PAC) es integrar a los actores sociales relevantes en el desarrollo del estudio del Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca río Salado, de manera tal que sus diferentes observaciones, sugerencias y necesidades fueron consideradas en el Plan Estratégico. Se buscó potenciar los canales de comunicación entre autoridades, profesionales de servicios públicos y comunidad en general para lo cual se utilizó un lenguaje culturalmente adecuado y fácil de entender, sin variar su contenido y que permitió interpretar las múltiples necesidades y particularidades de esta cuenca en relación con el recurso hídrico a nivel general.

La Participación Ciudadana propuesta, se desarrolló desde el comienzo de las actividades y se extendió hasta el final de la consultoría, ya que es de vital importancia contar con la información de primera mano que brindan estas instancias.

Es fundamental para el diseño del Plan Estratégico que el diagnóstico realizado sea lo más representativo de la situación actual de la cuenca, ya que sobre la base de este diagnóstico, y una vez definidos los objetivos, se identificaron las brechas y los elementos o ejes centrales que se abordaron, teniendo en cuenta que la región del Maule cuenta con una diversidad de actores importante cuyos usos del recurso hídrico es diverso.

En este capítulo se da cuenta de las actividades relativas a la PAC, definidas en las bases: descripción del área de estudio; identificación y caracterización de los actores sociales; entrevistas y su análisis, además de las reuniones y talleres participativos correspondientes.

A partir del trabajo realizado por el equipo interdisciplinario, el profesional encargado de Participación Ciudadana ejecutó su trabajo coordinadamente con los profesionales que desarrollan el estudio de ingeniería y con el Inspector Fiscal. Esto resulta imprescindible para la adecuada coordinación e intercambio de información pertinente. Para lo cual se llevaron adelante reuniones de coordinación con la Inspección Fiscal y su Asesoría.

Todo el Estudio estuvo acompañado de un proceso de Participación Ciudadana que se desarrolló de acuerdo con el plan que se presenta a continuación.

Se hace presente que cada producto generado por el equipo, relativo a la PAC, se basó en la *SPECTRUM OF PUBLIC PARTICIPATION*, de la Asociación Internacional de Participación Pública (IAP2, 2019), considerando los niveles de información y participación.

En el contexto de la emergencia sanitaria que vive actualmente el país, las actividades de Participación Ciudadana han tenido que cambiar respecto a la metodología presencial por la alternativa remota. Es importante reflejar que el cambio de esta metodología se realiza

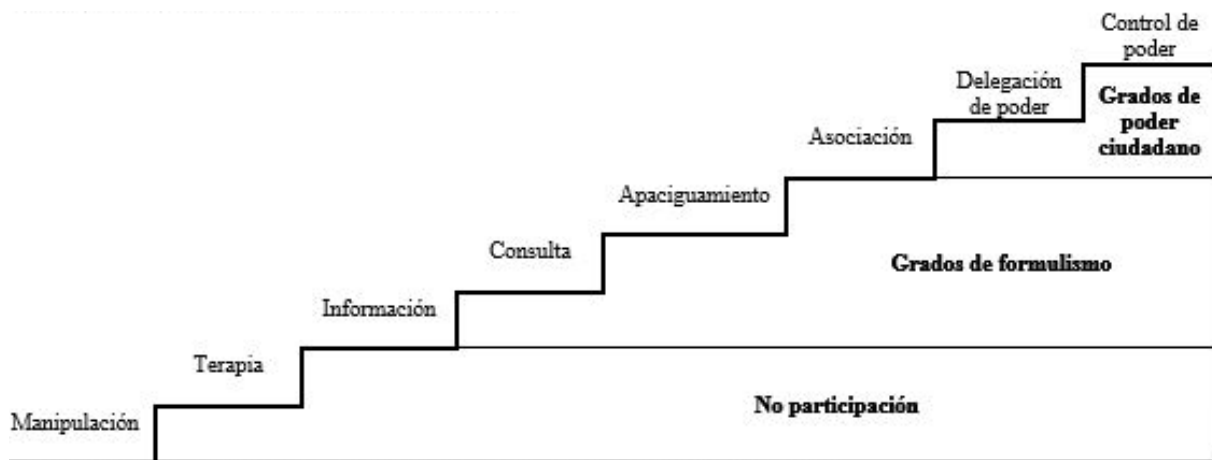
buscando la mejor comunicación con los participantes y sin perder la calidad del producto final para el plan.

Por consiguiente, la metodología tradicional de las actividades de Participación Ciudadana, así como las reuniones de trabajo con la inspección fiscal y otros organismos se realizaron de forma TELEMÁTICA O REMOTA, según lo acordado con la inspección fiscal. (ver apéndice IO. Comunicación – Plan Remoto).

1.2 Spectrum of Public Participation

Llevar adelante los procesos de participación ciudadana no es una tarea fácil dado los alcances que este concepto conlleva.

Es Sherry Arnstein (1969) quien plantea que todos los procesos PAC no necesariamente son Participación Ciudadana real, ya que en realidad corresponde a mecanismos de distribución de poder en la toma de decisiones. Así, para evitar que la participación ciudadana se convierta en una “práctica irrelevante”, Arnstein propone clasificar los mecanismos de participación utilizando la siguiente escalera (**Figura 1-1**).



Fuente: Arnstein (1969)

Figura 1-1 Escalera de participación de Arnstein

Se puede ver que cada nivel de esta escalera implica un grado más en el nivel de empoderamiento de los actores que han sido llamados a participar: los dos primeros son los más débiles ya que no consideran ninguna Participación, mientras que los dos últimos serían lo que reflejan una participación más significativa. La escalera de Arnstein ha servido para orientar nuevas propuestas de medición, ajustándose a cinco niveles, la mayoría contiene un nivel básico que se llama información, luego, consulta, debate, decisión y

cogestión. Algunos autores, como Marc Parés (2009), mencionan que el primer nivel de “información”, realmente no es participación, pero sí un requisito indispensable para la participación. Se especifica que las bases de licitación plantean que el Plan debe considerar los niveles de información y consulta.

1.3 Objetivos

En base al objetivo específico N°6 de las Bases de Licitación, esto es, “realizar un proceso de participación ciudadana que informe y consulte a la institucionalidad del agua relevante del área de estudio, para retroalimentar la formación del plan estratégico de gestión hídrica”, se descomponen los siguientes objetivos.

- Sistematizar y analizar la información generada en los distintos procesos de participación realizada por los distintos planes de gestión desarrollados, en cuanto a información generada, compromisos adquiridos, conclusiones generales y otros aspectos identificados.
- Desarrollar actividades de participación a través de un enfoque estratégico y sistemático, garantizando la identificación, caracterización y participación de los actores; promoviendo de este modelo la coordinación y orientación de las diversas intervenciones con una visión multiescalar, para así orientar las decisiones públicas y privadas de los proyectos, programas y planes relacionados directa o indirectamente con el agua en las cuencas.
- Generar nueva información a través de instancias de participación que estén dirigidas a conocer las realidades y percepciones de los participantes en materias claves sobre la gestión de recursos hídricos en la cuenca, tales como institucionalidad, gobernanza, problemas medioambientales, estado de infraestructura hidráulica, disponibilidad, calidad de agua; para así formular escenarios de gestión hídrica estratégicos y contingentes a los contextos locales.
- Presentar a los actores claves la instancia de ser partícipes en los avances y los resultados de la simulación de escenarios deseados en el Plan de cuenca, para integrarlos y responder a sus observaciones y comentarios.
- Validar en conjunto con los actores claves, el planteamiento de las estrategias de gestión hídrica identificadas y propuestas del presente Plan de Cuenca.
- Generar instancias para informar, educar y discutir a modo tal que favorezca el intercambio de recursos, tecnologías y conocimientos entre los diferentes participantes.
- Consolidar resultados del proceso participativo para informarlos a la ciudadanía en general.



En este sentido según los objetivos propuestos se generaron cuatro hitos: identificación de actores, actividad de lanzamiento, reuniones bilaterales y Talleres Participativos.

2. METODOLOGÍA

2.1 Definición de escalas de análisis

La participación, en este caso en particular, es un proceso que considera grupos de interés específicos, privilegiando a aquellos que tengan la posibilidad directa de intervenir sobre los recursos hídricos. El foco de la participación fueron los usuarios de aguas, de estamentos públicos y privados y los servicios públicos presentes en el territorio, todos ellos con relación directa en el uso y gestión del recurso hídrico.

La Participación fue un proceso a través del cual se sometió a consideración de los actores claves los temas de interés público. Esto se logró a través de distintas herramientas que permitieron recoger los diversos puntos de vista, perspectivas y opiniones, con el objetivo de ser considerados en cada uno de los momentos del ciclo del Plan Estratégico.

Debe comprenderse como un proceso que contiene etapas y donde en cada una de las etapas se va incorporando información recopilada en el proceso anterior.

El objetivo del proceso participativo desarrollado fue integrar a la comunidad y a sus actores sociales involucrados en el desarrollo del Estudio, a través de diferentes herramientas de Participación Ciudadana, como son talleres de trabajo, entrevistas y otras actividades que permitieron, por una parte, dar a conocer el proyecto hacia la comunidad y, por otra, recoger sus inquietudes, intereses y opiniones, incorporándolas en el Plan maestro de recurso hídrico, de manera de enriquecer el resultado del proyecto. El componente de Participación Ciudadana se basa en una metodología de carácter cualitativo, incluyendo mecanismos de comunicación y difusión, así como también de aplicación de técnicas y herramientas participativas coherentes con los objetivos y metas que se plantean en este Plan. Si bien en un principio se habían planteado actividades presenciales, en donde se generarían espacios de diálogo y discusión, debido a la contingencia COVID 19 fue necesario replantear toda la intervención a realizar.

Si bien los objetivos siguen siendo los mismos, se señala que el cambio de metodología pudo haber afectado en alguna menor medida la participación, debido a que debió realizarse vía telefónica y vía plataformas virtuales.



2.2 Identificación de actores. Mapa de Agentes

El mapa de actores es una herramienta de diagnóstico social que permite seleccionar con mayor efectividad a los actores prioritarios, con los cuales se busca establecer una relación que en este caso, es básica y estratégica para la obtención de información de primera fuente en relación al estado del recurso hídrico, del manejo que hace cada grupo, de las expectativas que manejan, los intereses, sensaciones y percepciones, sobre todo considerando sus intereses, su poder e influencia en el territorio.

La finalidad de los mapas de actores es contar con una mejor aproximación a la realidad social en la que se intervendrá, comprenderla en su complejidad y a partir de esto, diseñar estrategias de intervención con elementos más objetivos que el sentido común o la sola opinión de un informante calificado. Su utilización es fundamental en el diseño y puesta en marcha de todo proyecto, así como también en la construcción del plan o programa de acción a seguir.

El mapeo de actores, que permite identificar a todas las personas y organizaciones que pueden ser importantes para la planificación, el diseño y la implementación de la gestión de las relaciones, así como también, en este caso específico, que sean capaces de generar información relevante para la implementación del Plan.

Se tomaron diversos grupos de interés, identificados a través de segundas fuentes y que luego se complementaron con información de primeras fuentes. Son actores que fueron invitados por su trayectoria y experiencia, quienes tienen la capacidad de realizar propuestas, valorar los avances logrados, enunciar críticas, proponer soluciones y priorizarlas.

Como primer punto, es muy importante saber dónde buscar la tipología de actores presentes en la cuenca. Los documentos que sirvieron de base para realizar la búsqueda fueron:

- Páginas Web
- Informes Públicos
- Informes Privados
- Documentos de autores locales
- Libros
- Otras publicaciones relacionadas con la cuenca

Con la revisión de los antecedentes se realizó una subdivisión de los actores según a los grupos que pertenecen. A continuación, se señalan las definiciones que fueron tomadas en cuenta para este apartado:



Grupo de Interés: Conjunto de actores que pueden verse afectados porque pueden tener interés en, derechos en relación con, o la capacidad para influir en el lugar donde se desarrolla el Plan o donde ellos habitan de alguna manera.

Actores Claves: Persona, organización, institución o entidad comercial que forma parte de un grupo de interés. Cabe señalar que un actor puede pertenecer a varios grupos de interés.

El detalle del proceso de identificación de los grupos de interés considera 4 instancias:

- 1: Preparación de una lista preliminar de actores por grupos de interés;
- 2: Identificación y caracterización de los actores por grupos de interés;
- 3: Evaluación y ponderación de los actores por grupos de interés;
- 4: Actualización continua de la lista y mapas de actores por grupos de interés;

- **Preparación de una lista preliminar de grupos de interés:** Revisión de la información obtenida a través de fuentes primarias y secundarias para generar un listado de los actores, según temas de interés específico. Este proceso fue revisado y validado por la DGA.
- **Identificación y caracterización de los actores por grupos de interés:** Se debe realizar una caracterización de cada uno de los actores según su alcance territorial y tipo de rol, así como los intereses que movilizan a los actores y su posición frente al Plan. La caracterización debe tener criterios que permitan fundamentar de manera precisa por qué un actor ocupa un lugar y no otro.

La definición de actores claves se encuentra vinculada a la teoría de redes sociales, que entiende la realidad social como conformada por relaciones sociales donde participan ciertos actores e instituciones. Un actor clave, en tal sentido, puede ser una persona o una institución, y son considerados como aquellos que pueden influenciar de alguna manera (tanto negativa como positivamente dentro de una cierta problemática o asunto) o bien son muy importantes para que una situación se manifieste de determinada forma (Tapella, 2007).

En base a esta definición, se entenderán a los actores claves dentro de un plan de gestión hídrica de cuencas, como aquellas instituciones o grupos de personas que tienen injerencia en o pueden verse afectados con las decisiones que se tomen en torno a la gestión del agua dentro de la cuenca río Salado. De esta forma, caben dentro de esta definición tanto



aquellas instituciones que se ocupen directamente de los recursos hídricos, como también aquellas que indirectamente tengan relación con la gestión de cuencas o con la abundancia/falta de agua en el territorio.

Adicionalmente, los fundamentos que se utilizaron en la selección de los actores para este mapa fueron primeramente su residencia o vinculación con las cuencas bajo estudio, que su actividad tenga relación con el recurso hídrico y también la relación que han tenido o tienen con otros planes o proyectos relacionados en el territorio.

a) Influencia

Capacidad de un actor de influir en las decisiones, opiniones y/o acciones de otros actores asociados al plan (ver **Tabla 2-1**).

Este indicador está construido a partir de 4 variables y que pueden tener una ponderación alta, media o baja. Estas variables son las siguientes.

1. Capacidad de influenciar las decisiones en torno al plan
2. Capacidad de movilizar/ empoderar
3. Capacidad de convencer a otros con su postura del plan
4. Capacidad de poner temas en la mesa

b) Interés

Interés de los actores por ser informados o consultados por el plan, el interés de lograr alguna compensación o relación de corte más transaccional. Al igual que en el indicador anterior, éste se conforma por 3 variables específicas, que nuevamente varían entre los términos alto, medio y bajo (ver **Tabla 2-2**).

1. Intención de una relación transaccional con el plan
2. Interés en ser consultado sobre el plan previamente
3. Interés de ser informados sobre el plan

Tabla 2-1 Caracterización según influencia

| PONDERACIÓN | CARACTERÍSTICAS DE INFLUENCIA | | | |
|-------------|---|---|--|---|
| | Capacidad de influenciar las decisiones en torno al plan | Capacidad de movilizar/empoderar | Capacidad de convencer a otros con su postura del plan | Capacidad de poner temas en la mesa |
| Alto (3) | Puede influir sobre las decisiones de todos/mayoría los actores en torno al plan. | Puede influir sobre diversos temas en distintos grupos. | Posee características que le permiten convencer a muchos (nivel comunal-regional). | Su red de influencia comunicacional es comunal o regional. |
| Medio (2) | Puede influir sobre las decisiones de algunos actores sobre el plan | Es capaz de influir en otros o en una red específica sobre temas altamente sensibles. | Posee características que le permiten convencer a unos cuantos (nivel local). | Posee una red de influencia comunicacional que trasciende su entorno (local). |
| Bajo (1) | No tiene capacidad de influenciar las decisiones sobre el proyecto. | Poco poder de influencia sobre otros para que se movilicen por una causa. | No posee características que le permitan convencer a otros. | Su red de influencia comunicacional es baja (sólo personas del entorno). |

Fuente: Elaboración propia.

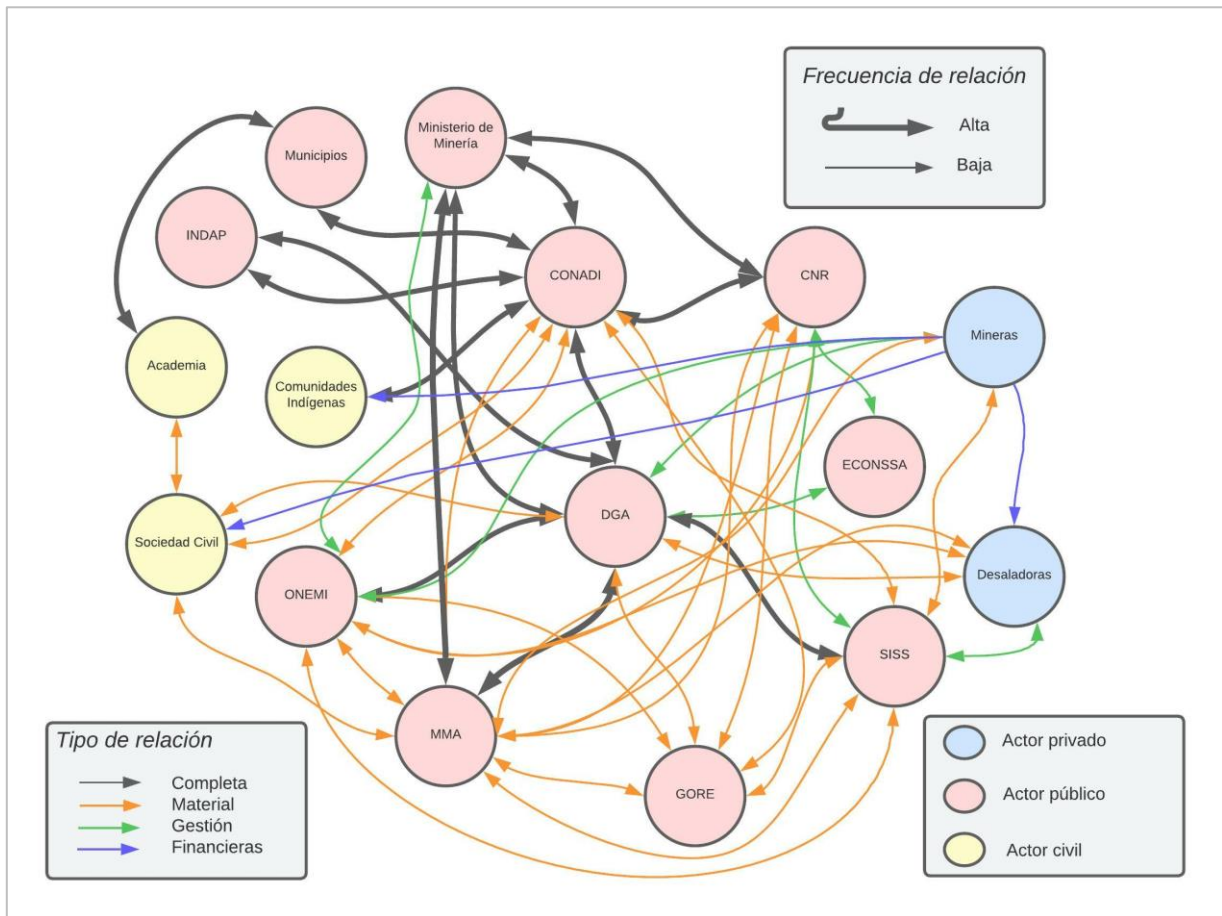
Tabla 2-2 Caracterización según interés

| PONDERACIÓN | CARACTERÍSTICAS DE INTERÉS | | |
|-------------|--|--|--|
| | Intención de una relación transaccional con el plan | Interés en ser consultado sobre el plan previamente | Interés de ser informados por el plan |
| Alto (3) | Espera que se haga logre apoyo permanente en el territorio | El actor tiene interés en que se establezca un diálogo permanente con él durante el plan | Por su proximidad con la cuenca, es necesario que se le informe |
| Medio (2) | Espera acciones específicas en el territorio | El actor tiene interés en ser consultado sobre materias específicas del plan | Por su cargo, tiene interés en ser informado por el plan |
| Bajo (1) | No espera acción alguna en el territorio | El actor es indiferente o no requiere ser consultado para desarrollar el plan | No tiene un interés especial o es indiferente por ser informado del plan |

Fuente: Elaboración propia

En síntesis, por **influencia** se entiende la capacidad e injerencia que tienen los actores en las decisiones que se tomen en torno a las iniciativas y gestión dentro de la cuenca río Salado (por ejemplo, se encuentran actores del sector público que, por su labor a nivel regional y local, se configuran como tomadores de decisiones; o bien, actores privados que, por la importancia que revisten sus actividades a nivel de cuenca, pueden configurar relaciones que permitan tener mayor injerencia en la toma de decisiones). Por último, **interés** se entiende como el grado de atención que tienen ciertos actores en las decisiones que se tomen dentro de la cuenca, ya sea porque afecta directamente en sus actividades o modos de vida, o bien, porque cierta temática cabe dentro de sus labores.

Adicionalmente, se construyó una matriz de tipos y frecuencia de relaciones, que posibilitó la creación de un grafo de actores, el cual permite el grado de cohesión y posibles brechas que pueden existir entre las instituciones y actores de la cuenca (**Figura 2-1**). El grosor de las líneas indica la frecuencia en términos de las relaciones entre los actores, mientras que los colores muestran el tipo de relación entre ellos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-1 Grafo de actores según relaciones y tipo

A continuación, se describe cada tipo de relación y color:

- **Relaciones materiales:** Se trata de relaciones que se pueden materializar en acciones, proyectos o iniciativas concretas. Se trata de la relación más común entre actores, en la medida en que la mayor parte de las instituciones y empresas tienen este tipo de relaciones con otros actores, para concretar proyectos específicos.
- **Relaciones financieras:** Tiene que ver con relaciones basadas específicamente en traspasos monetarios o financiamientos desde una parte hacia otra. Por ejemplo, empresas que entregan compensaciones monetarias o son beneficiarias de ciertas iniciativas. Difiere de las relaciones materiales, en el sentido de que esta transferencia monetaria no necesariamente se materializará en algo concreto.



-
- **Relaciones de gestión:** Son relaciones basadas en gestión de proyectos, iniciativas o planificación, que no necesariamente se materialice en proyectos específicos.
 - **Relaciones completas:** Agrupa los tres tipos de relaciones anteriores.

Sin embargo, pese a que este tipo de relaciones se muestra de manera fija en el grafo, se está graficando el tipo de relación más usual entre actores, es decir, aun cuando se detallan este tipo de relaciones, en ciertos casos concretos es posible que se vean modificadas.

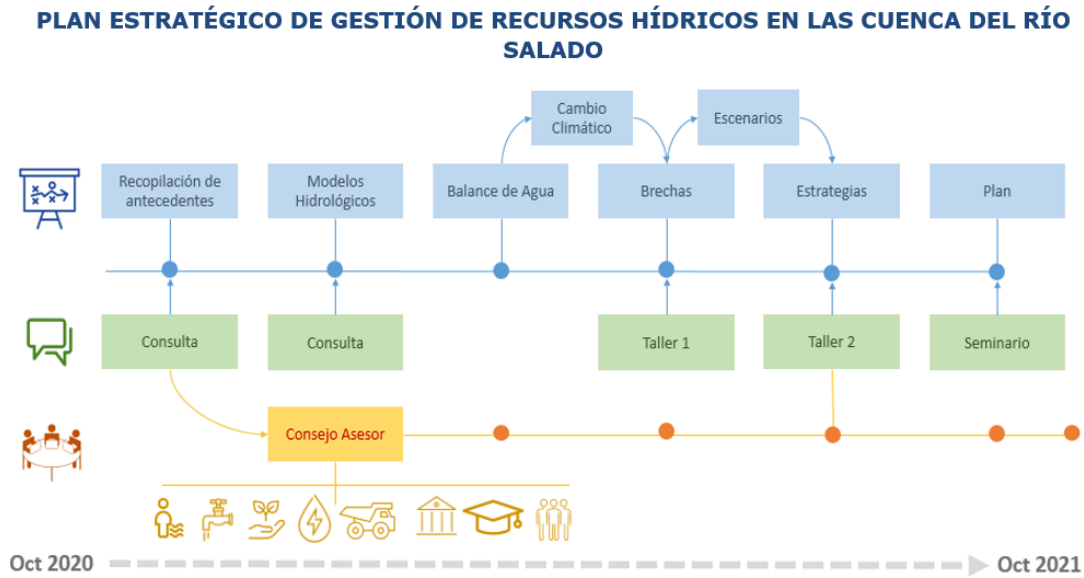
2.3 Reunión de presentación o lanzamiento

En relación con las bases técnicas de licitación (4.6.1 a), se realizaron reuniones de presentación del plan estratégico a los actores de la cuenca. En este sentido se realizó una reunión de presentación o lanzamiento que involucró a todos los actores de la cuenca. Esta reunión se desarrolló dentro del Plan Remoto, por lo tanto, se hizo vía plataforma de videollamada (Zoom).

En complemento a la actividad de lanzamiento se desarrolló una presentación para los jefes de unidad de la Dirección General de Aguas y la oficina Regional de Atacama.

El objetivo de las actividades fue la presentación del Plan a interesados de la cuenca con el fin de difundir y generar instancias futuras de comunicación y levantamiento de información.

Tras la realización de dichas reuniones se actualizó el listado de actores. En la **Figura 2-2** se muestra un ejemplo de la presentación que se realiza, donde se muestran los principales ejes que estructuran el plan de gestión y las respectivas actividades asociadas al cumplimiento de cada uno de ellos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-2 Ejemplo presentación

2.4 Reuniones bilaterales

En forma complementaria al punto de las bases técnicas de licitación (4.6.1 a), durante el desarrollo del Plan se formalizaron reuniones bilaterales, entendiéndose como tales, instancias de trabajo entre un actor o grupo de actores, y, el equipo ejecutor del Plan. La finalidad de la actividad es compartir información, analizar resultados y/o desarrollo del Plan estratégico.

La definición de las reuniones es el resultado de análisis del mapa de actores, es decir aquellos actores de alta/media influencia y alta/media interés.

2.5 Talleres de participación

La metodología de los talleres consiste en el levantamiento de los temas relevantes respecto de la Seguridad Hídrica a través de metodología FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenaza) con la siguiente estructura:

-
- a) Presentación del Plan. Contexto y alcance territorial
 - b) Explicación del concepto Seguridad Hídrica
 - c) Explicación de la metodología de Taller
 - d) Actividad 1: Fortalezas y debilidades (por cada concepto de Seguridad Hídrica)
 - e) Actividad 2: Oportunidades y amenazas
 - f) Cierre: Encuesta de satisfacción

Los talleres de participación se dividieron en dos ciclos, los cuales se explican a continuación.

2.5.1 Primer Ciclo

Los conceptos para desarrollar, que se desprenden de la Seguridad Hídrica, en el Taller de río Salado se muestran en la **Figura 2-3**:



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-3 Temáticas de la Seguridad Hídrica

De esta forma el taller se separa en 4 conceptos de Seguridad Hídrica, donde la actividad 1 de fortalezas y debilidades se genera una encuesta y una lluvia de ideas.

Finalmente, en la actividad 2 Oportunidades y amenazas, se cierra con las opiniones de los participantes en formato discusión abierta. La metodología para el taller del primer ciclo se presenta en la **Figura 2-4**.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-4 Metodología taller

El cierre del taller considera la toma de opiniones pendientes dentro del mismo para tener en cuenta temas no presentados y la evaluación de satisfacción de la actividad (ver punto 6).

2.5.1.1 Taller Pueblos Originarios

Los conceptos para desarrollar sobre la Seguridad Hídrica en el Taller de Pueblos originarios se muestran en la **Figura 2-5**.

De esta forma el taller se separa en 4 conceptos de Seguridad Hídrica. En la actividad N°1 de fortalezas y debilidades, se genera una lluvia de ideas de los temas relevantes. Luego, en la actividad N°2 Oportunidades y Amenazas, se cierra con las opiniones de los participantes en formato discusión abierta. Esta metodología queda representada en la **Figura 2-6**.

El cierre del taller considera la recopilación de opiniones pendientes dentro del taller para tener en cuenta temas no presentados y la evaluación de satisfacción de la actividad (ver punto 6).



Seguridad
Hídrica



Seguridad
para las
personas



Seguridad
para las
actividades
productivas



Seguridad
para las
prácticas
culturales



Seguridad
ante desastres
de origen natural

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-5 Temáticas de la Seguridad Hídrica pueblos originarios



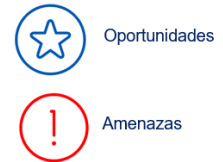
SEGURIDAD HÍDRICA



LLUVIA DE IDEAS



DISCUSIÓN



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-6 Metodología taller pueblos originarios

2.5.1.2 Convocatoria

Todas las actividades se realizaron en formato videollamada por la plataforma Zoom, la propuesta que se validó en convocatoria es la siguiente:

1. **Preparación de la actividad:** Definición de objetivo, fecha-hora, participantes (lista de actores / contacto) y productos esperados.
2. **Validación con la IF:** Se valida con la inspección fiscal el punto anterior.
3. **Coordinación con Seremi MOP región de Atacama:** Se enviará a validación los medios de comunicación de la actividad, con el VB se procederá con la convocatoria.
4. **Convocatoria Dirección Regional:** La inspección fiscal, a través de la oficina de la Dirección Regional, envía las invitaciones vía correo electrónico. Se utilizó un link de inscripción para hacer seguimiento de los confirmados.
5. **Convocatoria consultora:** El equipo consultor también realiza la convocatoria por teléfono, WhatsApp, correo electrónico, en los casos que sean oportunos.
6. **Seguimiento de la convocatoria:** El equipo consultor hará seguimiento de las confirmaciones y generará, por diferentes medios, recordatorios para asegurar la participación.
7. **Último recordatorio:** El día antes de la actividad se envía a los invitados el link de conexión de la actividad. Este link deriva a un espacio virtual habilitado para conectarse a la reunión a la hora citada.

2.5.1.3 Medios de verificación

Grabación: La actividad se graba y se avisa a los intervinientes de esta situación. La grabación queda disponible para los asistentes que la soliciten.

Fotos y lista de asistencia: Finalmente se realizan capturas de pantalla de la actividad como medio de verificación, de igual manera, el listado de asistencia se guarda como respaldo.

Minuta: Terminada la actividad, se levanta un acta de reunión con la grabación de esta.

Informe de análisis: Los talleres son sistematizados en el correspondiente Anexo I de Participación Ciudadana, base de información del Plan estratégico.

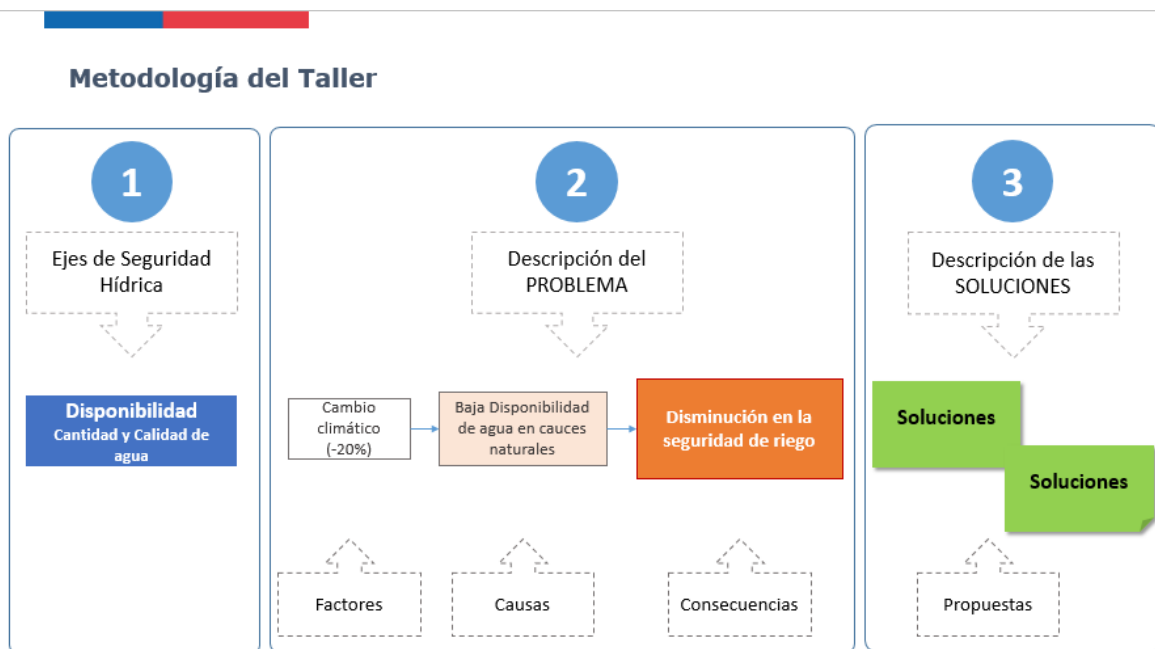
2.5.1.4 Encuestas de retroalimentación

Al término de cada una de las actividades de participación ciudadana, el equipo consultor solicita a los participantes la realización de una encuesta de retroalimentación para obtener una evaluación de esta. El fin es recabar los puntos fuertes y débiles según los participantes en cada reunión. En ese sentido, los puntos a evaluar son los siguientes:

- a. Forma de convocatoria (tiempo, instrumento, forma)
- b. Calidad de videollamada
- c. Calidad del relator
- d. Hora y fecha de la actividad
- e. Metodología del taller

2.5.2 Segundo Ciclo

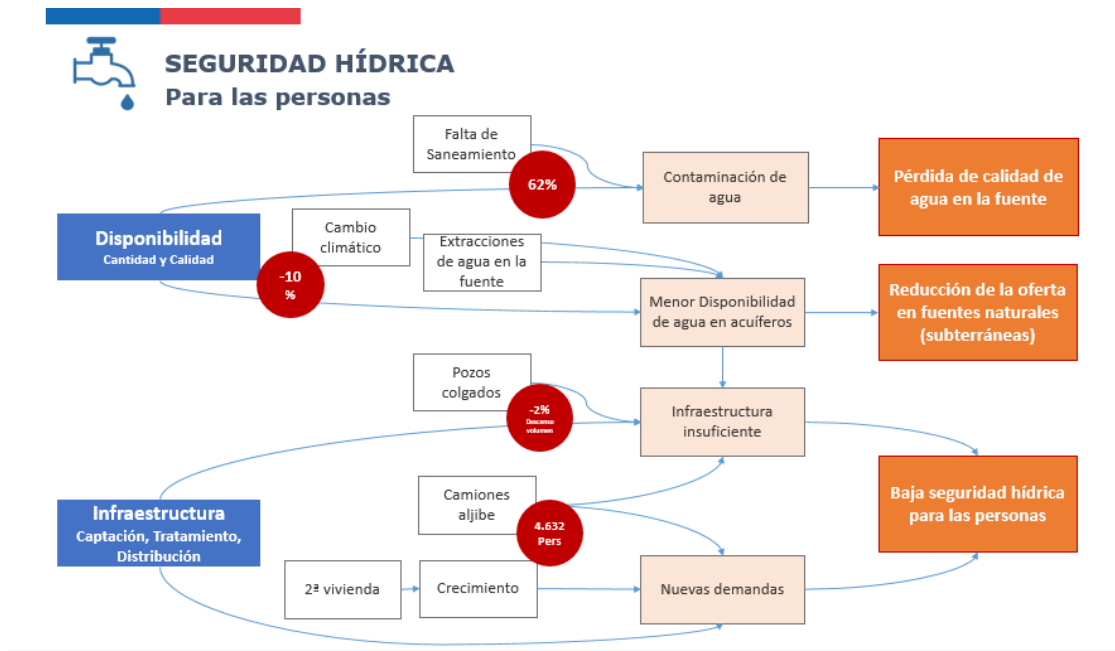
El segundo ciclo de Talleres se llevó adelante con un formato de conversatorio, guiado siempre por los cuatro conceptos anclas que guían las discusiones (Seguridad Hídrica). En este sentido, se entiende que es de vital importancia para la Participación Ciudadana plasmar las opiniones y sentires de sus participantes. La **Figura 2-7** muestra la metodología propuesta para el segundo taller.



Fuente: Elaboración propia

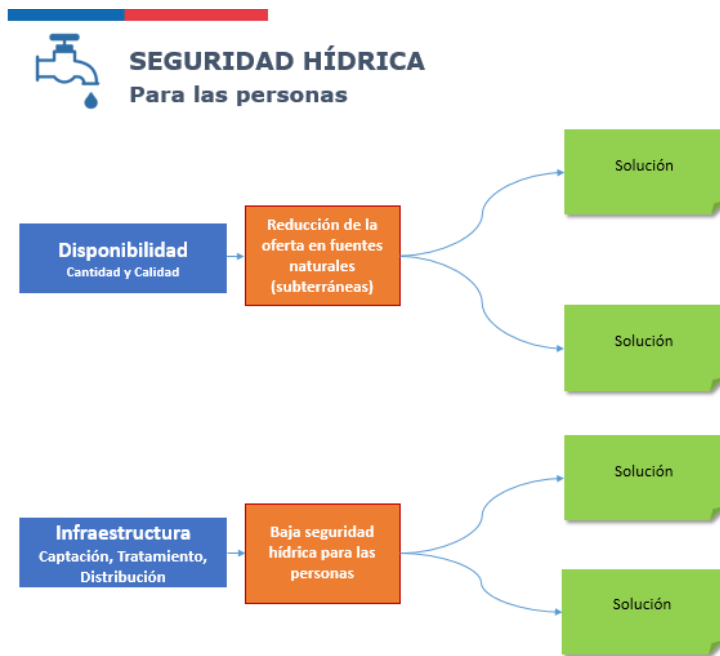
Figura 2-7 Metodología 2º Taller

El conversatorio guiado se estructura por eje de seguridad (personas, ecosistemas, actividades productivas y resiliencia) donde, a través de la presentación de un "Árbol de problemas" (ver **Figura 2-8**) definidos en el primer ciclo de talleres, se genera el Árbol de soluciones (ver **Figura 2-9**).



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-8 Ejemplo Árbol de problemas



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-9 Ejemplo Árbol de soluciones

Tanto el primer como el segundo ciclo de talleres con pueblos originarios, fueron realizados de manera transversal para las cuencas costeras e islas entre río Salado y río Copiapó, y la cuenca río Salado. De esa manera, en el análisis de actividades se agruparon las opiniones y conclusiones de actores de pueblos originarios de ambas cuencas, lo que permite tener un panorama general respecto de las demandas, problemáticas y brechas identificadas por los actores que habitan este territorio.

2.5.3 Aspectos transversales

2.5.3.1 Convocatoria

Todas las actividades se realizan en formato videollamada por Zoom, la propuesta validada de convocatoria es la siguiente:

8. **Preparación de la actividad:** Definición de objetivo, fecha-hora, participantes (lista de actores / contacto) y productos esperados
9. **Validación con la IF:** Se valida con la inspección fiscal el punto anterior
10. **Coordinación con Seremi MOP región de Atacama:** Se enviará a validación los medios de comunicación de la actividad, con el VB se procederá con la convocatoria
11. **Convocatoria Dirección Regional:** La inspección fiscal a través de la oficina de la Dirección Regional podrá enviar las invitaciones vía correo electrónico. Se utilizará un link de inscripción para hacer seguimiento de los confirmados.
12. **Plan de medios y convocatoria de la consultora:** El equipo consultor realizará la convocatoria por teléfono, WhatsApp, correo electrónico, en los casos que se han oportunos según Plan de medios.
13. **Seguimiento de la convocatoria:** El equipo consultor hará seguimiento de las confirmaciones y generará por diferentes medios recordatorios para asegurar la participación.
14. **Último recordatorio:** El día antes de la actividad se enviará a los invitados el link de conexión de la actividad. Este link derivará a un espacio Virtual habilitado para conectarse a la reunión a la hora citada.

2.5.3.2 Encuestas de retroalimentación

Al término de una actividad de participación ciudadana, el equipo consultor solicita a los participantes la realización de una encuesta de retroalimentación para obtener una evaluación de esta. El fin de esta encuesta es recabar los puntos fuertes y débiles según los participantes en cada reunión.

Los puntos a evaluar son los siguientes:

- Forma de convocatoria (tiempo, instrumento, forma)
- Calidad de videollamada
- Calidad Relator
- Hora y fecha de la actividad
- Metodología del taller

2.5.3.3 Medios de verificación

Grabación: La actividad se graba y se avisa a los intervinientes de esta situación. La grabación queda disponible para los asistentes que la soliciten.

Fotos y lista de asistencia: Finalmente se realizan capturas de pantalla de la actividad como medio de verificación, de igual manera, el listado de asistencia se guarda como respaldo.

Minuta: Terminada la actividad se levanta un acta de reunión, basada en la grabación de esta.

Informe de análisis: Los talleres son sistematizados en el correspondiente Anexo I de Participación Ciudadana, base de información del Plan estratégico.

3. ANALISIS DE ACTIVIDADES

3.1 Identificación de actores

Dentro de la búsqueda activa de actores, las fuentes de información comienzan a partir de lo que se recopila en el primer mes de ejecución del presente plan. A su vez se consultan fuentes secundarias entre las cuales están:

- ✓ Evaluaciones de Impacto Ambiental presentados al SEA.
- ✓ Registros de Municipalidades que están dentro de la cuenca.
- ✓ Portal Minero Chile
- ✓ Páginas web de ministerios en Chile.
- ✓ Página web CONADI.

Habiendo revisado los antecedentes de búsqueda activa de distintos actores dentro de la cuenca, en la **Tabla 3-1** se muestran los grupos de interés identificados.

Tabla 3-1 Número de Actores según Sector al que pertenecen

| Sector Público | Sector Privado y Sociedad Civil |
|----------------|---------------------------------|
| 58 Actores | 36 Actores |

Fuente: Elaboración propia

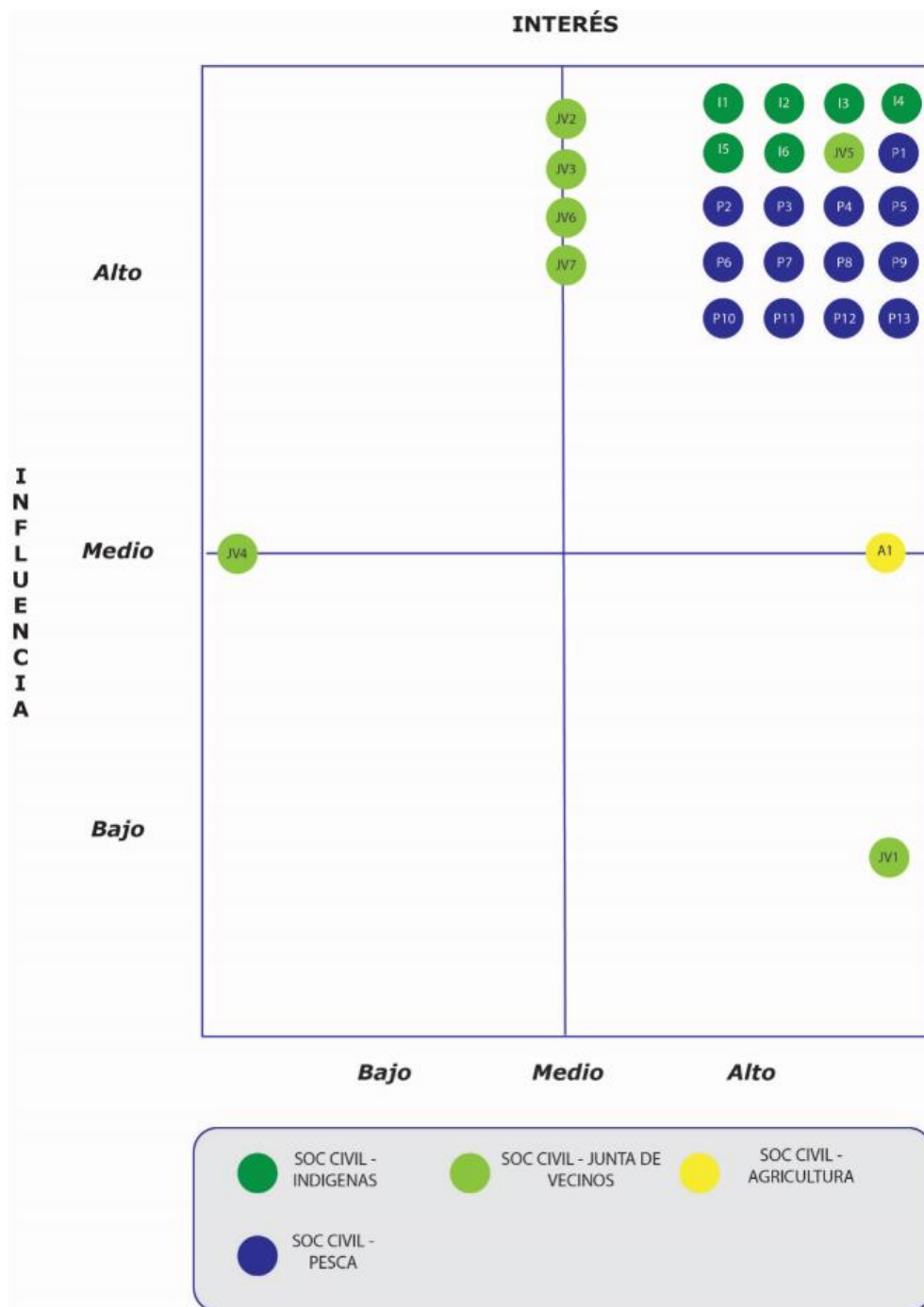
A su vez, en la **Tabla 3-2** se presenta el resumen del número de actores por interés temático.

Tabla 3-2 Número de Actores según subsector

| Subsector | Número de Actores |
|-------------------|-------------------|
| Academia | 4 |
| Agricultura | 2 |
| Costa | 1 |
| Desarrollo Social | 1 |
| Emergencia | 1 |
| Energía | 4 |
| Estado | 26 |
| Indígenas | 4 |
| Junta de Vecinos | 1 |
| Medio Ambiente | 1 |
| Municipios | 1 |
| Minería | 6 |
| Pesca | 14 |
| Policía | 6 |
| Región | 9 |
| Sanitaria | 5 |

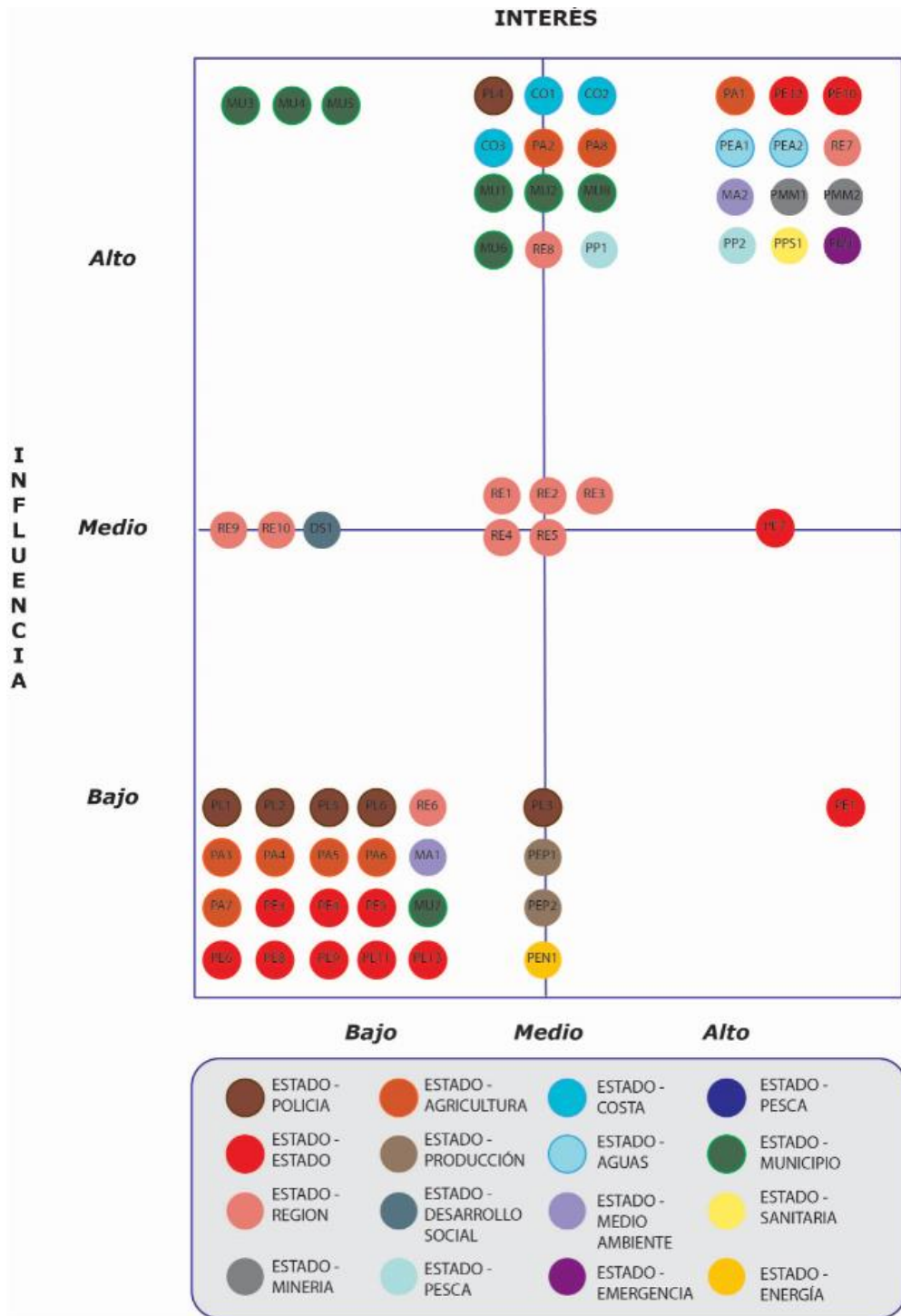
Fuente: Elaboración propia

El listado de actores se acompaña en Anexo I1 del presente informe. A continuación, la **Figura 3-1**, **Figura 3-2** y **Figura 3-3** presentan los mapas de actores preliminares.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-1 Mapa Sociedad Civil



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-2 Mapa Actores Públicos



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-3 Mapa de actores Privados

3.2 Reunión de presentación o lanzamiento

La presentación del estudio se realizó el martes 25 de Mayo de 2021 a las 10:00 am.

En virtud de lo establecido en las bases técnicas de licitación, se realizó una reunión de presentación del plan estratégico a los actores de la cuenca, tanto del ámbito privado como público, y se incluyeron las organizaciones y comunidades indígenas presentes en el territorio.

Esta reunión se desarrolló de forma remota, por lo tanto, fue realizada vía plataforma de videollamada (Zoom).

En complemento a la actividad de lanzamiento, se desarrolló una presentación para los jefes de unidad de la Dirección General de Aguas y la oficina Regional de Atacama.

El objetivo de las actividades fue la presentación del Plan a interesados de la cuenca, con el fin de difundir y generar instancias futuras de comunicación y levantamiento de información. Al presentar los antecedentes se señala que dentro de los alcances del proyecto se encuentran: las actividades de Participación Ciudadana, principalmente por bases de licitación, **reuniones de levantamiento de información y presentación del plan (1)** y **Talleres PAC (4)**. Adicionalmente, para poder alcanzar los objetivos del plan, se plantea la realización de **reuniones de trabajo (2)** con distintos actores y **reuniones de seguimiento (3)** con un grupo definido (Grupo asesor).

Tras la realización de dichas reuniones se actualizó el listado de actores.

La reunión de Lanzamiento se realizó el martes 25 de Mayo, a las 10:00 hrs. de forma telemática a través de la plataforma Zoom. A esta reunión asistieron un total de 56 personas, entre las cuales se encontraban actores de los diversos sectores convocados.

Luego de la presentación, los asistentes tuvieron la posibilidad de realizar preguntas y comentarios. A continuación, se resumen los temas tratados:

- a. Incorporación de la cuenca del Quinchihue, que se encuentra al norte de la cuenca río Salado.
- b. Importancia de obras como piscinas decantadoras.
- c. Considerar las aguadas y aquellos cuerpos de agua que posibilitan la existencia de fauna.
- d. Foco del estudio considerar el agua para consumo de las personas y la mirada ecosistémica.
- e. Financiamiento posterior al plan.
- f. Presentación del diagnóstico y el plan a la comunidad.
- g. Fuerte desconfianza en relación con las acciones que toman empresas que operan en el territorio, particularmente por el incumplimiento de compromisos ambientales.

3.3 Reuniones bilaterales

A lo largo del estudio se realizaron reuniones bilaterales de trabajo con diferentes actores, en total se realizaron 22 reuniones. En el **Anexo L Minutas de reunión** se presentan las actas de reunión de cada actividad.

3.4 Talleres de participación Ciudadana

3.4.1 Primer Ciclo

El primer ciclo de talleres tuvo por objetivo trabajar sobre los problemas de la cuenca. El Primer Taller se desarrolló el día 13 de Julio de 2021, el cual contó con la participación de actores públicos, privados y representantes de los pueblos originarios Chango, Colla y Diaguita.

El día 22 de Julio se realizó un taller en los que participaron solamente representantes, socios y comuneros de los Pueblos Originarios presentes en la cuenca, es decir, Changos, Collas y Diaguitas.

3.4.1.1 Taller General: cuenca río Salado

3.4.1.1.1 Caracterización de los participantes

En este apartado se hizo la caracterización de los participantes del primer ciclo de talleres, a partir de una encuesta aplicada al comienzo de este.

En primer lugar, se hace la pregunta, ¿con qué género se identifica?; el resultado es 56% masculino y un 44% corresponde a femenino, como se muestra en la **Tabla 3-3**.

Tabla 3-3 Género Participantes

| Opción | 1. Con qué Género se identifica: | % |
|--------------|----------------------------------|-------|
| 1. Masculino | 14 | 56,00 |
| 2. Femenino | 11 | 44,00 |

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al rango de edad de los participantes, este se muestra en la **Tabla 3-4**:

Tabla 3-4 Rango de edad

| Opción | 2. Rango de Edad | % |
|---------------|------------------|-------|
| Entre 18 y 29 | 2 | 8,00 |
| Entre 30-59 | 19 | 76,00 |
| 60 años y más | 4 | 16,00 |

Fuente: Elaboración propia

Según se presenta en la **Tabla 3-5**, los organismos representados en el taller, en su mayoría pertenecen al sector público, empresas mineras, servicio público local y comunidades indígenas.

Tabla 3-5 Organismos participantes del taller

| Opción | 3. Institución a la que representa | % |
|---|------------------------------------|-------|
| Comunidades Indígenas | 1 | 4,00 |
| Empresa Minera o Industrial | 4 | 16,00 |
| Otro | 2 | 8,00 |
| Servicio público a nivel nacional | 2 | 8,00 |
| Servicio público a nivel regional o local | 16 | 64,00 |

Fuente: Elaboración propia

Los datos respecto a la representatividad de pueblos originarios del taller, se visualizan en la **Tabla 3-6**.

Tabla 3-6 Participantes Pueblos Originarios

| Opción | 4. ¿Con qué pueblo originario se identifica? | % |
|-----------|--|-------|
| Collas | 1 | 4,00 |
| Diaguitas | 2 | 8,00 |
| Ninguno | 19 | 76,00 |
| Otro | 3 | 12,00 |

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.1.2 Análisis de los resultados Taller General

3.4.1.1.2.1 SEGURIDAD HÍDRICA PARA LAS PERSONAS

Participante 1

Señala que la Seguridad Hídrica de su sector depende del río Copiapó, lo más importante es el agua subterránea, la calidad y cantidad, se necesitan trasvases para el acceso al agua potable en Copiapó. Es necesario realizar el análisis de la quebrada Carrizalillo, ya que está al norte de la cuenca río Salado y nace en el Salar de Pedernales.

Participante 2

En relación con el agua para el consumo en la cuenca, ésta es bastante mala en cuanto a la calidad del agua potable, además de ser poca, es mala porque es muy salobre. Se debe tener en cuenta que CODELCO le hizo a la ciudad de Diego de Almagro un traspaso de agua y estas aguas vienen del Tranque la Ola, se purifican en Llanta donde hay una planta de osmosis inversa, pero al parecer ese proceso de purificación no es bueno, porque el agua

es de mala calidad, se han hecho estudios y no es apta para el consumo humano. Por eso es muy complejo el tema hídrico en Diego de Almagro.

Además, se señala que la presión del agua potable no es buena, esto repercute en el hecho que se ha tenido que detener la construcción de poblaciones, por ejemplo, en la población La Antena, la presión llega hasta un sector y luego se pierde ya que es muy bajo donde está el estanque. El estanque de acumulación de agua tiene más de 40 años. Se propuso mejorarlo o cambiarlo de lugar, pero eso no ha sucedido.

Otro problema es el alto costo del agua, a lo que se le debe sumar la compra de agua purificada para beber. El agua la provee Aguas Nueva Atacama, es la proveedora del agua de Diego de Almagro. Cuando estaba Aguas Chañar, el agua era un poco mejor.

Participante 3

El tema del agua es una limitante, ya que ha impedido el crecimiento de la población, no se pueden construir más viviendas, eso mismo ha sido un impedimento para la construcción del nuevo hospital. Ahora recién se van a dar algunos pasos significativos para solucionar esto. Por otro lado, se ha priorizado el agua a las mineras, en ese aspecto hay varios proyectos que han sido aprobados y el recurso será aprovechado por esas actividades. Este es el caso particular de la ciudad de Diego de Almagro, en cambio en El Salvador, esto lo tienen solucionado.

Hay un problema grave que es la extracción de agua que se hace de manera ilegal desde el río Salado, se observa esto aguas arriba de Diego de Almagro, hay empresas que utilizan el recurso hídrico en los proyectos fotovoltaicos, otros para regar caminos (humectación) y son empresas que tienen proyectos licitados por el MOP. Esto se da entre Diego de Almagro y Llanta.

También señala que los habitantes de la comuna pagan doble agua, ya que no es posible hacer uso del agua que viene por los ductos, y deben comprar agua en bidones. Hay una Comisión de Agua que hace mucho tiempo que está trabajando (aunque es de hecho), se han hecho informes que podrían ser útiles ya que se ha encontrado arsénico, estos informes están en el Servicio de Salud. No hay estudios recientes de la real composición en el sector de Diego de Almagro.

Participante 4

En relación con la calidad del agua, en el Salado hay muchos reclamos de los vecinos, esto se da desde antes del aluvión, actualmente una familia está pagando alrededor de \$ 60.000 mensuales. También se cobra por el tratamiento de aguas servidas.

Señala que el agua no se puede tomar, y la gran cantidad de sarro hace que los electrodomésticos como, por ejemplo, los hervidores tengan muy poca vida útil y se deterioren rápidamente. Por otro lado, dice que no cuentan con información sobre dónde reclamar.

Con respecto a la extracción de agua, también han visto que hay camiones que sacan agua diariamente y dicen que son de algún proyecto del Estado, pero no hay certeza de ello.

ENAMI extrae agua de la laguna que hay acá en el Salado, no se sabe si el MOP también puede hacerlo.

Participante 5

Señala que ENAMI tiene derechos de agua desde 1980, de un Dren que alimenta la laguna, tiene 27,2 l/s autorizados por la DGA. A ENAMI le solicitan permiso para la extracción de agua, ya sea para humectación de caminos como para los proyectos fotovoltaicos. El MOP también nos ha solicitado permiso para extraer agua.

Participante 6

En general se debe separar en dos partes: un tema es lo que pasa en Chañaral, donde hay un ducto que es un trasvase desde el río Copiapó y es cuestionable que haya un suministro de agua permanente, pues si esa cañería sufre una rotura o un daño se corta todo el suministro para la ciudad de Chañaral. Por otro lado, es una comuna costera, que está muy contaminada, por la Bahía de Chañaral, lo que es histórico.

La otra parte, Diego de Almagro y Salvador, es un tema de calidad de agua, ahí hay acuerdo entre las mineras y las proveedoras de agua, por lo que hay que ver cuáles son las fuentes de abastecimiento, las plantas de osmosis inversa y los derechos de agua para la mantención de esa agua. También se debe distinguir entre el abastecimiento de las ciudades y el abastecimiento de los campamentos. Hay que ver cómo los campamentos están siendo abastecidos, porque también debería analizarse.

En relación con que hay agua en las zonas montañosas, en la parte alta hay vertientes y humedales, no obstante, han sido explotados hace ya un siglo por CODELCO y los humedales han sufrido muchos daños, no es una zona prístina ya que han sido intervenidas.

3.4.1.1.2.2 SEGURIDAD HÍDRICA PARA LAS ECOSISTEMAS

Participante 2

A través de la comunidad han estado suministrando derechos de agua en la cordillera, son aproximadamente 3 l/s, se podría trabajar con alguna autoridad para que esa cantidad de agua se pudiera llevara a Diego de Almagro para consumo humano. Tiene 98,9% de pureza, está en los volcanes de Aipuru.

Participante 1

Las aguas escurren naturalmente, independiente de la concentración de minerales, pero históricamente no podemos hablar que hay Seguridad Hídrica para ecosistemas en la cuenca río Salado, ya que hay que considerar los 400 mil millones de toneladas de residuos tóxicos que se descarga a través del río Salado que fue encauzado en canal, y que actualmente se encuentran en la Bahía de Chañaral y el sector de Playa El Refugio al Norte de la Bahía, para la extracción de los residuos de lavado de Cobre de Salvador, el tranque Pampa Austral actualmente, no es hermético y que naturalmente escurre las aguas a las cuencas subterráneas del río Saldo, por lo que no se puede tener una visión positiva de la cuenca.

El último vaciado de relave o algunas contaminadas que se dio por el río Salado fue en 2015. Hoy en día después del aluvión no fue canalizado nuevamente pero en 2015, se señala que cayó un químico naranja hacia el mar, hacia la Playa El Refugio.

Participante 6

Señala que, si bien el río Salado está contaminado, no se dispone relave en él; hay pasivos, es decir, hay contaminación remanente. Hay varios estudios sobre si se puede remediar como por ejemplo con algas pardas, también comenta sobre el proyecto Playa Verde (aprobado por el SEIA). A nivel ecosistema, la bahía está muy contaminada y al momento del aluvión hubo arrastre de distintos sectores que seguramente arrastraron algunos pasivos mineros que posiblemente llegaron a depositar sedimento a lo largo del río y de la desembocadura.

Hay que tener en cuenta que una cosa es la cuenca de Pedernales y otra la cuenca río Salado, que es altoandina, en esta cuenca que tienen un sector altoandino, hay humedales y hay agua de buena calidad, tiene fuente de abastecimiento, los humedales han sido afectados. Una de las propuestas es evaluar desde el estanque Montandón hacia la cordillera, esas quebradas como Quebrada Larga, Cerillo, Colorado, Trojita, Potrero Grande. Algunos están muy intervenidos históricamente hace más de un siglo y otros no, entonces hay que evaluar cómo se ha desarrollado esto históricamente. Montandón es un punto interesante, captura todos estos drenes y también se abastece hacia campamentos,

Lo histórico hay que tomarlo en cuenta porque te permite tomar acciones actuales. Sería bueno hacer el análisis, el MMA ha hecho un inventario de humedales, y de ahí pueden sacar mucha información.

Participante 7

Con fecha 15 de enero de 2021 se llegó a un advenimiento con el Consejo de Defensa del Estado, y de las actividades comprometidas, hay medidas de carácter hídrico, medidas asociadas al Sistema Vegetaciones Azonales Hídricos Terrestres (SVAHT) y hay medidas asociadas a información y a colaboración, esto tendrá una duración de 8 años.

Hay comprometidos estudios en los Salares cerca de Pedernales, hay medidas de puesta en valor y reparación ex situ de SVAHT afectados, también de data de muerte del SVATH inactivo de Pedernales. CODELCO se encuentra en etapa de licitación.

Participante 6

Las cuencas aledañas están en el advenimiento del CDE, pero también hay humedales alrededor de Pedernales, que ahí si hay medidas que va a asumir CODELCO. Los humedales que tienen vegetación azonal hídrica terrestre son humedales que tienen agua en forma subsuperficial y ciertos afloramientos, pero se van perdiendo a lo largo de la cuenca y alimentan niveles freáticos.

Participante 1

En Pan de Azúcar hay puntos de afloramiento de agua subterráneas, que se denominan aguadas, estos puntos son los más relevantes para la avifauna nativa local, en Pan de Azúcar hay de 14 a 18 aguadas identificadas, aproximadamente.

En el caso de Quebrada Carrizalillo, está la Aguada de Chinchigüe, en donde la gente se paraba a escuchar el agua subterránea escurriendo, desde 2015 se expuso con el aluvión, se hizo un socavón, y ahora hay escurrimientos superficiales por algunos metros. Independiente que se vea el agua, tienen suma importancia las aguas subterráneas.

3.4.1.1.2.3 SEGURIDAD HÍDRICA PARA LA PRODUCCIÓN

Participante 5

Hay falta de abastecimiento de agua, ENAMI usa menos agua de la que tienen a través de derechos adquiridos, no necesitan una desaladora, lixivian con el agua salada. Tienen 27,2 l/s autorizados mensualmente, según la producción utilizan como promedio al mes, un 5% de los 27 l/s. No han tenido que parar de operar por falta de agua, solo en caso de emergencia de aluvión.

El agua se extrae desde la laguna que hay en Salado, se extrae a través de gravedad y luego con bombas se impulsan hacia la operación.

Participante 3

En la zona tienen muchos proyectos y todos requieren de agua, no se ha hecho la cuantificación de consumo de agua y todos necesitan de este recurso para la realización de los proyectos. El no conocer este dato nos limita a desarrollar más proyectos como la construcción de viviendas y desarrollo urbano.

Los recursos de agua a los que acceden estos proyectos provienen de aguas subterráneas y fuentes externas, no necesariamente del río Salado.

Participante 2

El río Salado proviene de Vega Ancha, el río Negro y otros sectores, cuando el agua llega al Salar de Pedernales el agua se vuelve muy salada, porque está detenida y esa agua drena hacia el río Salado, por lo que el agua no sería útil para trabajarla industrialmente, de manera que las captaciones de agua se hacen antes de la llegada del agua al Salar de Pedernales.

3.4.1.1.2.4 SEGURIDAD HÍDRICA PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO O RESILIENCIA

Participante 8

El año 2015, 2017 y 2020 ha habido eventos (aluviones). Generalmente ha habido aluviones menores de quebradas locales en Chañaral, en la Quebrada de Cabritos y la Quebrada Conchuelas, las cuales desembocan directamente en la ciudad. Desde los años 90' no se tiene conocimiento de eventos mayores.

Participante 9

Manto Verde tiene registros de un estudio histórico de los eventos ocurridos en la zona.

Participante 2

En el año 1972 hubo un aluvión en la cuenca y luego el más grande del 2015. Lo que ocurrió en ese año fue que no hubo nieve, sino sólo agua, ya que la isoterma estaba muy cálida, lo que produjo el aluvión. En el año 1972 ocurrió lo mismo.

El problema es que con el cambio climático no se puede predecir nada, qué evento puede ocurrir a futuro o la dimensión de éste, pero se podría hacer un diagnóstico con la gente y anteponerse a una posible bajada, incluyendo a gente de la zona, no con personas externas.

Luego de estos eventos las personas no han sido trasladadas, viven ahí mismo porque tienen que levantar su vivienda y eso no es de bajo costo.

Participante 3

Se está haciendo un estudio de obras de control aluvional para la cuenca río Salado que está en proceso de evaluación de estudio ambiental, ya pasaron la primera etapa de evaluar el estudio propiamente tal y el Ministerio de Obras Públicas solicitó suspender el proceso

para responder el requerimiento que le hicieron los distintos organismos a través de sus observaciones.

En Diego de Almagro hay un sector importante porque el río atraviesa la ciudad de este a oeste y hay sectores que están expuestos a cuando ocurra un desastre natural. La evidencia es lo que ocurrió el 2015 y 2017 a menor escala.

Había una rampa que se atravesó producto de que se desmoronó el suelo (cedió) abrió un brazo e hizo que las aguas tomaron otro curso, ocasionando que se inundaran las calles como la av. Juan Martínez y Torreblanca.

En caso de aluvión, en Diego de Almagro, existe una Dirección de Emergencia que tiene contacto con la ONEMI, quienes se encargan de informar a la población en caso de emergencia y existe un comité ambiental comunal conformado por bomberos, carabineros, hospitales, etc.

Participante 6

Hay que considerar que hay influencias del invierno boliviano en el área.

Una debilidad son los recursos requeridos para estas grandes obras de data importante en tiempo de construcción y recursos. También el diseño tiene que considerar el período de retorno de la obra, debe ser en períodos distintos, no pueden ser considerados en períodos de 100 años, deberían ser muchos más.

La planificación territorial debe ser un tema para considerar ya que en el aluvión se vio como se arrastraban camiones con ácidos, que había gente con viviendas cercanas, por lo que es un gran tema.

Las fortalezas son las lecciones aprendidas por la misma comunidad que tiene una percepción distinta.

Además de los aluviones hay que considerar como riesgo los sismos y maremotos, que si pudieran afectar el abastecimiento de recursos hídricos, por ejemplo, la planta de tratamiento de aguas servidas, el ducto mismo, podrían ponerse en riesgo en algún momento por lo que es importante analizar, ya que si hay algún desastre natural, Chañaral se queda sin agua.

Participante 1

El principal riesgo frente a un tsunami está en las plantas desaladoras, ya que a partir de un estudio realizado del tsunami en 1922 en el Parque Nacional Pan de Azúcar, se espera que el próximo terremoto tenga una magnitud de 9 grados Richter, por lo que existe un riesgo bastante alto. Además, en los últimos 40.000 años, el continente en la región de Atacama se ha elevado 40 mts. a causa de los sismos, lo que es bastante inusual.

Participante 8

En relación con el diseño de las obras, el escenario al que hay que enfrentarse ahora para poder dimensionar las obras de control aluvional, es que hay eventos que son de dimensiones no previstas, ya que el cambio climático está provocando eventos de mayor violencia, magnitud y en períodos de tiempo más breves y con períodos de retornos más frecuente.

El parámetro para diseñar la Quebrada del Salado fue en función del evento del 2015, que era superior al período de retorno de 100 años. Sin embargo, se produjeron los aluviones del 2017, lo que causó el rediseño de las obras, por lo tanto, de un caudal previsto de 220 m³/s aprox., se amplió a un caudal de 450 o 480 de m³/s en las proyecciones.

Participante 3

Con relación a la Ley de Humedales, la comuna de Diego de Almagro envió un informe solicitado por la SEREMI, relativo la existencia de humedales donde a través de un estudio se estableció que no hay humedales en el sector.

Un tema recurrente es la calidad del agua, existe preocupación por saber lo que la comunidad está consumiendo. Se hicieron estudios en establecimientos educacionales que detectaron la presencia de arsénico.

3.4.1.1.2.5 CONVERSATORIO SOBRE OPORTUNIDAD Y AMENAZAS

OPORTUNIDADES

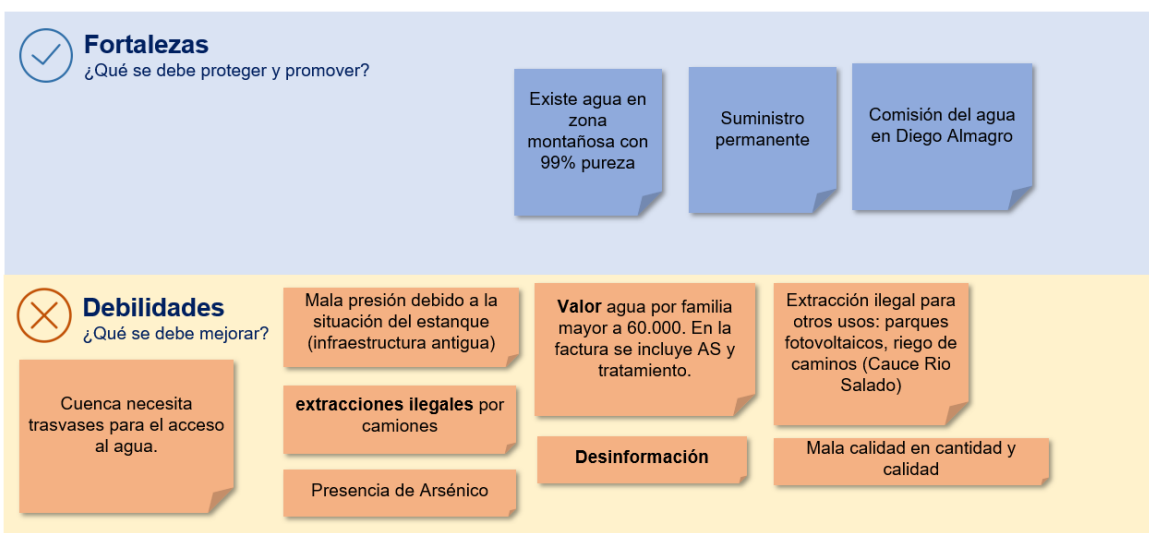
- Las mineras están proyectando sus desaladoras, lo que podría ser algo positivo entendiendo que esto debería reducir el consumo de agua.
- Planes y las instancias de Participación generan conocimiento

AMENAZA

- Cambio climático
- Probabilidad de aluviones en la región.

A continuación, se presenta la sistematización de la actividad a través de un cuadro resumen donde se muestran las debilidades y fortalezas según concepto ancla, relacionado con la Seguridad Hídrica (ver Apéndice Primer Ciclo de taller – PPT). Los cuadros resumen se encuentran presentados en la **Figura 3-4, Figura 3-5, Figura 3-6 y Figura 3-7.**

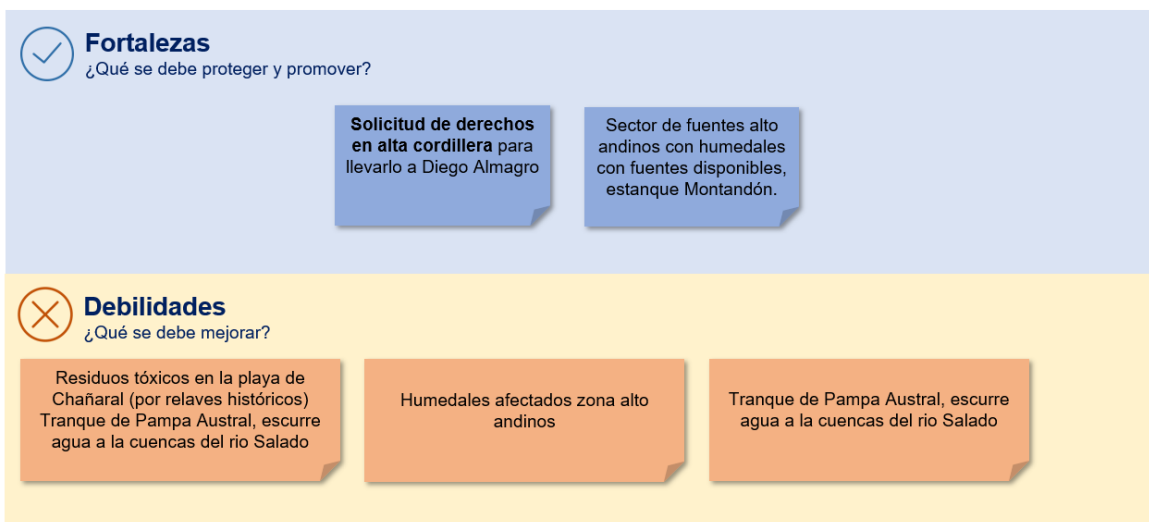
¿Qué factores determinan la seguridad hídrica para el consumo humano?



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-4 Seguridad Hídrica para las personas

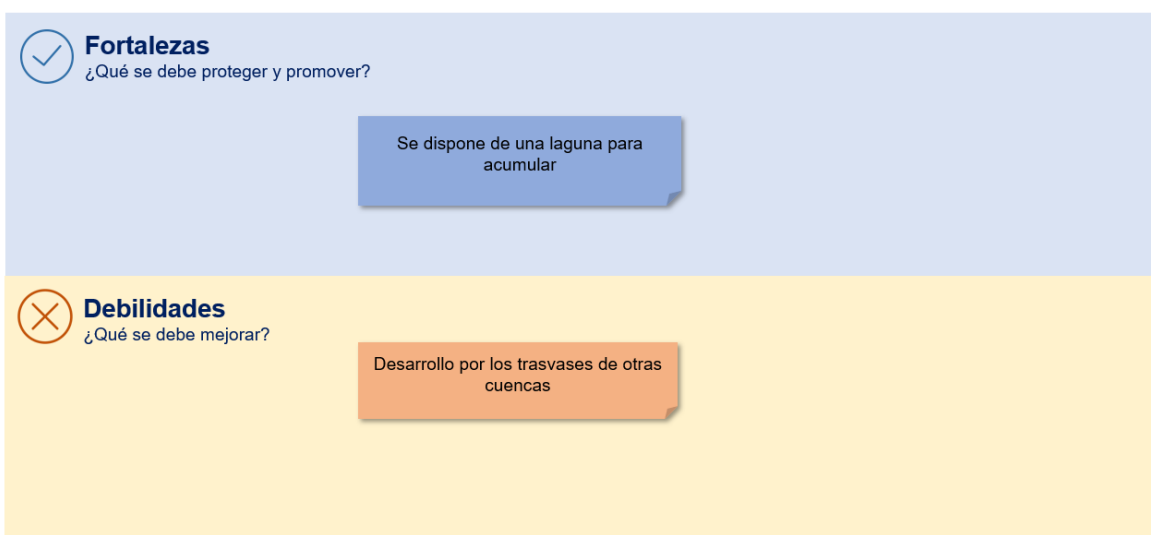
¿Qué factores determinan la seguridad hídrica para los ecosistemas?



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-5 Seguridad Hídrica para ecosistemas

¿Qué factores determinan la seguridad hídrica para las actividades productivas?



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-6 Seguridad Hídrica para las actividades productivas

¿Qué factores determinan la capacidad de respuesta ante desastres de origen natural?



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-7 Seguridad Hídrica ante desastres naturales

3.4.1.2 Taller Pueblo Originarios

Este Taller contó con la participación de representantes, socios y comuneros de los Pueblos Chango, Colla y Diaguita.

3.4.1.2.1 Caracterización de los participantes

En este apartado se hará la caracterización de los participantes del primer ciclo de talleres de pueblos originarios, a partir de una encuesta aplicada al comienzo de este.

En primer lugar, se hace la pregunta, ¿con qué género se identifica?; el resultado es 40% masculino y un 60% corresponde a femenino, como se muestra en la **Tabla 3-7**.

Tabla 3-7 Género Participantes

| Opción | 1. Con qué Género se identifica: | % |
|--------------|----------------------------------|-------|
| 1. Masculino | 6 | 40,00 |
| 2. Femenino | 9 | 60,00 |

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al rango de edad de los participantes, este se muestra en la **Tabla 3-8**:

Tabla 3-8 Rango de edad

| Opción | 2. Rango de Edad | % |
|---------------|------------------|-------|
| Entre 30-59 | 12 | 80,00 |
| 60 años y más | 3 | 20,00 |

Fuente: Elaboración propia

Los datos respecto a representatividad de pueblos originarios del taller se visualizan, en la **Tabla 3-9**.

Tabla 3-9 Participantes Pueblos Originarios

| Opción | 4. ¿Con qué pueblo originario se identifica? | % |
|-----------|--|-------|
| Collas | 1 | 6,67 |
| Diaguitas | 2 | 13,33 |
| Chango | 8 | 53,33 |
| Otro | 3 | 26,67 |

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.2.2 Análisis de los resultados

3.4.1.2.2.1 SEGURIDAD HÍDRICA PARA LAS PERSONAS

Participante 13

En el sector de Barranquilla, la carga de agua de 1.000 lts tiene un valor de \$15.000 CLP, que solo es utilizada para regadío, ya que la calidad del agua es muy mala, no siendo consumida por las personas de la comunidad por el riesgo de enfermedades. Por otra parte, compran la misma cantidad de agua potable en \$5.200 CLP, de los cuales llegan 600 lts a la semana.

La calidad del agua que entrega la Municipalidad es buena, siendo utilizada para el lavado de ropa y loza. Pero deben comprar bidones de 20 lts para las comidas. Son gastos que no todos pueden costear.

El ganado que tienen las comunidades se está muriendo por la falta de agua, por lo que no los mantienen en el sector (poco ganado), están en Copiapó. Ante la necesidad de agua los animales han bajado a tomar agua y han muerto.

En la comunidad son 70 personas aproximadamente.

Participante 14

Tienen carencia de agua debido a que las caletas se localizan en zonas aisladas de difícil acceso para la comunidad. Por otro lado, la calidad del agua es mala, no apta para el consumo humano, originando un problema, principalmente para los menores, por el riesgo de contagio de infecciones (Hepatitis).

La Caleta Punto Obispito y las Tres Playitas, están cerca de la red de agua potable a 1 km de acceso, donde hay 36 familias que están ubicadas en los asentamientos, el borde costero. La preocupación por el agua aumenta con la pandemia.

Los camiones aljibe no reúnen las condiciones suficientes en cuanto a la higiene, el trasvase produce contaminación en el agua. Al sector de Obispito el camión va 2 veces por semana a repartir agua. En relación con la calidad, tiene un sabor extraño, por lo que se genera la necesidad de ir a comprar agua a Caldera, creando otra dificultad para las personas que no tienen la posibilidad de ir a la comuna.

Participante 15

Es un problema generalizado que se vive en la región, la localidad de Cerro Montevideo no tiene un acceso vinculante con el recurso hídrico, a diferencia de las empresas mineras que tienen acceso directo.

En las cercanías del asentamiento tienen paso de cañerías de aguas tratadas desde las desalinizadoras que son solo para uso de la faena minera y no para las comunidades

indígenas. Aun cuando se encuentran alrededor, no se entrega el recurso a pesar de estar realizando un esfuerzo por beneficiar a la comuna de Caldera y la región.

En relación con la calidad del agua, se asume el costo entre \$10.000 a \$15.000 CLP por 1.000 lts. Para acceder a agua potable y para abaratar costos, acceden a aguas tratadas que vende la empresa de agua nueva atacama. El costo es de \$1.000 CLP los 1.000 lts. Sólo es utilizada para regadío de árboles (no alimentos para consumo).

Por esto, se vuelve importante lograr la vinculación de la empresa con las comunidades indígenas o sectores que no tienen acceso al agua potable, ya que ellos se benefician del recurso hídrico de la zona, corresponde que como responsabilidad social que se entregue este acceso a las comunidades por derecho y antigüedad en la zona.

Participante 16

Carecen de agua, la municipalidad lleva 1.000 lts a la semana por \$10.400 CLP mensuales, pero el gasto de agua para mantener sus cultivos y animales es muy alto. La falta de agua produce que sea más difícil mantenerlos. No parece haber solución pronta.

No tienen acceso al agua procesada de Aguas Atacama. Los beneficiaría hacer un enlace para acceder al recurso de forma directa y poder mantener sus cultivos.

Participante 2

Se identifican 3 problemáticas: la propiedad del agua de las grandes empresas mineras, las pequeñas aguas de vertientes disminuidas por el cambio climático, por la falta de lluvia y nieve, y el agua de mala calidad para el consumo en la comuna de Diego de Almagro. Hay una planta desalinizadora para mejorar el agua y esto no es así. El agua proviene del Tranque de la Ola que tiene CODELCO con agua industrial. Pero esta agua en la planta de osmosis inversa no hace el tratamiento que debería y filtra mucha sal con otros componentes.

Participante 17

El código de agua favorece a los privados ya que el 60% lo ocupa la agroindustria (uva), quedando poco recurso para los pequeños agricultores. Un 30% lo consume la minería, 8% de consumo humano y 2% de lavados. Las comunidades se sienten en desventaja para acceder al agua potable en comparación con los privados.

Actualmente hay 17 proyectos aprobados en el SEA que están causando la sequía de las napas subterráneas, lo que puede provocar la sequía del río Copiapó.

En CONADI hubo un proyecto el 2010 que se aprobó en beneficio de 5 comunidades (Collas, Diaguitas) que consistía en la aprobación de la ruta trashumancia y todos los vestigios que tienen en los distintos sectores de cordillera a mar. Se debería regularizar la ECMPO

(Espacios Costeros Marinos de los Pueblos Originarios) y solicitar las tierras para regularizar esta situación, para obtener la resolución sanitaria de agua y alcantarillado.

Participante 15

Una posible solución a la problemática planteada anteriormente es regularizar los terrenos desde el Ministerio de Bienes Nacionales, entregar concesiones de dominio gratuitas por 5 años con renovación en tanto se logre regularizar estos terrenos (CONADIS). Lo anterior con el objetivo de obtener acceso al agua en las comunidades.

Participante 10

Las comunidades de Caldera que se localizan hacia el sector del Cerro Montevideo tienen reclamación de territorios en el Ministerio de Bienes Nacionales, no tienen título de dominio, por lo que no se puede urbanizar el terreno y no pueden contar con agua potable y alcantarillado. Es por esto que deben acceder de manera particular a comprar el agua.

El agua tratada se compra para regar áreas verdes, ya que no pueden utilizarla para sus huertos de consumo o hiervas medicinales. Es un tema sensible el tema del agua ya que se requiere para el diario vivir (beber, cocinar, etc.) y deben comprar aparte del agua tratada, entonces solo se elevan los costos.

Hay varias instancias para acceder a los terrenos, Ministerio de Bienes Nacionales tiene otras opciones como la concesión de uso gratuito, por temas productivos o culturales. Hay otras soluciones que cada comunidad puede evaluar y poder solucionar el acceso al agua.

Participante 18

En Barranquilla, la comunidad está ubicada al lado de una planta desaladora que cumple su función, no consumen agua de la planta. Esto encarece el agua en la comunidad y es de muy mala calidad. Para ser utilizada deben combinarla con cloro. No tiene acceso al agua que entrega la municipalidad porque no hay más cupos, debe comprar agua en bidones y del camión aljibe.

La planta desaladora no funciona porque no tiene la batería y anteriormente fue utilizada solo por la familia que estaba a cargo del sindical. Además, no alcanzaba para abastecer a las familias porque tiene un tanque de 2.000 Lts.

Participante 19

En relación con la planta desaladora, fue un proyecto que se gestionó por medio de la mesa de pesca y subpesca de la región de Atacama y Coquimbo. La planta no ha tenido buen uso porque la administración ha tenido problemas técnicos, se rompió la bomba de extracción de agua y luego se robaron las baterías (no funcionó durante 2 años). Por otra parte, no

es suficiente para abastecer a toda la comunidad de Barranquilla porque el bidón es de 1.000 Lts., que no alcanza para abastecer a todas las personas.

El objetivo de la planta era para uso industrial de la caleta pesquera, para hacer funcionar la planta de pescados y mariscos que actualmente no tiene la resolución sanitaria por no tener acceso a agua potable. El proyecto está detenido hace más de 5 años.

3.4.1.2.2.2 SEGURIDAD HÍDRICA PARA LOS ECOSISTEMAS

Participante 19

El ecosistema se ha visto perjudicado. Hubo una tala de Chañares en unos sitios que se parcelaron a pesar de ser una especie protegida. En relación con los humedales, en el sector del límite del río en Puerto Viejo, actualmente se está haciendo un mirador con el objetivo de proteger este mismo. Sin embargo, en el período estival, las personas van en camionetas 4x4 al río a sacar el agua de los humedales para los baños de las viviendas.

El recurso agua es un bien primordial que debería estar protegido por la Ley, el Estado debería garantizar el agua por derecho natural, por ser un bien de la naturaleza que es provista gratuitamente.

Participante 2

En relación con los humedales en la cordillera, el problema es complejo por la presencia de las mineras y el cambio climático. Hay otro proyecto minero que va a extraer agua desde los salares y se va a producir un problema en la fauna local, es un tema muy complejo para las comunidades indígenas de la zona.

En relación con el ganado, en el verano hacen trashumancia, al subir a la cordillera se encuentran con la problemática.

Otro tema relevante con relación a las mineras que tienen derechos de agua, la comunidad hizo una solicitud a derechos de agua y esta minera se opuso. La solicitud aún está vigente.

Participante 15

Se debería dar prioridad a las comunidades indígenas, ya que crean micro ecosistemas, plantas medicinales, árboles frutales, alpiste, alfalfa, etc. En pocas palabras esas plantas están sembrando agua. Al tener esta biodiversidad en la tierra, son plantas que aportan nutrientes y captan la niebla, humedad. Entonces si se mantiene vivo este micro ecosistema dentro de las comunidades, van a estar ayudando de forma exponencial a combatir el cambio climático, generando pulmones verdes en la región que van en beneficio de todos. Es por esto que resulta muy importante tener acceso al recurso hídrico.

Participante 14

El agua es vital para la manipulación de mariscos y alimentos, por lo que se convierte en una limitante. Al no tener agua no se puede hacer la "maguila" donde se utiliza bastante agua para mantener todo higienizado. De esta forma, no se puede obtener la resolución sanitaria. El gran problema es que no se pueden procesar los productos desde donde se extraen y tampoco instalar un restaurant.

Generalmente, cuando se hacen extracciones no se puede procesar y se tiene que vender a una persona que lo pueda hacer. Esta práctica va en desmedro de la materia prima y se ven impedidos por la falta del recurso hídrico. Tener este recurso mejoraría el ingreso para las familias del borde costero porque venderían el producto terminado.

Participante 19

En Barranquilla tienen una planta procesadora de alimentos que no puede funcionar por la falta del recurso hídrico, ya que no pasan el control sanitario. Ahí radica la importancia del agua para la comunidad. No pueden mejorar su calidad de vida por no acceder al agua.

El principal producto que se comercializa es el Dorado, al inicio de la temporada se cobra \$3.500 CLP por kg. Cuando la temporada avanza y aumenta la cantidad de pescado, les pagan \$500 CLP el kg. Disminuye considerablemente el precio y el trabajo es el mismo. Es por esto, que les gustaría ser productores y vendedores. Se sienten preparados para poder comercializar sus propios productos, tienen los conocimientos, pero sólo los limita el agua.

Seguridad Hídrica para sus actividades culturales:

Participante 20

La comunidad tiene recolección y conocimientos en hierbas medicinales y actualmente se han visto afectados por el cambio climático por las sequías y falta de lluvia en la alta cordillera. La hierba lengua de gallina, flor de la puna que necesita mucha agua lluvia para poder brotar. El bailahuén y la melosa se mantienen con menor cantidad de agua. La Chachacoma es una especie protegida que también necesita gran cantidad de agua y se da en lugares específicos de la cordillera.

El cambio del clima, la sequía, la falta de lluvia y nieve en la cordillera les provoca una gran preocupación porque ellos pierden estas hierbas medicinales que son consumidas por la comunidad. Otro factor, es la presencia de la minera CODELCO y la emanación de arsénico que contamina la tierra y produce que las plantas no broten o se contaminen con la nube de smog que emanan desde las chimeneas de la fundición de cobre en Potrerillos.

El Estado les está dando mayor oportunidad a las mineras y grandes empresas y no a los pueblos indígenas, se han visto vulnerados por el Estado. El convenio 169 no se respeta

como debería y siguen habiendo situaciones complejas. Hay sectores patrimoniales que no saben cómo defenderlos.

Participante 21

La comunidad tiene las hierbas medicinales en los patios de sus casas, pero tienen un proyecto para hacer un vivero en la comunidad. Además, tienen un proyecto de creación de un set compuesto de 3 aceites esenciales y 3 oleatos para hacer entrega a los adultos mayores de las comunidades Diaguitas y Collas de la comuna de Caldera. Es necesario contar con espacios abiertos para cultivar las hierbas medicinales.

3.4.1.2.2.4 SEGURIDAD HÍDRICA ANTE DESASTRES NATURALES

Participante 2

No están resguardados frente un desastre de origen natural, están en un latente riesgo por lo que pasó en la Quebrada en Inés Chica, bajo una correntada de aluvión muy grande que dejó intransitable el camino.

3.4.1.3 Temas relevantes y conclusiones

Se puede señalar, de manera concluyente, que la cuenca río Salado tiene múltiples problemas en relación con el acceso al agua, al costo monetario y sobre todo a la calidad del agua. En este sentido, estos tres temas de vital importancia ponen en evidencia la falta de control y regulación, lo que podría mejorarse a través de una mejor coordinación y un trabajo conjunto entre los entes del Estado y los privados.

La cuenca río Salado se caracteriza por tener una fuerte presencia de empresas mineras, que ocupan de manera constante grandes cantidades de agua en sus procesos. En este sentido, se podrían tender algunos puentes a través de mesas de trabajos, jornadas, conversatorios u otras instancias de diálogo para articular soluciones que puedan beneficiar a la región.

A partir de los Talleres, se constata una preocupación genuina por el acceso, ya que la población depende de camiones aljibe para abastecerse de agua para las tareas cotidianas, y de la compra de bidones para consumo humano diario, dado que la calidad del agua pone en riesgo la salud de las personas. Por otro lado, estos factores hacen que sea muy difícil poder llevar adelante actividades relacionadas con la agricultura y la criancería. La mala calidad el agua, en este sentido, también redundo en que las personas se ven imposibilitados de realizar actividades que podrían mejorar sus ingresos o que podrían ser relevantes en el autoconsumo familiar.

El territorio en estudio ha revelado una gran cantidad de personas viviendo en tomas o en terrenos que no cuentan con acceso a servicios básicos, por lo que para llegar a soluciones

definitivas y de largo plazo, debe haber un diálogo que permita un trabajo conjunto. El agua, como elemento vital de supervivencia debe ser garantizada a través de un manejo integral en donde todos los actores puedan tener voz y puedan poner en la mesa sus preocupaciones para llegar a soluciones integrales.

Con relación a las poblaciones indígenas, estos mismos problemas hacen que se esté dejando de lado los modos de vida ancestrales, tradicionalmente anclados a los recursos naturales y al uso de la tierra como ser vivo, dador de vida. Gran parte de su cosmovisión está ligada a la tierra y la tierra solo es posible que viva a través de un cuidado y una preservación integral, que depende en gran medida del agua.

3.4.2 Segundo Ciclo

Teniendo en cuenta las características territoriales y el uso del recurso hídrico que se hace a priori en la cuenca, se planteó el segundo ciclo de talleres en tres instancias:

- Taller Seguridad Hídrica para las Personas
- Taller Seguridad Hídrica para los Ecosistemas
- Taller Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas

En el taller de Seguridad Hídrica para las Personas, se abordó de forma complementaria las soluciones para la Seguridad Hídrica ante eventos socio naturales.

El taller estuvo orientado permanentemente a la obtención de información de primeras fuentes, por lo que se orientó a los participantes a través de encuestas rápida para definir cuales era el **árbol de soluciones**.

3.4.2.1 Caracterización de los participantes

El segundo ciclo de talleres se desarrolló durante el mes de octubre (ver **Tabla 3-10**).

Tabla 3-10 Fecha de talleres y asistentes

| Taller | Fecha | Asistentes |
|--|--------------|-------------------|
| Seguridad Hídrica para las personas | 13/10/2021 | 15 personas |
| Seguridad Hídrica para los ecosistemas | 14/10/2021 | 21 personas |
| Seguridad Hídrica para las actividades productivas | 20/10/2021 | 18 personas |

Fuente: Elaboración propia

3.4.2.2 Análisis de los resultados.

3.4.2.2.1 Taller de Seguridad Hídrica para las personas

Participante 1

No hay acceso en las poblaciones del borde costero al agua, porque son irregulares. Se puede poner un pilón, pero si se hace eso, puede que Chañaral quede sin agua. Es importante ver esto con la empresa sanitaria. Ver innovaciones para producir agua, hay atrapanieblas, puede ser una alternativa.

Participante 2

Inquietud respecto a lo que pasa en río Salado aguas arriba. Hay extracción con camiones aljibes sin autorización, para llevar agua a las plantas fotovoltaicas. Se ha compartido eso con la DGA, para ver si se puede hacer algo. No hay fiscalizadores y no sabemos si hay medios para comprobar estos problemas.

Participante 3

Hay aporte de nieves para el río Salado, pero no es muy grande. Las cuencas altiplánicas tienen disponibilidad de agua importante, como Salar de Pedernales, quizás mejor que las desaladoras, traer agua a comunidades desde la cordillera hacia abajo, puesto que la calidad del agua es buena. Priorizar uso humano por las demás actividades. Tiene que haber gestión integrada de cuencas. Las aguas de Piedra Colgada tienen una conductividad muy alta, el modelo de basamento para Copiapó es más ajustado, la sostenibilidad del acuífero está en duda.

Participante 1

Hay problemas con el agua servida, porque hay un costo por tratamiento y es muy básico. No se pueden hacer áreas verdes. Se requiere reutilizar el agua que se tira al mar. En la finca de Chañaral, se ve el curso del río, pero no hay aprovechamiento de esa agua.

Participante 2

Hay planta de aguas servidas en Diego de Almagro, que pertenece a Nueva Atacama, al este de la ciudad, estas aguas son descargadas en el río Salado.

Participante 3

Nunca he podido tomar agua de la llave, porque el agua es dura. Cumplen con los análisis, pero sigue siendo mala. Tienen que haber estudios respecto al agua y las problemáticas de salud. En Pedernales hay un tema estratégico que hay que empezar a abordar.

Participante 4

Es difícil el tema de la regularización, desde el estallido social llegó mucha gente. Esas personas no tienen solución de aljibe, porque están en una lista de espera grande. Además, llega gente los fines de semana largo porque hay segunda vivienda. Se depende mucho del municipio.

Participante 2

Hay tema de viviendas no regularizadas, y estas se abastecen a través de camiones aljibe. Servicio que presta la municipalidad.

Respecto a la calidad del agua, llevo mucho tiempo viviendo acá, antes el tema del agua era desde La Ola, habían problemas de cálculos renales y existen problemas de salud.

Es un problema social lo de irse a vivir a la costa, porque desde los aluviones la gente perdió sus viviendas.

Respecto a desastres socio-naturales, hubo problemas de abastecimiento después de los aluviones, 3 meses con camiones aljibes.

Actualmente hay cosas que hacer, la cantidad de agua no es adecuada respecto a la población. Es un problema de infraestructura, y la distribución del agua esta entregada a privados, las responsabilidades, se ve desde un punto de vista economicista. La planta de osmosis inversa fue una inversión que se hizo con recursos públicos, Aguas Chañar no invirtió en eso.

Participante 5

Hubo contaminación de pozos que se traían desde la cordillera a Diego de Almagro, por lo cual se creó esta planta de osmosis inversa, fue porque el socio de la empresa minera que contaminó los pozos se comprometió a entregar agua a Diego de Almagro. En esa ocasión la localidad de Diego de Almagro también se estuvo abasteciendo de camiones aljibe. La intendenta como solución creó la planta de osmosis.

Se descubrió que el pozo se secó, se ocupaba para Diego de Almagro e Inca de Oro.

Participante 6

Los trabajos después del aluvión fueron muy lentos, la distribución fue caótica, habla una afectada, actualmente agua con baja de presión. Poca inversión en reparación, por ejemplo, cañerías, cámaras post aluvión.

Participante 2

Hay muchos proyectos en los salares, ellos tienen acceso al agua, y limita mucho el recurso para el consumo humano. No sabemos si cuando se hacen los proyectos en el sistema de evaluación se toma la cantidad de agua que se requiere, por ejemplo, para que se distribuya en la población.

Participante 3

Los aluviones no son nuevos, es una realidad compleja. El peligro es cuando hay asentamientos y cañerías que están cerca de áreas riesgosas de tsunamis o aluviones. Se requiere un diseño y planificación territorial mejor.

3.4.2.2.2 Taller de Seguridad Hídrica para los ecosistemas

Participante 7

Hay otras actividades que tienen que tomarse en cuenta, no solo la minería, en la región hay actividades agrícolas y no entran al sistema de evaluación ambiental.

La desalinización se plantea como solución, pero tiene derivadas. Las plantas sí generan un efecto mayor en el medio marino, pero se desconoce su efecto. Como infraestructura son invasivas, en espacios de turismo, recreativos. Los ductos y el bombeo requieren energía. Esa energía tiene que estar asociada a otro proyecto energético. Las desalinizadoras generan disminución de oportunidades, falta un orden del borde costero porque no hay zonificación.

Participante 8

Se trasladan impactos al borde costero, se deberían concentrar todas las desalinizadoras a un solo punto. No existen estudios respecto a cuál es el daño que producen las plantas, en Europa solo se ha visto impacto en las praderas marinas, se dice que animales con ceguera por la salmuera que evacúan estas plantas.

Debería haber priorización de algunas cuencas, quebrada de la Cachina, que tiene casi 200 kilómetros. Es importante el Parque Nacional Pan de Azúcar, la mayor parte del agua en la región es subterránea.

Hay interés en el acuífero que abastece pan de azúcar por parte de las mineras, ellos mismos hacen estudios.

Participante 9

Quizás no vemos efectos negativos aún en las plantas desaladoras, pero tampoco se ve una mejoría en la recarga de los acuíferos.

Participante 10

Los usos son variados, desde la perspectiva humana, pueden ser invasivos desde el punto de vista paisajístico, y el paisaje lo contemplan humanos.

Participante 11

José Luis dio en un punto super importante y que es un problema "administrativo". Sobre el otorgamiento de derechos de agua, o el "sobre otorgamiento" donde hay un volumen otorgado que está por sobre las tasas de recarga de cada sistema.

Participante 12

Se debe elegir qué priorizar cuando se habla de desalinización. Hay sobreuso de recursos hídricos, se debe decir cuánto se contamina, lo más importante es nuestra gente, hay que poner escalafones de cosas que deben hacer, si la industria o población se queda sin agua, significa mayor pobreza en la región. No existe un mundo ideal donde exista agua ilimitada en el norte.

Participante 7

Es importante hacer la diferencia entre impacto y contaminación, todo proyecto genera impacto.

Participante 10

Según población, en otras zonas como Huasco, no quieren desalinizadoras porque no hay certezas de los impactos que tienen, además hay más de 11.

Participante 2

No se mencionó la desalinizadora Santo Domingo, que es en Diego de Almagro, se estaría ubicando cerca de Flamenco.

Se podrían destinar recursos para que se hagan labores investigativas.

La salmuera que se devuelve a los acuíferos afecta, porque hay menor oxígeno, además de que llega menos luz solar al fondo marino, porque la salmuera son partículas que quedan en suspensión, formando una película que no permite ingresar la luz.

Participante 5

El uso del borde costero, si bien es cierto las personas somos conscientes de su intervención, no es menos cierto que también tiene un impacto en la biota presente, basta

con que haya eliminación de vegetales para que ya haya un impacto, hacer uso de zonas de caza o de guarida de animales vertebrados o invertebrados, etc.

La descarga de agua con un porcentaje mayor de sal al mar también tiene un impacto, a lo mejor no conocemos a ciencia cierta qué sucede, pero de que hay probabilidad de muerte de organismos en el lugar de descarga inmediata es altamente probable, debido al shock osmótico, ya que los animales tienen órganos de intercambio gaseoso sensibles, pero a medida que nos alejamos del foco, este impacto debiera disminuir.

Tengo entendido que la empresa minera dueña de la mina Santo Domingo estuvo en conversaciones con la minera Santa Fe, de propiedad de Leonardo Farkas, para hacer uso del agua que proveería la desaladora que ellos construirían, esto finalizó en que no fue factible asociarse y después de esas conversaciones imprácticas, se llegó a la determinación de que la primera construyera su propia desaladora.

Participante 12

En la agencia hay varios instrumentos, uno es el acuerdo voluntario de Preinversión, APL, estos pueden ayudar a que estas plantas desaladoras puedan ponerse de acuerdo. Es mejor que las personas tengan la libertad de hacer inversiones, y que se prohíban lugares, en vez de poner reglamento para todos los lugares y se haga más engorroso instalar plantas.

Participante 7

Las iniciativas privadas priorizan la seguridad que les da hacer su propia infraestructura. Se podría hacer un ordenamiento, pero ellos priorizan su seguridad. Es importante tener un ordenamiento territorial. Las plantas desalinizadoras se iniciaron con la minería, pero ahora se está ocupando para agua potable y se están buscando repetir en otras partes del país.

Participante 12

El agua tiende a ser monopolio natural, tienen costo altísimo. Se requiere ordenamiento territorial, y además se tienen muchas instituciones estatales, y no hay ningún proyecto que no se ejecute sin evaluación de impacto, lo ideal es que planifiquen y puedan hacer un solo proyecto en vez de varios pequeños.

Cada vez está más difícil extraer agua de los ríos, porque la población se queja, la agricultura que ocupa bastante y a las mineras le quedan un margen pequeño, también las sanitarias quieren tener flujo constante de agua de calidad.

Participante 7

Cada privado vela por su propio proyecto, entonces ordenamiento entre estos no se ve factible.

3.4.2.2.3 Taller de Seguridad Hídrica para las actividades productivas

Participante 13

La desalación tiene impacto en el medio marino. El diagnóstico es correcto desde el lado productivo, por el lado comunitario, falta una propuesta más concreta.

Participante 14

El tema de suplir demandas y proyectar escenarios futuros es complejo, falta ordenamiento territorial, para poder encontrar soluciones hídricas. Las actividades productivas tienen un impacto. No se ve una conciliación con comunidades.

Participante 15

No se ha conversado interconexión entre proyectos. Hay compromiso de entregar litros por segundo a Flamenco, es complejo el tema porque la entrega de agua tiene que ser a través de la sanitaria, esta no la va a entregar de forma gratuita. En abastecimiento, es agua industrial para la operación, basta un sistema de potabilización simple. Hay análisis de la forma de entrega, pero no hay nada definido. Nunca ha habido conversaciones para conectar líneas.

Participante 16

La Superintendencia evalúa la calidad y cantidad de agua. Tenemos que velar que haya continuidad de suministro, en rol del SII, debe tener prestación de servicios a través de cooperativas. Tiene que estar el MOP en asesorías y la SEREMI DE SALUD, también está implicada para chequear la calidad de agua. La red ya está casi al máximo. Hay varias etapas para hacer el SSR, las plantas se entregan a comunidades y éstas en general no saben cómo manejarlas y son completas hasta para los operadores.

Participante 13

Cada sector podría manejar su problema en módulos de desalación más pequeños, no solo es conexión a la red.

Participante 14

Creo que el tema de la definición de los usuarios por quienes comenzar es un punto de inicio. Comenzar con los usuarios de asentamientos irregulares conlleva una carga política enorme. Pero apuntar a las demandas mineras, agricultura, por ejemplo. Que se integre dentro de la demanda minera, el de la población, no al revés.

En la CChC se planteó alguna vez el financiamiento a través de la ley de concesiones.

Participante 18

Cómo se distribuye el agua y permutas con las actividades. Hay que crear dos sistemas, uno para ciudades y otro para actividades, para este hay que hacer una red única. Un recurso como el agua, las mineras no la ocupan las 24 hrs, en ese tiempo se puede generar para actividades. No hay que cerrarse a otras actividades que usan el recurso, como el hidrogeno verde. ECCONSA puede suministrar para toda Atacama, no extensible a Huasco porque está más lejos.

El tema territorial, el suelo es un recurso finito, se tienen que generar zonas que impliquen desarrollo de desaladoras, y que todas las actividades tengan espacio. No es viable llenar de desaladoras, las necesidades cambian de acuerdo con cada actividad.

Participante 12

Lo más importante es que son acuerdos voluntarios, buena idea licitar terreno para desaladoras, eso si esto aumenta el costo y se debería evaluar. Hemos hecho varios APL, y llegado a acuerdos. El gobernador busca involucrar a los actores y ponerlos a conversar, hay distintos problemas asociados a entrega de aprovechamientos para cada uno, pero es importante llegar a acuerdos. Un APL podría ayudar a ver eso de la interconexión entre empresas, se parte desde una meta en común. En los 80' no había agua en las tardes en Caldera, las sanitarias privadas tenemos agua suficiente, es importante el aporte de las empresas privadas.

Participante 17

Planta Salado, empleados una fracción de derechos y analizado el agua de que no tiene otro uso alternativo, sino de carácter industrial, no tiene usos posibles de agricultura, ni consumo humano, es más salina y tiene más elementos que el agua de mar. Se emplea el 20% de agua, no tenemos restricción, porque nunca la hemos requerido a nivel pleno, si es que aflora.

Participante 14

Es un desafío generar instancias, deberían estar institucionalizadas, formalizadas y tener competencias, no pueden ser solo voluntarias. Hay pocas instancias en que privados se hacen presentes, delegan a representantes, pero no tienen toma de decisión.

Participante 13

Atacama ha tenido 5 o 6 Mesas de Agua, hemos hecho intentos, pero como son todos acuerdos voluntarios, es difícil llegar a ellos. Cada actor intenta generar beneficios, difícil llegar a acuerdos sin institucionalidad, algo que esté definido con reglas claras. En las reuniones de actores muchas veces hay gente que, si bien puede documentar el estado actual del recurso, no tiene derechos de agua, por lo que se generan críticas al invitarlos.

Sería importante tomar medidas concretas, tomar medidas de amplio conceso, a nivel macro, las reuniones atomizadas no parecen tener tanta influencia. Otro problema es que el aparataje público está concentrado en ciertas ciudades.

Hay que mirar la cuenca a través de las nuevas actividades energéticas, energías renovables con temas de desalación. Hay que buscar uno o dos proyectos grandes para definir actividades.

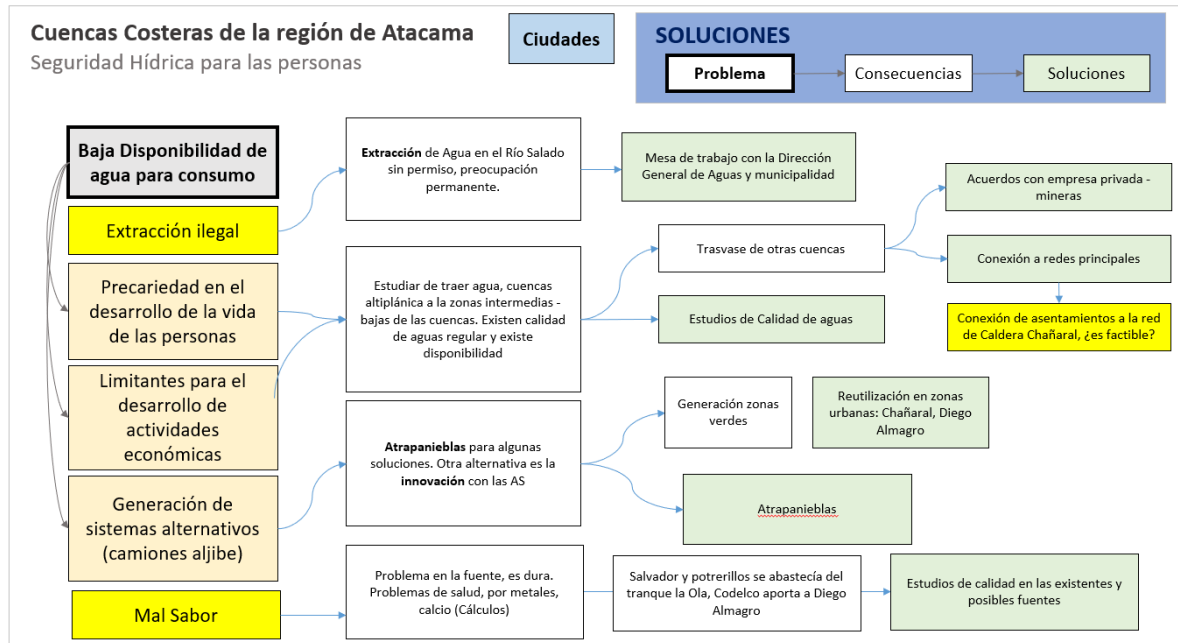
3.4.2.3 Principales Resultados: Soluciones Relevantes

3.4.2.3.1 Seguridad para la Hídrica para las personas

En el taller de Seguridad Hídrica para las personas se mencionan una serie de problemas que actualmente afectan a la cuenca en áreas urbanas: la baja disponibilidad de agua para consumo, extracciones ilegales, precariedad de la vida de personas locales, limitantes en el desarrollo de actividad productivas y calidad del recurso.

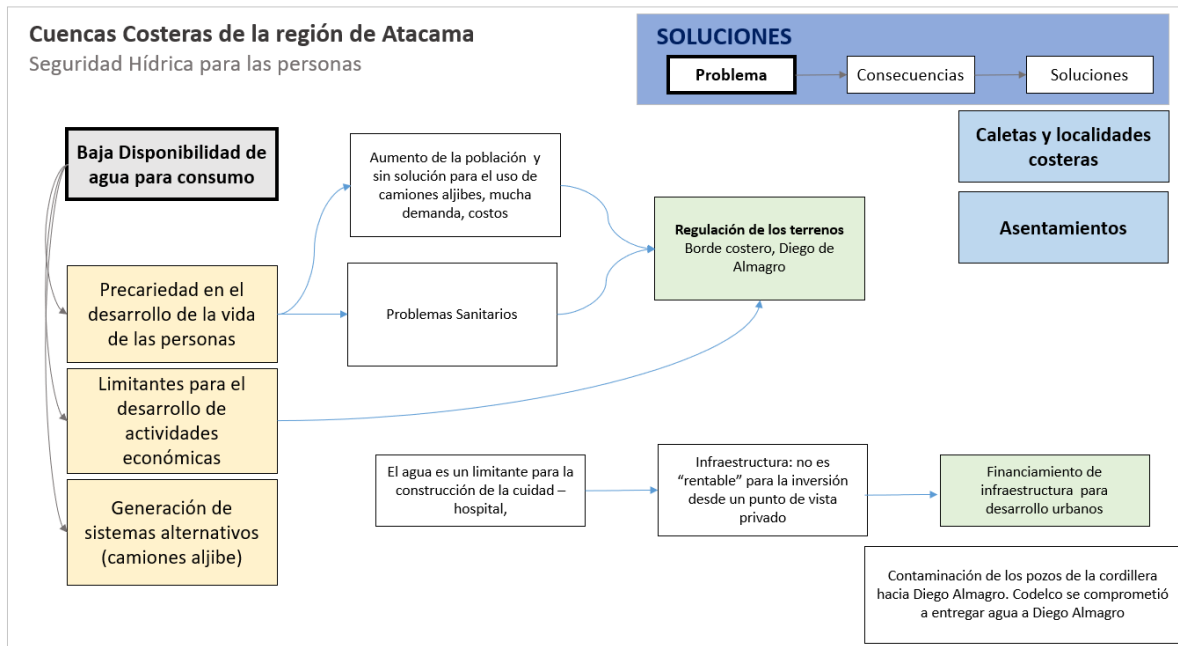
Entre las soluciones, destacan: generar mesas de trabajo entre entidades; hacer estudio de calidad de aguas; reutilización en zonas urbanas como Chañaral, Diego de Almagro; generar acuerdos entre empresas privadas y mineras; y crear conexiones de redes entre asentamientos. La relación entre los problemas y respectivas soluciones se presentan en la **Figura 3-8**.

En lo que respecta a Seguridad Hídrica para personas en asentamientos y localidades costeras, se subrayan los siguientes problemas: precariedad en el desarrollo de vida de personas, limitantes económicas y generación de sistemas alternativos de suministro. Los participantes mencionan como soluciones: la regulación de terrenos del borde costero y especialmente financiación de infraestructura para desarrollos urbanos. En la **Figura 3-9** se representan estos problemas con sus respectivas soluciones.



Fuente: Elaboración propia

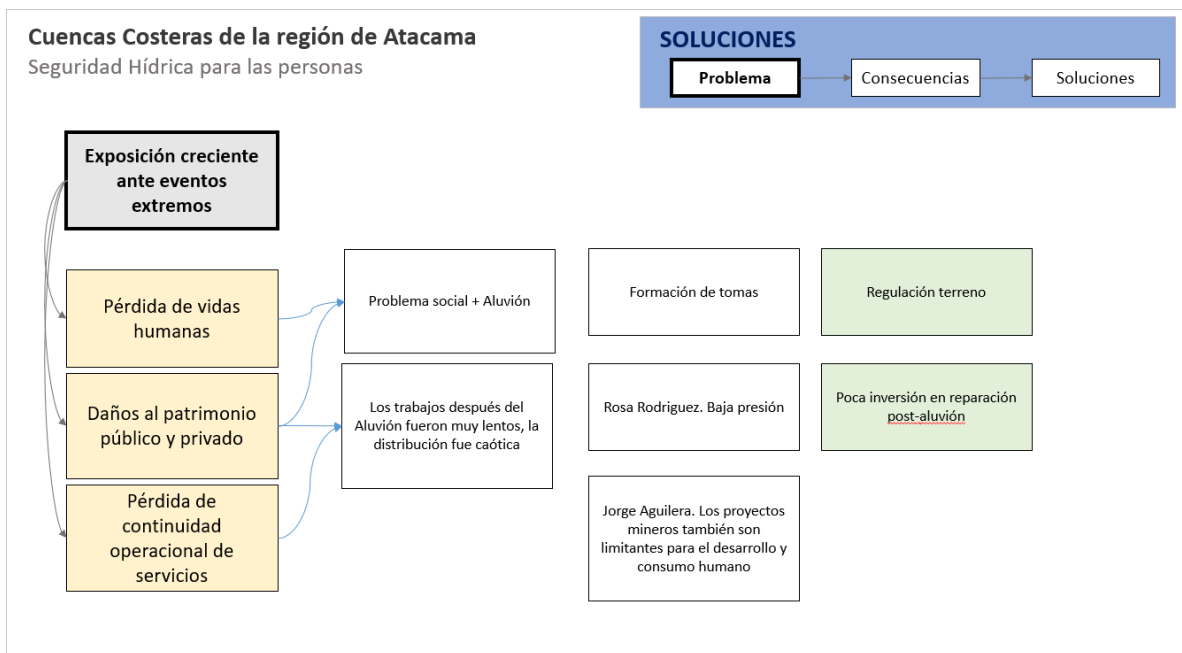
Figura 3-8 Soluciones para la Seguridad Hídrica de personas en ciudades



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-9 Soluciones para la Seguridad Hídrica de personas en asentamientos y localidades costeras

En la temática referente a Seguridad Hídrica para personas y la exposición ante eventos extremos, se describen como problemas la pérdida de vidas humanas, daños al patrimonio y pérdida de continuidad de servicios operacionales. Las soluciones dadas son similares a las del apartado anterior, se deben regular terrenos y generar mayor inversión en reparaciones para cuando haya sucedido el evento catastrófico (ver **Figura 3-10**).

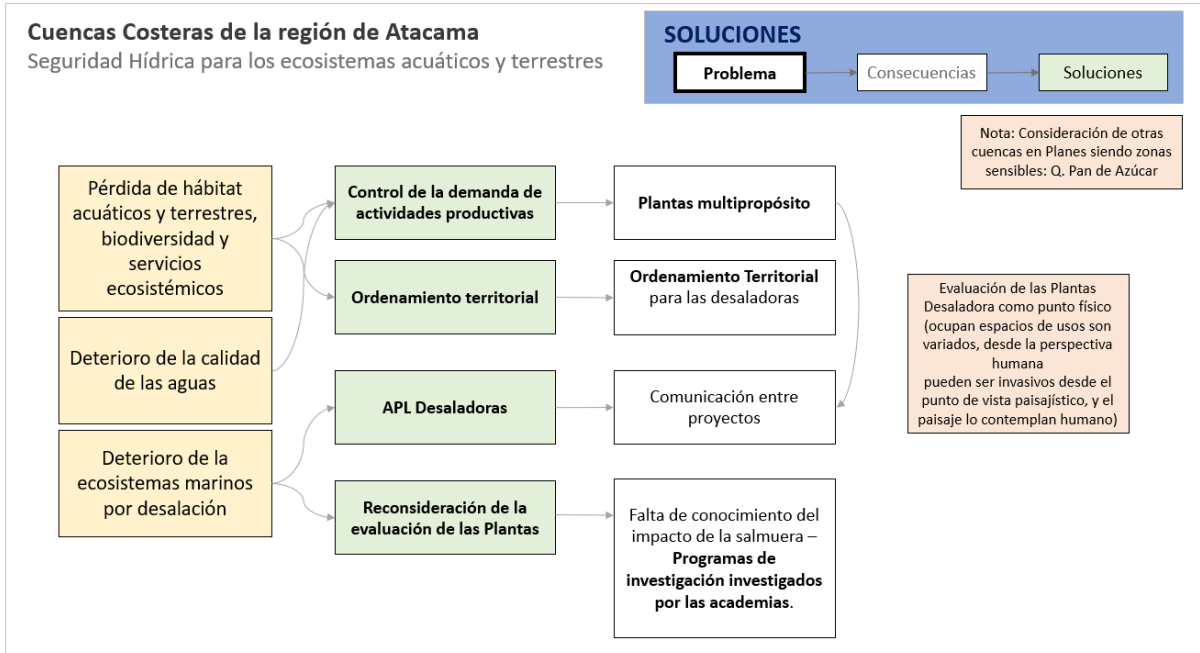


Fuente: Elaboración propia

Figura 3-10 Soluciones para la Seguridad Hídrica de personas referente a desastres socio naturales

3.4.2.3.2 Seguridad Hídrica para los ecosistemas

En el taller de Seguridad Hídrica para ecosistemas acuáticos y terrestres, se mencionan una serie de problemas que actualmente afectan a la cuenca, como son, pérdida de hábitats, deterioro de calidad de aguas y deterioro de sistemas acuáticos por desalación. Las soluciones dadas hacen referencia al control de la demanda de actividades productivas, mayor ordenamiento territorial, generar APL para desaladoras. Reconsiderar evaluación de plantas se menciona como una de las tantas respuestas a los problemas indicados. A continuación, la **Figura 3-11** muestra los problemas y soluciones asociadas a seguridad hídrica para ecosistemas.

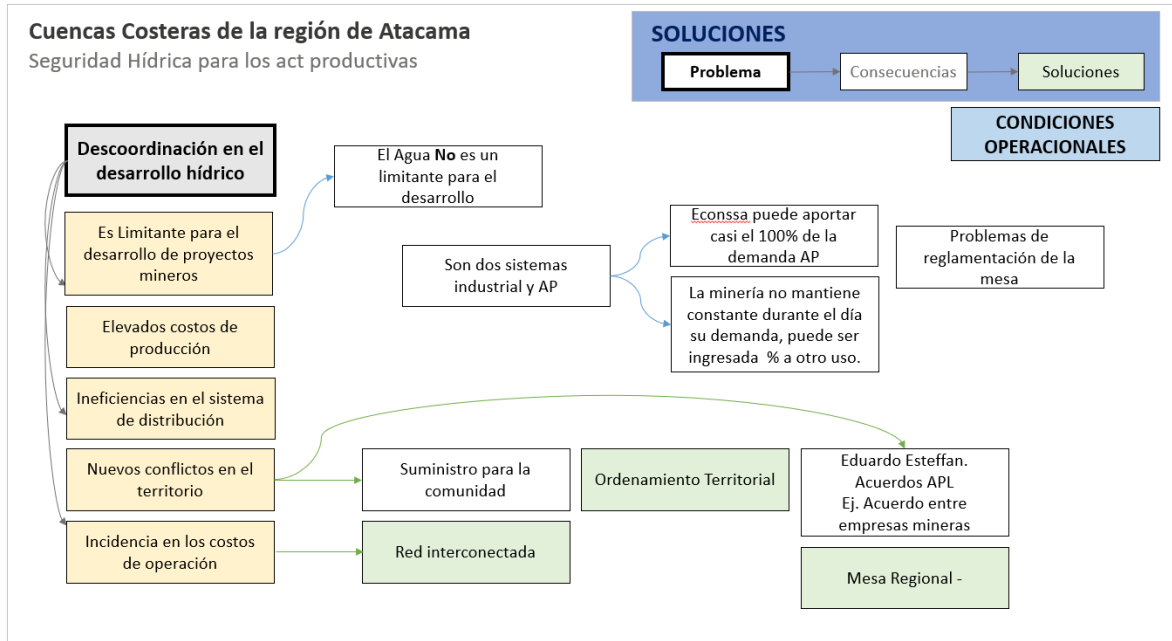


Fuente: Elaboración propia

Figura 3-11 Soluciones para la Seguridad Hídrica de ecosistemas

3.4.2.3.3 Seguridad Hídrica para las actividades productivas

Asimismo, a partir de lo enunciado en el taller de Seguridad Hídrica para actividades productivas, se indican como problemas: la descoordinación en el desarrollo hídrico de la cuenca, elevados costos de producción, ineficiencias en los sistemas de distribución, los nuevos conflictos existentes en el territorio y la incidencia de las problemáticas en los costos de producción. Tres soluciones se repiten como primordiales, una mesa regional de actores, generación de una red interconectada y mayor ordenamiento territorial (ver **Figura 3-12**).



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-12 Soluciones para la Seguridad Hídrica de actividades productivas

4. RESULTADOS DE PARTICIPACIÓN

En general, la participación contó con actores de diversos mundos, personas tanto desde lo público, el mundo académico y formal, quienes se encargan día a día de gestionar los recursos hídricos en la región, como de personas que viven su vida y su relación con el agua desde lo laboral, desde la subsistencia y la vida cotidiana. Esto fue un gran paso para poder conocer diversas realidades y, de esa manera, generar conocimiento de valor cultural.

De manera general se hace evidente que en la región hay una cultura de la participación ciudadana, se presume que esto se relaciona directamente con la cantidad de proyectos con carga ambiental en los que participan sus habitantes habitualmente.

En relación específica a este Plan, se puede decir que hubo una excelente disposición a la entrega de información y que los diversos actores pudieron interactuar e intercambiar opiniones de manera respetuosa, abierta y franca.

En relación con las comunidades indígenas, se pudo apreciar una voluntad real de participar y de poder expresar sus sentimientos y contar las problemáticas que aquejan a las comunidades. Es evidente que el problema de la escasez hídrica ha hecho que estos pueblos hayan cambiado su forma de vida, su relación con el medio ambiente y se hayan tenido que ir adaptando de manera paulatina a las nuevas realidades.

5. CONCLUSIONES DE PARTICIPACIÓN

La participación ciudadana ha ido tomando relevancia en cada uno de los planes y programas desarrollados por lo diferentes Servicios públicos en general. El Ministerio de Obras Públicas, a través de las directrices que ha dado a través de las guías e instructivos, ha buscado incorporar de una manera más activa a la ciudadanía en cada una de las instancias. En este sentido y como señala la Guía para la Gestión PAC de MOP, se busca “fortalecer nuestra relación con las comunidades, cuyo propósito es avanzar en una acción más coordinada, profesionalizada y eficiente de la gestión participativa de la infraestructura y con ello ser más efectivos en una gestión centrada en las personas y los territorios.”

Dada la importancia de la escasez hídrica en la actualidad, y sobre todo tomando en cuenta los problemas particulares de la región de Atacama, fue necesario pensar este Plan de Gestión Hídrica desde una participación activa, entendiendo que cada uno de los actores convocados es de relevancia dada su experiencia y su entendimiento de la cuenca en estudio. Además, la cuenca cuenta con una importante población indígena, que al ser población protegida amerita realizar algunos estudios más detallados de cuáles son las visiones y aspiraciones que tienen los pueblos originarios.

Se señala que la convocatoria en general fue muy buena, y estuvo marcada por intervenciones de gran contenido y conocimiento territorial empírico. Se pudo llegar a contar con una diversidad de voces importantes que, desde cada sector, pudo dejar en claro sus necesidades, expectativas y vivencias particulares.

En general, la participación tendió más a centrarse en los problemas por los que atraviesa la cuenca, entendiendo que se relevaron problemas tan importantes como la escasez, la contaminación, los problemas en relación con la distribución, así como también problemas que guardan relación con lo legislativo y las fiscalizaciones. En este sentido, la irrupción de las empresas privadas a través de las mineras, que es un tema de suma importancia y de gran relevancia para una mirada tanto a corto como a largo plazo, debe ser capaz de conjugar los intereses de todos los actores.

Una de las grandes conclusiones que pueden extraerse de esta participación, y que fue largamente relevado entre los participantes, es: en primer lugar, la voluntad y el deseo de los participantes de congregarse en este tipo de instancias para discutir, intercambiar ideas, generar acuerdos y tener la posibilidad de formar grupos de apoyo y trabajo. Por otro lado, también fue visto como una señal de compromiso y seriedad, el hecho de que estos planes se estén llevando a cabo de manera sostenida y sistemática, lo que se vislumbra como un trabajo integral tendiente a conocer y resolver los temas hídricos de relevancia en cada una de las cuencas y zonas de estudio.

En este sentido, la participación ciudadana llevada adelante en este Plan de Gestión, deja en claro que en el territorio hay muchas personas dispuestas a trabajar por mejorar no solo el acceso, sino también la calidad y la gestión de las aguas, elemento vital en esta región desértica.



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO 10 – COMUNICACIÓN

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Anexo I0 - Comunicación

En este anexo se presenta el documento que tiene como objetivo cumplir el punto 4 de las Bases Técnicas de licitación, el cual indica que en caso de fuerza mayor (estado de emergencia, cuarentena, etc.) se vea impedida la realización presencial de cualquier actividad técnica ofertada, el consultor debe presentar por oficina de partes DGA un Plan de Ejecución Remota. Se encuentra estructurado de la siguiente manera. Para más información, consultar carpeta digital "I0. Comunicación" dentro del anexo correspondiente.

- 1. Introducción y objetivos**
- 2. Descripción de actividades en plan remoto**
- 3. Herramientas para la ejecución del plan remoto**
- 4. Plan de medios y convocatorias**
- 5. Medio de verificación**
- 6. Encuestas de retroalimentación**



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO I1 – IDENTIFICACIÓN DE ACTORES

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Anexo I1

En este Anexo se entrega un listado con los principales actores identificados, así como también sus relaciones, con el fin de describir la gobernanza presente en la cuenca en estudio. Los archivos se encuentran ordenados dentro de la carpeta digital "I1. Identificación de actores", de la siguiente manera.

Anexo I1.0 Mapa de actores.xlsx

Anexo I1.1 Mapa de actores.pptx

Anexo I1.2 Listado de actores.xlsx

Anexo I1.3 Grafo de actores.png



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO I2 – LANZAMIENTO

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Anexo I2

En este Anexo se muestran los principales productos de la actividad de lanzamiento del Plan Estratégico de Gestión Hídrica Río Salado. Para más información, consultar carpeta digital "I2. Lanzamiento" ubicada en el anexo correspondiente. La carpeta se encuentra integrada de la siguiente manera.

I2.0. Minuta Lanzamiento

I2.1. Programa de actividad Lanzamiento

Presentación Lanzamiento

Video presentación Lanzamiento

Invitaciones Lanzamiento

Votación encuesta de caracterización



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO I3 – JEFES DE UNIDAD DGA

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Anexo I3

En este Anexo se entregan los productos de la presentación realizada a Jefes de Unidad DGA. En la carpeta digital "I3. Jefes de Unidad DGA", localizada en el anexo correspondiente, se encuentra la minuta de la actividad y las invitaciones realizadas, ordenadas de la siguiente manera.

- 1. Minuta Jefes de Unidad DGA**
- 2. Invitaciones**
- 3. Captura de pantalla actividad**



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO I4 – TALLERES

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Anexo I4

En este Anexo se entregan los productos de los talleres realizados durante el proyecto, los cuales se encuentran organizados en dos ciclos de talleres. Para cada uno de los talleres se muestra la presentación, invitaciones, inscritos, videos, minuta y evaluación de la actividad, las cuales se encuentran organizadas de la siguiente manera, para su revisión.

Primer Ciclo

Taller 1 Salado

Taller 2 Costeras Salado

Taller 4 Pueblos Originarios

Segundo Ciclo

Taller de seguridad hídrica de las personas

Taller de seguridad hídrica de los ecosistemas

Taller de seguridad hídrica de las actividades productivas



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO I5 – VISITA A TERRENO

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



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

Anexo I5

En este Anexo se entregan los principales productos del terreno realizado en el marco del proyecto. La información se encuentra organizada en dos carpetas donde se muestran las fotos tomadas y las minutas de reunión correspondientes.



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO I6 – PRESENTACIÓN FINAL

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



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

Anexo I6

En este Anexo se entregan los principales productos de la presentación final realizada, correspondientes a las actividades en el marco del proyecto PEGH Cuenca Costeras y PEGH Atacama tres cuencas. Para más información, revisar carpeta digital "I6. Presentación final" en el anexo correspondiente.



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO I7 – MINUTA DE REUNIONES

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Anexo I7

En este Anexo se entregan las minutas de las reuniones realizadas en el marco del proyecto. La carpeta digital incluye 31 subcarpetas según los diferentes actores contactados. Para su revisión, revisar carpeta digital "I7. Minutas de Reuniones" dentro del anexo correspondiente.



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO J1 – ÁRBOL DE PROBLEMAS

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



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

Anexo J1

En este Anexo se entrega una presentación en formato “.pptx”, dentro de la cual se encuentran las principales figuras asociadas a los diferentes árboles de problemas construidos en el marco del proyecto.



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

DIRECCIÓN REGIONAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO J2 ESTADO DE RESTRICCIONES DEL USO DE AGUA

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|-----|
| 1. ANÁLISIS DE LOS DAA | 1-3 |
| 1.1. DEMANDA LEGAL (DAA)..... | 1-3 |
| 1.2. UNIDADES DE CONVERSIÓN PARA USO DE RIEGO..... | 1-3 |
| 1.3. REGULARIZACIONES ARTÍCULO TRANSITORIO | 1-4 |
| 2. ESTADO DE RESTRICCIONES DEL USO..... | 2-4 |
| 3. MERCADO DE AGUA | 3-5 |

1. ANÁLISIS DE LOS DAA

1.1. Demanda legal (DAA)

La Dirección General de Aguas, según Artículo 122 del Código de Aguas, debe llevar un Catastro Público de Aguas. Según los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) registrados en la DGA, la cuenca de estudio tiene 47 derechos otorgados, de los cuales 35 son subterráneos, 5 superficiales consuntivos y 7 superficiales no consuntivos. En la **Tabla 1-1** se presenta el detalle de los DAA otorgados.

Tabla 1-1 Resumen Derechos de Aprovechamiento de Aguas, Superficiales y Subterráneas en la cuenca río Salado

| Naturaleza | Tipo de derecho | Uso | Q otorgado (l/s) |
|----------------------------|-----------------|---|------------------|
| Superficial | Consuntivo | Bebida /uso doméstico / saneamiento | 6,0 |
| | | Minero | 65,0 |
| | | Sin información / Otros usos | 62,8 |
| | | Subtotal Superficial consuntivo | 133,8 |
| Superficial | No Consuntivo | Industrial | 850,0 |
| | | Energético | 800,0 |
| | | Minero | 10,0 |
| | | Sin información / Otros usos | 700,0 |
| | | Subtotal Superficial No consuntivo | 2.360,0 |
| Subterráneo | Consuntivo | Minero | 69,2 |
| | | Bebida /uso doméstico / saneamiento | 21,4 |
| | | Industrial | 27,2 |
| | | Sin información / Otros usos | 115,1 |
| | | Subtotal Subterráneo | 232,9 |
| Subtotal Consuntivo | | | 366,7 |

Fuente: Elaboración propia en base a información del Catastro Público de Aguas (DGA, 2021b)

Son 7 derechos pendientes de tramitación equivalentes a 18,35 l/s derechos superficiales, 12 l/s de uso minero pendiente de tramitación y 6,35 l/s denegados de uso industrial.

1.2. Unidades de conversión para uso de riego

En la cuenca no existen Organizaciones de Usuario, por lo tanto no existe la necesidad de conversión de unidades.



1.3. Regularizaciones Artículo Transitorio

La regularización permite a personas naturales o jurídicas solicitar a la Dirección General de Aguas (DGA) el derecho de aprovechamiento de aguas que se extrae individualmente de una fuente natural, o con el propósito de inscribirlo a su nombre, ya que se encuentran a nombre de otra persona o no están registrados (Web DGA, 2021)¹.

En la cuenca no existen derechos otorgados por Artículos Transitorios.

2. ESTADO DE RESTRICCIONES DEL USO

A continuación se describen las diferentes restricciones de uso que puede tener el recurso hídrico según decretos establecidos por la Dirección General de Aguas.

En primer lugar, las áreas de prohibición son aquellas que buscan proteger la sustentabilidad de un acuífero dado. Esta se produce cuando el recurso hídrico y su disponibilidad se encuentran involucrados en su totalidad, tanto en sentido definitivo, como provisional. Por esto, es que no se pueden constituir nuevos derechos de aprovechamientos.

Asimismo, las áreas de restricción y su declaración en un territorio, es un instrumento que la DGA emplea para salvaguardar los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común, conocidos como S.H.A.C. Se emplea especialmente en aquellas áreas donde existe peligro de que los niveles de agua descendan, provocando perjuicio en los derechos de terceros establecidos. También, puede ser utilizado cuando estudios especializados demuestran que la sustentabilidad del acuífero está en peligro. Luego de emitida la restricción, solo se podrán otorgar derechos de aprovechamiento de tipo provisional.

Se define una declaración de agotamiento como un mecanismo que tiene la DGA para indicar que en una fuente de agua superficial, no existe la disponibilidad necesaria del recurso hídrico, para constituir nuevos derechos de aprovechamiento de aguas superficiales, de ejercicio permanente y del tipo consuntivo.

La Dirección General de Aguas dicta los llamados decretos de escasez hídrica con el objeto de proveer determinadas herramientas, a usuarios del agua, y, a la población en general para reducir al mínimo los daños derivados de la sequía. Para la cuenca de Salado, actualmente, no existen decretos de escasez activos.

Finalmente la reserva de caudales es un mecanismo, que permite al presidente de la república, mediante decreto fundado y con informe a la DGA, reservar el recurso hídrico

¹ [Octubre, 2021] <https://dga.mop.gob.cl/Paginas/regularizacion.aspx>

para abastecimiento de la población, cuando no existen otros medios disponibles para obtener este, denegando parcialmente peticiones de derechos de aprovechamiento.

En la **Tabla 2-1**, se resumen las diferentes restricciones de uso activas en el área de estudio.

Tabla 2-1 Resumen restricciones de uso

| | Áreas de prohibición | Áreas de Restricción | Declaraciones de agotamientos | Decretos de escasez | Reservas de caudal |
|---------------|----------------------|----------------------|-------------------------------|---------------------|--------------------|
| Cuenca Salado | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fuente: DGA (2021)

Del catastro de cada una de las restricciones de uso, se puede verificar que no existe ninguna que aplique actualmente al área de estudio.

3. MERCADO DE AGUA

En base a las transacciones de los DAA registrados por los Conservadores de Bienes Raíces dentro de la base de datos de la DGA (DGA, 2021c), se ha analizado la tendencia central de valores de caudales según los siguientes criterios:

1. Tipo de Transacción: Compraventa
2. Valor de la transacción: expresada en unidades de fomento (UF), dólar estadounidense (USD) o pesos chilenos (CLP), de manera que puedan actualizarse a UF, conforme a la paridad monetaria que existiera en el momento de la transacción
3. Caudal: Volumen por unidad de tiempo (l/s u otra que permita transformarse en l/s)
4. Naturaleza del derecho: Subterráneo y superficial
5. Tipo del derecho: Consuntivo y no consuntivo
6. Tipo del ejercicio: Permanente y continuo
7. Observaciones: el valor de la transacción no ha de incluir el de ningún otro bien (otros DAA, predio, etc.) que no sea el del propio DAA registrado
8. Fecha (veinte últimos años, desde enero de 2001 a diciembre de 2020)
9. Agrupación de registros iguales: registros con datos idénticos de fechas, naturaleza del agua, caudal promedio, tipo de derecho, ejercicio del derecho, valor total de la transacción, unidad moneda y observaciones, se han tratado como una única transacción para evitar el falseamiento de los resultados del tratamiento estadístico

Luego de hacer el análisis de criterios y seleccionar aquellos datos fiables, se procedió a identificar aquellas transacciones que correspondían a una misma entidad, agrupando a estas por criterio. Lo anterior puesto que los montos se repiten en varias celdas, y, en columna, “comentarios” se indica que los valores incluyen otros derechos.

Luego de agrupar valores se procedió a convertir todos los valores de USD a CLP, esto multiplicando el primero por el valor del dólar de la fecha de la transacción. Luego, se actualiza CLP a valor actual, multiplicando por el IPC acumulado a la fecha. Finalmente, se transforma a UF para extraer cifras de UF/caudal y CLP/caudal, sacando la mediana a cada uno de estos.

Los resultados del análisis se presentan en la **Tabla 3-1**, **Tabla 3-2** y **Tabla 3-3**.

Tabla 3-1 Número de registros según CBR y categorías de los DAA. Cuenca de Salado

| CBR | Ia Naturaleza aguas superficiales | | | Ib Naturaleza aguas subterráneas | |
|------------------------|---|-------------------------------|---|--|---------------------------------|
| | IIa Tipo de derecho consuntivo | | IIb Tipo de derecho no consuntivo | IIa Tipo de derecho consuntivo | |
| | IIIa Ejercicio permanente | IIIb Ejercicio eventual | IIIa Ejercicio permanente | IIIb Ejercicio eventual | IIIa Ejercicio permanente |
| Diego de Almagro | - | - | - | - | 21 |

Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2021)

Como se observa, se encontraron **21 registros** según CBR en Diego de Almagro. Este conservador de bienes raíces, es el único que ubicado dentro del área estudiada, por lo cual, se torna en el representativo del área.

Las categorías correspondientes a aguas superficiales (Ia), de derecho consuntivo y no consuntivo no cuentan con representantes. El único representante de aguas subterráneas (ib) es aquel de tipo consuntivo (IIa), de ejercicio permanente (IIIa). Estos 21 registros, en términos de cálculos,

Los valores de la mediana de la serie de datos de cada categoría, obtenidos del estudio estadístico de estos registros, se muestran a continuación, tanto en UF/(l/s) como en CLP/(l/s).

Tabla 3-2 Valor de la mediana de UF/(l/s) según CBR y categorías. Cuenca de Salado

| CBR | Ia Naturaleza aguas superficiales | | | | Ib Naturaleza aguas subterráneas |
|------------------|---|-------------------------------|---|-------------------------------|---|
| | IIa Tipo de derecho consuntivo | | IIb Tipo de derecho no consuntivo | | IIa Tipo de derecho consuntivo |
| | IIIa Ejercicio permanente | IIIb Ejercicio eventual | IIIa Ejercicio permanente | IIIb Ejercicio eventual | IIIa Ejercicio permanente |
| Diego de Almagro | - | - | - | - | 756,77 |

Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2021)

Tabla 3-3 Valor de la mediana de CLP/(l/s) según CBR y categorías. Cuenca río Salado

| CBR | Ia Naturaleza aguas superficiales | | | | Ib Naturaleza aguas subterráneas |
|------------------|---|-------------------------------|---|-------------------------------|---|
| | IIa Tipo de derecho consuntivo | | IIb Tipo de derecho no consuntivo | | IIa Tipo de derecho consuntivo |
| | IIIa Ejercicio permanente | IIIb Ejercicio eventual | IIIa Ejercicio permanente | IIIb Ejercicio eventual | IIIa Ejercicio permanente |
| Diego de Almagro | - | - | - | - | 22.964.825 |

Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2021)

Debido a la calidad y cantidad de las transacciones no se puede realizar un análisis histórico sobre la evolución del mercado del agua, sin embargo, se presentan los datos analizados para el presente estudio por año de registro den el CBR, **Figura 3-1**.



Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2021)

Figura 3-1 Evolución en el tiempo del precio (UF/l/s) en el mercado del agua, cuenca río Salado

Como conclusión del análisis se generan una identificación de brechas respecto al trabajo realizado en relación con los objetivos propuestos.

1. Falta de uniformidad de la base de datos de partida CBR-SNIA:
 - a. diferentes unidades,
 - b. valor de la transacción,
 - c. valores nulos,
 - d. duplicidades de transacciones.
2. Cuenca con pocas transacciones para el análisis de mercado de agua en el tiempo

Estas deficiencias se traducen en una merma considerable de datos válidos para su análisis estadístico. Así, se ha tenido que filtra la información para poder trabajar con datos más sólidos, mermando el análisis posterior.



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

DIRECCIÓN REGIONAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO J3 - GOBERNANZA

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. - EVERIS CHILE S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Índice del Informe Gobernanza

Página

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1. | INTRODUCCIÓN | 3 |
| 2. | CARACTERIZACIÓN DE LOS ACTORES..... | 4 |
| 2.1 | Seguridad hídrica para las personas..... | 4 |
| 2.1.1 | Servicios públicos..... | 5 |
| 2.1.2 | Gobierno local..... | 5 |
| 2.1.3 | Empresas sanitarias..... | 6 |
| 2.2 | Seguridad hídrica para los Ecosistemas | 6 |
| 2.2.1 | Servicios públicos..... | 6 |
| 2.2.2 | Gobierno local..... | 7 |
| 2.2.3 | Empresas privadas | 8 |
| 2.2.4 | Sociedad civil..... | 8 |
| 2.3 | Seguridad hídrica para las actividades Productivas..... | 9 |
| 2.3.1 | Servicios públicos..... | 9 |
| 2.3.2 | Gobierno local..... | 9 |
| 2.3.3 | Empresas privadas | 10 |
| 2.4 | Seguridad hídrica ante desastres socio naturales..... | 10 |
| 2.4.1 | Servicios Públicos..... | 10 |
| 2.4.2 | Gobierno local..... | 10 |
| 3. | DIAGNÓSTICO | 11 |
| 3.1 | Estado actual de la gobernanza | 11 |
| 3.2 | Brechas de coordinación..... | 13 |
| 3.2.1 | Seguridad Hídrica para las personas | 13 |
| 3.2.2 | Seguridad Hídrica para los ecosistemas..... | 14 |
| 3.2.3 | Seguridad Hídrica para los sistemas productivos | 15 |
| 3.3 | Brechas de información | 15 |
| 3.3.1 | Seguridad Hídrica para las personas | 15 |
| 3.3.2 | Seguridad Hídrica para los ecosistemas..... | 16 |
| 3.3.3 | Seguridad Hídrica para las actividades productivas | 17 |

1. INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico actualmente se enfrenta a presiones de diversos sectores, dado que la demanda del recurso ha ido en aumento y la oferta cada vez más se ve reducida, en ocasiones entregando sobre otorgamiento o generando sobreexplotación hídrica. Estas situaciones se pueden dar en respuesta a la forma en que se gestiona el agua, principalmente a la descoordinación de acciones de actores involucrados en torno al agua de un territorio determinado. Según la OCDE el sector del agua posee características intrínsecas que los hacen altamente sensible y dependiente de la gobernanza territorial a multiescalar. La gobernanza del agua puede contribuir en gran medida al diseño e implementación de políticas mediante una responsabilidad compartida entre los distintos órdenes de gobierno, la sociedad civil, las empresas y la amplia gama de actores que juegan un importante papel en estrecha colaboración con los diseñadores de políticas para cosechar los beneficios económicos, sociales y ambientales de la buena gobernanza del agua (OCDE, 2015).

Por otra parte, la gobernanza territorial la podemos definir según Rey-Valette, como un proceso dinámico de coordinación entre actores públicos y privados con múltiples identidades y recursos asimétricos que se establecen en torno a desafíos territoriales y territorializada. El fin de la gobernanza territorial es principalmente la construcción colectiva de objetivos y acciones, a través de dispositivos (de ordenamiento de procedimientos, de arreglos formales o informales, metodológicos, de conocimientos, de saberes y de producción y de tratamiento de la información) múltiples que se apoyan en aprendizajes colectivos y que participan en las reconfiguraciones, innovaciones institucionales y organizacionales dentro de los territorios. (Rey-Valette et al., 2014; Chía et al., 2010).

Los Principios de Gobernanza del Agua de la OCDE tienen la intención de contribuir a la creación de políticas públicas tangibles y orientadas a la obtención de resultados, en base a tres dimensiones de la gobernanza del agua que mutuamente se refuerzan y complementan:

- La efectividad se refiere a la contribución de la gobernanza en definir las metas y objetivos sostenibles y claros de las políticas del agua en todos los órdenes de gobierno, en la implementación de dichos objetivos de política, y en la consecución de las metas esperadas.
- La eficiencia está relacionada con la contribución de la gobernanza en maximizar los beneficios de la gestión sostenible del agua y el bienestar, al menor costo para la sociedad.

La confianza y participación están relacionadas a la contribución de la gobernanza en la creación de confianza entre la población, y en garantizar la inclusión de los actores a través de legitimidad democrática y equidad para la sociedad en general.

2. CARACTERIZACIÓN DE LOS ACTORES

Se realizó una caracterización de los aspectos institucionales, de organización local, y gobernanza de la cuenca. En particular, se identificó a los usuarios relevantes en la gestión de los recursos hídricos de la cuenca y se elaboró un mapa de actores que describe las relaciones principales.

Los actores fueron caracterizados por eje de seguridad hídrica (**Figura 2-1**), la que se entiende como la capacidad de proveer agua en cantidad, calidad y oportunidad, para las personas, los ecosistemas y las actividades productivas, y en forma resiliente ante desastres socio naturales.

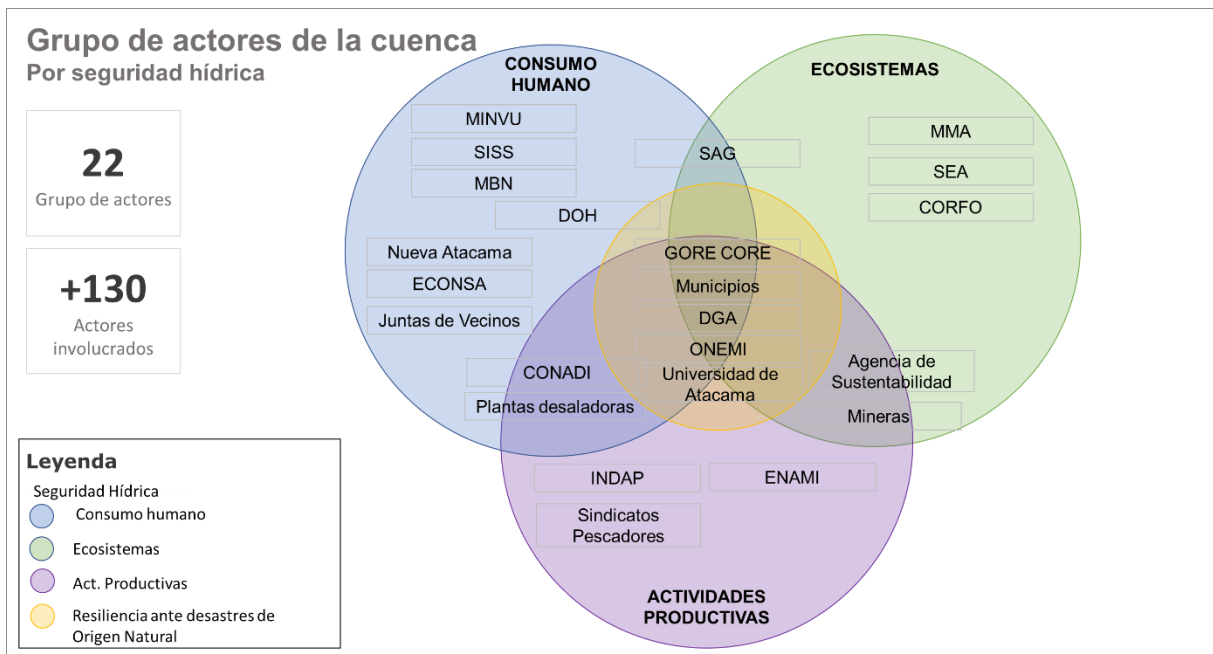


Figura 2-1 Grupos de actores de la cuenca por eje de seguridad hídrica

Según la caracterización realizada de los grupos de actores por eje de seguridad hídrica existe solapamientos de ciertos grupos que tienen influencia en distintos ejes de seguridad hídrica.

2.1 Seguridad hídrica para las personas

Los actores principales relacionados con la seguridad hídrica para las personas se presentan a continuación.

2.1.1 Servicios públicos

Los servicios públicos, con dependencia nacional y presencia regional, que están relacionados a este eje de seguridad son los siguientes:

- **Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), Unidad de Servicios Sanitarios Rurales (SSR):** es un servicio dependiente del Ministerio de Obras Públicas con representaciones en todas las regiones del país. Tiene como objetivo promover de servicios de infraestructura hidráulica que permitan el óptimo aprovechamiento del recurso hídrico y la protección del territorio y de los usuarios, con eficiencia en el uso de los recursos y la participación de la ciudadanía en las distintas etapas de los proyectos. La Unidad es responsable de administrar la Ley 20.998, que regula los Servicios Sanitarios Rurales.
- **Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS):** la función de la SISS es vigilar y fiscalizar el comportamiento del sector sanitario, el cumplimiento de las normas relativas a los servicios sanitarios, y el control de los residuos líquidos industriales a los sistemas de alcantarillados. También supervisa la calidad del agua potable, otorga licencias de descarga de aguas residuales industriales, define normas de descargas y vela por el cumplimiento. La Superintendencia de Servicios Sanitarios además supervisa las empresas de distribución de aguas y administra las tarifas de dicho recurso.
- **Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (CONADI):** Tiene como objetivo promover y coordinar la acción del estado, en favor del desarrollo integral de comunidades, y, personas indígenas en aspectos económicos, sociales y culturales, además de promover su participación en lo nacional.
- **Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU):** Tiene como objetivo la construcción de ciudades socialmente integradas, conectadas, recuperar entornos y propiciar el acceso a la vivienda adecuada.
- **Ministerio de Bienes Nacionales (MBN):** Tiene como objetivo el reconocimiento, administración y gestión del patrimonio fiscal, la regularización de la pequeña propiedad y control sobre los bienes nacionales a través de normas, políticas y programas. En este aspecto, en la cuenca prima su importancia por la posible regularización de los asentamientos.

2.1.2 Gobierno local

Los gobiernos locales se caracterizan por ser representantes electos a nivel regional o comunal, y como tal su relación es directa con su base electoral.

-
- **Gobernaciones Regionales:** Velan por el orden público, previendo, monitoreando y controlando conflictos que puedan afectar el orden público en los territorios, considerando la contingencia nacional y local. Desarrollan y promueven la seguridad de las personas y sus bienes, a través de la coordinación de los servicios públicos y policiales, para efectuar tareas de prevención social, policial y situacional del delito, incluyendo la presentación de querellas en los casos de mayor connotación pública. Realizan un trabajo cercano con la comunidad, respondiendo a sus demandas y necesidades, por medio de la coordinación de los diferentes servicios públicos.
 - **Municipalidades:** Se define como una corporación de personalidad jurídica con derecho público. Las personas jurídicas de derecho público se caracterizan por ostentar potestades de autoridad; es decir, pueden dictar normas obligatorias, pues detentan potestades públicas. Mantienen especial importancia en apoyo de las APR con recursos para la operación de camiones aljibe, permisos de extracción de áridos en cuencas y programas de apoyo en casos de sequía.

2.1.3 Empresas sanitarias

Se identifican dos empresas sanitarias con concesiones en este territorio; ECONSTA y Nueva Atacama.

ECONSSA (empresa CORFO), empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios, es una sociedad anónima de propiedad del Estado de Chile. Su objetivo es desarrollar una gestión efectiva de control y administración de los contratos de transferencia del derecho de explotación de la planta desalinizadora de agua de mar para Atacama (PDAM), asegurando su sustentabilidad presente y futura.

Nueva Atacama. Tiene un área de concesión situada en las localidades de Chañaral, Diego Almagro, El Salado e Inca de Oro. Al año 2020 el conjunto de localidades suma un total de 92.420 clientes.

2.2 Seguridad hídrica para los Ecosistemas

A continuación, se presentan los servicios públicos, empresas privadas, y actores de la sociedad civil organizada que se relacionan con la seguridad hídrica para los ecosistemas en la cuenca.

2.2.1 Servicios públicos

- **Ministerio de Medio Ambiente (MMA):** Es el ministerio encargado de colaborar con el presidente de la República en el diseño y aplicación de políticas, planes y programas en materia ambiental, así como en la protección y conservación de la diversidad biológica y de los recursos naturales renovables e hídricos, promoviendo

el desarrollo sustentable, la integridad de la política ambiental y su regulación normativa.

- **Corporación Nacional Forestal (CONAF):** administra la política forestal del país y fomenta el desarrollo del sector, tiene como misión contribuir al desarrollo del país a través del manejo sostenible de los ecosistemas forestales y a la mitigación de los efectos del cambio climático, mediante el fomento, fiscalización de la legislación forestal – ambiental; la protección de los recursos vegetacionales y la administración de las Áreas Silvestres Protegidas del Estado, para las actuales y futuras generaciones.
- **Servicio Agrícola y Ganadero (SAG):** Servicio Agrícola Ganadero (SAG): este organismo realiza estudios y catastros específicos para conocer la magnitud y estado de los recursos naturales renovables del ámbito silvoagropecuario y establece normas técnicas para los estudios de la carta nacional de suelos. La misión del SAG es asegurar la conservación de aguas con fines agropecuarios. En particular, administra el Sistema de Recuperación de Suelos Degradados.
- **DGA – Departamento de Conservación:** Propone y desarrolla la política sobre conservación y protección de los recursos hídricos y coordinar las funciones que correspondan en estas materias a los distintos organismos y Servicios Públicos.
- **SEA Atacama:** Tiene como función tecnificar y administrar el sistema de evaluación de impacto ambiental, que tiene gestión de la evaluación ambiental de proyectos de acuerdo con la norma.
- **Agencia de sustentabilidad y cambio climático:** Tiene como misión fomentar la producción y la mitigación y adaptación al cambio climático en las empresas, con énfasis en las PYME y en los territorios, a través del diálogo y la colaboración público privada.

2.2.2 Gobierno local

Los gobiernos locales se caracterizan por ser representantes electos a nivel regional o comunal, y como tal su relación es directa con su base electoral.

- **Gobernaciones Regionales:** Velan por el orden público, previendo, monitoreando y controlando conflictos que pueden afectar el orden público en los territorios, considerando la contingencia nacional y local. Desarrollan y promueven la seguridad de las personas y sus bienes, a través de la coordinación de los servicios públicos y policiales, para efectuar tareas de prevención social, policial y situacional del delito, incluyendo la presentación de querrelas en los casos de mayor connotación pública. Realizan un trabajo cercano con la comunidad, respondiendo a

sus demandas y necesidades, por medio de la coordinación de los diferentes servicios públicos.

- **Municipalidades:** Se define como una corporación de personalidad jurídica con derecho público. Las personas jurídicas de derecho público se caracterizan por ostentar potestades de autoridad; es decir, pueden dictar normas obligatorias, pues detentan potestades públicas. Mantienen especial importancia en apoyo de las APR con recursos para la operación de camiones aljibe, permisos de extracción de áridos en cuencas y programas de apoyo en casos de sequía.

2.2.3 Empresas privadas

Una tipología de actores privados que está fuertemente presente en la cuenca está en el mundo de la minería donde **CODELCO División El Salvador; Minera Mantos Cooper**, y **Anglo American** a través de Mantoverde tiene derechos de aprovechamiento que utilizan para sus distintas faenas. Es relevante que este actor esté altamente interesado en el desarrollo del plan, pues es un hito sensible en el desarrollo de este.

2.2.4 Sociedad civil

Los actores de la Sociedad Civil corresponden a **Universidades y Centros de Investigación** de carácter local y nacional, así como la sociedad civil agrupada en Organizaciones No Gubernamentales denominadas ONG.

Las Universidades y estamentos educacionales que participan dentro del actuar de la cuenca son:

- **Universidad de Atacama**
- **CASALAC**
- **CEAZA**

Estos órganos educacionales y/o de investigación trabajan de forma conjunta para incentivar la gestión en el territorio.

Otro tipo de organización que está plenamente vigente y es relevante desde el punto de vista organizacional en el territorio, son las **Juntas de Vecinos** compuestas dentro de la cuenca, pues vienen a ser unidades territoriales concisas que permiten la alimentación de información hacia los vecinos de las comunas que se encuentran colindantes a la cuenca.

Entre las principales Juntas de vecinos se encuentran.

- **JJVV Barquitos**
- **JJVV Villa Portal del Inca**
- **Unión Comunal de Juntas de Vecinos de Chañaral**
- **Unión Comunal de Juntas de Vecinos de Diego de Almagro**

Otro actor muy importante dentro de la orgánica de la cuenca está en la sociedad civil que pertenece al mundo pesquero, principalmente en la comuna de Chañaral. Dentro de las organizaciones se encuentra.

- **Sindicato Recolectores de Algas y Pescadores**
- **Sindicato Trabajadores Independientes Algueros Artesanales de Chañaral**
- **Sindicato Trabajadores Independientes Buzos Apnea y Recolectores de Orilla**
- **Sindicato Trabajadores Independientes Buzos Mariscadores Punta Achurra Chañaral**
- **Sindicato Trabajadores Independientes Pescadores Artesanales Chañaral**

2.3 Seguridad hídrica para las actividades Productivas

Se identificó a los servicios públicos, y a los actores principales por eje productivo.

2.3.1 Servicios públicos

Los servicios públicos que se relacionan con las actividades productivas de la cuenca son los siguientes.

- **Instituto Nacional de desarrollo agropecuario (INDAP):** es un servicio independiente del Ministerios de Agricultura, descentralizado, que tiene por objetivo; promover el desarrollo económico, social y tecnológico de los pequeños productores agrícolas y campesinos, con el fin de contribuir a elevar su capacidad empresarial, organizacional y comercial, su integración al proceso de desarrollo rural y optimizar al mismo tiempo el uso de los recursos productivos.
- **Empresa Nacional de Minería (ENAMI):** Tiene como objetivo fomentar el desarrollo de la minería de escala pequeña y mediana, para así brindar servicios para el acceso al mercado de metales refinados en competitividad.

2.3.2 Gobierno local

Los gobiernos locales se caracterizan por ser representantes electos a nivel regional o comunal, y como tal su relación es directa con su base electoral.

- **Gobernaciones Regionales:** Velan por el orden público, previendo, monitoreando y controlando conflictos que pueden afectar el orden público en los territorios, considerando la contingencia nacional y local. Desarrollan y promueven la seguridad de las personas y sus bienes, a través de la coordinación de los servicios públicos y policiales, para efectuar tareas de prevención social, policial y situacional del delito, incluyendo la presentación de querellas en los casos de mayor

connotación pública. Realizan un trabajo cercano con la comunidad, respondiendo a sus demandas y necesidades, por medio de la coordinación de los diferentes servicios públicos.

- **Municipalidades:** Se define como una corporación de personalidad jurídica con derecho público. Las personas jurídicas de derecho público se caracterizan por ostentar potestades de autoridad; es decir, pueden dictar normas obligatorias, pues detentan potestades públicas. Mantienen especial importancia en apoyo de las APR con recursos para la operación de camiones aljibe, permisos de extracción de áridos en cuencas y programas de apoyo en casos de sequía.

2.3.3 Empresas privadas

Una tipología de actores privados que está fuertemente presente en la cuenca está en el mundo de la minería donde **CODELCO División El Salvador; Minera Mantos Cooper, y Anglo American** a través de Mantoverde tiene derechos de aprovechamiento que utilizan para sus distintas faenas. Es relevante que este actor esté altamente interesado en el desarrollo del plan, pues es un hito sensible en el desarrollo de este.

2.4 Seguridad hídrica ante desastres socio naturales

2.4.1 Servicios Públicos

- **Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI):** La Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública, ONEMI, es el organismo técnico del Estado, creado por el Decreto Ley N° 369 de 1974, a cargo de planificar y coordinar los recursos públicos y privados destinados a la prevención y atención de emergencias y desastres de origen natural o provocados por la acción humana, proporcionando a los ministerios, intendencias, gobernaciones, municipios y organismos de Protección Civil de nivel nacional, regional, provincial y comunal, modelos y planes de gestión permanente para la prevención y manejo de emergencias, desastres y catástrofes.

2.4.2 Gobierno local

Los gobiernos locales se caracterizan por ser representantes electos a nivel regional o comunal, y como tal su relación es directa con su base electoral.

- **Gobernaciones Regionales:** Velan por el orden público, previendo, monitoreando y controlando conflictos que puedan afectar el orden público en los territorios, considerando la contingencia nacional y local. Desarrollan y promueven

la seguridad de las personas y sus bienes, a través de la coordinación de los servicios públicos y policiales, para efectuar tareas de prevención social, policial y situacional del delito, incluyendo la presentación de querellas en los casos de mayor connotación pública. Realizan un trabajo cercano con la comunidad, respondiendo a sus demandas y necesidades, por medio de la coordinación de los diferentes servicios públicos.

- **Municipalidades:** Se define como una corporación de personalidad jurídica con derecho público. Las personas jurídicas de derecho público se caracterizan por ostentar potestades de autoridad; es decir, pueden dictar normas obligatorias, pues detentan potestades públicas. Mantienen especial importancia en apoyo de las APR con recursos para la operación de camiones aljibe, permisos de extracción de áridos en cuencas y programas de apoyo en casos de sequía.

3. DIAGNÓSTICO

3.1 Estado actual de la gobernanza

La gobernanza es un elemento vital para el buen entendimiento de una cuenca, y más aún para que esta misma tenga una correcta gestión desde el punto de vista del desarrollo del recurso hídrico. Es muy importante entender la gobernanza como un elemento unificador para la correcta gestión antes los eventos que suceden actualmente en cada una de las cuencas del país.

La cuenca de estudio, río Salado, dispone de una oferta reducida debido a su naturaleza hidrológica marcada por escasas precipitaciones, generando escorrentías intermitentes en las Quebradas y un flujo bases del río Salado con baja disponibilidad eficiente para el uso del recurso. Debido a lo anterior, las demandas se satisfacen, más del 98%, por transvases provenientes de otras cuencas, como por ejemplo el uso oferta proveniente del Salar de Pedernales para la satisfacción minera de CODELCO o la aducción Piedra Colgada – Chañaral para la satisfacción de agua potable urbana.

En la cuenca dentro de los principales actores se encuentra las empresas mineras, la faena minera de CODELCO división Salvador, está generando una nueva fase denominada Rajo Inca. Además, otros actores en el sector minero son, la empresa Anglo American con la faena de Manto Verde (ubicación compartida con la cuenca Costeras entre río Salado y río Copiapó), y las instalaciones de la Empresa Nacional de Minería (ENAMI). Además, se deben considerar los actores involucrados de la demanda para consumo humano (municipios, Juntas de vecinos, Sanitaria) y finalmente los actores que promueven y protegen los ecosistemas de la cuenca, además de los servicios públicos (DOH, DGA, SEA, MMA, MINVU, MBN, etc.)

Adicional al estado actual de la gobernanza en cuanto a los actores presentes, también es importante mencionar las localidades de la cuenca y la conectividad que existe entre ellas, siendo de especial relevancia para la coordinación entre actores, mencionando de qué manera se encuentran integradas, de forma que sea posible dar cuenta de las principales infraestructuras de conexión vial que caracteriza a la cuenca en estudio.

El acceso a las localidades dentro de la cuenca de estudio son las siguientes:

Chañaral: El acceso, al sur desde Copiapó, se realiza por la Ruta 5 de doble sentido, atravesando la ciudad con dirección oeste. La Ruta 5 continúa en paralelo al río Salado hasta el cruce con la carretera C-13, con dirección norte. De esta forma la Ruta 5 no tiene más trazada dentro de la cuenca.

El Salado: El acceso desde Chañaral es por Ruta 5 continuado por la carretera C-13 dirección este. Desde el norte existe conexión por la carretera C-125 y desde el sur por la carretera C-209, carretera bidireccional de grava tratada.

Diego de Almagro: El acceso desde Chañaral es por Ruta 5 continuado por la carretera C-13 dirección este pasando por la localidad de El Salado. Existe un acceso directo desde la localidad de Copiapó por la carretera C-17 de calzada bidireccional y pavimentada.

Inca de Oro: El acceso desde Diego de Almagro por el norte y Copiapó por el Sur se realiza por la carretera C-17 de calzada bidireccional y pavimentada.

Por último, también es fundamental conocer el rol que juegan las comunidades indígenas dentro de la gobernanza del agua. En ese sentido, Las comunidades de pueblos indígenas del norte de Chile tienen una particular relación con los recursos hídricos. Según Cuadra (2000), la principal causa de pérdida de agua para los pueblos originarios nortinos ha sido la desprotección jurídica, como consecuencia a la subordinación del derecho consuetudinario indígena al derecho positivo estatal, que principalmente se ha concentrado en el uso del agua para actividades industriales y mineras del norte de Chile.

Investigaciones y trabajos realizados sobre pueblos atacameños del norte de Chile y su relación con el agua (Alegría & Valdés, 2001; Bolados & Babidge, 2017; Morales & Azócar, 2016; Prieto, 2016), han manifestado la importancia de considerar la raíz ontológica de las relaciones entre los pueblos indígenas y sus recursos, en especial el agua. Destaca la mantención de costumbres y formas de vida tradicionales por parte de la población atacameña, incluyendo el pastoreo y el culto a los cerros y el agua. Su estrecha relación es destacada como parte esencial de las comunidades, con un fuerte sentido comunitario que es clave para la lucha por este recurso (Barros Van Hovell, 2011).

Por otro lado, históricamente, el pueblo Colla ha tenido como base de ocupación del territorio la trashumancia, en virtud de las necesidades de pastoreo y los ciclos de sequía que determinan la escasez o abundancia de pastos en la región. En ese sentido, existe un traslado constante entre pisos ecológicos que son unidos por medio de la trashumancia, que aprovecha las aguadas, vegetación de las vegas y de los campos de pastoreo, que se localizan en fondos de quebradas, cajas de ríos, laderas, mesetas y altiplanicies. Ambos componentes, pastos y aguas, constituyen en este caso la base que diseña el circuito

trashumante de las familias collas. Su cosmovisión se basa en creencias religiosas de Santos Patronos y ritos a la Madre Santa Tierra o Pachamama (Ministerio de Obras Públicas, 2012).

Dentro de los conflictos actuales se conoce el generado por CODELCO por pasivos ambientales y resuelto como con un avenimiento entre CODELCO y el Consejo de Defensa del Estado, en el año 2020.

Actualmente existe a nivel regional una Mesa Hídrica que está compuesta por distintos actores, entre ellos públicos y privados. Esta mesa nace en el año 2019, por iniciativa del Ministerio de Obras Públicas y el Gobierno Regional de Atacama. Sin embargo, cabe destacar que los trabajos están más orientados a las labores realizadas en las provincias de Huasco y Copiapó, sin mayores avances en lo que respecta a la provincia de Chañaral.

En este contexto se debe impulsar la generación de coordinación en forma de gobernanza con una propuesta a nivel regional justificada por la cantidad de trasvases entre cuencas, pero con variabilidad ejecutiva en la generación de decisiones debido a la diferencia de usos y volumen entre cuencas.

3.2 Brechas de coordinación

Las brechas de coordinación dicen relación con la falta de contacto entre los distintos actores, siendo que varios de ellos tienen directa relación con el recurso hídrico.

En este apartado se identificarán brechas de coordinación por ejes temáticos como lo son la seguridad hídrica para el consumo humano, seguridad hídrica para los ecosistemas y seguridad hídrica para la producción.

Como se ha comentado en el punto anterior, existe a nivel regional una Mesa Hídrica que está compuesta por distintos actores. Además, existe la propuesta en el avenimiento entre CODELCO y el Consejo de Defensa del Estado sobre un **acuerdo** se establecen medidas de colaboración con las comunidades indígenas de origen Colla.

A continuación, se presentan tablas donde se identifica por una parte la realidad territorial, la imagen objetivo, y la brecha que se ha podido observar a partir de la información recopilada.

3.2.1 Seguridad Hídrica para las personas

Las brechas de coordinación se obtuvieron a partir del trabajo realizado en los Talleres 1 y 2 de Participación Ciudadana, y se presentan en la **Tabla 3-1**.

Tabla 3-1. Brechas de coordinación Seguridad Hídrica para las personas

| Situación Actual | Brecha | Imagen Objetivo |
|--|---|--|
| Existe poca disponibilidad de agua para consumo humano, además de la mala calidad de esta. | Baja disponibilidad y calidad de agua para consumo. | Una correcta coordinación entre empresas sanitarias y municipalidades, además de empresas mineras para abastecimiento de localidades |

Fuente: Taller 1 y 2 PAC cuenca río Salado

Las brechas de coordinación tienen relación, con la poca coordinación existente entre actores para poder solventar la demanda de agua, en especial de las nuevas localidades, producto de la crisis económica, y de la destrucción de viviendas producto de los últimos fenómenos meteorológicos.

3.2.2 Seguridad Hídrica para los ecosistemas

Las principales brechas de coordinación observadas para los ecosistemas se presentan en la **Tabla 3-2**.

Tabla 3-2. Brechas de coordinación Seguridad Hídrica para los ecosistemas

| Situación Actual | Brecha | Imagen Objetivo |
|---|--|---|
| Deficiencia en coordinación de instrumentos de planificación en favor de ecosistemas. | Actores públicos y privados (sobre todo ONG) no conversan sobre temáticas de importancia frente a ecosistemas. | Creación de un conjunto de acciones para coordinar políticas, planes con los actores del territorio frente a ecosistemas. |

Fuente: Taller 1 y 2 PAC cuenca río Salado

El correcto entendimiento entre actores es algo esencial para lograr excelentes resultados desde el punto de vista de la planificación. Esto hace mucho más sentido en este tipo de seguridad puesto que los intereses yuxtapuestos que existen entre los distintos usuarios de la cuenca hacen que el entendimiento pueda verse mermado al más incorrecto entendimiento. Por eso esta brecha es algo primordial en acortar. Se debe considerar los intereses, como así también la realidad territorial de todos los actores presentes en la cuenca para que la coordinación permita tomar buenos acuerdos.

En este sentido, se detecta que existe una brecha de coordinación en temática de seguridad hídrica para ecosistemas, puesto que no existe coordinación entre actores para la generación de planes y medida para salvaguardar ecosistemas. Se requiere también mayor número de estudios que determinen cuales son reales impactos de la industria sobre esto, especialmente desaladoras.

3.2.3 Seguridad Hídrica para los sistemas productivos

Las principales brechas de coordinación observadas para los sistemas productivos se muestran en la **Tabla 3-3**.

Tabla 3-3. Brechas de coordinación Seguridad Hídrica para las actividades productivas

| Situación Actual | Brecha | Imagen Objetivo |
|--|---|--|
| Poca relación entre actores públicos y privados para instalación de infraestructura productiva | No hay un expedito contacto entre servicios públicos y privados en la cuenca para la toma de decisiones y ubicación de infraestructura privada, | Creación de un grupo de coordinación para temas de infraestructura de actividades productivas. |

Fuente: Taller 1 y 2 PAC cuenca río Salado

Claramente lo expuesto en la tabla no es el reflejo solamente de la cuenca, sino que también lo es de la realidad del país. La poca coordinación que existe entre los distintos actores ha motivado a diferentes autores a hablar de gobernanza sobre el recurso hídrico. Es por esta razón que se hace necesario poder crear una orgánica que vele por los intereses de todos los usuarios de la cuenca desde el punto de vista productivo.

3.3 Brechas de información

A diferencia de las brechas de coordinación donde el elemento clave es la interacción que resulta de la relación entre los distintos actores, las brechas de información tienen que ver con la falta de antecedentes que no permiten lograr una correcta utilización del recurso hídrico.

En este apartado se identificarán brechas de información por ejes temáticos como lo son la seguridad hídrica para el consumo humano, seguridad hídrica para los ecosistemas y seguridad hídrica para la producción.

3.3.1 Seguridad Hídrica para las personas

Las principales brechas para la seguridad hídrica de las personas se presentan en la **Tabla 3-4**.

Tabla 3-4. Brechas de información Seguridad Hídrica para las personas

| Situación Actual | Brecha | Imagen Objetivo |
|--|--|---|
| Escasa información respecto a acuíferos y disponibilidad de aguas en la cuenca | La escasa información no permite que los actores generen acciones adecuadas a la realidad de la cuenca | Generar estudios a mediano - largo plazo que describan la realidad de acuíferos y recurso hídrico |
| Poca información respecto a calidad de las aguas a nivel usuario | Falta información sobre el estado de la calidad | Difusión de la información de calidad de las aguas a nivel de localidad |

Fuente: Taller 1 y 2 PAC cuenca río Salado

La falta de información respecto a estado de acuíferos y estadísticas meteorológicas, no permite una correcta planificación para mejor utilizar el recurso.

Es importante la difusión del estado actual de la calidad de aguas que distribuye debido a "sensación" de la población fija de disponer una mala calidad de aguas.

Es muy importante tomar en consideración lo relevante que resulta tener información actualizada sobre nuevas fuentes de agua, sobre todo considerando que la demanda de agua aumenta sosteniblemente durante los años.

3.3.2 Seguridad Hídrica para los ecosistemas

Las principales brechas para la seguridad hídrica de los ecosistemas se presentan en la **Tabla 3-5**.

Tabla 3-5. Brechas de información Seguridad Hídrica para los ecosistemas

| Situación Actual | Brecha | Imagen Objetivo |
|---|---|--|
| Falta de antecedentes para la aplicación de la regulación específica en zonas con vegetación azonal, bofedales. | Escasez de antecedentes de zonas de interés ecológico | Cuenca con antecedentes suficientes que permiten determinar zonas prioritarias de conservación |
| Falta de información respecto al ordenamiento territorial en la cuenca | Falta de información territorial para establecer prohibiciones, y protección de zonas con alto valor ecosistémico | Cuenca con antecedentes adecuados para generar información respecto a zonificación de zonas y áreas. |

Fuente: Taller 1 y 2 PAC cuenca río Salado

Relevante es la información pertinente a regulación y determinación zonas prioritarias que permitan a todos los actores utilizar idóneamente el recurso. También, se requiere generar mayor información del ordenamiento territorial, que se debe aplicar para que haya un uso consensuado del espacio.

3.3.3 Seguridad Hídrica para las actividades productivas

Las principales brechas para la seguridad hídrica para las actividades productivas se presentan en la **Tabla 3-6**.

Destacable es la necesidad de poder identificar las ineficiencias del sistema, para así, identificar las brechas de recursos y permitir generar medidas que regulen estas pérdidas.

También, es relevante determinar una demanda real de caudales en virtud de la información de los derechos concedidos de la cuenca. La falta de información real sobre este punto puede apuntar a generar expectativas irreales entre los usuarios, por lo que información certera sobre modelos es altamente efectiva para la planificación de la cuenca.

Tabla 3-6. Brechas de información Seguridad Hídrica para las actividades productivas

| Situación Actual | Brecha | Imagen Objetivo |
|--|---|---|
| Escasa información de las ineficiencias del sistema | La poca información respecto a donde, y como, se pierde recursos en procesos, no permite generar medidas para cerrar brechas. | Generación de estudios y reportes por actor, para determinar las ineficiencias del sistema. |
| Falta de información sobre disponibilidad real de otorgamiento de derechos | No existen datos claros sobre si el otorgamiento de derechos responde a la realidad de la cuenca. | Modelación que permita saber cómo la demanda actual se satisface en virtud de los derechos de aprovechamiento concedidos. |

Fuente: Taller 1 y 2 PAC cuenca río Salado



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO J4 – CARTERA DE INICIATIVAS CATASTRADAS

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



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

Anexo J4

En este Anexo se entrega una planilla de datos con la información recopilada respecto a las iniciativas catastradas en la cuenca río Salado. Esto, con el fin de tener una primera aproximación en la construcción de las iniciativas propuestas en el marco del presente proyecto.



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO SALADO

ANEXO J5 - FICHAS INICIATIVAS

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N° 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021

Índice de Fichas Iniciativas

Página

| | | |
|----------|---|-------------|
| <u>1</u> | <u>ALTERNATIVAS SELECCIONADAS.....</u> | <u>1-4</u> |
| <u>2</u> | <u>SEGURIDAD HÍDRICA PARA LAS PERSONAS.....</u> | <u>2-5</u> |
| 2.1 | PER 1: Mejoras en la cobertura sanitaria de las personas | 2-5 |
| 2.1.1 | PER 1.1: Ampliación de la red de agua potable | 2-5 |
| 2.1.2 | PER 1.2: Ampliación de la red de alcantarillado | 2-6 |
| 2.1.3 | PER 1.3: Difusión sobre calidad del agua | 2-7 |
| 2.2 | PER 2: Reutilización de agua..... | 2-8 |
| 2.2.1 | PER 2.1: Estudio de prefactibilidad para reutilización de agua en la localidad de Chañaral | 2-8 |
| 2.2.2 | PER 2.2: Reutilización de aguas servidas en Chañaral | 2-9 |
| <u>3</u> | <u>SEGURIDAD HÍDRICA PARA LOS ECOSISTEMAS</u> | <u>3-10</u> |
| 3.1 | ECO 1: Protección de Humedales..... | 3-10 |
| 3.1.1 | ECO 1.1: Caracterización y seguimiento de los humedales cordilleranos 3-10 | |
| 3.1.2 | ECO 1.2: Acompañamiento a la Mesa Técnica entre CODELCO Salvador y comunidades Colla | 3-11 |
| 3.1.3 | ECO 1.3: Estudio de cambio de puntos de captación para agua potable 3-12 | |
| 3.2 | ECO 2: Protección de Ecosistemas Marinos | 3-13 |
| 3.2.1 | ECO 2.1: Acuerdo de Producción Limpia de Plantas Desaladoras de Agua de Mar 3-13 | |
| 3.2.2 | ECO 2.2: Estudio de largo plazo sobre los efectos acumulados de la descarga de salmuera en la costa de la región de Atacama | 3-14 |
| <u>4</u> | <u>SEGURIDAD HÍDRICA PARA LAS ACTIVIDADES PRODUCTIVAS.....</u> | <u>4-15</u> |
| 4.1 | PRO 1: Interconexión hídrica de la región de Atacama | 4-15 |
| 4.1.1 | PRO 1.1: Estudio de Interconexión Hídrica..... | 4-15 |
| 4.1.2 | PRO 1.2: Estudios regulatorios y operacionales | 4-16 |
| 4.2 | PRO 2: Nuevas fuentes de agua para uso agrícola | 4-17 |
| 4.2.1 | PRO 2.1: Implementación de un sistema de regadío a partir de atrapanieblas en el sector Falda Verde, Chañaral | 4-17 |
| <u>5</u> | <u>SEGURIDAD HÍDRICA ANTE EVENTOS EXTREMOS</u> | <u>5-18</u> |
| 5.1 | DES 1: Adaptación ante Eventos Extremos | 5-18 |
| 5.1.1 | DES 1.1: Obras Fluviales y de Control Aluvional en la cuenca río Salado 5-18 | |
| <u>6</u> | <u>GESTIÓN INSTITUCIONAL.....</u> | <u>6-19</u> |
| 6.1 | GES 1: Generación de información | 6-19 |
| 6.1.1 | GES 1.1: Nuevas estaciones meteorológicas | 6-19 |
| 6.1.2 | GES 1.2: Nuevos Pozos de monitoreo | 6-20 |
| 6.1.3 | GES 1.3: Seguimiento y Monitoreo | 6-21 |
| 6.1.4 | GES 1.4: Acuerdo de intercambio de información con privados | 6-22 |
| 6.1.5 | GES 1.5: Estudios específicos | 6-23 |

| | | |
|----------|--|-------------|
| 6.2 | GES 2: Control de Extracciones y Fiscalización | 6-24 |
| 6.2.1 | GES 2.1: Monitoreo de Extracciones Efectivas | 6-24 |
| 6.2.2 | GES 2.2: Acuerdos de fiscalización con la ciudadanía y municipios. | 6-25 |
| 6.3 | GES 3: Planificación regional..... | 6-26 |
| 6.3.1 | GES 3.1: Plan Estratégico de Gestión Hídrica Regional | 6-26 |
| <u>7</u> | <u>GOBERNANZA</u> | <u>7-27</u> |
| 7.1 | GOB 1: Construcción de un Sistema de Gobernanza regional | 7-27 |
| 7.1.1 | GOB 1.1: Construcción de un Sistema de Gobernanza regional | 7-27 |
| 7.1.2 | GOB 1.2: Establecimiento de una Secretaría Técnica | 7-28 |

1 ALTERNATIVAS SELECCIONADAS

La cartera de iniciativas propuestas se presenta para cada uno de los seis ejes estratégicos de planificación: Seguridad Hídrica para las personas, ecosistemas, actividades productivas y ante eventos extremos, Gestión Institucional y Gobernanza (ver **Figura 1-1**). De esta forma, cada Eje Estratégico contiene Líneas de Acción, y estas a su vez se materializan a través de iniciativas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-1 Ejes de Planificación Estratégica

2 SEGURIDAD HÍDRICA PARA LAS PERSONAS

2.1 PER 1: Mejoras en la cobertura sanitaria de las personas


2.1.1 PER 1.1: Ampliación de la red de agua potable

|  | Seguridad Hídrica para las Personas |
|---|--|
| Línea de Acción | PER 1. Mejoras en la cobertura sanitaria de las personas |
| Iniciativa | PER 1.1 Ampliación de la red de agua potable |
| Brechas asociadas | Según la brecha BPER 1, Brecha de acceso al agua para el consumo humano, existe un total de 1.606 personas sin acceso seguro al agua para consumo humano, con un consumo de 0,08 hm ³ al año (sobre una dotación de 140 litros por persona al día). |
| Objetivo | El objetivo es implementar las acciones requeridas para atender al 100% de cobertura de acceso al agua potable en forma segura y sin riesgo. |
| Descripción | <p>La iniciativa consiste en la ampliación de la red de agua potable, para dar cuenta de la población que hoy no cuenta con este servicio.</p> <p>Dentro de las componentes de la seguridad hídrica para las personas, y particularmente en el segundo taller de Participación Ciudadana - Seguridad hídrica, se identificó un déficit en la cobertura de infraestructura sanitaria en las localidades de la cuenca, principalmente Inca de Oro y Chañaral. En el primer sector, se debe a la expansión no regulada de la población más allá del radio urbano, con el consecuente déficit de extensión de redes de agua potable y de alcantarillado; y en el caso de Chañaral, a la reposición incompleta de las redes sanitarias perdidas a propósito de los eventos del año 2015.</p> <p>Según la brecha BPER 1, Brecha de acceso al agua para el consumo humano, existe un total de 1.606 personas sin acceso seguro al agua para consumo humano, con un consumo de 0,08 hm³ al año (sobre una dotación de 140 litros por persona al día).</p> |
| Actividades principales | La iniciativa consiste en obras de infraestructura hidráulica, por lo que las actividades requeridas están relacionadas con el proceso de planificación (Planes de Desarrollo), e implementación de la misma. |
| Ubicación | Localidades de Chañaral, Diego de Almagro e Inca de Oro. |
| Relación con otras iniciativas priorizadas | La medida se relaciona con PER 1.2 |
| Beneficiarios | 1.606 personas sin acceso al agua / 536 viviendas |
| Costo de implementación | \$4.463.453.168.- |
| Duración | 5 años |
| Fuente de Financiamiento | Privado |
| Institución Responsable | Empresa Sanitaria |
| Plazo de Implementación | 1 a 5 años (corto plazo) |
| Recomendaciones | Esta medida se incluye de manera referencial, para dar cuenta de la necesidad de ampliar la cobertura sanitaria. De esta forma, el presupuesto descrito está sujeto a la evaluación técnica de las soluciones a implementar, pudiendo variar ostensiblemente. |

2.1.2 PER 1.2: Ampliación de la red de alcantarillado


| | |
|---|---|
|  | Seguridad Hídrica para las Personas |
| Línea de Acción | PER 1. Mejoras en la cobertura sanitaria de las personas |
| Iniciativa | PER 1.2 Ampliación de la red de alcantarillado |
| Brechas asociadas | Según la brecha BPER3, Falta infraestructura sanitaria, en la cuenca existen 2.374 personas sin acceso a una red de alcantarillado, destacando el caso de la localidad de Inca de Oro, que no cuenta con este sistema (360 personas). En el caso de Chañaral, el total de personas sin acceso a la red es de 1.764 personas. |
| Objetivo | Aumentar la cobertura de alcantarillado en la cuenca, para tender al 100% de acceso de las personas a una solución de alcantarillado que opere en forma segura y sin riesgo. |
| Descripción | <p>Para la estimación del costo, se trabajará con dos supuestos. Por un lado, 2.014 personas requieren de extensiones de la red para acceder al alcantarillado. Se asumirá un costo similar al de provisión de agua para consumo humano, es decir, de \$17.504/m³ saneado. En este caso, el consumo anual de esta población es de 102.915 m³/año, con un costo estimado de instalación de \$ 1.801.424.160.-</p> <p>Complementariamente, la localidad de Inca de Oro requiere de un sistema de saneamiento completo, incluyendo la planta de tratamiento de aguas servidas. El costo estimado de este sistema es de 2.000 millones de pesos (estimación a partir de otros sistemas de SSR), con lo que el costo total de provisión de saneamiento en la cuenca es de \$3.801 millones de pesos.</p> |
| Actividades principales | La iniciativa consiste en obras de infraestructura hidráulica, por lo que las actividades requeridas están relacionadas con el proceso de planificación (Planes de Desarrollo), e implementación de la misma. |
| Ubicación | Localidades de Chañaral, Diego de Almagro e Inca de Oro. |
| Relación con otras iniciativas priorizadas | Se relaciona con PER 1.1 |
| Beneficiarios | 2.374 personas sin alcantarillado. |
| Costo de implementación | \$7.595.971.136 millones de pesos |
| Duración | 10 años |
| Fuente de Financiamiento | Privado |
| Institución Responsable | Empresa Sanitaria |
| Plazo de Implementación | 5 a 10 años |
| Recomendaciones | Esta medida se incluye de manera referencial, para dar cuenta de la necesidad de ampliar la cobertura sanitaria. De esta forma, el presupuesto descrito está sujeto a la evaluación técnica de las soluciones a implementar, pudiendo variar ostensiblemente. |

2.1.3 PER 1.3: Difusión sobre calidad del agua

| | |
|---|--|
|  | Seguridad Hídrica para las Personas |
| Línea de Acción | PER 1. Mejoras en la cobertura sanitaria de las personas |
| Iniciativa | PER 1.3 Difusión sobre calidad del agua |
| Brechas asociadas | Según se reconoce en la brecha BPER2, Brecha de información sobre las características de calidad de agua potable, ya está instalada la percepción sobre la calidad de las aguas provistas, e incluso, se indica que el alto contenido salino tendría incidencias en las tasas de ocurrencia de enfermedades asociadas, como litiasis renal, vesicular y otras. Esta percepción lleva, además, al consumo generalizado de agua purificada para la bebida. |
| Objetivo | Mejorar la percepción que la comunidad tiene sobre el agua potable distribuida a través de las redes sanitarias. |
| Descripción | Se propone la realización de una campaña de información a la población, que contribuya a indicar los estándares de calidad que se cumple, conforme a la NCh 409/1. Como indicador de proceso, se propone la realización de una encuesta base que permita definir el estado actual de la percepción, y que esta se mide anualmente por un período de 5 años. |
| Actividades principales | Diseño de la campaña (evaluación ex ante) Implementación de la campaña (difusión) Evaluación de la campaña (evaluación ex post) |
| Ubicación | Localidades de Chañaral, Diego de Almagro e Inca de Oro. |
| Relación con otras iniciativas prioritizadas | No tiene |
| Beneficiarios | La totalidad de la población de la cuenca |
| Costo de implementación | \$250 millones de pesos |
| Duración | 5 años |
| Fuente de Financiamiento | Sectorial |
| Institución Responsable | Dirección de Obras Hidráulicas |
| Plazo de Implementación | 1 a 5 años |
| Recomendaciones | No tiene. |

2.2 PER 2: Reutilización de agua

2.2.1 PER 2.1: Estudio de prefactibilidad para reutilización de agua en la localidad de Chañaral

|  | Seguridad Hídrica para las Personas |
|---|--|
| Línea de Acción | PER 2. Reutilización de agua |
| Iniciativa | PER 2.1 Estudio de prefactibilidad para reutilización de agua en la localidad de Chañaral |
| Brechas asociadas | La brecha BPER 4. Falta de infraestructura de tratamiento de aguas servidas secundario y reutilización, señala la ausencia de estrategias de reutilización de aguas servidas. |
| Objetivo | <p>Aumentar la disponibilidad de agua para uso agrícola o minero mediante la reutilización de aguas servidas tratadas provenientes de la localidad de Chañaral.</p> <p>Para esto, se debe determinar la factibilidad técnica y el costo estimado de la implementación de una planta de tratamiento de aguas servidas, así como los costos operacionales y las condiciones regulatorias que permitirían un uso productivo de estas aguas.</p> |
| Descripción | Se propone realizar una evaluación técnica y económica del tratamiento de las aguas para reúso en la localidad de Chañaral, el cual considere además la posibilidad de interconexión a las redes locales, ya que de la misma forma en que se propone aportar agua desde la PDAM de Mantoverde a esta localidad en caso de emergencia, se podría dar el caso de que la localidad aportara agua a esta faena. |
| Actividades principales | Estudio de ingeniería a nivel de prefactibilidad. |
| Ubicación | Localidad de Chañaral |
| Relación con otras iniciativas prioritizadas | PER 2.2, que provisiona fondos para la construcción de esta planta |
| Beneficiarios | Habitantes de la localidad de Chañaral Actividades productivas mineras o agrícolas en el sector |
| Costo de implementación | \$200 millones de pesos |
| Duración | 12 meses |
| Fuente de Financiamiento | Sectorial |
| Institución Responsable | Dirección de Obras Hidráulicas |
| Plazo de Implementación | 1 a 5 años |
| Recomendaciones | No hay |


2.2.2 PER 2.2: Reutilización de aguas servidas en Chañaral

| | |
|---|--|
|  | Seguridad Hídrica para las Personas |
| Línea de Acción | PER 2. Reutilización de agua |
| Iniciativa | PER 2.2 Reutilización de aguas servidas en Chañaral |
| Brechas asociadas | La brecha BPER 4. Falta de infraestructura de tratamiento de aguas servidas secundario y reutilización, señala la ausencia de estrategias de reutilización de aguas servidas. |
| Objetivo | Aumentar la disponibilidad de agua para uso agrícola o minero mediante la reutilización de aguas servidas tratadas provenientes de la localidad de Chañaral. Para esto, además de la factibilidad técnica, se consideró la incorporación de un costo referencial para el costo de construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas para la localidad de Chañaral. |
| Descripción | Como se abordó en la iniciativa PER 2.1, una alternativa para aumentar la disponibilidad de agua en la cuenca, y particularmente en la localidad de Chañaral, es el tratamiento y reutilización de las aguas servidas que actualmente se descargan al mar vía un emisario submarino. En el análisis realizado se estimó el costo de disponibilizar el agua para reúso, el cual es inferior al costo de desalinización de agua de mar en el mismo punto de entrega, pero además tiene como externalidades positivas la no intervención del borde costero. Sin embargo, esta inversión escapa a las consideraciones de la empresa modelo definida por la SISS para localidades costeras, por lo que estaría por sobre las definiciones del Plan de Desarrollo de la empresa sanitaria. Se realizó una evaluación económica a nivel de idea, en la cual se tuvo que el uso de aguas reutilizadas en la localidad de Chañaral tiene un costo estimado y referencial de 1,63 USD/m ³ , el cual no está considerado dentro de la tarifa de la empresa modelo para una localidad costera, según determina la SISS. Por esta razón, la viabilidad de este proyecto pasa por la posibilidad de comercializar el agua producida, ya sea a un solo proyecto, o a múltiples usuarios. Cabe señalar que la normativa actual no establece restricciones para la comercialización de estas aguas (Fundación Chile, 2016). Complementariamente, si bien se trataría de una iniciativa entre privados, la recuperación de 1 hm ³ /año de agua contribuye a aumentar la seguridad hídrica local, al mismo tiempo que reduce los efectos ambientales de la planta desalinizadora que contribuye a reducir. |
| Actividades principales | Construcción de la planta de tratamiento de aguas servidas. No se consideraron acueductos o infraestructura de elevación o impulsión de agua. |
| Ubicación | Localidad de Chañaral |
| Relación con otras iniciativas prioritizadas | PER 2.1, que considera el estudio de prefactibilidad de esta planta. |
| Beneficiarios | Habitantes de la localidad de Chañaral Actividades productivas mineras o agrícolas en el sector |
| Costo de implementación | \$7.667 millones de pesos |
| Duración | 24 meses |
| Fuente de Financiamiento | Privado |
| Institución Responsable | Privados (no definidos) |
| Plazo de Implementación | 5 a 10 años |
| Recomendaciones | Esta iniciativa se incluye en forma referencial, ya que el costo de la planta propuesta claramente debe ser determinado mediante un estudio de ingeniería cumpliendo con las etapas básicas de este proceso. Sin embargo, se consideró apropiado reflejar el costo de la planta de tratamiento dentro del costo total del Plan Estratégico. |


3 SEGURIDAD HÍDRICA PARA LOS ECOSISTEMAS

3.1 ECO 1: Protección de Humedales

3.1.1 ECO 1.1: Caracterización y seguimiento de los humedales cordilleranos

|  | Seguridad Hídrica para los Ecosistemas |
|---|---|
| Línea de Acción | ECO 1. Protección de Humedales |
| Iniciativa | ECO 1.1. Caracterización y seguimiento de los humedales cordilleranos |
| Brechas asociadas | BECO 1, Pérdida y deterioro de ecosistemas acuáticos continentales. |
| Objetivo | El propósito es determinar el estado actual de estos sistemas, y evaluar, en el tiempo, si existe alguna variación en su condición. |
| Descripción | Se propone el catastro, para el establecimiento de una línea de base y seguimiento de los humedales cordilleranos (SVAHT) presentes en la cuenca, y en particular de aquellos que se ven afectados por la extracción de agua (Drenes de El Jardín e Inca de Oro). El propósito es determinar el estado actual de estos sistemas, y evaluar, en el tiempo, si existe alguna variación en su condición. Los parámetros para considerar en la caracterización son los que se describen en la "Guía Descriptiva de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres de la Ecorregión Altiplánica (SVAHT)" (SAG, 2009). |
| Actividades principales | Alcances de la campaña de seguimiento: <ul style="list-style-type: none"> - Delimitación del SVAHT mediante imágenes aéreas de alta calidad. - Caracterización de la vegetación mediante transectas del tipo Point Quadrat, con registro de vegetación activa y no activa (rastrojo, mantillo, suelo desnudo, agua, etc.) - Cuantificación de la cubierta salina, y clasificación de los SVAHT en función del porcentaje de cobertura de sal. - Caracterización de la calidad de las aguas superficiales o subterráneas, para el caso de manantiales. - Otros de interés |
| Ubicación | Humedales cordilleranos (SVAHT) presentes en la cuenca y descritos en el numeral 2.3.1.2, y en particular de aquellos que se ven afectados por la extracción de agua (Drenes de El Jardín e Inca de Oro). |
| Relación con otras iniciativas prioritizadas | ECO 1.3, Estudio de cambio de puntos de captación para agua potable |
| Beneficiarios | Personas que habitan la cuenca, especialmente Inca de Oro, El Salvador y Diego de Almagro |
| Costo de implementación | \$1.500 millones de pesos |
| Duración | El seguimiento debería realizarse en dos campañas anuales, en los períodos de máxima y mínima actividad fotosintética. El seguimiento es permanente en el tiempo. |
| Fuente de Financiamiento | Sectorial |
| Institución Responsable | Ministerio del Medio Ambiente |
| Plazo de Implementación | Durante todo el período del PEGH. |
| Recomendaciones | No hay |

3.1.2 ECO 1.2: Acompañamiento a la Mesa Técnica entre CODELCO Salvador y comunidades Colla

| | |
|---|---|
|  | Seguridad Hídrica para los Ecosistemas |
| Línea de Acción | ECO 1. Protección de Humedales |
| Iniciativa | ECO 1.2 Acompañamiento a la Mesa Técnica entre CODELCO Salvador y comunidades Colla |
| Brechas asociadas | BECO 1, Pérdida y deterioro de ecosistemas acuáticos continentales. |
| Objetivo | Dar respaldo técnico que permita una correcta consideración de los SVAHT dentro del plan de trabajo a proponer, y ver la posibilidad de establecer sinergias entre el Plan Estratégico y sus iniciativas, y los acuerdos alcanzados en la mesa. |
| Descripción | Se propone como acción complementaria el acompañamiento a la Mesa Técnica a ser constituida por CODELCO DSAL y las comunidades Colla de Chiyagua y de Diego de Almagro, comprometida dentro del avenimiento alcanzado con el Consejo de Defensa del Estado. |
| Actividades principales | Reuniones de acompañamiento |
| Ubicación | Diego de Almagro |
| Relación con otras iniciativas priorizadas | No tiene |
| Beneficiarios | Comunidades Colla de Chiyagua y de Diego de Almagro |
| Costo de implementación | No tiene costo asociado |
| Duración | Se estima que esta mesa estará operativa por un período de a lo menos 36 meses. |
| Fuente de Financiamiento | Sectorial |
| Institución Responsable | Ministerio del Medio Ambiente y Servicio Agrícola y Ganadero |
| Plazo de Implementación | 1 a 5 años |
| Recomendaciones | No tiene |

3.1.3 ECO 1.3: Estudio de cambio de puntos de captación para agua potable

|  | Seguridad Hídrica para los Ecosistemas |
|---|--|
| Línea de Acción | ECO 1. Protección de Humedales |
| Iniciativa | ECO 1.3 Estudio de cambio de puntos de captación para agua potable |
| Brechas asociadas | BECO 1, Pérdida y deterioro de ecosistemas acuáticos continentales. |
| Objetivo | Se entiende que esta iniciativa tiene dos aristas. Por un lado, permite identificar fuentes alternativas para la provisión de agua a las personas que habitan el interior de la cuenca. Sin embargo, por otro lado, el propósito es liberar de la extracción actual a los humedales de la cuenca, permitiendo su recuperación, lo que constituye una externalidad positiva. Uno de los puntos a ser considerados está en el eventual costo de inversión producto del emplazamiento de las nuevas fuentes, la seguridad de abastecimiento, la calidad de aguas, entre otros. |
| Descripción | <p>Esta iniciativa corresponde al estudio hidrogeológico de detalle de aquellos sectores que pudieran potencialmente proveer de agua a las localidades presentes en la cuenca, obtenidos a partir de la geofísica y el modelo hidrogeológico conceptual generado para el presente Plan. En este caso, se trata de sondajes y pruebas de bombeo que permitan establecer la disponibilidad real del recurso, y la solicitud de los derechos de aprovechamiento de agua respectivos.</p> <p>Esta iniciativa fue abordada en el escenario de gestión N°3, "Cambio de Punto de Captación para Agua Potable Urbana", concluyendo el modelo que es posible realizar la extracción de agua desde el acuífero, específicamente desde el sector AC-5, y que como consecuencia se experimentaría una disminución del volumen embalsado en un 0,24% en un período de 30 años (desde 10.597 a 10.572 hm³).</p> |
| Actividades principales | <ul style="list-style-type: none"> - Geofísica de detalle - Sondaje de prospección - Prueba de bombeo - Estudio de Calidad de Aguas |
| Ubicación | Cuenca media del río Salado |
| Relación con otras iniciativas priorizadas | ECO 1.1 Caracterización y seguimiento de los humedales cordilleranos, ya que la identificación de fuentes alternativas permitiría liberar la extracción de agua que hoy se realiza desde drenes en humedales cordilleranos. |
| Beneficiarios | Habitantes de Salado, Diego de Almagro e Inca de Oro. |
| Costo de implementación | \$300 millones de pesos |
| Duración | 12 meses |
| Fuente de Financiamiento | Sectorial |
| Institución Responsable | Dirección de Obras Hidráulicas |
| Plazo de Implementación | 1 a 5 años |
| Recomendaciones | No tiene |

3.2 ECO 2: Protección de Ecosistemas Marinos

3.2.1 ECO 2.1: Acuerdo de Producción Limpia de Plantas Desaladoras de Agua de Mar

| | |
|---|--|
|  | Seguridad Hídrica para los Ecosistemas |
| Línea de Acción | ECO 2. Protección de Ecosistemas Marinos |
| Iniciativa | ECO 2.1 Acuerdo de producción limpia de Plantas Desaladoras de Agua de Mar |
| Brechas asociadas | BECO 2. Falta de coordinación en el desarrollo de nuevos proyectos de infraestructura hidráulica |
| Objetivo | Se propone el establecimiento de un Acuerdo de Producción Limpia (APL) de Plantas Desaladoras de Agua de Mar, que permita la definición y difusión de Estándares y Buenas Prácticas en la industria, asociadas a los siguientes aspectos propios de su operación. |
| Descripción | Los principales aspectos a ser abordados por el APL son los siguientes: Manejo de insumos y residuos, Intervención territorial y relación con comunidades asociadas, Seguimiento de efectos individuales e integrados de la descarga de agua de mar e Integración de la producción de agua dentro de sistemas conjuntos. |
| Actividades principales | Suscripción de acuerdo para el Acuerdo de Producción Limpia entre empresas privadas y Agencia Chilena de Sustentabilidad y Cambio Climático Elaboración del acuerdo |
| Ubicación | Región de Atacama |
| Relación con otras iniciativas priorizadas | ECO 2.2: Estudio de largo plazo sobre los efectos acumulados de la descarga de salmuera en la costa de la región de Atacama |
| Beneficiarios | Región de Atacama |
| Costo de implementación | \$100 millones de pesos |
| Duración | 18 meses |
| Fuente de Financiamiento | Privado |
| Institución Responsable | Empresas Desaladoras |
| Plazo de Implementación | 1 a 5 años |
| Recomendaciones | El acuerdo debe ser solicitado por las empresas privadas (desaladoras), por lo que es imprescindible que se convenga con ellas el avance en esta materia. |

3.2.2 ECO 2.2: Estudio de largo plazo sobre los efectos acumulados de la descarga de salmuera en la costa de la región de Atacama

| | |
|---|--|
|  | Seguridad Hídrica para los Ecosistemas |
| Línea de Acción | ECO 2. Protección de Ecosistemas Marinos |
| Iniciativa | ECO 2.2 Estudio de largo plazo sobre los efectos acumulados de la descarga de salmuera en la costa de la región de Atacama |
| Brechas asociadas | BECO 2. Falta de coordinación en el desarrollo de nuevos proyectos de infraestructura hidráulica |
| Objetivo | Mejorar el conocimiento de la sinergia que existe entre las distintas intervenciones del borde costero, principalmente descargas de plantas desaladoras, en la calidad de agua, biota marina y uso del borde costero. |
| Descripción | <p>Se propone la realización de un estudio de largo plazo sobre los efectos de la operación de las Plantas Desaladoras instaladas en la costa de la región de Atacama, sobre los ecosistemas marinos, el uso del borde costero, y las consecuencias sobre el desarrollo de las personas.</p> <p>La propuesta se basa en que la apuesta por la provisión de agua desalada si bien es necesaria en función de la baja disponibilidad y alto grado de conflictividad asociada al uso de las aguas continentales, principalmente para la producción minera; también resulta transformadora para el uso tradicional del borde costero no solo de la región de Atacama, sino que de todo el país.</p> <p>En este sentido, se desconoce todavía la profundidad de los efectos que resultan de esta transformación, los que se pueden manifestar no solo a nivel de los ecosistemas marinos, sino que también en el uso que se realiza del borde costero y el modo de vida de las personas que allí habitan. En consecuencia, se propone un estudio de largo plazo, que consolide estos tres ejes en una evaluación de factores, efectos, consecuencias y eventuales correlaciones, que entregue bases para un mejor manejo de la industria.</p> |
| Actividades principales | <p>Se proponen 10 campañas anuales, con el siguiente enlace (a ser complementado):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Columna de agua: calidad de agua, fitoplancton y zooplancton. - Fondo marino: caracterización de sedimentos, fito y zoo bentos. - Macroflora acuática: caracterización de Macroflora acuática en el área de influencia. - Fauna acuática: caracterización de poblaciones de aves, mamíferos marinos, peces, crustáceos y otros en el área de influencia. - Borde costero: caracterización de la zona intermareal. - Actividad económica: seguimiento a las tasas de captura de pesca, recolección de orilla, y otras actividades turísticas (por ejemplo, asociadas al avistamiento de fauna marina). - Seguimiento satelital: se sugiere complementar el análisis con un seguimiento satelital que permita, además de la comparación visual, el análisis de indicadores como temperatura del agua y actividad fotosintética, entre otros. |
| Ubicación | Cuenca río Salado |
| Relación con otras iniciativas priorizadas | ECO 2.1: Acuerdo de Producción Limpia de Plantas Desaladoras de Agua de Mar |
| Beneficiarios | Región de Atacama |
| Costo de implementación | \$5.000 millones de pesos |
| Duración | 10 años |
| Fuente de Financiamiento | Regional |
| Institución Responsable | Ministerio del Medio Ambiente |
| Plazo de Implementación | 1 a 10 años (corto y mediano plazo) |
| Recomendaciones | No hay |

4 SEGURIDAD HÍDRICA PARA LAS ACTIVIDADES PRODUCTIVAS

4.1 PRO 1: Interconexión hídrica de la región de Atacama

4.1.1 PRO 1.1: Estudio de Interconexión Hídrica


|  | Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas |
|---|--|
| Línea de Acción | PRO 1. Interconexión hídrica de la región de Atacama |
| Iniciativa | PRO 1.1 Estudio de Interconexión Hídrica |
| Brechas asociadas | BPRO 1. Falta de coordinación en el desarrollo de nuevos proyectos de provisión de agua asociados a proyectos mineros |
| Objetivo | Realizar un estudio que determine la viabilidad de integrar la infraestructura hídrica de la región, que considere aspectos técnicos, legales y regulatorios, económicos y socio ambientales. |
| Descripción | <p>Se propone un estudio técnico de carácter regional, que permita evaluar las alternativas para interconexión hídrica. Los componentes principales son los siguientes:</p> <p>Evaluación técnica: Determinación de condiciones base para una red de distribución integrada de agua en la región de Atacama: nodos de oferta, demanda, acumulación. Redes principales, sinergias, eficiencias, etc. Evaluación de demanda actual y futura, y balance con oferta.</p> <p>Evaluación Legal y regulatoria: Revisión de aspectos normativos y regulatorios sobre la provisión de agua, registro de servicios (depuración, transporte, elevación, almacenamiento, respaldo, etc.), formas de organización y administración, etc.</p> <p>Evaluación Económica: Revisión de factibilidad económica, costos de implementación, tarifas diferenciadas por servicio, financiamiento, entre otras.</p> <p>Evaluación Socio Ambiental: Revisión de las estrategias de uso del borde costero y de la distribución en el territorio interior. Atención a necesidades de seguridad hídrica de las personas, identificando % de asignación para proveer el recurso, o bien dar respaldo a puntos de demanda.</p> |
| Actividades principales | Estudio técnico de carácter regional con evaluación de aspectos técnicos, legales y regulatorios, económicos y socio ambientales. |
| Ubicación | Región de Atacama |
| Relación con otras iniciativas prioritizadas | PRO 1.2: Estudios regulatorios y operacionales GES 3.1: Plan Estratégico de Gestión Hídrica Regional GOB 1.1: Construcción de un Sistema de Gobernanza regional |
| Beneficiarios | Habitantes de la región de Atacama |
| Costo de implementación | \$800 millones de pesos |
| Duración | 24 meses |
| Fuente de Financiamiento | Sectorial / Regional |
| Institución Responsable | Ministerio de Minería |
| Plazo de Implementación | 1 a 5 años |
| Recomendaciones | Si bien se asigna la iniciativa al Ministerio de Minería, ésta bien podría ser ejecutada por el gobierno Regional o ser el fruto de una colaboración público privada. |

4.1.2 PRO 1.2: Estudios regulatorios y operacionales

| | |
|---|---|
|  | Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas |
| Línea de Acción | PRO 1. Interconexión hídrica de la región de Atacama |
| Iniciativa | PRO 1.2 Estudios regulatorios y operacionales |
| Brechas asociadas | BPRO 1. Falta de coordinación en el desarrollo de nuevos proyectos de provisión de agua asociados a proyectos mineros |
| Objetivo | Evaluar aspectos regulatorios y operacionales requeridos para el uso integrado de aguas terrestres (definidas en el Código de Aguas) y aguas marítimas (sin definición oficial) |
| Descripción | <p>Para permitir el desarrollo sostenible del uso de agua de mar desalinizada, se requiere modernizar los cuerpos legales que regulan el uso de las aguas de mar, desaladas o no, equiparándolas con los conceptos asociados a los derechos de aprovechamiento de aguas. De esta forma, será posible un uso combinado de ambas fuentes, al punto que sea indistinguible la una de la otra.</p> <p>En complemento, se requiere de estudios operacionales que permitan la implementación de un mercado del agua donde se reconozcan múltiples servicios asociados, siguiendo el modelo del mercado eléctrico. De esta forma, sería posible identificar y poner en valor no solo los servicios de provisión de agua con los tratamientos requeridos para alcanzar los estándares de calidad requeridos, sino que también de conducción, distribución, almacenamiento, respaldo, elevación, así como también otros servicios socioambientales como la seguridad hídrica para las personas, la protección de la cuenca que da sustento al ciclo hidrológico, o el resguardo del borde costero y las aguas marinas.</p> |
| Actividades principales | <p>Estudio regulatorio: Propuesta de desarrollo en el marco de la normativa actual, y propuesta de actualización de los marcos normativos, incluyendo aquellas correspondientes a una Estrategia Regional de Desalinización.</p> <p>Estudio operacional: Estudio de opciones de operación de in sistema interconectado, precios de transferencia, alternativas de financiamiento, monetización, fijación de tarifas, ente regulador, ente operador, entre otros.</p> |
| Ubicación | Región de Atacama |
| Relación con otras iniciativas priorizadas | BPRO 1. Falta de coordinación en el desarrollo de nuevos proyectos de provisión de agua asociados a proyectos mineros |
| Beneficiarios | Habitantes de la Región de Atacama |
| Costo de implementación | \$400 millones de pesos |
| Duración | 12 meses |
| Fuente de Financiamiento | Regional |
| Institución Responsable | Ministerio de Minería |
| Plazo de Implementación | 1 a 5 años |
| Recomendaciones | No hay |

4.2 PRO 2: Nuevas fuentes de agua para uso agrícola

4.2.1 PRO 2.1: Implementación de un sistema de regadío a partir de atrapanieblas en el sector Falda Verde, Chañaral

|  | Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas |
|---|--|
| Línea de Acción | PRO 2. Nuevas fuentes de agua para uso agrícola |
| Iniciativa | PRO 2.1 Implementación de un sistema de regadío a partir de atrapanieblas en el sector Falda Verde, Chañaral |
| Brechas asociadas | BPRO 2. No existe disponibilidad de agua accesible y asequible para actividad agrícola |
| Objetivo | Promover la producción de agua a partir de neblinas costeras como una solución basada en la naturaleza ante la falta de agua para el uso agrícola. |
| Descripción | Se propone la implementación de un sistema de atrapanieblas de 2.000 m ² en el sector de Falda Verde, en la costa de Chañaral, con una capacidad de producción de 10 m ³ /día de agua (con una tasa estimada de 5 L/m ²). Este sistema debe considerar además un estanque de regulación de 50 m ³ , y una red de conducción y distribución de agua. |
| Actividades principales | Instalación de sistema de riego: <ul style="list-style-type: none">- Atrapanieblas (2.000 m²)- Estanque de acumulación (50 m³)- Red de distribución- Otros |
| Ubicación | Chañaral, sector Falda Verde |
| Relación con otras iniciativas priorizadas | PER 2.2 Reutilización de aguas servidas en Chañaral |
| Beneficiarios | Los beneficiarios de esta instalación serían pequeños productores de la ciudad de Chañaral, que cuenten con los permisos de uso de las zonas de riego. El costo aproximado de esta instalación, considerando una red de distribución y de almacenamiento, es de \$75 millones de pesos. |
| Costo de implementación | \$100 millones de pesos |
| Duración | 06 meses para la construcción. Se espera una vida útil de 10 años. |
| Fuente de Financiamiento | Sectorial |
| Institución Responsable | Instituto de Desarrollo Agropecuario |
| Plazo de Implementación | 1 a 5 años |
| Recomendaciones | No se identificó directamente a los beneficiarios del sistema de riego. |

5 SEGURIDAD HÍDRICA ANTE EVENTOS EXTREMOS

5.1 DES 1: Adaptación ante Eventos Extremos


5.1.1 DES 1.1: Obras Fluviales y de Control Aluvional en la cuenca río Salado

| | |
|---|--|
|  | Seguridad Hídrica ante Eventos Extremos |
| Línea de Acción | DES 1. Adaptación ante eventos extremos |
| Iniciativa | DES 1.1 Obras fluviales y de control aluvional en la cuenca río Salado |
| Brechas asociadas | BDES 1. Falta de infraestructura para defensas fluviales ante eventos extremos |
| Objetivo | Reducir la exposición de los habitantes de la cuenca al riesgo de inundaciones y procesos de carácter aluvional. |
| Descripción | <p>El Ministerio de Obras Públicas, a través de la Dirección de Obras Hidráulicas, se encuentra evaluando ambientalmente el proyecto "Obras Fluviales y de Control Aluvional en la cuenca río Salado, región de Atacama.</p> <p>El proyecto consiste en obras de canalización del río Salado en las tres principales localidades presentes en su cuenca: Diego de Almagro, El Salado y Chañaral. El diseño corresponde a obras de regularización y control fluvial de manera de permitir el escurrimiento sin desbordarse del caudal mayor, ya sea para la mayor crecida aluvional registrada a la fecha (el evento ocurrido en marzo de 2015) o para un periodo de retorno de 100 años. El diseño permite el paso de las crecidas líquidas y detríticas de forma controlada hasta su descarga final en el Océano Pacífico, en la playa de Chañaral.</p> <p>Para la definición de los trazados se consideraron los factores ambientales, aspectos paisajísticos, restricciones urbanísticas de cada localidad, criterios hidráulicos y modelación computacional hidráulica que permitieron determinar las dimensiones de las obras propuestas.</p> |
| Actividades principales | <p>Para las tres localidades, aguas arriba, se consideró una longitud de canalización tal que permita el empotramiento de cada obra con los cerros, generando una transición gradual entre el río Salado y el inicio de la obra, de manera que se asegure el encauzamiento del río hacia la canalización y con esto se eviten desbordes laterales en cada localidad (como los ocurridos en marzo de 2015).</p> <p>En tanto, para el tramo final de cada obra se consideró que para que la canalización transite la crecida al cauce natural, su término se localice 200 m aguas abajo de la zona urbana, de manera que el flujo siga su curso de manera natural por el cauce del río hasta encauzar nuevamente en la canalización de la siguiente localidad.</p> <p>El caso de la localidad de Chañaral es diferente, en tanto el término de la obra, que coincide con la descarga hacia la playa en el Océano Pacífico, es en el punto definido como la línea de playa.</p> |
| Ubicación | Cuenca río Salado |
| Relación con otras iniciativas priorizadas | No tiene |
| Beneficiarios | Habitantes de la cuenca |
| Costo de implementación | \$83.418 millones de pesos |
| Duración | Más de 10 años |
| Fuente de Financiamiento | Sectorial |
| Institución Responsable | Dirección de Obras Hidráulicas |
| Plazo de Implementación | Desarrollo gradual entre el corto y hasta el largo plazo |
| Recomendaciones | No hay |


6 GESTIÓN INSTITUCIONAL

6.1 GES 1: Generación de información


6.1.1 GES 1.1: Nuevas estaciones meteorológicas

|  | Gestión Institucional |
|---|---|
| Línea de Acción | GES 1. Generación de información |
| Iniciativa | GES 1.1 Nuevas estaciones meteorológicas |
| Brechas asociadas | BGES 1. Falta de información meteorológica ante eventos extremos |
| Objetivo | Contribuir a mejorar la capacidad de anticipación de crecidas aluvionales a partir de mejoras en la disponibilidad de información meteorológica. |
| Descripción | <p>Uno de los elementos clave en la magnitud de los efectos de las crecidas aluvionales experimentadas en los años 2015 y 2017, es la falta de información y conocimiento sobre el funcionamiento de la cuenca ante distintos tipos de precipitaciones, así como la posibilidad de implementar medidas complementarias, no necesariamente estructurales, que permitan minimizar el efecto de estos fenómenos meteorológicos. En particular, se definen dos iniciativas asociadas a esta línea de acción: la instalación, operación y mantención de nuevas estaciones de la Red Hidrométrica de la DGA, y las definiciones para la coordinación interinstitucional.</p> <p>La Dirección General de Aguas realizó el estudio "Diagnóstico para la implementación de Red Nacional de Alerta de Eventos Hidrometeorológicos Extremos" (DGA, 2021d), en el que se evaluó la necesidad u oportunidad de instalar nuevas estaciones dentro de la red hidrométrica, no necesariamente con el propósito de disponer de antecedentes de caudales, sino que con el propósito de informar a un Sistema de Alerta Temprana. Se considera necesaria la implementación de estas estaciones, las que tienen el siguiente alcance.</p> |
| Actividades principales | <p>Instalar las siguientes estaciones meteorológicas</p> <p>Sector Potrerillos Cuenca intermedia del río Salado</p> |
| Ubicación | Cuenca río Salado, Sector Potrerillos y Cuenca intermedia del río Salado |
| Relación con otras iniciativas prioritizadas | GES 1.4: Acuerdo de intercambio de información con privados |
| Beneficiarios | Habitantes de la cuenca del río Salado |
| Costo de implementación | \$40 millones de pesos |
| Duración | 12 meses |
| Fuente de Financiamiento | Sectorial |
| Institución Responsable | Dirección General de Aguas, Unidad de Hidrología |
| Plazo de Implementación | 1 a 5 años |
| Recomendaciones | No tiene |

6.1.2 GES 1.2: Nuevos Pozos de monitoreo

| | |
|---|---|
|  | Gestión Institucional |
| Línea de Acción | GES 1. Generación de información |
| Iniciativa | GES 1.2 Nuevos pozos de monitoreo |
| Brechas asociadas | BGES 2. Falta de información sobre la hidrología e hidrogeología de la cuenca |
| Objetivo | Mejorar la información sobre la hidrogeología de la cuenca mediante la implementación de 4 pozos de seguimiento de calidad de aguas y niveles. |
| Descripción | <p>Se identificó el siguiente listado de pozos a ser instalados en la cuenca. En la referencia se da la justificación de cada uno de estos.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pozo El Salvador. Cerca del pueblo de El Salvador, un pequeño acuífero de entrada a valle - Pozo río Salado. Medición del acuífero más profundo y grande de la cuenca - Pozo Chañaral. Pozo a la entrada de Chañaral. Sirve para medir el nivel en la desembocadura de toda la cuenca, y también para medir calidad de agua que está llegando a la comuna y al mar. También puede ser útil para ver el efecto de intrusión salina - Pozo Diego de Almagro. Pozo en el punto de confluencia de los 3 sectores acuíferos más importantes de la cuenca. |
| Actividades principales | <p>Identificación de sectores adecuados para la instalación de los pozos (propiedad de los terrenos, accesibilidad, otros)</p> <p>Construcción de los pozos</p> |
| Ubicación | Cuenca río Salado, en cuatro sectores |
| Relación con otras iniciativas priorizadas | GES 1.3: Seguimiento y Monitoreo |
| Beneficiarios | Habitantes de la cuenca del río Salado |
| Costo de implementación | \$358 millones de pesos |
| Duración | 12 meses |
| Fuente de Financiamiento | Sectorial |
| Institución Responsable | Dirección General de Aguas, Hidrología |
| Plazo de Implementación | 1 a 5 años |
| Recomendaciones | No hay |


6.1.3 GES 1.3: Seguimiento y Monitoreo

|  | Gestión Institucional |
|---|--|
| Línea de Acción | GES 1. Generación de información |
| Iniciativa | GES 1.3 Seguimiento y Monitoreo |
| Brechas asociadas | BGES 2. Falta de información sobre la hidrología e hidrogeología de la cuenca |
| Objetivo | Realizar un seguimiento de calidad de aguas en los 4 pozos propuestos en GES 1.2, el que sea complementario a la medición de niveles estáticos que se realizará en forma automática |
| Descripción | <p>Se identificó la necesidad de realizar los siguientes monitoreos específicos para complementar la información disponible sobre la cuenca.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Al menos una (1) campaña de aforo anual, en temporada de aguas altas, en distintos puntos de la cuenca - Al menos una (1) campaña de monitoreo anual, en distintos puntos de la cuenca (uno por cada SHAC propuesto). El costo es para toda la cuenca. Los parámetros a considerar son aquellos contenidos en la NCh 409, Norma de Calidad del Agua Potable, Tabla 1, 2 y 7. |
| Actividades principales | <ul style="list-style-type: none"> - Aforos en el río Salado - Seguimiento hidroquímico y de niveles en 4 pozos en la cuenca |
| Ubicación | <p>Cuenca río Salado</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cauce del río Salado, en puntos por identificar - 4 pozos de seguimiento propuestos en GES 1.2 |
| Relación con otras iniciativas priorizadas | Ges 1.2, Nuevos Pozos de monitoreo |
| Beneficiarios | Habitantes de la cuenca del río Salado |
| Costo de implementación | \$750 millones de pesos |
| Duración | Permanente (30 años) |
| Fuente de Financiamiento | Sectorial |
| Institución Responsable | Dirección General de Aguas, Hidrología |
| Plazo de Implementación | Permanente |
| Recomendaciones | No hay |

6.1.4 GES 1.4: Acuerdo de intercambio de información con privados


|  | Gestión Institucional |
|---|---|
| Línea de Acción | GES 1. Generación de información |
| Iniciativa | GES 1.4 Acuerdo de intercambio de información con privados |
| Brechas asociadas | BGES 2. Apunta a la Falta de información sobre la hidrología e hidrogeología de la cuenca |
| Objetivo | Se propone la obtención de un acuerdo de intercambio de información con empresas privadas, principalmente empresas mineras, que puedan aportar antecedentes en tiempo real para disponer de información meteorológica que contribuya a reforzar el conocimiento, comprensión y capacidad de anticipación ante eventos extremos. |
| Descripción | <p>La medida corresponde a un acuerdo voluntario entre las partes, y no resulta en la instalación estaciones meteorológicas adicionales a las ya comprometidas dentro del presente Plan estratégico, sin perjuicio de que a futuro se requiera el desarrollo de plataformas integradas para la administración de la información.</p> <p>La medida es liderada por la Dirección General de Aguas, en colaboración con las empresas mineras de la cuenca, actuales y futuras. No se le asignó un costo de implementación específico, y su materialización se debe realizar en el corto plazo. Otro aspecto para desarrollar es la capacidad de propuesta regional, particularmente enfocada en la capacitación para la presentación de proyectos de financiamiento regional que permitan, por ejemplo, ampliar la red hidrométrica.</p> |
| Actividades principales | <ul style="list-style-type: none"> - Establecimiento del acuerdo - Registro de intercambio de información |
| Ubicación | Cuenca río Salado |
| Relación con otras iniciativas priorizadas | GES 1.1: Nuevas estaciones meteorológicas GES 1.2: Nuevos Pozos de monitoreo GES 1.3: Seguimiento y Monitoreo |
| Beneficiarios | Habitantes de la cuenca del río Salado |
| Costo de implementación | -- |
| Duración | Permanente |
| Fuente de Financiamiento | No aplica |
| Institución Responsable | Dirección General de Aguas, Regional |
| Plazo de Implementación | 1 a 5 años |
| Recomendaciones | No hay |

6.1.5 GES 1.5: Estudios específicos


|  | Gestión Institucional |
|---|--|
| Línea de Acción | GES 1. Generación de información |
| Iniciativa | GES 1.5 Estudios específicos |
| Brechas asociadas | BGES 3. Ausencia de información básica y de modelación |
| Objetivo | Complementar la información hidrogeológica disponible, con el propósito de evaluar la conveniencia de distinguir entre uno o más Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento común. |
| Descripción | El alcance de esta iniciativa es estudiar de forma más detallada el acuífero de la cuenca, sus propiedades hidrogeológicas, geometría, estratos y niveles, con el objetivo de estudiar una eventual redefinición de SHAC que sea más apropiada para la gestión de aguas subterráneas de la cuenca. |
| Actividades principales | Campaña de gravimetría Campaña TEM Informe Técnico |
| Ubicación | Cuenca río Salado |
| Relación con otras iniciativas priorizadas | GES 1.2, Nuevos Pozos de Monitoreo |
| Beneficiarios | Habitantes de la cuenca del río Salado |
| Costo de implementación | \$300 millones de pesos |
| Duración | 12 meses |
| Fuente de Financiamiento | Sectorial |
| Institución Responsable | Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación |
| Plazo de Implementación | 1 a 5 años |
| Recomendaciones | No hay |

6.2 GES 2: Control de Extracciones y Fiscalización

6.2.1 GES 2.1: Monitoreo de Extracciones Efectivas


|  | Gestión Institucional |
|---|---|
| Línea de Acción | GES 2. Control de extracciones y fiscalización |
| Iniciativa | GES 2.1 Monitoreo de extracciones efectivas |
| Brechas asociadas | BGES 4. Desconocimiento de las extracciones regulares e irregulares |
| Objetivo | Implementar en la cuenca del río Salado el Monitoreo de Extracciones Efectivas para mejorar el control de las extracciones actuales. |
| Descripción | Dada la relevancia de las extracciones que se realizan en la cuenca río Salado en relación a la oferta de sus fuentes naturales, y particularmente en los humedales de la cordillera de Domeyko, es que se propone la incorporación de esta cuenca al sistema de Monitoreo de Extracciones Efectivas y, en particular, que se establezca que los usuarios institucionales (empresas mineras y sanitarias) se acojan al más alto estándar de registro y reporte de la información. |
| Actividades principales | Dictaminar el Monitoreo de Extracciones Efectivas para la cuenca del río Salado |
| Ubicación | Cuenca río Salado |
| Relación con otras iniciativas priorizadas | No tiene |
| Beneficiarios | No aplica |
| Costo de implementación | -- |
| Duración | Permanente |
| Fuente de Financiamiento | No aplica |
| Institución Responsable | Dirección General de Aguas, Departamento de Fiscalización |
| Plazo de Implementación | 1 a 5 años |
| Recomendaciones | No tiene |

6.2.2 GES 2.2: Acuerdos de fiscalización con la ciudadanía y municipios

|  | Gestión Institucional |
|---|---|
| Línea de Acción | GES 2. Control de extracciones y fiscalización |
| Iniciativa | GES 2.2 Acuerdos de fiscalización con la ciudadanía y municipios |
| Brechas asociadas | BGES 4. Desconocimiento de las extracciones regulares e irregulares |
| Objetivo | Mejorar el control ciudadano de las extracciones irregulares mediante el establecimiento de procedimientos de trabajo conjunto con los municipios de la cuenca. |
| Descripción | <p>Dada las características de la distribución de los recursos hídricos y los derechos de aprovechamiento de agua superficiales y subterráneos en la región de Atacama, las cuencas de Copiapó y de Huasco concentran buena parte de la capacidad de fiscalización de la Dirección General de Aguas.</p> <p>En consecuencia, la presencia de fiscalizadores en cuencas como la del río Salado es menor en comparación a otras cuencas principales y, de la misma forma, los procedimientos de fiscalización no son de conocimiento común entre la ciudadanía y los municipios de Chañaral y Diego de Almagro.</p> <p>Por esta razón, se propone la realización de una campaña de capacitación y sensibilización a los municipios y a la ciudadanía organizada, que permita facilitar la realización de denuncias para el caso de extracciones irregulares de derechos de aprovechamiento de agua, de manera tal que éstas aporten los antecedentes mínimos requeridos para que se pueda realizar seguimiento al ilícito.</p> <p>Para esto, la Dirección General de Aguas debe realizar un acercamiento con los municipios respectivos, y destinar a los profesionales específicos para las capacitaciones y acompañamiento requerido. Si bien es una actividad que requiere recursos, se entiende que forman parte de la destinación regular de fondos, por lo que se no se destina un presupuesto adicional a esta iniciativa. Su materialización debe realizarse en el corto plazo.</p> |
| Actividades principales | <ul style="list-style-type: none"> - Acercamiento entre DGA y municipios - Capacitación sobre procedimientos de fiscalización e información mínima |
| Ubicación | Cuenca río Salado |
| Relación con otras iniciativas priorizadas | No hay |
| Beneficiarios | No aplica |
| Costo de implementación | -- |
| Duración | Permanente |
| Fuente de Financiamiento | Sectorial |
| Institución Responsable | Dirección General de Aguas, Fiscalización |
| Plazo de Implementación | 1 a 5 años |
| Recomendaciones | No hay |

6.3 GES 3: Planificación regional

6.3.1 GES 3.1: Plan Estratégico de Gestión Hídrica Regional

|  | Gestión Institucional |
|---|--|
| Línea de Acción | GES 3. Planificación regional |
| Iniciativa | GES 3.1 Plan estratégico de Gestión Hídrica Regional |
| Brechas asociadas | BGES 5. Necesidad de una planificación de recursos hídricos a nivel regional |
| Objetivo | Elaborar un Plan Estratégico de Recursos Hídricos a nivel regional, que integre la totalidad de las fuentes de agua continentales y marinas, así como los distintos usos identificados, de manera que se incorporen los trasvases de agua que actualmente sobrepasan el ámbito territorial de las cuencas que componen la región de Atacama. |
| Descripción | Elaborar un Plan Estratégico de Recursos Hídricos que tenga como propósito la seguridad hídrica a nivel regional, y que permita incorporar los trasvases de agua de distintas fuentes que actualmente ya ocurren dentro de la cuenca. La estructura de este Plan es similar a la del presente Plan Estratégico. |
| Actividades principales | <ul style="list-style-type: none"> - Análisis crítico de los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica por cuenca - Elaboración de un Plan Estratégico de Recursos Hídricos a nivel regional |
| Ubicación | Región de Atacama |
| Relación con otras iniciativas prioritizadas | GOB 1.1: Construcción de un Sistema de Gobernanza regional GOB 1.2: Establecimiento de una Secretaría Técnica |
| Beneficiarios | Habitantes de la región de Atacama |
| Costo de implementación | \$800 millones de pesos |
| Duración | 24 meses |
| Fuente de Financiamiento | Sectorial / Regional |
| Institución Responsable | Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación |
| Plazo de Implementación | 1 a 5 años |
| Recomendaciones | No hay |


7 GOBERNANZA

7.1 GOB 1: Construcción de un Sistema de Gobernanza regional

7.1.1 GOB 1.1: Construcción de un Sistema de Gobernanza regional

|  Gobernanza | |
|---|---|
| Línea de Acción | GOB 1. Construcción de un Sistema de Gobernanza regional |
| Iniciativa | GOB 1.1 Construcción de un Sistema de Gobernanza regional |
| Brechas asociadas | BGOB 1. No existe una gobernanza hídrica en la cuenca |
| Objetivo | Se propone la definición de una estructura, sistema o modelo de gobernanza de partida que permita la implementación de las acciones compartidas del Plan Estratégico, dentro de las cuales destaca el avance hacia la interconexión hídrica de la cuenca y la región. |
| Descripción | <p>Se propone la definición de una gobernanza de partida que permita la realización de los estudios básicos requeridos para la implementación de la red interconectada de recursos hídricos. Los actores que participen de esta iniciativa deben ser públicos, privados, pero también de la sociedad civil. Sin embargo, dado el carácter provisorio de esta instancia, se entiende que es posible incorporar nuevos actores en una gobernanza definitiva. A partir de este conjunto de actores, se debe proponer una forma de organización, que a su vez permita construir una hoja de ruta para el uso integrado de los recursos hídricos en la región de Atacama.</p> <p>Posteriormente, una vez que se hayan realizado los estudios específicos y conducido la discusión inicial, lo cual es el propósito de la gobernanza de partida, se debe establecer una gobernanza definitiva. En forma preliminar, se propone la creación de un Consejo Regional de Recursos Hídricos que canalice, dentro de su estructura, la seguridad hídrica para las personas, para los ecosistemas y las actividades productivas, y en particular, aborde la interconexión hídrica como una estrategia central.</p> <p>Tanto para la gobernanza de partida como para el Consejo de Recursos Hídricos, se propone el establecimiento de una Secretaría Técnica que provea del acompañamiento permanente a las actividades que se desarrollan.</p> <p>Se entiende que el establecimiento de la gobernanza no tiene un costo asociado y que su implementación depende del consenso entre las partes.</p> |
| Actividades principales | <ul style="list-style-type: none"> - Definición de sistema de gobernanza de partida - Implementación |
| Ubicación | Región de Atacama |
| Relación con otras iniciativas priorizadas | GOB 1.2: Establecimiento de una Secretaría Técnica |
| Beneficiarios | Habitantes de la Región de Atacama |
| Costo de implementación | -- |
| Duración | Permanente |
| Fuente de Financiamiento | No aplica |
| Institución Responsable | Gobierno Regional |
| Plazo de Implementación | 1 a 5 años |
| Recomendaciones | No hay |

7.1.2 GOB 1.2: Establecimiento de una Secretaría Técnica

| | |
|---|---|
|  | Gobernanza |
| Línea de Acción | GOB 1. Construcción de un Sistema de Gobernanza regional |
| Iniciativa | GOB 1.2 Establecimiento de una Secretaría Técnica permanente |
| Brechas asociadas | BGOB 1. No existe una gobernanza hídrica en la cuenca |
| Objetivo | Contar con una instancia técnica y permanente que brinde continuidad y respaldo a la instalación y funcionamiento del sistema de Gobernanza regional. |
| Descripción | <p>Se propone el establecimiento de una Secretaría Técnica de carácter permanente, que preste apoyo a la Gobernanza de la Cuenca. Las características de esta Secretaría son las siguientes:</p> <p>Propósito:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Proporcionar continuidad operacional a la gobernanza establecida. - Coordinación de reuniones y actividades técnicas. - Análisis técnicos de iniciativas y otras propuestas que requieran de coordinación intersectorial. - Seguimiento a indicadores hídricos de cuenca y del Plan Estratégico. <p>Estructura:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Secretario/a (1) - Staff de asesores especializados (4) - Staff de ingenieros de estudio (4) <p>Operación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Funcionamiento permanente en apoyo a la gobernanza, ya sea de partida o definitiva <p>El costo de esta Secretaría se estimó en \$200 millones de pesos al año, y considera el pago de remuneraciones y costos operacionales.</p> |
| Actividades principales | Instalación de la Secretaría Técnica |
| Ubicación | Región de Atacama |
| Relación con otras iniciativas prioritizadas | GOB 1.1: Construcción de un Sistema de Gobernanza regional |
| Beneficiarios | Habitantes de la región de Atacama |
| Costo de implementación | \$9.000 millones de pesos |
| Duración | Permanente |
| Fuente de Financiamiento | Regional |
| Institución Responsable | Gobierno Regional |
| Plazo de Implementación | Permanente |
| Recomendaciones | No hay |



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO J6

**EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS SERVIDAS
EN CHAÑARAL**

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. - NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021

1. ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA REUTILIZACIÓN DE AGUA EN LA LOCALIDAD DE CHAÑARAL

El marco regulatorio del sector sanitario establece, entre otras, las definiciones de los distintos tipos de aguas asociadas al proceso de saneamiento. En particular, la Ley 21.075 que regula los sistemas de reutilización de las aguas grises, establece las siguientes definiciones en su artículo segundo:

- a) **"Aguas grises"**: aguas servidas domésticas residuales provenientes de las tinajas de baño, duchas, lavaderos, lavatorios y otros, excluyendo las aguas negras.
- b) **"Aguas grises tratadas"**: aquellas que se han sometido a los procesos de tratamiento requeridos para el uso previsto.
- c) **"Aguas negras"**: aguas residuales que contienen excretas.
- d) **"Aguas residuales"**: aquellas que se descargan después de haber sido utilizadas en un proceso o producidas por éste, y que no tienen ningún valor inmediato para dicho proceso.
- e) **"Aguas servidas domésticas"**: aguas residuales que contienen los desechos de una edificación, compuestas por aguas grises y aguas negras.

Sin embargo, la Ley 21.075 y su reglamento se acotan al desarrollo de iniciativas para el reúso de aguas grises, pero no se refiere a las aguas servidas domésticas tratadas. En este sentido, las aguas residuales disponibles para ser tratadas podrían, eventualmente, ser reutilizadas, dado que los servicios sanitarios de producción y distribución de agua potable y recolección y disposición de las aguas residuales no poseen regulación expresa respecto del titular del dominio de las aguas residuales una vez que han sido tratadas (Fundación Chile, 2016).

Alternativas de Uso de las aguas servidas tratadas

Respecto de los destinos potenciales, la Ley 21.075, si bien se refiere al reúso de aguas grises, aporta en la definición de los siguientes destinos potenciales (artículo 8o):

1. **Urbanos.** En esta categoría se incluyen el riego de jardines o descarga de aparatos sanitarios.
2. **Recreativos.** Esta categoría incluye el riego de áreas verdes públicas, campos deportivos u otros con libre acceso al público.
3. **Ornamentales.** En esta categoría se incluyen las áreas verdes y jardines ornamentales sin acceso al público.
4. **Industriales.** Incluye el uso en todo tipo de procesos industriales no destinados a productos alimenticios y fines de refrigeración no evaporativos.
5. **Ambientales.** Incluye el riego de especies reforestadas, la mantención de humedales y todo otro uso que contribuya a la conservación y sustentabilidad ambiental.

Complementariamente, en su artículo noveno se prohíbe la reutilización de aguas grises tratadas para los siguientes usos:

1. **Consumo humano** y en general servicios de provisión de agua potable, así como riego de frutas y hortalizas que crecen a ras de suelo y suelen ser consumidas crudas por las personas, o que sirvan de alimento a animales que pueden transmitir afecciones a la salud humana.
2. Procesos productivos de la **industria alimenticia**.
3. Uso en **establecimientos de salud** en general.
4. **Cultivo acuícola** de moluscos filtradores.
5. Uso en **piletas, piscinas y balnearios**.
6. Uso en **torres de refrigeración** y condensadores evaporativos.
7. Uso en fuentes o piletas ornamentales en que exista **riesgo de contacto del agua con las personas**.
8. Cualquier otro uso que la autoridad sanitaria considere riesgoso para la salud.

En consecuencia, la reutilización de aguas servidas domésticas se realiza en forma general y de distintas maneras a lo largo del país. En la misma cuenca, los efluentes de las PTAS de Diego de Almagro y El Salado se descargan al río del mismo nombre, confundándose con las aguas que naturalmente transporta este cauce, y aportando al consumo minero que se realiza de estas aguas. Complementariamente, en 2008, Aguas Chañar concretó la venta de aguas residuales tratadas a Minera Candelaria. Estas aguas son transportadas desde la planta de tratamiento sanitaria hasta un estanque de acumulación de agua de proceso de la compañía Minera Candelaria, a un caudal de 175 l/s (Fundación Chile, 2016).

Actualmente, la localidad de Chañaral descarga sus aguas servidas al mar mediante un emisario submarino de 1.602 m de longitud, y un caudal máximo de 50 l/s (Aguas Chañar, 2017b). Según se indica en el punto 3.1 Demanda para uso humano, en Chañaral el consumo de agua en la fecha actual es de 1,08 hm³/año, y se proyecta con el mismo volumen para el año 2050 según punto 3.1.1 Demanda física de agua potable. Se estima que el volumen de agua descargado al mar es de alrededor del 60% del total de aguas consumidas, por lo que sería de 0,516 hm³/año en la actualidad.

2. EVALUACIÓN DEL COSTO DE REUTILIZACIÓN

Como se propone, una alternativa para aumentar la disponibilidad de agua en la cuenca, y particularmente en la localidad de Chañaral, es el tratamiento y reutilización de las aguas servidas que actualmente se descargan al mar vía un emisario submarino. En el análisis realizado se estimó el costo de disponibilizar el agua para reúso, el cual es inferior al costo de desalinización de agua de mar en el mismo punto de entrega, pero además tiene como externalidades positivas la no intervención del borde costero. Sin embargo, esta inversión escapa a las consideraciones de la empresa modelo definida por la SISS para localidades costeras, por lo que estaría por sobre las definiciones del Plan de Desarrollo de la empresa sanitaria.

En consecuencia, se realizó un análisis económico con el propósito de determinar la viabilidad del tratamiento de las aguas servidas de la localidad de Chañaral, en función de otras fuentes similares de agua.

Determinación del costo de inversión (CAPEX)

Dado que se cuenta con un sistema de alcantarillado y tratamiento primario (previo a la descarga mediante el emisario submarino), se tomó como referencia el costo de instalación de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) similares a lo largo del país. Se encontraron las siguientes referencias (**Tabla 2-1**):

Tabla 2-1 Estimación del Costo de Inversión en una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas para Chañaral

| Proyecto | Nº de usuarios | Caudal medio de diseño (l/s) | Costo de Inversión (Millones de dólares) | Costo de inversión por arranque (USD/arranque) |
|---|----------------|------------------------------|--|--|
| Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de Alto Zapallar, Curicó | 3.300 | No declara | 3,06 | 927,3 |
| Planta de Tratamiento de aguas servidas localidad Antihuala, Temuco Chico y La Araucana | 2.000 | 12,3 | 1,25 | 625,0 |
| Solución sanitaria para un sector de Isla de Maipo | 9.175* | 61,2 | 2,40** | 261,6 |
| Promedio | | | | 604,6 |

(*) El proyecto declara una población atendida de 36.700 habitantes al año 2039. Para estimar el número de clientes se supuso una ocupación de 4 personas por cliente.

(**) El proyecto considera una PTAP y una PTAS, por un total de USD 4,0 millones. Por lo tanto, se consideró que la PTAS equivale al 60% del total de la inversión.

Fuente: Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental (www.seia.sea.gob.cl)

Según el Plan de Desarrollo de la ciudad de Chañaral (Aguas Chañar, 2017), la localidad cuenta con 4.328 clientes al año 2020, y se espera un aumento a 5.467 clientes al año 2031. Si se proyecta esta tendencia hasta el año 2050, el número de clientes llegaría a 6.605.

Se estima que la calidad de agua del efluente cumpla con lo establecido en el DS 90/00, que establece normas de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales¹. Sin embargo, se propone además un post tratamiento que permita el cumplimiento de la NCh 1.333, calidad de agua para riego. El valor referencial de este tratamiento supone un 20% de aumento en el costo de inversión, alcanzando a USD 4.792.060.-

| |
|---|
| (6.605 clientes) x (604,6 USD/cliente) x (20% NCh 1.333) = 4.792.060 USD |
|---|

¹ <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=182637>

No se incluyó dentro del CAPEX la construcción de una red de distribución de agua, ya sea para uso urbano en áreas verdes o bien para uso productivo. Al ser consultados por la evaluación, tanto la empresa sanitaria como la Super Intendencia de Servicios Sanitarios señalaron que una planta de este tipo requeriría obras anexas asociadas a la nivelación del terreno y conducción e impulsión de aguas, por un monto similar al estimado inicialmente, con esto, la inversión se duplica y alcanza un valor final de **\$9.584.120 USD**.

Determinación del costo de operación (OPEX)

El estudio "Diagnóstico del potencial de reúso de aguas residuales en la Región de Valparaíso" (Fundación Chile, 2016)² señala que el tratamiento de las aguas servidas hasta una calidad utilizable en uso agrícola o industrial tiene un costo de operación de 0,17 USD/m³. Por su parte, la Superintendencia de Servicios Sanitarios indicó que el costo es superior, siendo de aproximadamente **0,25 USD/m³**. A partir de esta última referencia, se estimó el costo total de operación a la fecha actual, y el valor proyectado al año 2050 (ver **Tabla 2-2**).

Tabla 2-2. Estimación del Costo de Operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas para Chañaral

| Año | Volumen anual (m3/año) | Costo de Operación (USD/m³) | Costo de Operación (USD/año) |
|------------|-------------------------------|---|-------------------------------------|
| 2021 | 516.000 | 0,25 | 129.000 |
| 2050 | 516.000 | 0,25 | 129.000 |

Fuente: Elaboración propia

Este monto incluye los gastos de administración y mantención de la PTAS, así como el sistema de cobro, previsión de incobrables, entre otros, mientras que no considera la elevación de agua ni la impulsión hasta otros puntos de entrega.

Evaluación del costo del agua de largo plazo

Para determinar el costo de agua de largo plazo, se realizó una evaluación de proyecto con una tasa de descuento de un 10%, y un costo de financiamiento de la inversión de un 3,0%. Los parámetros de la evaluación se presentan en la **Tabla 2-3**, así como el costo del agua tratada, el que equivale a **1,63 USD/m³**.

Según la SISS, la tarifa promedio del agua potable en Chañaral³ (punta – no punta), al mes de mayo de 2021, es de 1.289 pesos/m³. Si se considera un valor del dólar de \$800 pesos, el aumento de tarifa sería de aproximadamente \$1.302 pesos/m³, llegando a \$2.591 pesos/m³. Este aumento equivale a un 101% sobre el valor de la tarifa actual. Se debe considerar, sin embargo, que la determinación de las tarifas de los servicios sanitarios responde a un proceso donde se complementan todas las fuentes y tratamientos del agua dentro de un bloque o concesión, por lo que los

² Se tomó como referencia los valores indicados en la Tabla 2. Síntesis del Costo de Inversión para Quillota, Casablanca y Petorca.

³ Revisado en http://www.siss.gob.cl/586/articles-4498_Nueva_Atacama_G2_abr_2021.pdf

costos asociados a instalaciones específicas (como la planta desaladora de agua de mar de Caldera), se distribuyen dentro de todos los clientes.

No obstante, el aumento de tarifa es difícil de traspasar a los usuarios, ya que la empresa modelo de la SISS incorpora dentro del costo base la descarga de las aguas servidas al océano. Por esta razón, una forma de reutilizar estas aguas correspondería a un negocio entre privados que financiara tanto el CAPEX como el OPEX.

Tabla 2-3. Parámetros para la evaluación económica del costo del agua tratada

| CAPEX | | OPEX Y EVALUACIÓN | |
|--------------------------------------|------------|---|-------------|
| Parámetro | Valor | Parámetro | Valor |
| Costo de Inversión (USD) | 9.584.120 | Costo de Operación (USD/m ³) | 0,25 |
| Costo de financiamiento (%) | 3,0% | Tasa Interna de Retorno (TIR, %) | 10,0% |
| Plazo de Financiamiento (años) | 20 | Período de evaluación (años) | 30 |
| Costo Total del financiamiento (USD) | 17.309.987 | Costo del agua tratada (USD/m³) | 1,63 |

Fuente: Elaboración propia

Comparación con alternativas de provisión de agua

Una vez determinado el costo de producción de 1 m³ de agua, se debe comparar con la alternativa siguiente, que corresponde a la obtención de agua desalada a partir de una Planta Desaladora de Agua de Mar (PDAM). Según una presentación realizada por Domingo Zarzo, Director de Innovación de Sacyr Agua España, la tarifa de venta del agua desalada a nivel mundial oscila entre 0,49 USD/m³ (Singspring, Singapur), hasta 1,03 USD/m³ (Chaennai, India)⁴.

De esta forma, el costo del agua reutilizada podría encontrarse por sobre el rango de los precios de desalación. Sin embargo, se debe incorporar al análisis algunos aspectos ambientales:

- (1) La construcción de una PDAM y una PTAS requiere de permisos ambientales y terrenos similares, por lo que la complejidad también es similar.
- (2) La construcción de una PTAS no requiere de una concesión marina, ni tiene descargas asociadas en cuerpos marinos, por lo que no se vería enfrentada a conflictos por el uso del borde costero.
- (3) La operación de la PTAS generaría como subproducto compost, el cual podría ser destinado a enmiendas orgánicas en la cuenca.

⁴ Fundación COPEC-UC, 2021. XVII Seminario Internacional. Uso del agua de Mar. ¿Es una solución para la escasez hídrica? Ponencia SACYR agua, señala que a nivel mundial la tarifa de venta para contratos de desalinización de agua de mar oscila entre 0,49 y 1,03 USD/m³.

De esta forma, el agua reutilizada tendría mayor competitividad, levemente, ante el agua desalada en la localidad de Chañaral.

Los usos potenciales del agua producida podrían destinarse, en este caso, a tres alternativas principales:

1. Industria minera
2. Áreas verdes (recreativas u ornamentales)
3. Uso agrícola para frutales mayores o similares

En el caso de la industria minera, actualmente el consumo de ENAMI en El Salado alcanza a 0,30 hm³/año, por lo que podría perfectamente ser abastecida por el tratamiento de las aguas que resulten de este proceso. Adicionalmente, existe un proyecto de desalación para el proyecto minero Diego de Almagro, el cual contempla la elevación de agua de mar desde el sector de Punta Achurra, o bien complementar las aguas empleadas por Mantoverde o para el riego de magnetita en el proyecto Santo Domingo. Para esto es relevante la evaluación de alternativas de interconexión con otros puntos de demanda de agua en la región.

Complementariamente, si se utiliza para riego de áreas verdes sustituyendo el uso de agua potable, representaría un ahorro del costo para el municipio o particular responsable.

Finalmente, si el destino del agua correspondiera a uso agrícola, se requiere un cultivo que sea capaz de absorber un costo de 0,98 USD/m³ más conducción, lo que restringe los usos potenciales en la cuenca. En este sentido, un cultivo con un consumo mínimo de 6.000 m³/ha al año, tendría un costo de a lo menos \$4.704.000.- \$/ha/año, por lo que solo podría ser viable en tanto reciba algún tipo de subsidio. Si el total del agua reutilizada se destinara a agricultura, alcanzaría para abastecer a un total de 210 ha al año.

Conclusiones

El uso de aguas reutilizadas en la localidad de Chañaral tiene un costo estimado y referencial de 1,63 USD/m³, el cual no está considerado dentro de la tarifa de la empresa modelo para una localidad costera, según determina la SISS.

Por esta razón, la viabilidad de este proyecto pasa por la posibilidad de comercializar el agua producida, ya sea a un solo proyecto, o a múltiples usuarios. Cabe señalar que la normativa actual no establece restricciones para la comercialización de estas aguas (Fundación Chile, 2016).

Complementariamente, si bien se trataría de una iniciativa entre privados, la recuperación de 1 hm³/año de agua contribuye a aumentar la seguridad hídrica local, al mismo tiempo que reduce los efectos ambientales de la planta desalinizadora que contribuye a reducir.



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO J7 – INTEGRACIÓN DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Índice de Contenidos

| | Página |
|-----------------------------------|---------------|
| 1 ANTECEDENTES GENERALES | 1-3 |
| 2 ACTIVIDADES DE PARTICIPACIÓN | 2-5 |
| 2.1 Actores | 2-5 |
| 2.2 Taller 1 | 2-5 |
| 2.3 Taller 2 | 2-6 |
| 3 FORMULACIÓN DE UNA HOJA DE RUTA | 3-6 |
| 3.1 DIAGNÓSTICO | 3-6 |
| 3.2 PROPUESTA DE SOLUCIONES | 3-8 |
| 3.3 HOJA DE RUTA | 3-9 |
| 4 GOBERNANZA PARA LA HOJA DE RUTA | 4-10 |



1 ANTECEDENTES GENERALES

Los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica (PEGH) son instrumentos de carácter sectorial, que definen un conjunto de acciones tendientes a alcanzar y mantener la seguridad hídrica en el territorio.

Desde el punto de vista sectorial, la formulación de estos Planes responde al mandato de la Dirección General de Aguas respecto de Planificar el desarrollo del recurso en las fuentes naturales, con el fin de formular recomendaciones para su aprovechamiento y arbitrar las medidas necesarias para prevenir y evitar el agotamiento de los acuíferos (art 299, del Código de Aguas); y específicamente se encuentran contenidos en la propuesta de modificaciones a este cuerpo normativo que se encuentra en tramitación en el Congreso desde el año 2011, específicamente en el artículo 293 bis. La incorporación de los PEGH dentro del Código de Aguas es relevante en tanto se formaliza a este instrumento como la estructura base para la planificación en las cuencas, al mismo tiempo que definiría la necesidad de actualizarlo cada diez años.

Sin embargo, se aprecian dos vacíos de gestión en torno a los PEGH. Por un lado, se requiere de instrumentos de planificación de carácter regional, interregional (macrozonas) y nacional que defina las políticas generales respecto de la gestión de los recursos hídricos, al estilo de una Estrategia Nacional de Recursos Hídricos y una Política Nacional de Recursos Hídricos. En este sentido, el análisis por cuenca, si bien es adecuado a la escala local, no permite la discusión de soluciones que por su escala, trascienden el ámbito de la cuenca, como puede ser la evaluación de las carreteras hídricas, el rol de la Ley de Riego en la eficiencia hídrica, y particularmente una Estrategia Nacional de Desalinización.

En particular, el Código de Aguas señala en su artículo 1º que "Las aguas se dividen en marítimas y terrestres. Las disposiciones de este Código sólo se aplican a las aguas terrestres". Consecuentemente, en el Congreso existen dos procesos paralelos que regulan, por un lado, las modificaciones al Código de Aguas, y por el otro, la Desalinización, incluyendo la formulación de una Estrategia Nacional. Sin embargo, y como se analiza en el contexto del presente Plan Estratégico, las aguas desalinizadas y las aguas continentales se mezclan en múltiples procesos, y su uso conjunto dentro de un sistema interconectado parece ser clave para la región de Atacama. Sin embargo, al contar con distintos marcos jurídicos para cada fuente de agua, no existe claridad respecto de la integración de ambas desde el punto de vista legal. Este aspecto ha sido levantado como una brecha por parte de los actores que participan de la discusión sobre la interconexión hídrica.

Complementariamente, los Planes Estratégicos corresponden a instrumentos sectoriales, tal y como puede ser una estrategia regional de biodiversidad, o un plan de desarrollo energético. Sin embargo, no existe una mayor conexión con los Planes Regionales de Ordenamiento Territorial. Si bien el Decreto N°469/2019, publicado en julio de 2021,



aprueba la Política Nacional de Ordenamiento Territorial, está pendiente la discusión de la relación entre instrumentos, y sobre todo, de la regulación del uso del territorio fuera del contexto urbano. En particular, en la región existen potenciales conflictos por una eventual saturación del borde costero producto del desarrollo de Plantas Desaladoras de Agua de Mar. De ahí la necesidad de avanzar en un ordenamiento que favorezca acuerdos y consensos sobre el uso del territorio.

En este contexto, la gobernanza regional propuesta por el presente Plan Estratégico se superpone a los vacíos de planificación sectorial (ya que proporciona una instancia regional), al mismo tiempo que promueve acuerdos de uso del territorio en forma coordinada, acortando la brecha con los instrumentos de planificación territorial. Sin embargo, la misma gobernanza carece de un marco normativo, y para su funcionamiento requiere de un acuerdo regional que le proporcione un financiamiento mínimo para los equipos técnicos requeridos, así como para los estudios de perfil y prefactibilidad que de esta resulten.

En consecuencia, se requiere un avance coordinado del país en materia hídrica (aguas terrestres y marinas), en enfoques estratégicos (estrategias nacionales de recursos hídricos, minería, energía), y principalmente a nivel territorial, para una mejor gestión de los usos y sus externalidades, positivas y negativas.



2 ACTIVIDADES DE PARTICIPACIÓN

Se realizaron dos encuentros para discutir en primer lugar, la procedencia, y en segundo lugar, la forma de implementación, para la interconexión hídrica a nivel regional.

El primero de los encuentros se sostuvo con fecha 11 de noviembre de 2021, y el segundo, el 11 de diciembre. En estas actividades se consultó a los actores por el diagnóstico sobre la gestión de los recursos hídricos en la región, y en el segundo se validó una hoja de ruta y una estrategia de implementación.

2.1 Actores

Los actores considerados en este proceso fueron, en una primera instancia, aquellos relacionados al uso de aguas desaladas en minería. En este sentido, se entrevistó por separado a los siguientes actores:

- ENAPAC, Empresa promotora de la planta desaladora de mayor tamaño en Latinoamérica (2.00 l/s)
- ACADES, Asociación Chilena de Desalinización
- COCHILCO, Comisión Chilena del Cobre
- CCHC, Cámara Chilena de la Construcción región de Atacama
- CONSEJO MINERO, división de estudios
- SMI-ICE Chile
- Ministerio de Minería

A partir de las entrevistas realizadas, se concluyó la necesidad de realizar una instancia transversal donde se abordara la superposición de proyectos de desalación, así como otros conflictos ambientales detectados en los talleres de participación ciudadana.

2.2 Taller 1

El primer taller se realizó por vía telemática (ZOOM) el día miércoles 11 de noviembre, a las 15:00 hr. En la actividad participaron los actores entrevistados, junto con representantes de la Dirección General de Aguas, Ministerio de Medio Ambiente, Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático, CESCO, GIZ, Nueva Atacama, Mitsubishi (MCI) y Compañía Minera Caserones.



En la oportunidad se construyó un diagnóstico compartido sobre el estado de los recursos hídricos en la región, y en particular los actores mencionaron la necesidad de abordar no solo el uso de las aguas desaladas, sino que considerar en su conjunto las aguas terrestres y marítimas. De la misma forma, no solo acotarse al uso del agua en la minería, sino que también incorporar el uso de agua para consumo humano, de otras actividades productivas -como la agricultura- y el resguardo de los ecosistemas.

2.3 Taller 2

El segundo taller se realizó el día miércoles 15 de diciembre, a las 15:00 hr. Además de los actores que participaron del taller 1, se sumó a los siguientes actores: Gobierno regional, Superintendencia de Servicios Sanitarios, Comisión Nacional de Riego, Comunidad de Aguas Subterráneas (CASUB) y CAS 1-2-3 del valle del río Copiapó.

Se incorporó explícitamente a usuarios agrícolas dentro de la reunión, con el propósito de incorporar otros usos del agua dentro de la discusión.

En la actividad se revisó el diagnóstico, se identificó las soluciones que deben ser implementadas, y se propuso una hoja de ruta para las mismas. Finalmente, se discutió sobre la gobernanza requerida para llevar adelante esta hoja de ruta.

3 FORMULACIÓN DE UNA HOJA DE RUTA

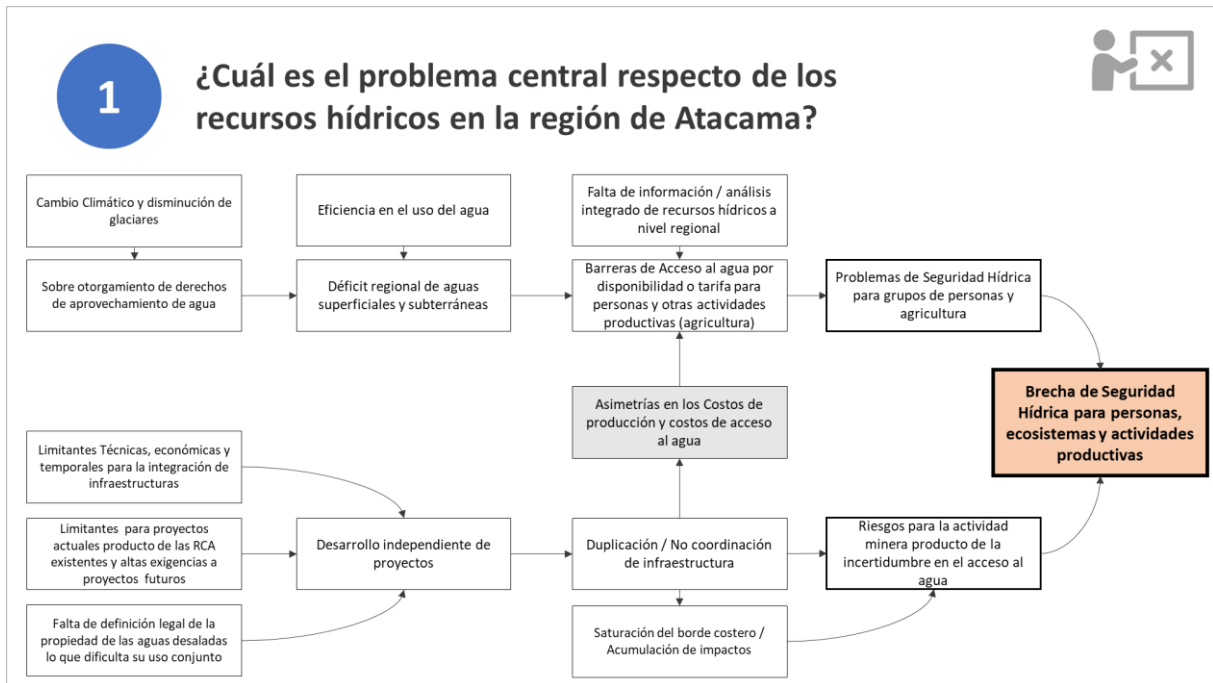
Para la formulación de la hoja de ruta se abordó, en primer lugar, un diagnóstico conjunto, para posteriormente identificar las soluciones necesarias para abordar el problema central.

3.1 DIAGNÓSTICO

El diagnóstico se centró en la identificación del problema central respecto de los recursos hídricos en la región de Atacama. La conversación se resume en la próxima infografía.

En lo principal, se reconocen dos ejes principales. Por una parte, existe una presión permanente y sobre explotación de los recursos hídricos de la región, lo que resulta en barreras de acceso al agua por parte de las personas y algunos productores. Por otro lado, el desarrollo minero reconoce limitantes técnicas, económica, temporales, normativas y administrativas de tipo ambiental para la integración de infraestructuras. Esto resulta en el desarrollo independiente de proyectos de desalación, con la duplicación de infraestructura y efectos asociados como la saturación del borde costero.

Ambas líneas de causalidad resultan en una brecha de seguridad hídrica para las personas, los ecosistemas y las actividades productivas, como se puede observar en la **Figura 3-1**.



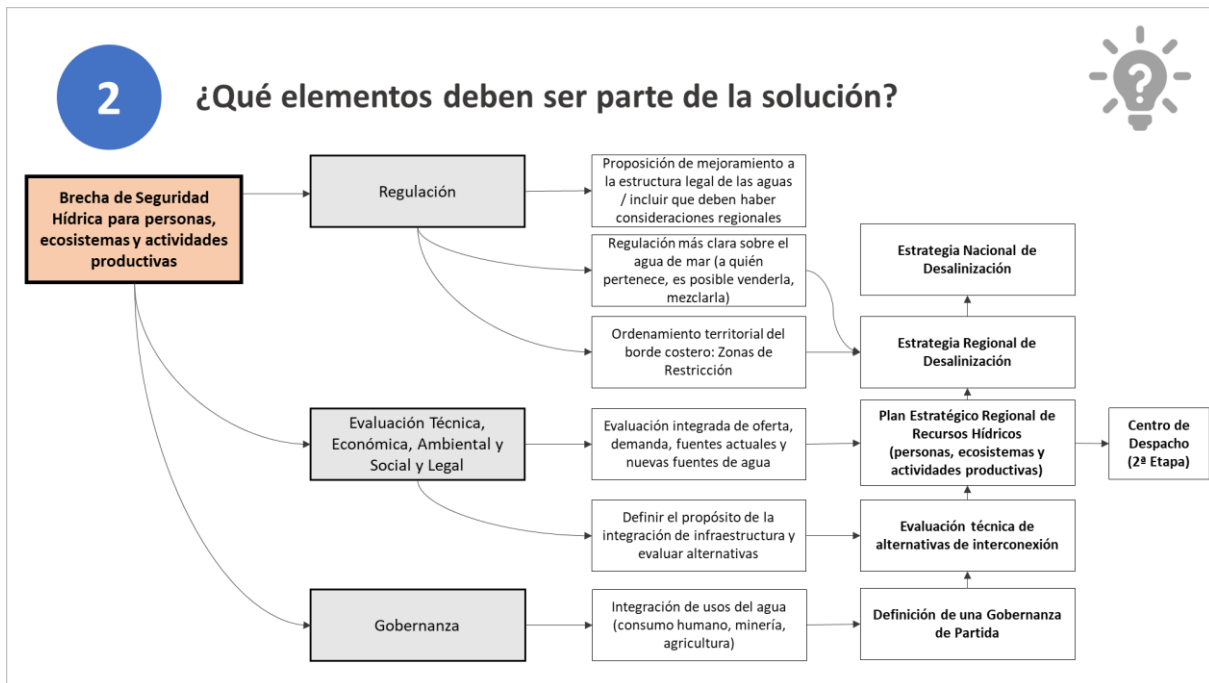
Fuente: Elaboración propia

Figura 3-1 Diagnóstico

Los asistentes mencionaron que el uso de agua de mar por parte de la minería disminuye la presión sobre las aguas continentales, aspecto que está en línea con los ejes de la Política Nacional de Minería. Complementariamente, se reconoció que nuevos proyectos mineros, principalmente de cobre, están utilizando para sus procesos agua de mar sin desalinizar.

3.2 PROPUESTA DE SOLUCIONES

Las soluciones que se convinieron entre los asistentes se concentran en tres grupos principales: Aspectos regulatorios; Evaluación técnica, económica, ambiental, social y legal; y definición de una gobernanza. La discusión se presenta en la **Figura 3-2**.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-2 Soluciones

En el eje de **regulación** se discutió la necesidad de una propuesta de mejoramiento de la estructura legal de las aguas. En particular, deben existir consideraciones regionales. Se mencionó la necesidad de disponer de una regulación más clara sobre el agua de mar, especificando a quien pertenece, si es posible venderla o mezclarla con otras aguas. Complementariamente se mencionó la necesidad de ordenar el borde costero mediante la definición de zonas de restricción para el desarrollo de proyectos de desalación.

En el eje de evaluación técnica, se discutió la necesidad de definir el propósito de la integración de infraestructura, para de esta forma establecer el contexto de la evaluación técnica de alternativas de interconexión. Posteriormente, se mencionó la necesidad de realizar una evaluación integrada de la oferta, de la demanda, las fuentes actuales y nuevas



fuentes de agua, lo que equivale a un Plan Estratégico de Gestión Hídrica a nivel regional. Se incluyó la necesidad de revisar, en una etapa posterior, los alcances de un Centro de Despacho de agua, de manera similar a como se gestionan los mercados eléctricos.

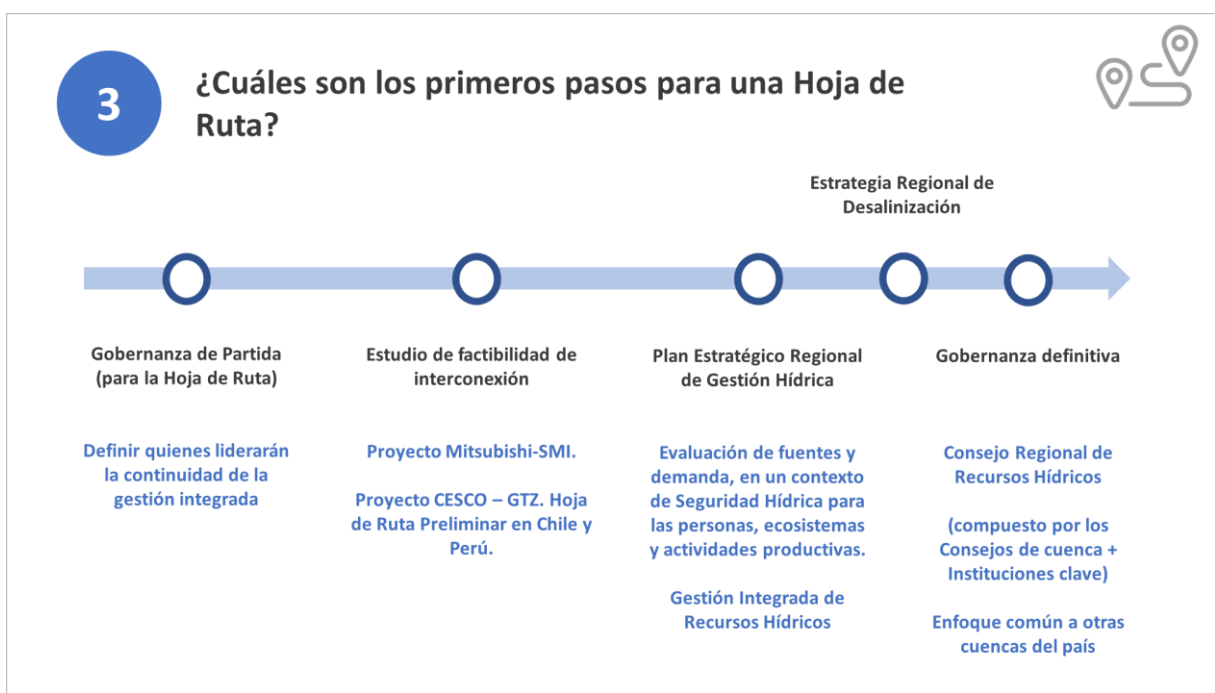
En el eje de **Gobernanza** se sugirió revisar la integración de usos del agua (consumo humano, minería, agricultura), y de esta forma avanzar en una gobernanza que considere todos estos aspectos. Se precisó que al principio se requiere de una gobernanza simple, una “gobernanza de partida” que permita desarrollar los estudios antes descritos, para luego pasar a definir una “Gobernanza definitiva” una vez que se cuente con mayores definiciones.

Con aspecto transversal y emergente fue la necesidad de contribuir a una **estrategia regional de desalinización**, que aporte a una estrategia nacional.

3.3 HOJA DE RUTA

Se definió que los primeros pasos de una hoja de ruta son los siguientes (además, ver **Figura 3-3**):

1. Establecimiento de una gobernanza de partida
2. Estudio de factibilidad de interconexión
3. Plan Estratégico Regional de Gestión Hídrica
4. Estrategia Regional de Desalinización
5. Gobernanza definitiva



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-3 Hoja de Ruta

4 GOBERNANZA PARA LA HOJA DE RUTA

Se consultó a los asistentes por la gobernanza requerida para llevar adelante la hoja de ruta definida para la interconexión hídrica en la región de Atacama, sin tener un resultado concluyente. Por un parte, un sector de los usuarios señaló que la gobernanza debiera ser liderada por el Gobierno local (Gobernador), quien convoque a los actores de la región a ser parte de esta gobernanza.

Por el otro lado, se mencionó a los usuarios, y en particular a las organizaciones de usuarios de agua, como el actor que tendría mayor experiencia en liderar planes y estrategias asociada a la gestión de los recursos hídricos.

Se mencionó que el financiamiento es un tema relevante, ya que la continuidad de la gestión dependerá de la capacidad de establecer una secretaría técnica que dé continuidad, asistencia técnica y reportabilidad. No se definieron actividades posteriores.



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO J8 – ESCENARIOS DE GESTIÓN

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Anexo J8

En este Anexo se entregan dos planillas de cálculo con información sobre los resultados de los escenarios de gestión y cálculos realizados para llegar a ellos, así como también los porcentajes de satisfacción de la demanda según cada uno. Para más información, revisar carpeta digital "J8. Escenarios de gestión" en el anexo correspondiente. La información se presenta de la siguiente manera.

J8.1. Escenarios de gestión – Resultados

- Tabla
- Volumen reúso riego Chañaral
- Volumen acuífero 5
- Cobertura demanda E1

J8.2. Escenarios de gestión – Satisfacción

- Porcentaje cobertura de la demanda Co-To
- Porcentaje cobertura de la demanda Sa-Co
- Porcentaje cobertura de la demanda Salado



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

**ANEXO K
CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA**

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTTDATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Índice de la Caracterización hidrogeológica

Página

| | | |
|-------|---|------|
| 1. | <u>INTRODUCCIÓN</u> | 1-4 |
| 2. | <u>LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN, CAMPAÑAS DE TERRENO Y CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA</u> | 2-5 |
| 2.1 | ANTECEDENTES CONSIDERADOS EN EL DISEÑO DE LAS CAMPAÑAS | 2-6 |
| 2.2 | CAMPAÑA DE GRAVIMETRÍA | 2-11 |
| 2.2.1 | Diseño de la Campaña de Gravimetría | 2-11 |
| 2.2.2 | Equipos que se utilizan en la Campaña Gravimétrica | 2-16 |
| 2.2.3 | Campaña de Gravimetría Ejecutada en Terreno | 2-19 |
| 2.2.4 | Interpretación de resultados de la Campaña Gravimétrica | 2-22 |
| 2.3 | CAMPAÑA DE PROSPECCIÓN TEM | 2-23 |
| 2.3.1 | Diseño de la Campaña de prospección TEM | 2-23 |
| 2.3.2 | Equipos que se utilizan en la campaña de prospección TEM | 2-28 |
| 2.3.3 | Campaña de Prospección TEM Ejecutada en Terreno | 2-31 |
| 2.3.4 | Interpretación de resultados de la Campaña de Prospección TEM | 2-34 |
| 2.4 | CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA A PARTIR DE LOS RESULTADOS DE LAS CAMPAÑAS REALIZADAS | 2-38 |
| 2.4.1 | Profundidad de basamento | 2-38 |
| 2.4.2 | Sectorización de acuíferos | 2-40 |
| 2.4.3 | Permeabilidades | 2-44 |
| 2.4.4 | Nivel estático | 2-48 |
| 2.5 | BRECHAS DEL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN HIDROGEOLÓGICA | 2-52 |

Anexos

Anexo K - 1: Campaña de Gravimetría diseñada

Anexo K - 2: Cartas geológicas escala 1:100.000 zona de estudio

Anexo K - 3: Campañas gravimetría y TEM ejecutadas

Anexo K - 4: Campaña de TEM diseñada

1. INTRODUCCIÓN

En el presente anexo se detalla una caracterización hidrogeológica de la cuenca río Salado, junto a un detalle de toda la información obtenida en las campañas de terreno (gravimetría y prospección TEM); esto en el marco del desarrollo del proyecto "Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca río Salado".

Es importante mencionar que en las Bases Técnicas de este estudio se exigieron ciertas características para la campaña de gravimetría que, luego de un análisis en conjunto del Equipo Consultor con la Inspección Fiscal, se acordó modificarlas de manera de obtener resultados más alineados a los objetivos del estudio. En particular, estas modificaciones corresponden a cambios en el espaciamiento entre estaciones gravimétricas para lograr una mejor cobertura del levantamiento de información en la zona de estudio. Esta modificación en el espaciamiento entre estaciones gravimétricas implica un cambio en los equipos utilizados en la campaña. Respecto a esto, una minuta con los detalles del análisis realizado se incluye en el Anexo K-1. No obstante, en el presente anexo se describen las campañas efectivamente llevadas a cabo en terreno.

A partir de estas se detallan los resultados obtenidos. Estos corresponden a capas creadas en el software Surfer y que describen la geometría de los acuíferos de la cuenca de estudio. Se incluyen en los resultados la profundidad del basamento rocoso, los sectores acuíferos considerados para la modelación, las permeabilidades obtenidas a partir de la campaña TEM y los niveles estáticos. Junto a esto se entrega un análisis hidrogeológico de la cuenca en estudio.

2. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN, CAMPAÑAS DE TERRENO Y CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

La campaña de levantamiento de información en terreno comprende dos etapas: gravimetría y prospección TEM. Esta campaña tiene por objetivo determinar la geometría de los embalses subterráneos, composición, constantes elásticas de las unidades hidrogeológicas y niveles de agua (piezometría) en la cuenca de estudio.

A través de la **campaña de gravimetría** se mide la gravedad en distintos puntos de la superficie del terreno, a fin de obtener un "mapa" que indique la distribución de la morfología gravitatoria del área. El levantamiento gravimétrico consiste en determinar en diversas estaciones ubicadas a lo largo de una línea, la variación (positiva o negativa) de la gravedad con respecto a una determinada estación de referencia. Esta estación de referencia en general se ubica sobre roca, lo que entrega una medición de gravedad en contacto con roca y que es el punto de partida sobre el cual se puede calibrar las posteriores mediciones de los perfiles. La gravedad absoluta de las demás estaciones se calcula sumando algebraicamente los incrementos al valor absoluto del punto de referencia. Este resultado permite determinar la profundidad del basamento rocoso en la cuenca, obteniendo la geometría de los límites del acuífero.

Por otra parte, la **campaña de prospección TEM** permite representar la geometría, estratos y flujos presentes en los acuíferos asociados al área de estudio. Esta se realiza con el *método de transiente electromagnético* (TEM), que consiste en la emisión de un pulso de corriente de frecuencia variable a través del subsuelo, en diferentes estaciones TEM. Este pulso genera un campo electromagnético primario que, si se encuentra con un cuerpo conductor, genera un campo electromagnético secundario. Una unidad receptora detecta ambos campos, y con la geometría de los circuitos emisores y receptores, y el procesamiento de datos, se obtiene un modelo de capas con valores de resistividad eléctrica en profundidad. Con esto se determina la estratigrafía, la presencia de agua en el acuífero y a qué profundidad aproximada se encuentra.

2.1 ANTECEDENTES CONSIDERADOS EN EL DISEÑO DE LAS CAMPAÑAS

- **Evaluación de los recursos hídricos subterráneos en cuencas de la región de Atacama ubicadas entre el río Copiapó y la región de Antofagasta:**

En este estudio realizado en agosto de 2009, se realiza una recopilación de información, dando como resultado una caracterización hidrológica e hidrogeológica de las cuencas entre el río Copiapó y la región de Antofagasta.

Para este PEGH se utiliza la siguiente información (escala 1:1.000.000):

- Mapa fisiográfico: que indica la existencia de 5 grandes unidades fisiográficas orientadas en dirección norte-sur. De océano a cordillera son: la Cordillera de la Costa, la Depresión Intermedia, la Cordillera de Domeyko, el Altiplano y la Cordillera principal.
 - Mapa geológico de unidades rocosas: que indica las unidades de rocas presentes en la zona, principalmente rocas estratificadas e intrusivas que van desde el Paleozoico hasta el Cenozoico, concentrándose principalmente en el Mesozoico (zona costera) y el Cenozoico (zona cordillerana).
 - Mapa geológico de depósitos no consolidados: que corresponden a unidades de baja compacidad depositadas entre el Mioceno Inferior y el Holoceno.
 - Mapa de unidades hidrogeológicas: definidos en base a la delimitación de secuencias geológicas del Mapa Geológico de Chile y a la permeabilidad, capacidad de almacenamiento y calidad de las aguas asociada a cada una de estas. Las unidades hidrogeológicas se dividieron en principio según se ubicaran en zonas de rellenos sedimentarios no consolidados o en rocas.
-
- **Proyecto "Flotación de Escorias convertidor Teniente Fundición Potrerillos". Anexo 15: Reconocimiento hidrogeológico**

Este proyecto realizado en 2011, se desarrolla con el objetivo de reconocer hidrogeológicamente el área industrial Potrerillos para analizar desde esta variable la Quebrada Afluente para su uso como depósito de relaves filtrados, la cual será un área generadora de potenciales soluciones ácidas.

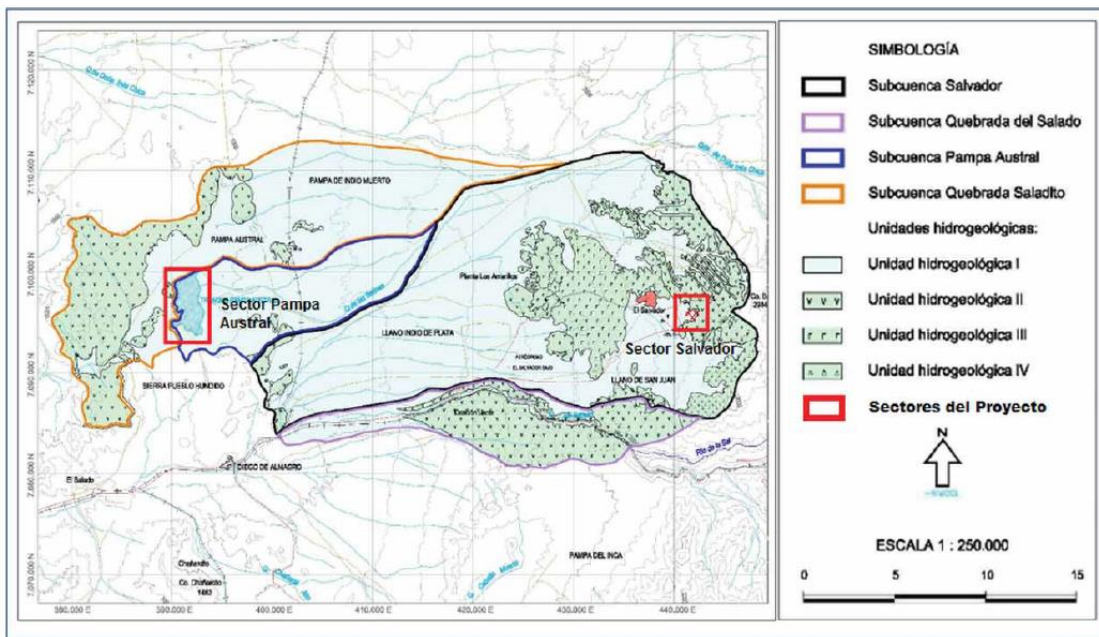
Para ello se describen las formaciones geológicas y depósitos recientes del área de estudio. Se genera el Mapa Geológico y a partir de su descripción se definen las unidades hidrogeológicas existentes. Se caracteriza la recarga, almacenamiento, descarga y medición de calidad de aguas.

Se reconocen unidades hidrogeológicas principales: rocas impermeables, sedimentos clásticos torrenciales, sedimentos clásticos aluviales y sedimentos clásticos antrópicos de relaves y ripios.

- **Declaración de Impacto Ambiental Proyecto Continuidad Operacional Salvador:**

Este informe fue elaborado por SRK Consulting en septiembre de 2016. En el apéndice 2, secciones 10 y 11 se caracteriza el medio físico de la zona de estudio, correspondiente a hidrología e hidrogeología respectivamente. La zona pertenece a la porción norte de la cuenca río Salado. Se indica que la caracterización hidrológica e hidrogeológica se basa en el estudio **“Informe Modelo Conceptual Estudio Hidrogeológico y Monitoreo Recursos Hídricos. Estudio Integral de Ingeniería de Cierre de Faenas Mineras”** realizado por **Arcadis - Water Management Consultant, 2009**. Este informe se solicitó a CODELCO y no fue recibido. Por lo tanto, se realizó el diseño de la campaña gravimétrica utilizando la declaración de impacto ambiental mencionada. Entre la información que se está utilizando de este estudio, se encuentra:

- Mapa de unidades hidrogeológicas sectores Salvador y Pampa Austral (escala 1:250.000): donde se definen 5 unidades hidrogeológicas. La UH1, de gravas con matriz areno limosa, define acuíferos y acuitardos de espesor y extensión variable. Presenta una amplia extensión formando gran parte de las subcuencas del área de estudio, que se muestra en la **Figura 2-1** (Sector Indio de Plata, Llano San Juan).



Fuente: CODELCO (2016)

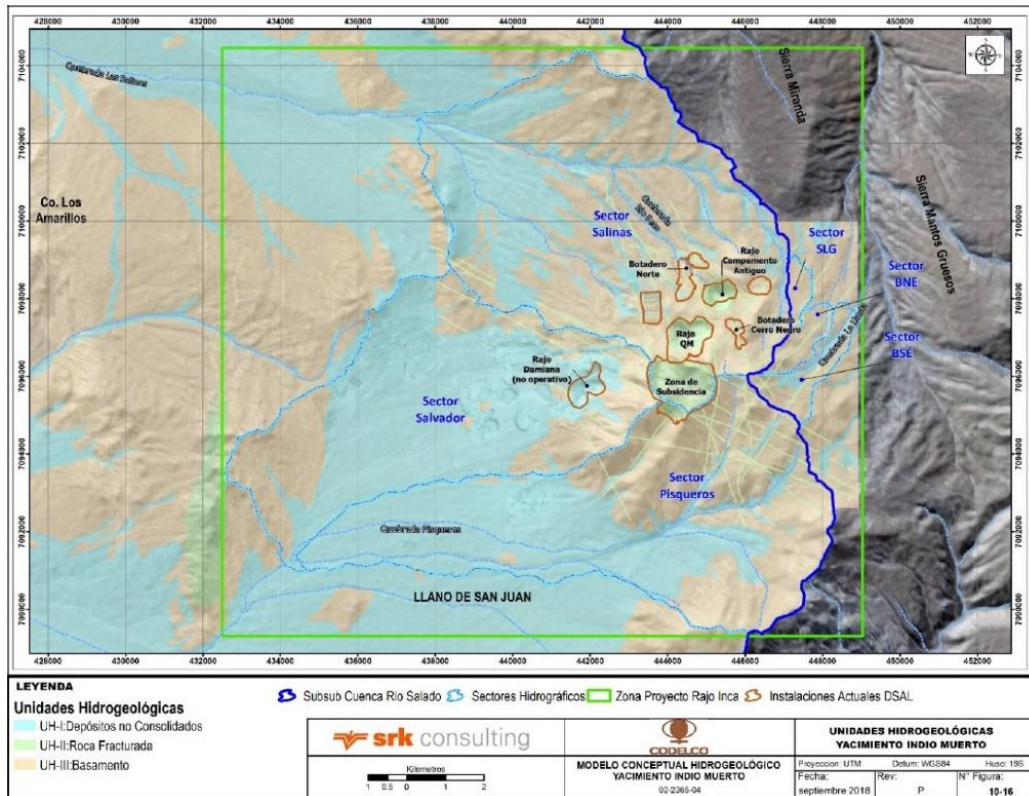
Figura 2-1. Mapa de unidades hidrogeológicas sectores Salvador y Pampa Austral.

- **Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Rajo Inca:**

Este informe fue elaborado por Gestión Ambiental Consultores (GAC) en octubre de 2018. En el capítulo 3, Línea Base (Sección A) se caracteriza el medio físico de la zona de estudio, detallando distintas componentes (clima y meteorología, calidad del aire, niveles de ruido y vibraciones, etc.), entre ellos la hidrología e hidrogeología y sus áreas de influencia (CODELCO, 2018a), incluyendo estudios de prospección TEM, que son relevantes para la presente investigación. La zona pertenece a la porción norte de la cuenca río Salado.

Entre la información que ofrece este estudio, se encuentra:

- Resultados de exploración geofísica en los sectores Pedernales, Salvador y Pampa Austral.
- Mapa de Unidades Hidrogeológicas en yacimiento Indio Muerto: donde se definen 3 unidades hidrogeológicas (**Figura 2-2**). La UH – 1 son depósitos no consolidados que varían en espesor entre los 5 (m) en zonas de taludes y los 100 (m) hacia el oeste del proyecto donde se integran con depósitos más antiguos. La UH – 2 son rocas fracturadas de composición volcánica e intrusiva con porosidad secundaria fisural provocada por los cambios termales, liberación de presiones y/o esfuerzos tectónicos. Y la UH – 3 caracteriza al basamento, constituido por rocas volcánicas y sedimentarias mesozoicas, así como los intrusivos asociados al evento volcánico El Salvador.

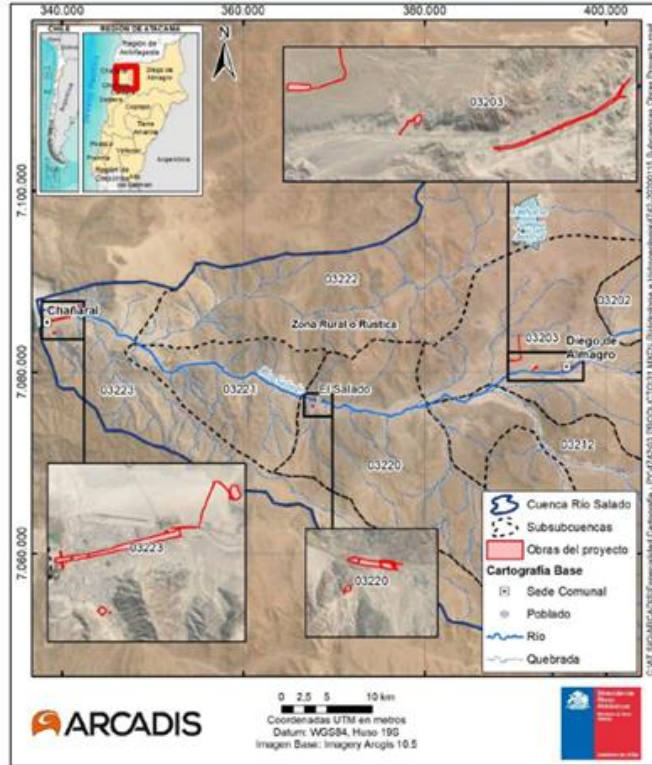


Fuente: CODELCO (2018a)

Figura 2-2. Unidades Hidrogeológicas identificadas en el yacimiento Indio Muerto.

- **Diseño de obras fluviales y de control aluvional en la cuenca del río Salado, región de Atacama. Capítulo 3.6: Línea de base de hidrología e hidrogeología (DOH, 2020a):**

En este informe se desarrolla una prospección TEM y calicatas en zonas acotadas en las localidades de Chañaral, Diego de Almagro y El Salado (**Figura 2-3**). Se determina que existe un acuífero con una potencia saturada de aproximadamente 30 m que se desarrolla en el relleno de la quebrada El Salado. Para complementar esta información, la campaña gravimétrica incluye un perfil que pasa por el sector; no obstante, se considerarán los resultados obtenidos en este estudio para la campaña de prospección TEM.

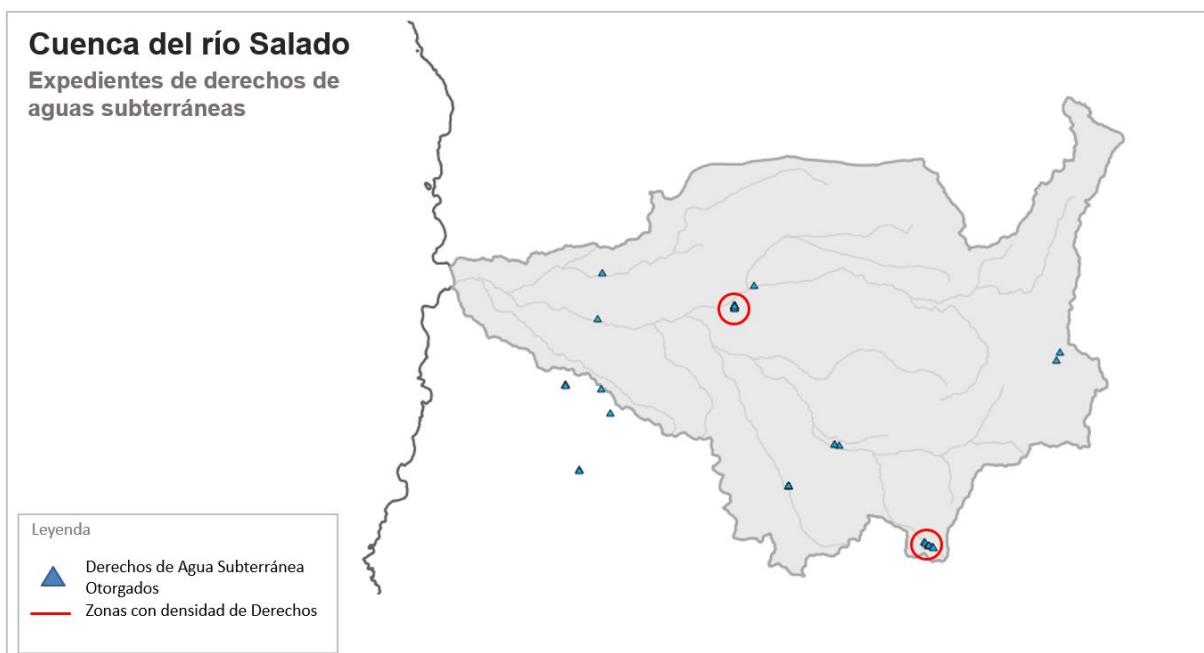


Fuente: DOH (2020a)

Figura 2-3. Ubicación del proyecto.

- **Expedientes de derechos de aguas subterráneas:**

Se cuenta con un archivo Excel que individualiza los derechos de aguas subterráneas otorgados de la III región de Atacama. Luego de acotar los derechos a las cuencas de estudio, resultan 35 derechos distribuidos en el área de la cuenca río Salado que se extraen en 26 pozos (**Figura 2-4**).



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-4. Ubicación de derechos de aguas subterráneas en la cuenca río Salado.

Existen derechos muy próximos entre sí en la Comuna Diego de Almagro (círculos rojos). Algunos derechos están ubicados en la Depresión Intermedia (Compañía Minera Óxido Sur Ltda. (4) y la Municipalidad (3)), y otros hacia el SSE, en la Cordillera Domeyko pertenecientes al usuario Wilfredo Cerda (8).

2.2 CAMPAÑA DE GRAVIMETRÍA

2.2.1 Diseño de la Campaña de Gravimetría

La zona de estudio comprende una superficie total de aproximadamente 7.500 km² en la región de Atacama. Morfológicamente, se extiende abarcando las zonas de la Cordillera de las Costa, Depresión Intermedia, Cordillera Domeyko y levemente de Altiplano (**Figura 2-5**). Las unidades hidrogeológicas en su mayoría poseen permeabilidades muy bajas a ausentes, a excepción del sector de la Quebrada de Chañaral, que corresponde a una unidad de permeabilidades altas a medias en sus depósitos no consolidados.

Para definir adecuadamente los perfiles gravimétricos de una cuenca se requiere considerar criterios técnicos que los validen. Para ello, es necesario observar las características del valle de la cuenca a estudiar, basándose en mapas representativos como el Geológico y el de las Unidades Fisiográficas.



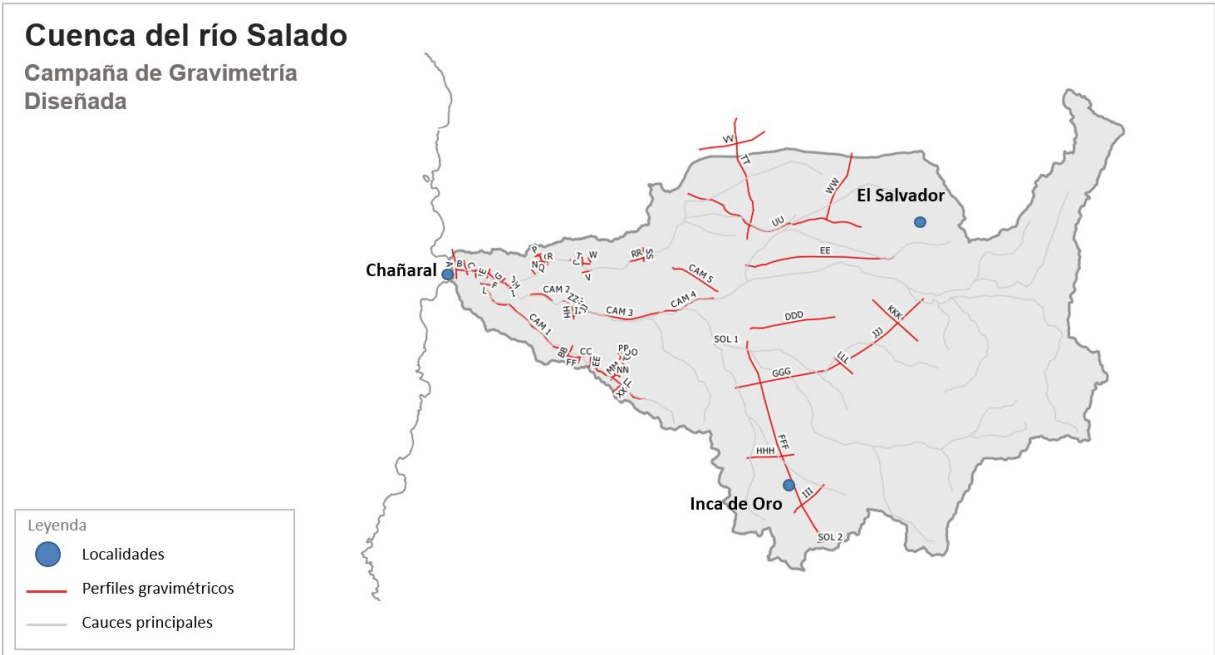
Fuente: Modificado de DGA (2009)

Figura 2-5. Mapa de Unidades Fisiográficas de la cuenca río Salado.

Considerando toda la información que éstos aportan, es posible ubicar perfiles longitudinales y transversales en áreas que puedan resultar de interés hidrogeológico según el tipo de roca, estructuras disyuntivas y morfológicas que rigen el objeto en estudio (**Figura 2-5, Figura 2-6 y Figura 2-7**).

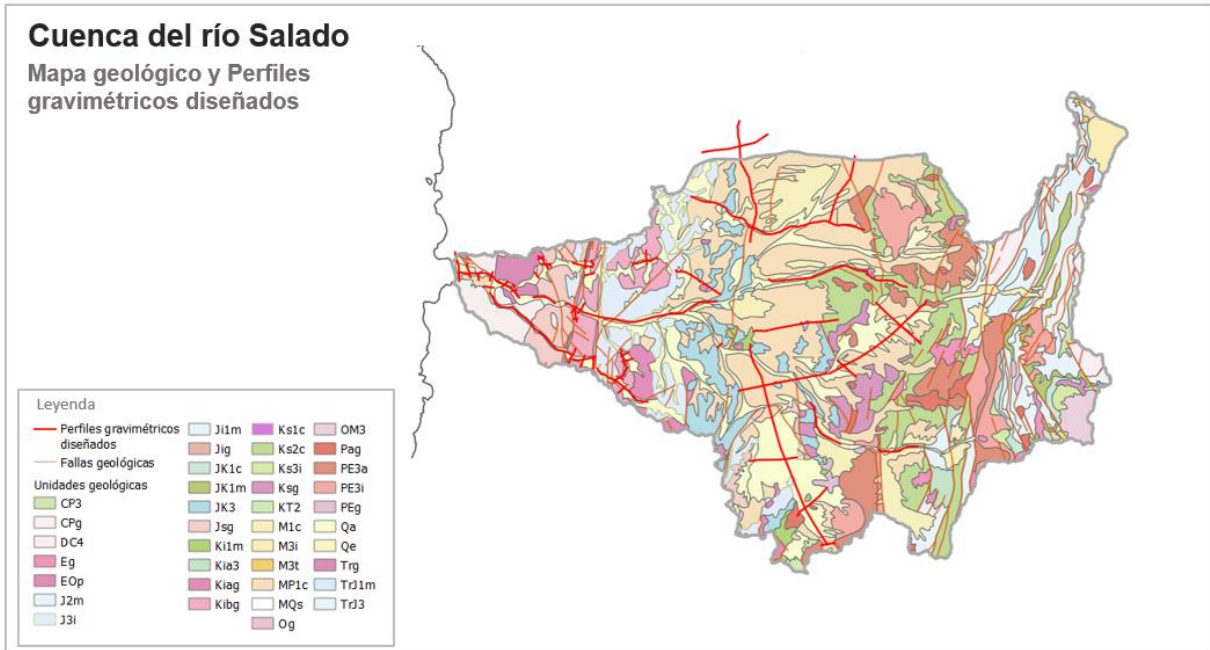
Los perfiles longitudinales normalmente pueden alcanzar grandes extensiones predominando su dirección W-E de acuerdo al flujo natural de las aguas en el territorio nacional, es decir, desde la cordillera hacia el mar. Además, se incluyen varios perfiles transversales en dirección N-S que complementan la información respecto a cómo es la geometría de los embalses subterráneos de la cuenca.

Algunos perfiles se ubican en los límites de la cuenca para, de esta forma, interpretar las posibles conexiones subterráneas con cuencas vecinas, permitiendo un mejor conocimiento de la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-6. Perfiles gravimétricos diseñados en la cuenca río Salado

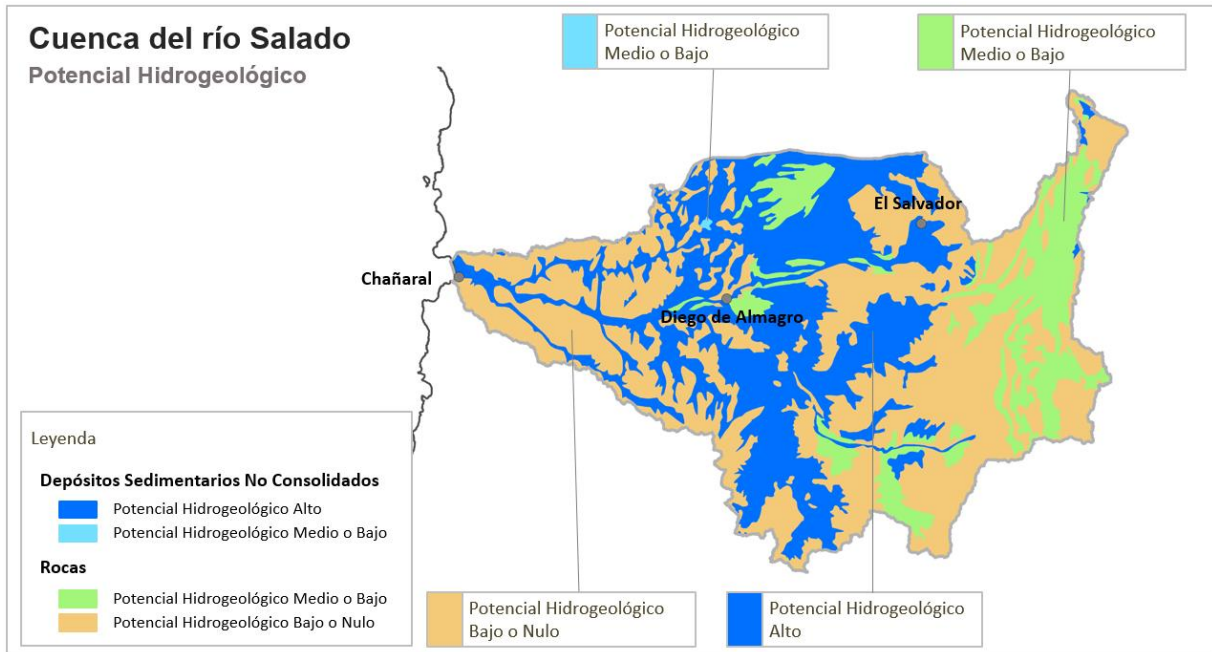


Fuente: Elaborado a partir de la información en DGA (2009)

Figura 2-7. Mapa Geológico y perfiles gravimétricos diseñados en la cuenca río Salado.

La geología de la zona de estudio está conformada por distintas formaciones geológicas asociadas a los procesos a los que la cuenca ha estado sometida históricamente (Figura 2-7). El Mapa Geológico considerado para este documento es el resultante del estudio de DGA (2009), a escala 1:1.000.000, pero corroborado según cartas a escala 1:100.000 (ver cartas geológicas en Anexo K-2). Para el diseño de los perfiles se toman en consideración las formaciones que tienen potencial hidrogeológico alto según DGA (2009), las que pueden ser vistas en la Figura 2-8. Generalmente, estas formaciones corresponden a depósitos aluviales recientes, que en la Figura 2-7 se representan en tonos beige y amarillo claro en el sector central de la cuenca, y que están compuestas por gravas, arenas, limos, conglomerados, areniscas y limolitas. La relación con el lugar y tiempo donde han sido depositadas refleja la baja compactación que tienen estas litologías, por ende, resultan buenos reservorios para los recursos hídricos subterráneos.

En la Figura 2-8, las unidades hidrogeológicas de mayor importancia en la cuenca río Salado poseen una coloración azul, las cuales se distribuyen espacialmente en el sector que ocupa la Depresión Intermedia, y están asociadas a los depósitos aluviales recientes. Las litologías que las rodean son de baja a nula importancia hidrogeológica.

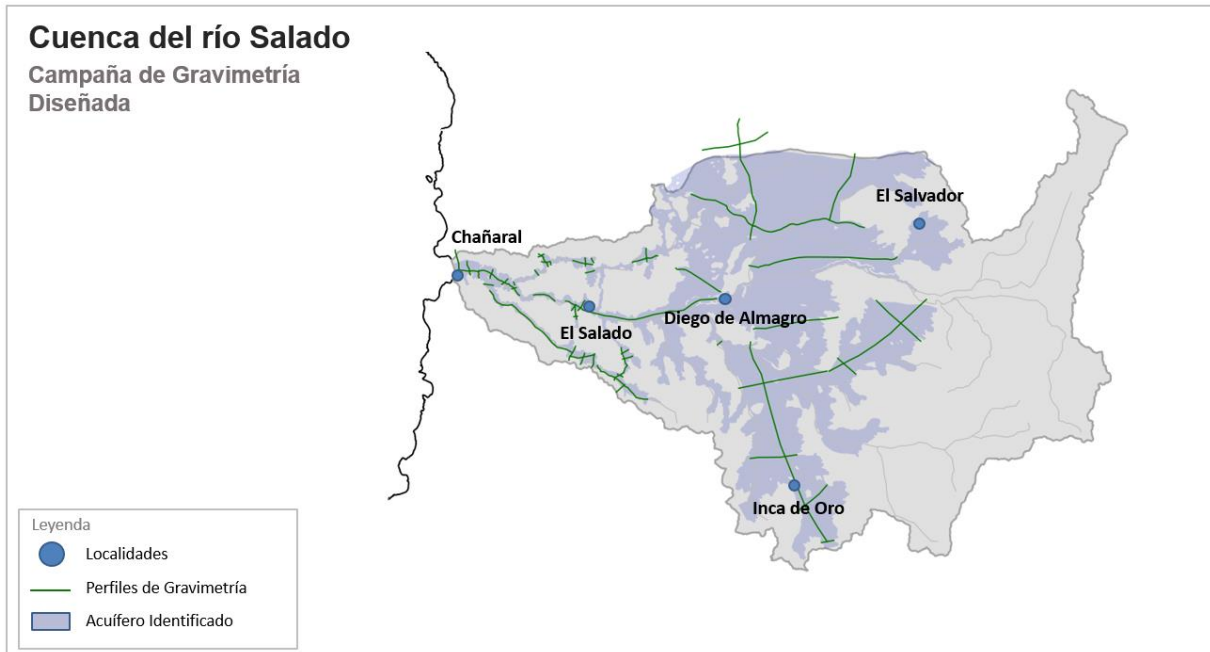


Fuente: Modificado de DGA (2009)

Figura 2-8. Mapa de unidades hidrogeológicas y su clasificación de acuerdo al potencial hidrogeológico.

En la Figura 2-9 se pueden ver los perfiles gravimétricos diseñados para la campaña una vez analizada la información geológica e hidrogeológica recientemente descrita. Es importante mencionar que los perfiles longitudinales se ubican principalmente en los cauces que atraviesan la cuenca y en las zonas abiertas cuyas características indican la posible existencia de acuífero, procurando que estén cercanos a caminos y carreteras debido a la accesibilidad requerida para instalar las estaciones gravimétricas. Para complementar a los perfiles longitudinales, se ubican ejes en sentido transversal con el propósito de obtener una interpretación más acertada de la extensión y forma del acuífero en dirección Norte-Sur.

Con el objetivo de calibrar las mediciones de gravimetría, los perfiles siempre tienen sus extremos ubicados en roca.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-9. Ubicación de perfiles gravimétricos diseñados para la campaña.

En las Bases Técnicas del presente estudio se considera una campaña gravimétrica constituida por a lo menos 150 estaciones distribuidas en las áreas de interés de la cuenca. Con el objetivo de obtener una interpretación más acertada de las características de la zona de estudio y analizar de manera global el basamento de la cuenca, finalmente se han considerado 332 estaciones (posteriormente 333 estaciones fueron ejecutadas en la campaña).

2.2.2 Equipos que se utilizan en la Campaña Gravimétrica

Los equipos utilizados en el levantamiento de información gravimétrica corresponden a:

1) Gravímetro

El gravímetro Lacoste Romberg Modelo G463 posee un rango mayor a 7000 (miligales), una precisión de la centésima de un miligal (+/- 0,01 miligal) y la deriva instrumental es menor a 1 (miligal/mes).



Fuente: Colaboración con CONGEO (2021)

Figura 2-10. Gravímetro utilizado en la campaña

Se destaca que con este equipo se han realizado numerosos estudios (**Figura 2-10**); más la totalidad de las hojas gravimétricas de Chile (Santiago, Concepción, Rancagua/Talca, Temuco, Illapel, Los Vilos, entre otros) (**Figura 2-11**).

2) Navegador GPS

El equipo utilizado en campaña corresponde a un GPS Navegador Garmin Modelo 66s (Sistema Glonass), el cual posee un error de 3 (m), que a juicio del Equipo Consultor es tolerable para el cumplimiento de los objetivos del proyecto (**Figura 2-12**).

3) Software

El software utilizado para la interpretación de la información de terreno es Oasis Montaj (**Figura 2-13**), que proporciona un conjunto de herramientas de modelado y análisis para una comprensión de las unidades hidrogeológicas de la zona de estudio. Este software permite procesar, mapear, controlar e interpretar los datos obtenidos en el levantamiento de información en terreno.



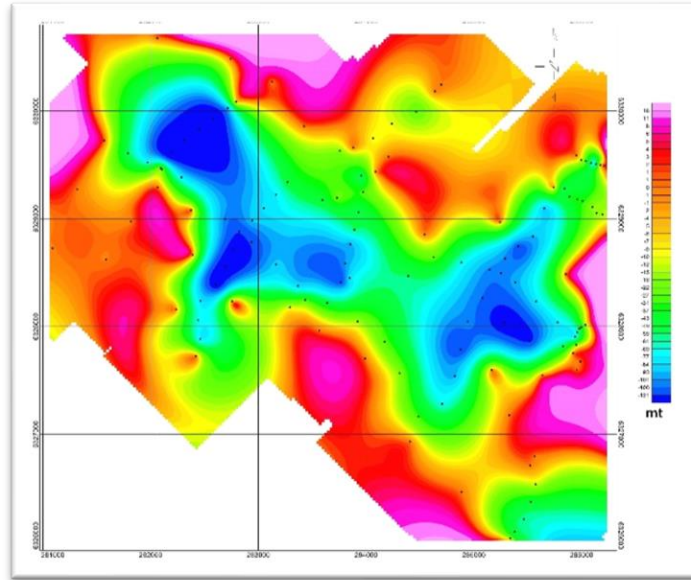
Fuente: Colaboración con CONGEO (2021)

Figura 2-11. Mapas gravimétricos realizados en Chile con el gravímetro utilizado en la campaña.



Fuente: Colaboración con CONGEO (2021)

Figura 2-12. Navegador GPS utilizado en la campaña gravimétrica.



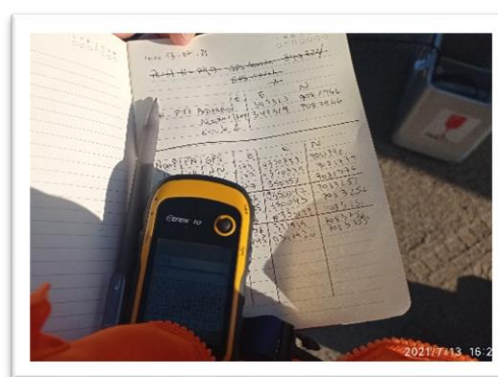
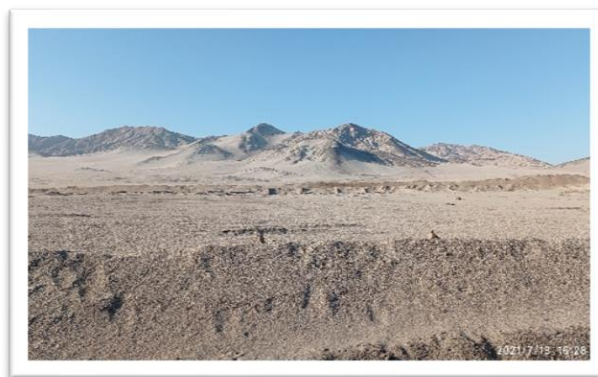
Fuente: Colaboración con CONGEO (2021)

Figura 2-13. Imagen de ejemplo del software Oasis Montaj.

2.2.3 Campaña de Gravimetría Ejecutada en Terreno

La aplicación del método gravimétrico en estudios hidrogeológicos resulta de gran importancia pues a partir de las mediciones de la gravedad en distintos puntos de interés se puede determinar la geometría del embalse subterráneo.

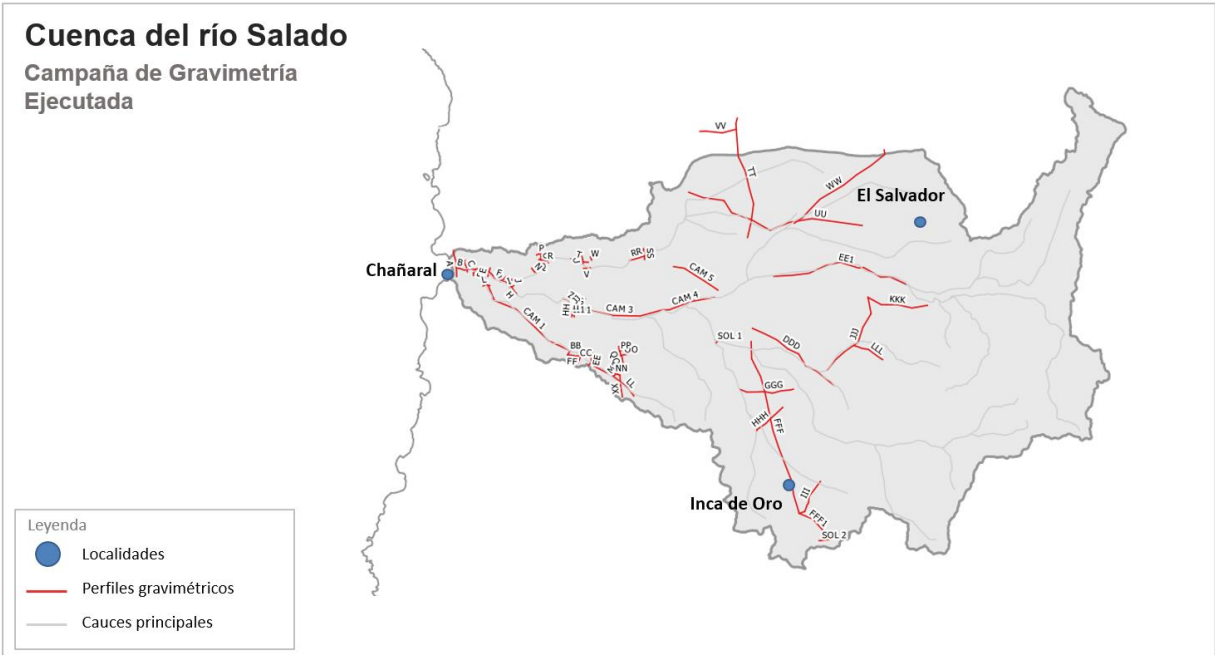
El método gravimétrico consiste en posicionarse en una estación diseñada del perfil, medir su ubicación con GPS, ubicar el gravímetro considerando la nivelación, calibración y obtención de la medida de la gravedad; el proceso demora alrededor de 5 minutos. Después, se procede a desmontar el equipo para dirigirse al siguiente punto. La ubicación de la estación es verificada a su vez por el personal supervisor de la campaña. A partir de esta medición, se generan archivos que al finalizar la campaña en terreno son procesados por el software Oasis Montaj (**Figura 2-13**). Todos los datos obtenidos son incluidos en el Anexo K-3.



Fuente: Elaboración propia

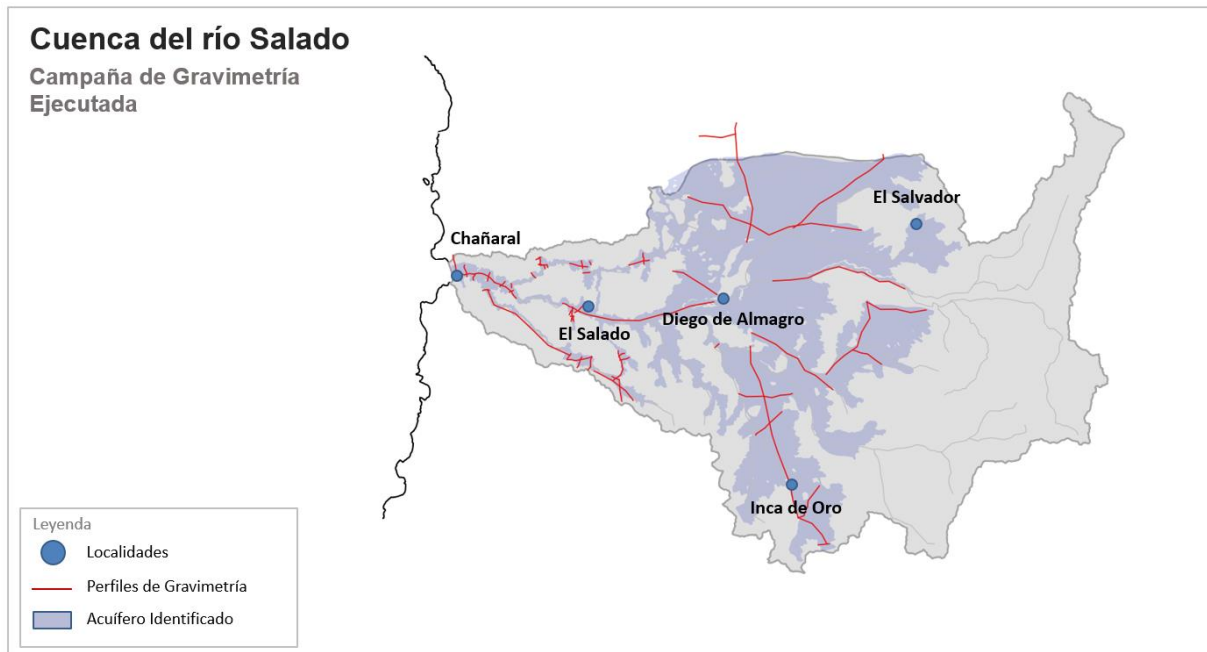
Figura 2-14. Medición de la gravedad en una estación en la Cuenca río Salado.

Algunas estaciones fueron desplazadas de su ubicación original, pensada en el diseño de la campaña gravimétrica, y otras añadidas (6 estaciones gravimétricas añadidas) (**Figura 2-15** y **Figura 2-16**), debido a las condiciones de acceso, dado que tras el aluvión de 2015, con un movimiento con dirección E-W, se construyeron nuevas zanjas para encauzar el flujo de poco caudal del río principal, lo cual dificulta el acceso a las estaciones diseñadas en estos sectores.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-15. Ubicación de los perfiles gravimétricos ejecutados en la cuenca río Salado



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-16. Ubicación de los perfiles gravimétricos ejecutados en la cuenca río Salado y delimitación del acuífero identificado

2.2.4 Interpretación de resultados de la Campaña Gravimétrica

La medición de la gravedad en distintos puntos de la superficie del terreno en la cuenca río Salado permite representar en un mapa la distribución de la morfología gravitatoria del área. La cantidad de estaciones propuestas y medidas, responden al alcance de un conocimiento más detallado de la hoya objeto en estudio. Los datos gravimétricos medidos resultan de gran precisión, al ser corregida la deriva instrumental presente en el tiempo, resulta la gravedad residual de Bouguer, donde las anomalías que puedan visualizarse son ajustadas.

De esta manera, resultan los perfiles con datos del residual y los modelos del basamento, que junto a los modelos obtenidos por el método geofísico de prospección TEM, se genera la interpretación de la morfología del acuífero de la cuenca en estudio (ver resultados en Anexo K-3, "Campaña de terreno Gravimetría_v2"). Como parte del Anexo K-3 se encuentra el "Anexo 2 (INTERPRETACIÓN)" donde se muestran los datos calculados por estación en cada perfil (Anomalía de Bouguer, Modelo Calculado y Residual).

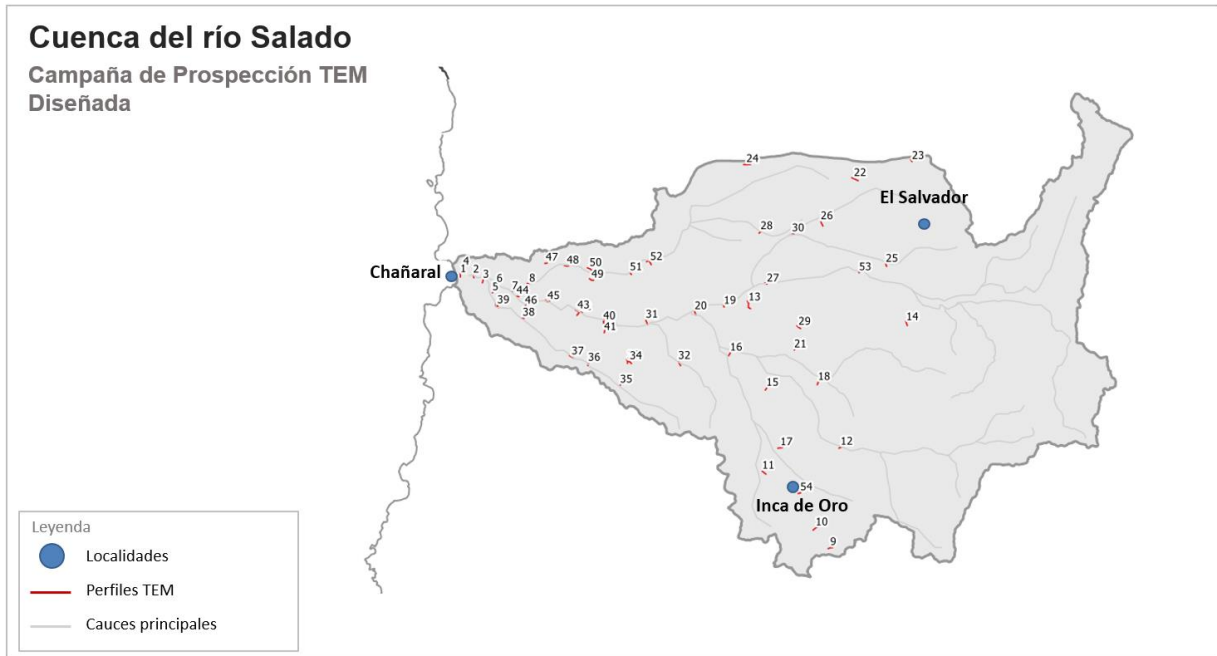
El estudio gravimétrico realizado, el cual es descrito en "INFORME EST. GRAV. RIO SALADO (CONGEO) REV00" (Anexo K-3, "Campaña de terreno Gravimetría_v2"), indica que las profundidades fueron calculadas con un contraste de densidades de $0,57 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$ considerando que las rocas de amarre existentes en el área de estudio poseen una densidad aproximada de $2,67 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$, y que la densidad del relleno sedimentario en promedio es de $2,1 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$.

Según la interpretación gravimétrica realizada por la empresa subcontratada, se destacan siete zonas en las cuales la profundidad promedio al techo de la roca sería mayor, oscilando en los rangos entre los 138 y 312 (m) aproximadamente. Estas zonas se ubican en el área estudiada hacia la desembocadura al SW (zona 1), en la Depresión Intermedia al Norte (zona 2), sector central de la Depresión Intermedia (zona 4), al Centro-Este y SE (zonas 3, 4, 5 y 6) y al Centro donde el río Salado se conecta con la Depresión Intermedia (zona 7). Las profundidades más altas se visualizan en las zonas 2, 3 y 4 según la interpretación del registrada en dicho informe. Esta información es evaluada en el epígrafe 2.4, tomando como base las capas GIS generadas (según resultados de geofísica) y su interpretación con el propósito de dar respuesta al Modelo Conceptual Subterráneo, revelándose los sectores de mayor profundidad en la cuenca estudiada.

2.3 CAMPAÑA DE PROSPECCIÓN TEM

2.3.1 Diseño de la Campaña de prospección TEM

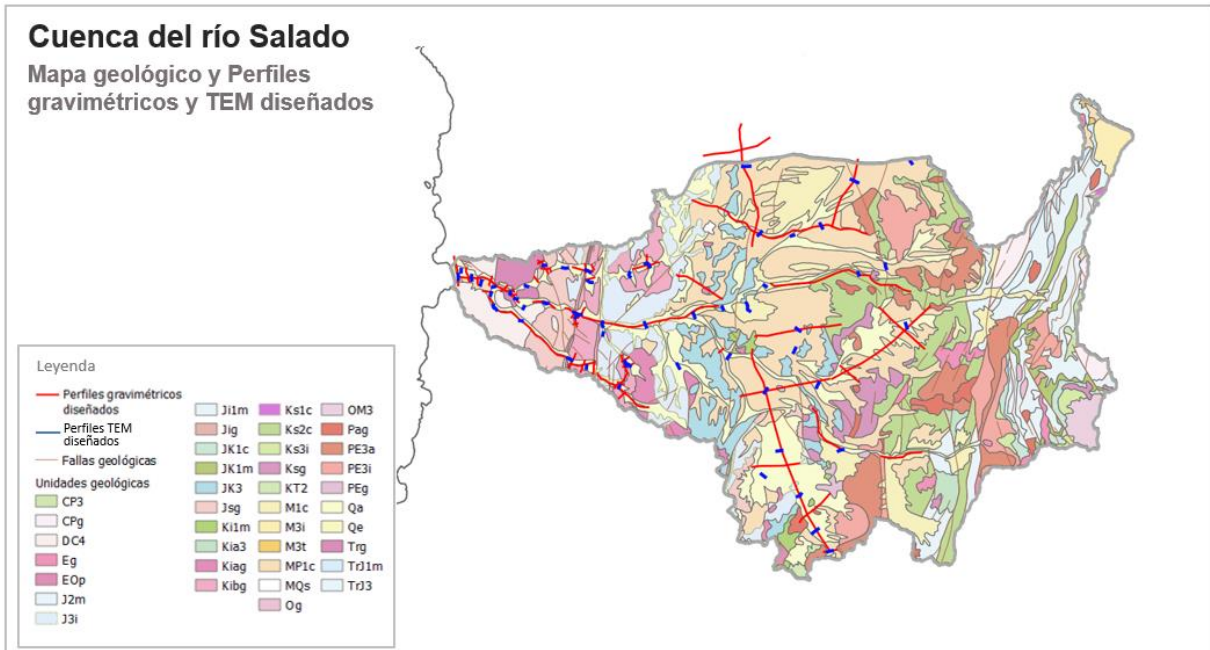
A continuación, en la **Figura 2-17** se presentan los perfiles TEM diseñados para su ejecución en la campaña geofísica. Corresponden a 54 perfiles.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-17. Perfiles TEM diseñados para la campaña de prospección TEM

La campaña de prospección TEM se diseña para complementar la campaña gravimétrica. Para una adecuada definición de los perfiles de prospección TEM se consideran criterios técnicos que los validen. Para ello, es necesario observar las características del valle de la cuenca río Salado, de acuerdo a la información que ofrecen mapas representativos (Unidades Fisiográficas (**Figura 2-5**) e Hidrogeológicas (**Figura 2-19**), y el mapa Geológico (**Figura 2-18**)), distanciar a unos 200 (m) los puntos TEM cercanos a fuentes que generen alteración en la medición, el resultado de campañas de prospección TEM que ofrecen estudios anteriores (CODELCO, 2018a; DOH, 2020a), así como ubicar puntos TEM que coincidan con estaciones gravimétricas, para evaluar la veracidad de dichas mediciones.



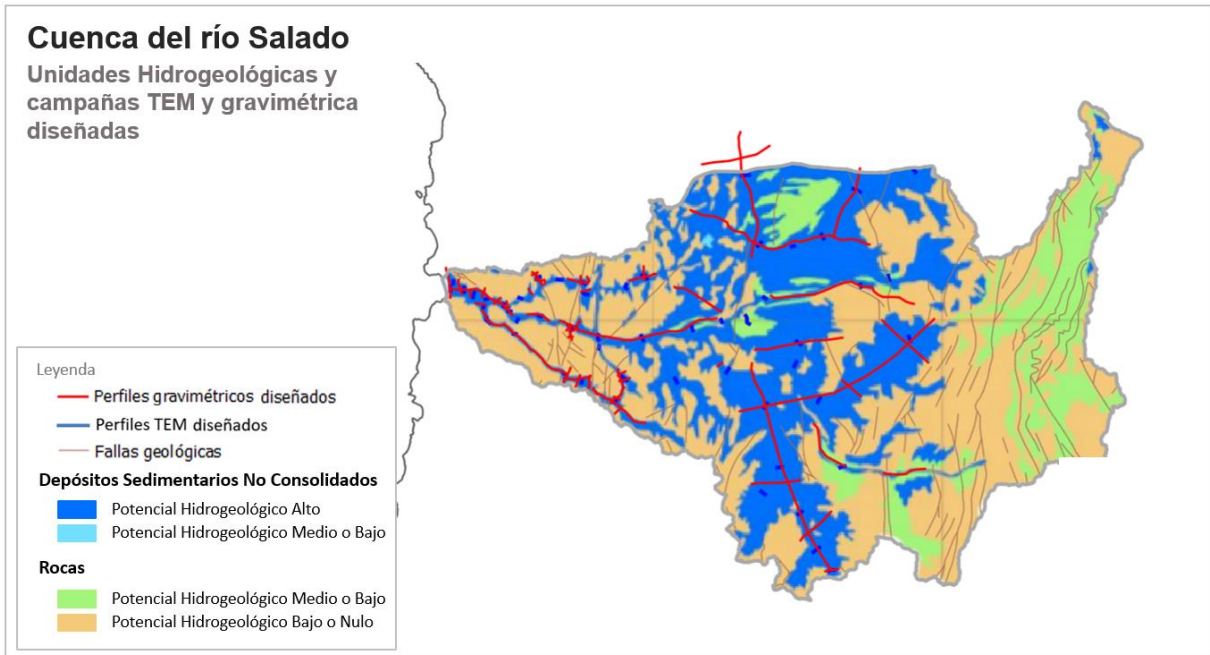
Fuente: Modificado de DGA, 2009

Figura 2-18. Mapa Geológico escala 1:1.000.000 (DGA, 2009) en la cuenca río Salado.

Considerando estos criterios, es posible ubicar perfiles en zonas angostas asociadas a los cauces de los ríos, y en zonas abiertas como en la desembocadura y la Depresión Intermedia, pues resultan de interés hidrogeológico, y se requiere conocer la estratigrafía de la zona estudiada de acuerdo con el loop (circuito) definido.

La geología de la cuenca río Salado se caracteriza por presentar distintas formaciones geológicas asociadas a los procesos geológicos a los cuales ha estado sometida históricamente (**Figura 2-18**).

Para el diseño de los perfiles se tomaron en consideración **formaciones que tuvieron un potencial hidrogeológico alto** de acuerdo con sus propiedades, tales como: permeabilidad, transmisividad y capacidad de almacenamiento, tal como se puede apreciar en la **Figura 2-19**. Generalmente estas propiedades son características de los depósitos aluviales recientes de las formaciones con tonos beige y amarillo claro (**Figura 2-18**) representadas en el área central de la cuenca coincidiendo con la Depresión Intermedia, tal es el caso de las gravas, arenas, limos, conglomerados, areniscas y limolitas, ya que su relación con el lugar y tiempo donde éstos han sido depositados refleja la baja compactación que tienen estas litologías, por ende, resultan buenos reservorios para los recursos hídricos subterráneos.



Fuente: Modificado de DGA, 2009

Figura 2-19. Mapa de unidades hidrogeológicas (DGA, 2009) en la cuenca río Salado.

En este sentido, en la **Figura 2-19** las unidades hidrogeológicas de mayor importancia en la cuenca río Salado poseen una coloración azul, las cuales se distribuyen espacialmente en el sector que ocupa la Depresión Intermedia, y están asociadas fundamentalmente a los depósitos aluviales recientes y antiguos. Las litologías que las rodean son de baja a nula importancia hidrogeológica.

Como se observa en las figuras anteriores (**Figura 2-18** y **Figura 2-19**), los perfiles con puntos de prospección TEM (en líneas azules) en general se ubican donde se observan litologías que tienen alta importancia desde el punto de vista hidrogeológico, relacionados puntualmente a tramos representativos de los perfiles gravimétricos con el objetivo de poder comparar los resultados de ambas metodologías geofísicas en un mismo punto y así poder extrapolar dichos resultados hacia otros sectores.

Además, se ubicaron perfiles con puntos TEM en sectores angostos (quebradas) que conectan distintas unidades hidrogeológicas, así como en el área de la Depresión Intermedia que se extiende de N-S en la zona central de la cuenca.

Se diseñaron perfiles en sectores abiertos, para definir la estratigrafía que existe hacia la desembocadura del río Salado y en varios tramos de la Depresión Intermedia. Con los resultados de esta campaña se busca establecer una correlación con la información que aportan algunos expedientes de pozos perforados en el territorio.

Dadas las unidades geomorfológicas de la cuenca de estudio, que está limitada en sus extremos laterales por las Cordilleras Domeyko y de la Costa, entre las cuales se encuentra

el extenso valle de la Depresión Intermedia, y que presenta una porción de su límite cordillerano Este en el Altiplano; la caracterización geológica que las respalda; y los sistemas de fallas (líneas marrón en **Figura 2-19**) de gran extensión que dominan estructuralmente la región (para la cuenca río Salado las Fallas de Atacama al Oeste, con rocas ígneas que predominan en la Cordillera de la Costa y el Sistema de Fallas Domeyko al Este que presenta formaciones geológicas de baja a nula permeabilidad), se considera que podría existir una conexión hidrogeológica con las cuencas vecinas, desde donde puede ocurrir un aporte de recursos hídricos subterráneamente a través de las estructuras disyuntivas. Por esto se consideró relevante ubicar perfiles en los límites de la cuenca, en litologías características de alta importancia hidrogeológica, dada la magnitud e importancia de lo que implica un PEGH en la zona norte, por la escasez de recursos hídricos. Estos perfiles se ubican en los mismos sectores donde se ubicaron los perfiles de la campaña gravimétrica.

Para cada perfil de prospección TEM se define el tamaño del circuito (loop) acorde a la profundidad del acuífero que se estima en base a la información hidrogeológica disponible (ver detalle del diseño de campaña en Anexo K-4). De esta forma, el circuito es de menor alcance y mayor precisión en sectores angostos y en las zonas abiertas de mayor profundidad es de mayor alcance y menor precisión.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-20. Ubicación de perfiles geofísicos y red vial en la cuenca río Salado.

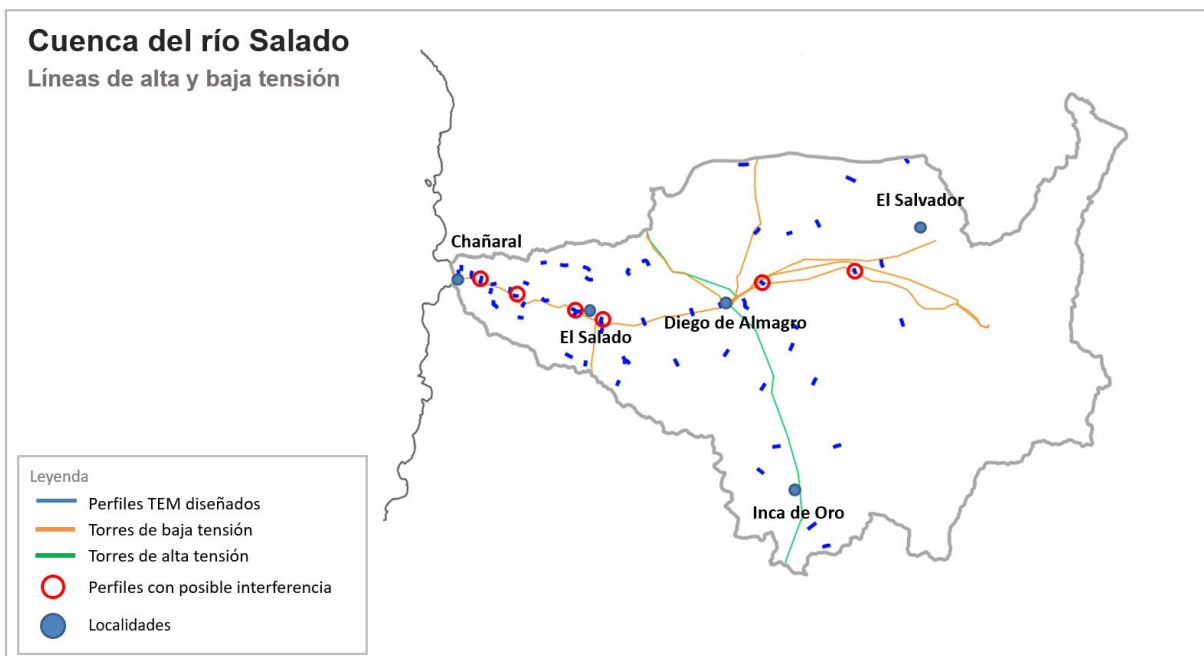
Existen estudios (CODELCO, 2018a; DOH, 2020a), que muestran resultados de campañas de prospección TEM realizadas en un sector al oeste de Pampa Austral (División Salvador, CODELCO), y hacia la desembocadura del río Salado, por lo que son un aporte relevante en la descripción hidrogeológica de la cuenca río Salado.

Es importante mencionar que los perfiles se ubican principalmente siguiendo la dirección de algunos caminos y carreteras por la accesibilidad requerida para establecer las estaciones (**Figura 2-20**).

Con la finalidad de evitar interferencia con las torres de alta tensión del Sistema Interconectado Central (SIC), se considera un criterio de distancia entre los puntos TEM dentro de los perfiles y las torres de alta tensión, la cual varía según la estabilidad de la corriente (**Figura 2-21**). En general, se requiere una distancia mínima de los puntos TEM dentro de un perfil a las torres de alta tensión de 100 (m).

Sin embargo, la evaluación de interferencia de las torres de alta tensión se debe verificar en terreno y se define como criterio que, en caso de percibirse interferencia durante la medición, la distancia se aumentará a 200 (m), espaciando los puntos TEM dentro del perfil a una distancia donde no se debería generar interferencia.

El mapa de energía del territorio nacional (<http://energiamaps.cne.cl/#>) permite conocer en el catálogo del menú principal, las distintas líneas de transmisión de electricidad que se distribuyen a lo largo del país. En la cuenca río Salado se observan las torres de alta tensión (líneas color verde y naranja de **Figura 2-21**) del SIC con dirección Oeste-Este y Norte-Sur. Dado que no se logra obtener el archivo original, con auxilio de un programa SIG se logra digitalizar la ubicación aproximada de las torres de alta tensión en la cuenca, y así ubicar los perfiles TEM (círculos rojos en **Figura 2-21**) más próximos a las torres de alta tensión.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-21. Ubicación de perfiles de prospección TEM y torres de alta tensión en la cuenca río Salado.

En la cuenca río Salado se han definido 6 puntos ubicados en los siguientes perfiles: 3, 27, 40, 42, 44 y 53 (Figura 2-21), los cuales se encuentran cercanos a las torres de alta tensión. Su distancia real hacia las torres de alta tensión es confirmada en terreno, ya que no se cuenta con el archivo real (kml, kmz o shp) del SIC donde se reflejen con exactitud las distancias entre los perfiles y las torres de alta tensión (ver Anexo K-4). Es importante destacar que se tiene especial cuidado con la ubicación de los puntos TEM en los perfiles mencionados, buscando orientar el perfil de manera perpendicular a la línea de alta tensión y ubicando los puntos TEM a una distancia de al menos 200 (m) de la línea de alta tensión, de manera de evitar las interferencias que se podrían generar.

Adicionalmente, se tiene especial cuidado con respecto a los indicadores de interferencia que se observan en las mediciones de terreno, de acuerdo a lo descrito anteriormente.

Las interferencias no solo son causadas por las torres de alta tensión, otras fuentes que también replican el campo magnético son: estructuras metálicas como galpones o torres de almacenamiento de agua, transformadores, plantas eléctricas de paneles fotovoltaicos, etc. Se recomienda ubicar puntos de prospección TEM a una distancia de 200 (m) de las zonas pobladas y de cualquier tipo de estructura metálica para evitar el ruido que ello podría generar. Al igual que para las líneas de alta tensión, se busca revisar siempre la existencia de interferencia durante la medición y se desplazarán los puntos TEM que presenten interferencia de acuerdo a lo descrito en el subcapítulo 2.3.4.

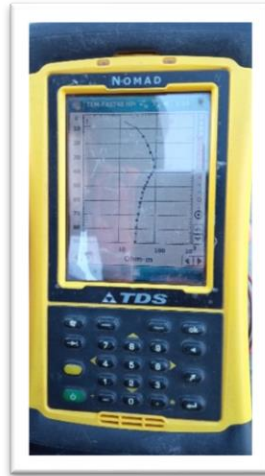
Otro tipo de interferencia que se refleja en las mediciones es el geológico, el cual se refleja cuando existe heterogeneidad litológica en el sector donde se realiza la medición. Para este tipo de interferencia no es necesario un cambio de ubicación del punto TEM, debido a que las estructuras geológicas presentes en la cuenca es parte de lo que se busca determinar mediante la campaña Geofísica.

2.3.2 Equipos que se utilizan en la campaña de prospección TEM

El instrumento utilizado en el levantamiento de información geofísica con el método de Transiente Electromagnético (TEM) corresponde a:

1) Instrumento TEM-FAST48

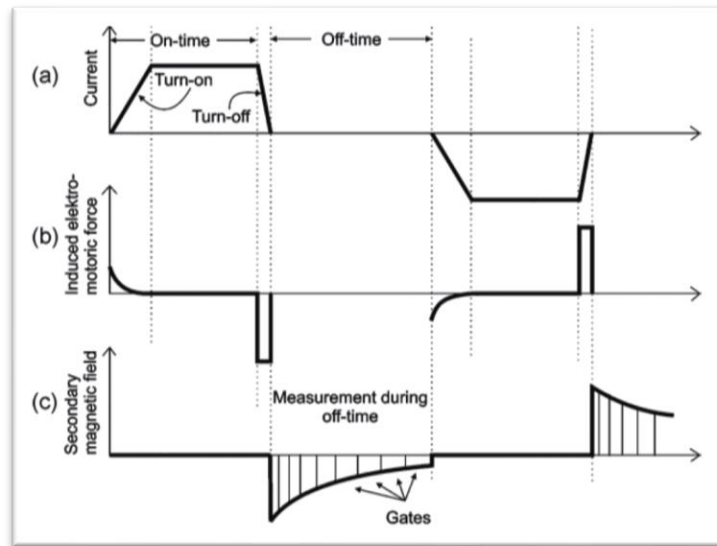
TEM-FAST48 es un instrumento para mediciones de Transiente Electromagnético TEM desarrollado por la empresa AEMR Ltd. (Applied Electromagnetic Research) (**Figura 2-22**). Fue desarrollado con la estrategia de un sistema "simple - rápido - robusto". Este instrumento permite realizar estudios hasta profundidades de 500 (m) a más. El número 48 representa el número máximo permitido de canales de adquisición. Esos 48 canales de ventanas de tiempo van desde 4,1 (μ s) a 15,4 (μ s), abarcando más de cuatro décadas a razón de 12 canales / década (**Figura 2-23**).



Fuente: Colaboración de Terra Pacific Solutions SpA

Figura 2-22. Instrumento propuesto para la campaña

La banda de frecuencia del receptor es mayor a 4 (MHz), lo que permite una precisa medición del tiempo de las señales. El equipo realiza autocalibraciones y test durante las mediciones (**Figura 2-23** y **Figura 2-24**). La fiabilidad del instrumento es óptima y exigente en condiciones extremas.



Fuente: Colaboración de Terra Pacific Solutions SpA

Figura 2-23. Esquema de ventanas de registro (gates) de los instrumentos.

| #No | Time mcs | E/I U/A | Err U/A | Resistivity Ohm-m |
|-----|-------------|------------|------------|----------------------|
| 1 | 4 | +1.34e-001 | 6.7e-005 | +1.71 |
| 2 | 5 | +7.78e-002 | 3.0e-005 | +1.70 |
| 3 | 6 | +5.82e-002 | 2.5e-005 | +1.52 |
| 4 | 7 | +4.88e-002 | 2.9e-005 | +1.33 |
| 5 | 9 | +4.07e-002 | 1.3e-005 | +1.10 |
| 6 | 11 | +3.40e-002 | 1.4e-005 | +0.87 |
| 7 | 13 | +2.96e-002 | 1.5e-005 | +0.71 |
| 8 | 15 | +2.62e-002 | 1.3e-005 | +0.60 |
| 9 | 17 | +2.27e-002 | 7.1e-006 | +0.49 |
| 10 | 21 | +1.92e-002 | 7.5e-006 | +0.39 |
| 11 | 25 | +1.67e-002 | 7.3e-006 | +0.32 |
| 12 | 30 | +1.48e-002 | 7.3e-006 | +0.27 |
| 13 | 35 | +1.27e-002 | 3.4e-006 | +0.22 |
| 14 | 43 | +1.07e-002 | 2.9e-006 | +0.18 |
| 15 | 51 | +9.26e-003 | 3.5e-006 | +0.15 |
| 16 | 59 | +8.19e-003 | 3.7e-006 | +0.13 |
| 17 | 71 | +7.03e-003 | 1.7e-006 | +0.10 |
| 18 | 87 | +5.94e-003 | 1.7e-006 | +0.08 |
| 19 | 103 | +5.17e-003 | 1.7e-006 | +0.07 |
| 20 | 119 | +4.59e-003 | 1.5e-006 | +0.06 |
| 21 | 142 | +3.95e-003 | 9.7e-007 | +0.05 |
| 22 | 175 | +3.33e-003 | 9.9e-007 | +0.04 |
| 23 | 207 | +2.87e-003 | 9.0e-007 | +0.03 |
| 24 | 239 | +2.51e-003 | 9.7e-007 | +0.03 |
| 25 | 295 | +2.10e-003 | 5.6e-007 | +0.02 |

NAME: Point-123456
 SITE: TEM-FAST 48 HPC AEMR HOLLAND
 REMARK: WELCOME: DEFAULT CONFIGURATION

LOOPS
 IR: 5
 REC: 5
 TURN: 1

LOCATION
 X: 0
 Y: 0
 Z: 0

SETTING
 STACK=11 (55%)
 TIME RANGE=1024 mcs
 TRANSMITTER'S CURRENT=1.08 A
 HUP= 2 mcs
 FILTER=50 Hz

CLOSE CHANGE TITLE

Fuente: Colaboración de Terra Pacific Solutions SpA

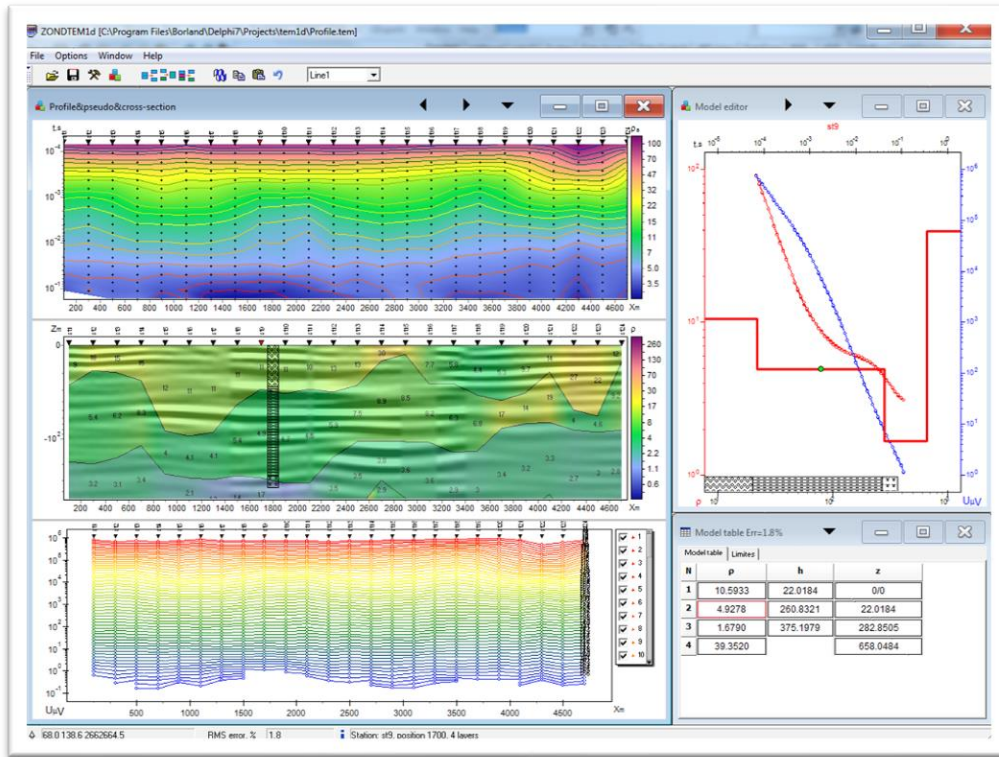
Figura 2-24. Ejemplo de lectura automática en puntos de medición TEM.

El instrumento TEM-FAST48 ha sido utilizado con éxito en miles de mediciones en distintos ambientes a lo largo de Chile y para distintos alcances en profundidad: 10 (m), 50 (m), 100 (m), 200 (m), 500 (m). Se han desarrollado estudios para fines hidrogeológicos a gran escala, para estudios de intrusión marina, evaluación de filtraciones de contaminantes, búsqueda de Litio a gran profundidad, etc. Se han ejecutado múltiples campañas para instituciones como DOH, DGA, CNR, Minerías, área agrícola.

2) Software ZondTEM1D

El software geofísico ZondTEM1D está diseñado para la interpretación unidimensional de estaciones múltiples (resistividad, IP y permeabilidad magnética) de sondeo *transiente electromagnético* (TEM) y de frecuencia para varios sistemas de observación en tierra y aire. La interfaz cómoda y las amplias posibilidades de presentación de datos permiten resolver un problema geológico determinado con la máxima eficacia.

Este software es cómodo, simple y con variedad de soporte de configuraciones y funciones de visualización, la cuenta de datos a priori, exportación a distintos formatos, etc. En la **Figura 2-25** se muestra una pantalla del software con una ventana del ajuste de datos, el modelo 1D y una sección con una secuencia de resultados 1-D para visualizarlos en forma integrada.



Fuente: Colaboración de Terra Pacific Solutions SpA

Figura 2-25. Imagen del software ZondTEM1D.

2.3.3 Campaña de Prospección TEM Ejecutada en Terreno

La aplicación del método de prospección TEM (Transiente Electromagnético) en estudios hidrogeológicos resulta de gran importancia pues al obtener los valores de resistividad eléctrica en profundidad en un circuito diseñado, se conoce la estratigrafía del área que rodea al punto TEM, la que puede ser extrapolada y correlacionada con los puntos TEM medidos más cercanos.

El método de prospección TEM consiste en posicionarse en las coordenadas del punto TEM a medir en un perfil, construir un circuito (loop) alrededor del punto, el cual se define previamente según las características del sector a estudiar, los cables son conectados al instrumento de medición TEM-FAST48 (**Figura 2-22**), y se emite un pulso de corriente de frecuencia variable a través del subsuelo para generar campos electromagnéticos (primario y secundario al encontrar un cuerpo conductor) los cuales son detectados y procesados con el software ZondTEM1D (**Figura 2-25**), resultando un modelo con capas de distinta resistividad eléctrica en profundidad, resultando un perfil estratigráfico del sector que rodea al punto TEM medido. Los datos generados durante la medición son incluidos en detalle en

el Anexo K-3. En la **Figura 2-26** se presentan algunas imágenes del trabajo realizado en terreno.

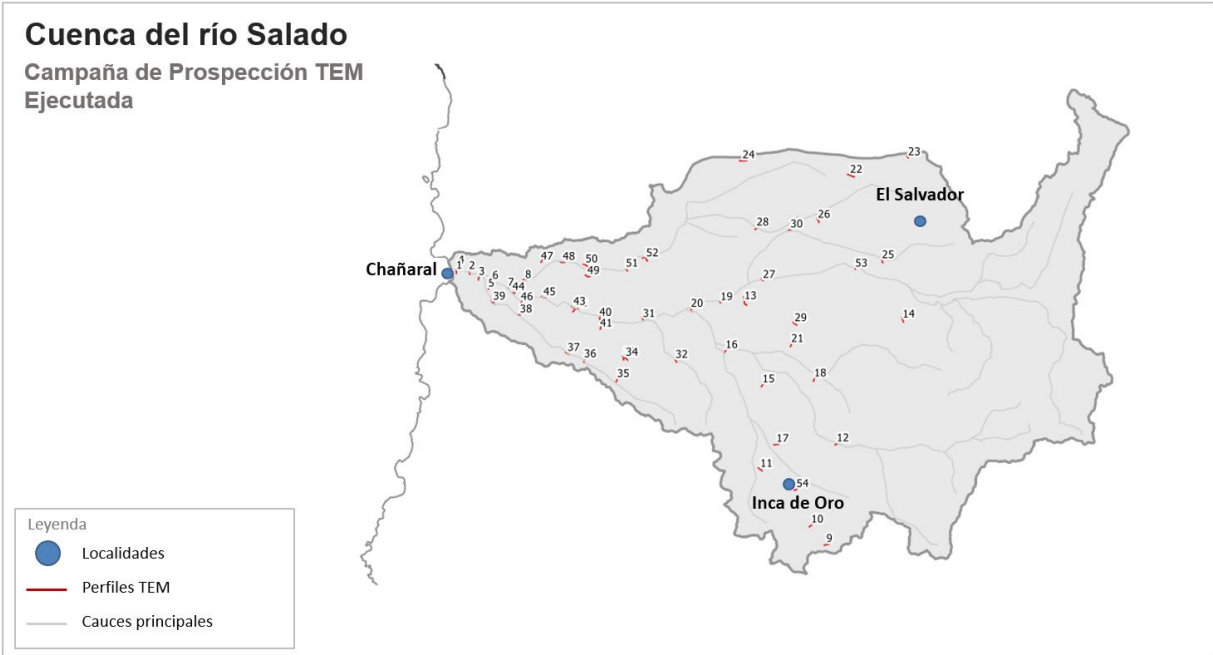


Fuente: Elaboración propia

Figura 2-26. Medición de la resistividad eléctrica en un punto en la Cuenca río Salado.

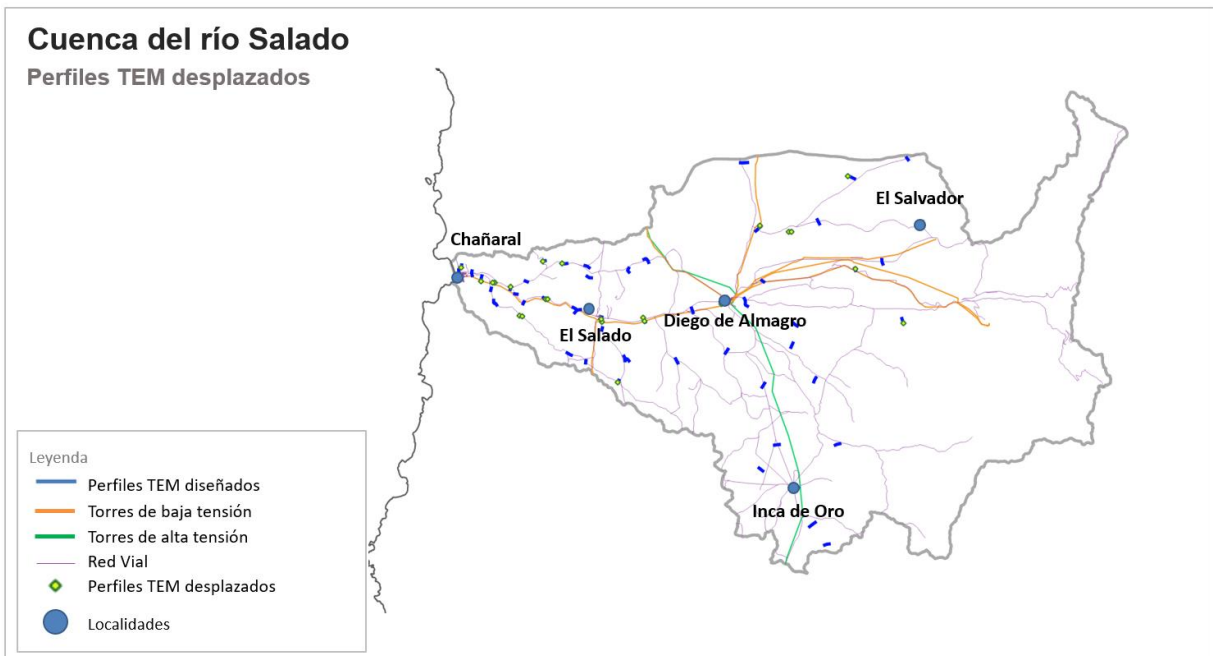
Los 150 puntos TEM diseñados para la cuenca en estudio se midieron en su totalidad, sin embargo, algunos fueron desplazados de las coordenadas iniciales debido a la cercanía a fuentes de interferencia magnética (torres de alta tensión, rieles, poblados, etc.), inaccesibilidad o ubicación del circuito en vías de acceso de alto flujo vehicular.

En la **Figura 2-28** se incluyen los perfiles TEM diseñados (líneas azules) y los puntos que tuvieron un desplazamiento de la ubicación inicial (rombos verde-amarillos).



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-27. Perfiles TEM ejecutados para la campaña de prospección TEM



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-28. Ubicación de los puntos TEM modificados en la cuenca río Salado

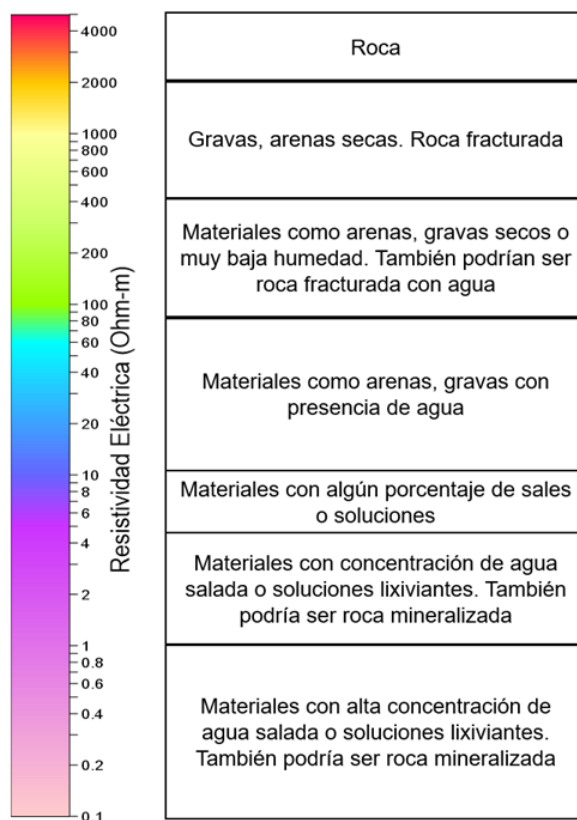
2.3.4 Interpretación de resultados de la Campaña de Prospección TEM

Las mediciones de la resistividad eléctrica de los materiales existentes en los distintos puntos TEM definidos para la cuenca río Salado han sido realizadas. Se han considerado circuitos acordes a la profundidad definida a medir, a modo de reflejar una aproximación del espesor de las formaciones litológicas existentes bajo el sector medido.

Con el procesamiento y ajuste de los datos medidos y calculados se han generado modelos de resistividad eléctrica vs profundidad para cada perfil TEM (ver Anexo K-3, Campaña de terreno TEM_v2).

Con la interpretación de los valores de resistividad eléctrica medidos en cada material por punto TEM, no solo se obtienen perfiles geológicos del lugar estudiado, si no también se puede definir la permeabilidad que caracteriza a la capa identificada como acuífera, así como la profundidad del nivel estático. Esto permite la visualización de la geometría del basamento de la cuenca, morfología, características y composición del acuífero.

Para interpretar las secciones de los perfiles generados con el método Transiente Electromagnético (TEM), se considera la escala de resistividad que representa a cada tipo de material (**Figura 2-29**).



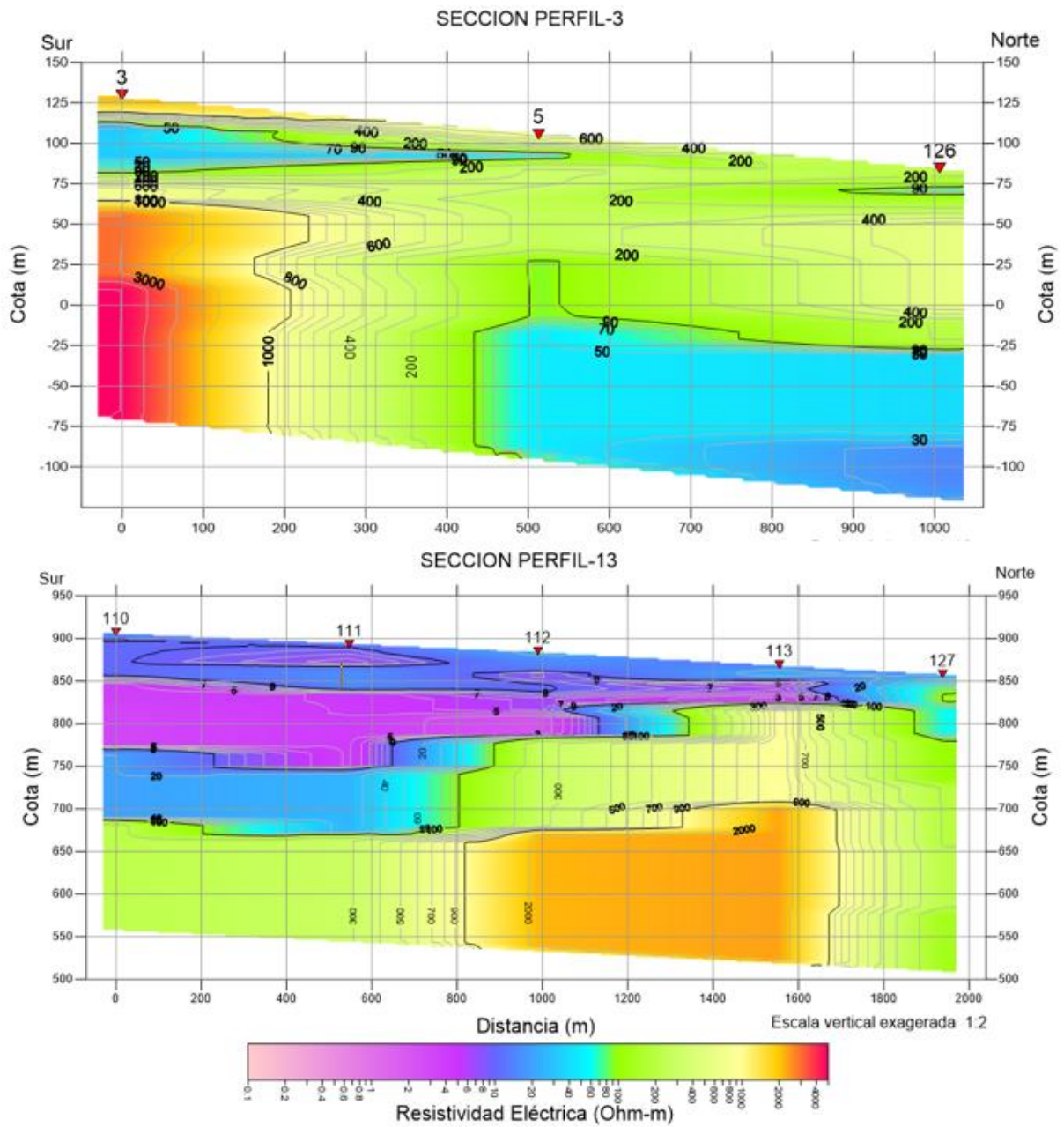
Fuente: Elaborado por Terra Pacific Solutions SpA.

Figura 2-29. Escala de resistividad para interpretar perfiles de prospección TEM.

De esta forma, las secciones de los perfiles 3 y 13 representan a las litologías presentes en el subsuelo con proximidad a la desembocadura (perfil-3) y en el sector donde el río Salado se conecta con la Depresión Intermedia en la zona central (perfil-13). Se puede visualizar que bajo el punto TEM 3 (perfil-3) se detectan altas resistividades que son reflejo del basamento existente a 60 (m) de profundidad, indicando el piso inferior de la capa acuífera en ese sector. Esto se refleja en la imagen satelital, ya que es el punto con más cercanía en el sector al macizo antiguo que aflora en la desembocadura del río Salado. En el perfil-13 se identifica un levantamiento de la roca en los puntos 112 y 113, ya que en profundidad se destacan resistividades elevadas (**Figura 2-30**).

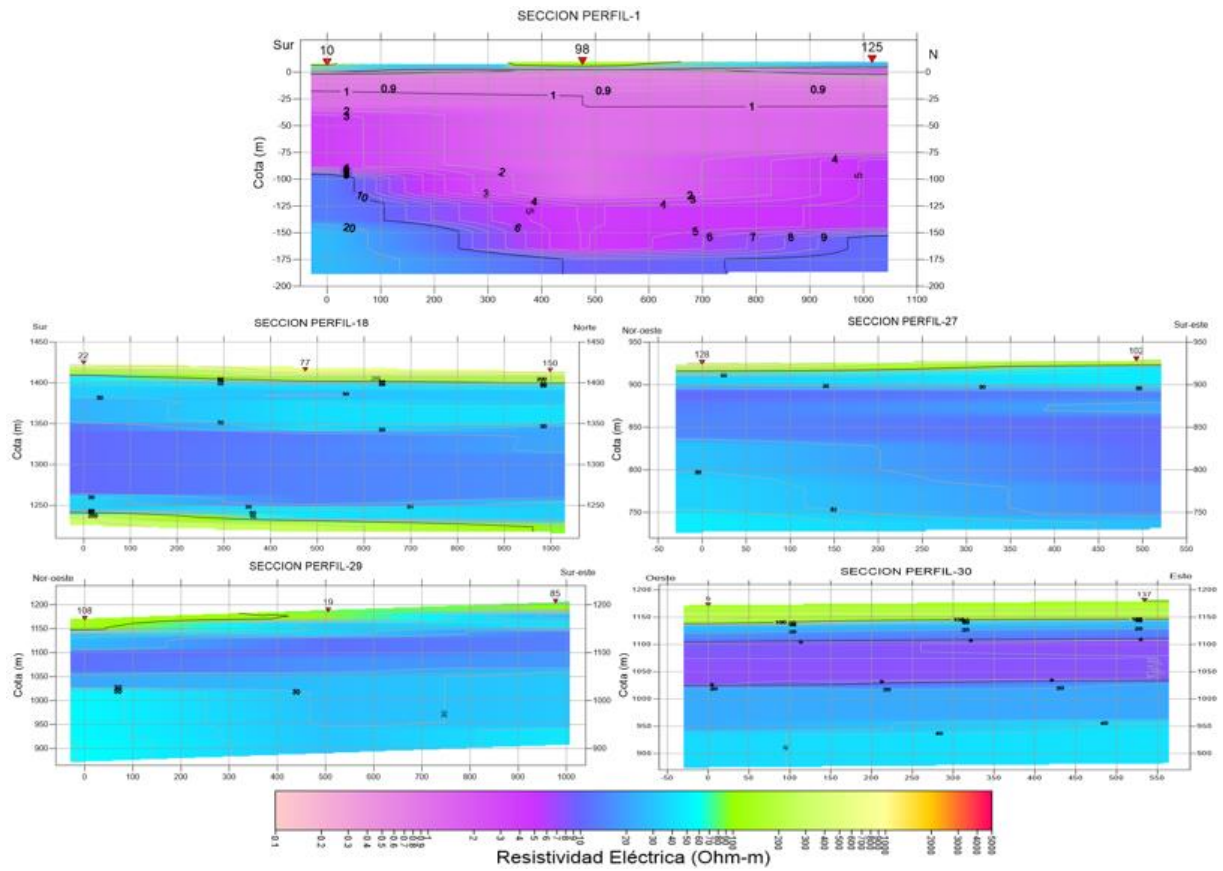
En distintas secciones se observan capas de resistividad homogéneas en distintos sectores de la cuenca. En la **Figura 2-31** se destacan materiales poco y medianamente resistivos, dados los valores que se registraron en las mediciones. En el perfil-1 se reflejan materiales con alto contenido de sales, el cual está ubicado en la desembocadura del río Salado. Los perfiles restantes de la figura son representativos de las rocas que caracterizan a la Depresión Intermedia (zona con profundidades del basamento de gran interés), ya que estos perfiles fueron medidos en distintos puntos de esta.

La cuenca del río Salado geológicamente se caracteriza por conformarse de diversas formaciones geológicas (**Figura 2-7**), esto se denota en varias secciones medidas con el método geofísico TEM con capas de resistividades heterogéneas. A ello, se complementa el clima desértico existente con bajas a nulas precipitaciones, elevada evaporación, contrastes de temperatura en el día y la noche, etc. El detalle de las mediciones con el método geofísico TEM forman parte del Apéndice Anexo K-3 (Campaña de terreno TEM_v2). En este se puede acceder al "INFORME ESTUDIO GEOFISICO RIO SALADO" que registra todos los perfiles con los puntos medidos en el área de estudio.



Fuente: Elaborado por Terra Pacific Solutions SpA.

Figura 2-30. Perfiles interpolados resistividad & profundidad.



Fuente: Elaborado por Terra Pacific Solutions SpA.

Figura 2-31. Perfiles TEM interpolados en algunos sectores estudiados.

2.4 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA A PARTIR DE LOS RESULTADOS DE LAS CAMPAÑAS REALIZADAS

Si bien desde las campañas geofísicas realizadas se pueden obtener diversos resultados interesantes en cuanto a características del terreno, el objetivo más importante es obtener la morfología del basamento y conocer la forma de los acuíferos que contienen el volumen húmedo de la cuenca.

En este subcapítulo se hará un breve repaso por los resultados obtenidos desde estas campañas en cuanto al basamento rocoso y se comentará sobre los puntos más importantes que se pueden sacar en claro.

2.4.1 Profundidad de basamento

Para generar la capa de **profundidad del basamento** en la cuenca se obtienen distintas capas para complementar y generar una mejor interpolación de esta. Entre las capas necesarias para ello, está el perímetro del basamento o contacto acuífero-basamento, los datos precisos que revela la gravimetría, junto a los resultados de la prospección TEM, resultados de estudios anteriores con métodos gravimétricos y prospección TEM (CODELCO, 2018a), la información estratigráfica que incluyen algunos expedientes de pozos en la cuenca, y puntos auxiliares que incluyen bordes, cerros y límites cerca de la costa.

La capa donde se delimita minuciosamente el contacto aproximado acuífero-basamento se realiza considerando la información que revelan los mapas geológicos (1:1.000.000 y las cartas 1:100.000) y la imagen satelital.

Para realizar la interpolación de la información de profundidad de basamento que entregan las estaciones gravimétricas, se ubican puntos auxiliares entre los puntos medidos por las estaciones gravimétricas. Estos valores auxiliares se estiman de acuerdo al método de las transectas en **cauces angostos**, que consiste en hacer transectas perpendiculares a la dirección de un valle, para luego asignar un valor de profundidad a lo largo de estos perfiles proporcional al que se encuentra en otro valle que sí tenga mediciones más fiables de profundidad. Otra forma de estimar los valores en **zonas abiertas** hacia la Depresión Intermedia y la desembocadura del río Salado es promediando los valores cercanos de gravimetría. Se consideran los resultados de los perfiles de prospección TEM en caso de ser acertados los valores que se pueden interpretar de estos; esto se define comparando con los datos de profundidad que muestran las mediciones en las estaciones gravimétricas cercanas.

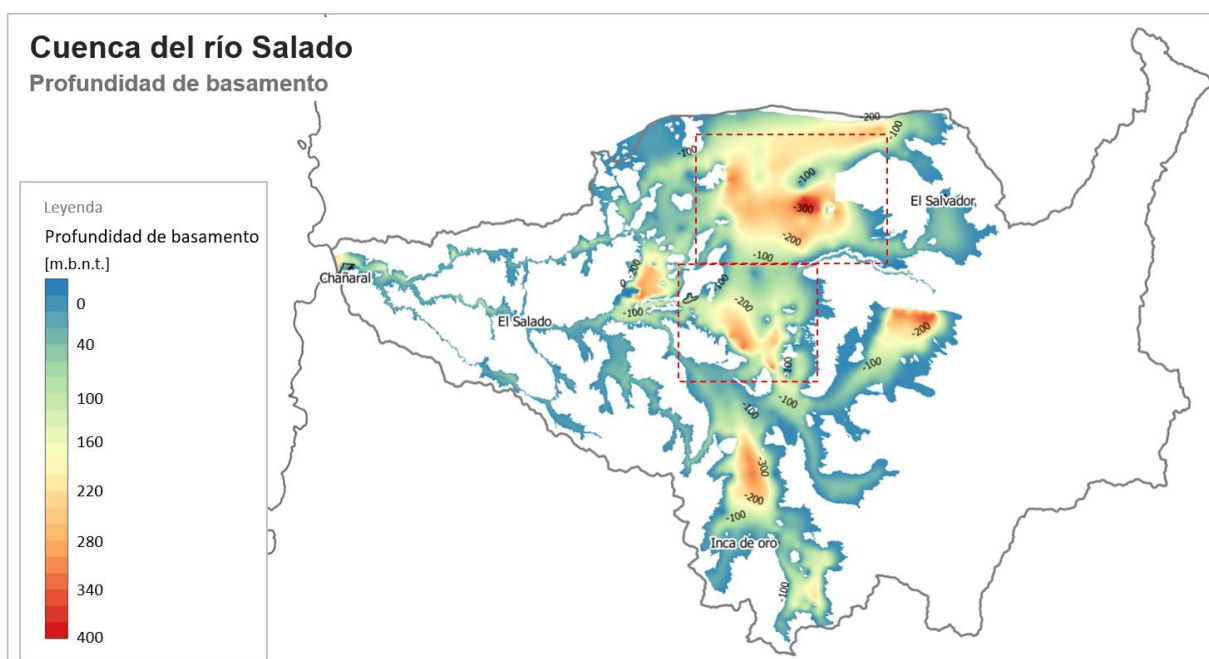
Además, es necesario ubicar puntos de borde alrededor del contacto acuífero-basamento, y puntos en los cerros con un valor de -10 m de profundidad (es decir, bajo el nivel de terreno) para que pueda ser procesado durante la modelación. En la costa se indica un valor exagerado de borde (alrededor de 50 m) considerando los valores de gravimetría más cercanos a la misma. Esto iría complementado a los valores externos de mar, en forma de 3 perfiles, con supuestos de profundidad de (-100 m) superior a cada punto de borde ubicado en la costa.

Seguido a este proceso de añadir los puntos necesarios en cada capa, se les agregan en las tablas de atributos de cada capa las coordenadas (x, y) en el Sistema de Referencia WGS 84/UTM zona 19S. Cada capa es exportada en .csv, las cuales son unificadas en un solo archivo. Este archivo contiene entonces tanto las profundidades medidas con gravimetría como también todos los datos auxiliares estimados.

A continuación, este archivo unificado es cargado en el software Surfer desde la opción Grid/Data para realizar una interpolación. En esta herramienta se especifican las coordenadas en X e Y, el campo que contiene las profundidades, y se indica una resolución de 20 m, esto con el objetivo de poder representar los acuíferos de los cauces estrechos. Realizada la configuración, se hace la interpolación y se obtiene un ráster de la profundidad de acuífero.

Finalmente, en QGIS se añade como una capa ráster y se verifica detalladamente que esta no se esté "desanclando" entre puntos de interpolación debido a que estos estén muy lejos. De no ser así, se revisa cada capa, por si es necesario densificar más la red de puntos, y realizar nuevamente el proceso de interpolación en Surfer.

El basamento final se puede observar en la **Figura 2-32** y un detalle de las zonas más profundas se puede apreciar en la **Figura 2-33**.

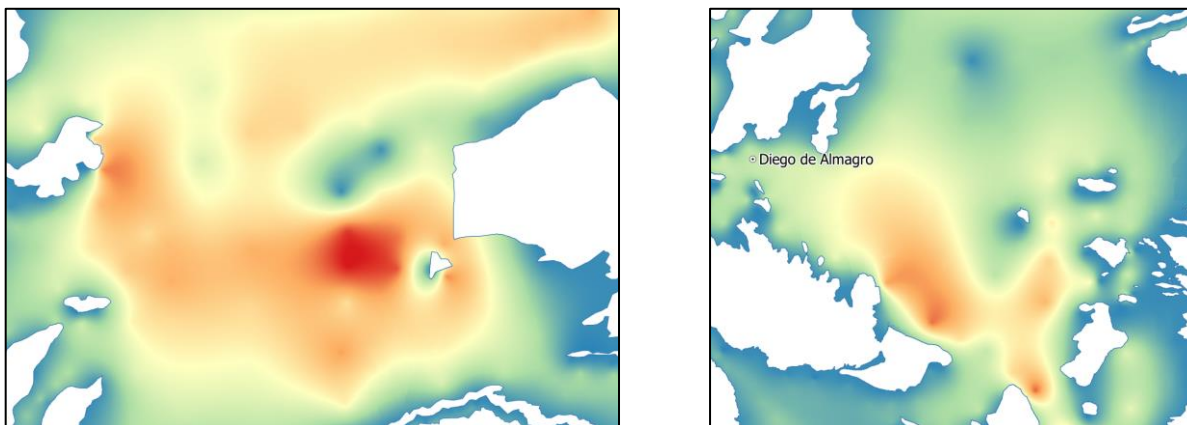


Fuente: Elaboración propia

Figura 2-32. Profundidad de basamento en la cuenca río Salado

Lo primero que salta a la vista es que se cuenta con acuíferos profundos en varios puntos de la cuenca, algunos llegando cerca de los 400 m de profundidad, lo que significa que se tienen grandes reservorios donde está acumulada el agua. Estos reservorios están ubicados

preferentemente en la zona de la Depresión Intermedia, donde se tienen sectores de valles planos y anchos (**Figura 2-33**).

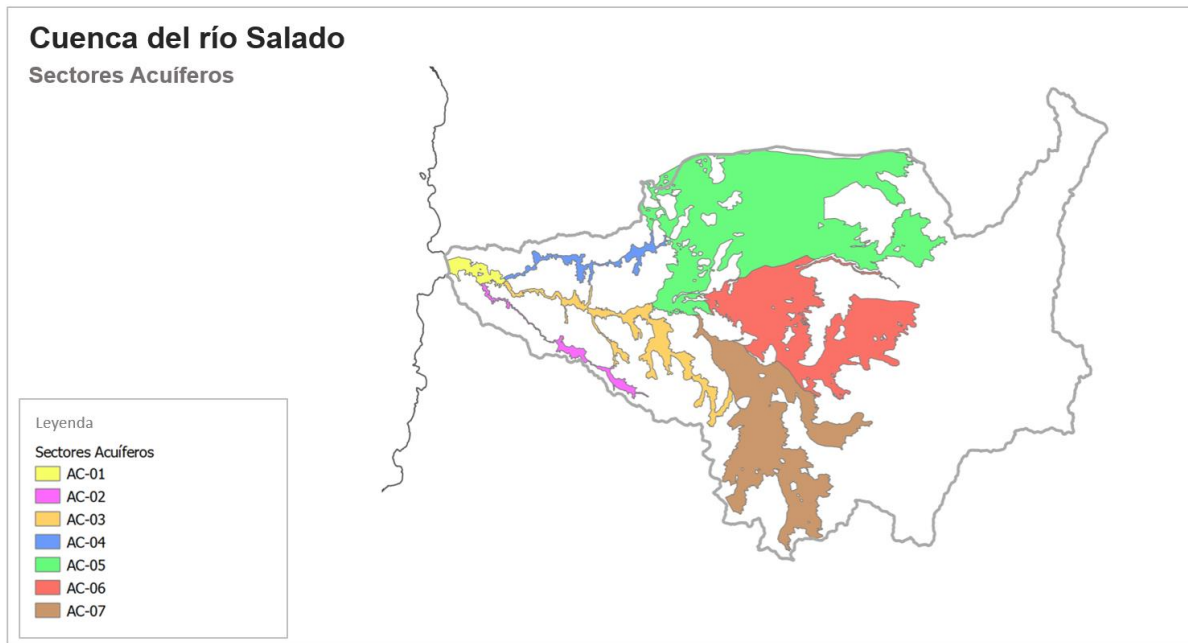


Fuente: Elaboración propia

Figura 2-33. Zonas profundas en el acuífero del río Salado. Detalle de las zonas indicadas en la Figura 2-32.

2.4.2 Sectorización de acuíferos

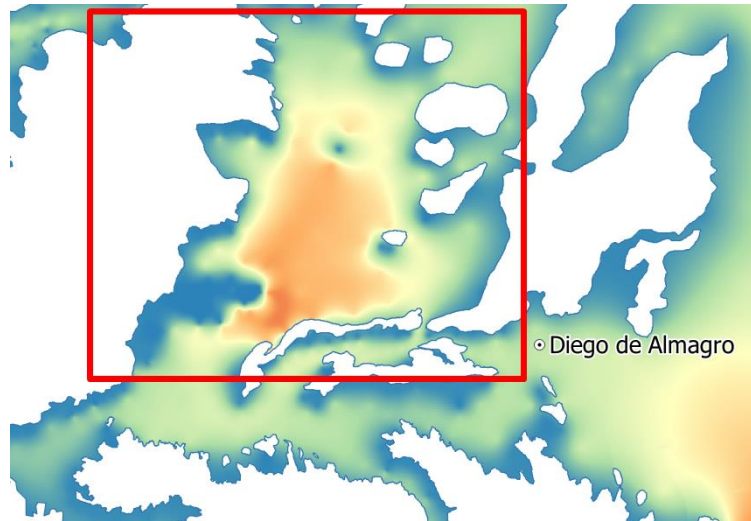
En base a estas profundidades de acuífero y las conexiones que se pueden comprobar entre ellos, se puede hacer una primera sectorización de estos, en la que se intenta individualizar cada una de estas cámaras subterráneas e indicar la comunicación del flujo subterráneo (**Figura 2-34**).



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-34. Sectores acuíferos de la cuenca río Salado

Los 3 sectores acuíferos más grandes se ubican en la Depresión Intermedia, recibiendo aportes desde la Cordillera de Domeyko. Estos tienen una zona de confluencia principal al oeste de la comuna de Diego de Almagro, en donde comienza la Cordillera de la Costa. Una zona interesante cerca de la confluencia es un embalse subterráneo ubicado al noroeste de Diego de Almagro (**Figura 2-35**), en el que, a pesar de la extensión reducida de este, se cuenta con un gran espesor de relleno.

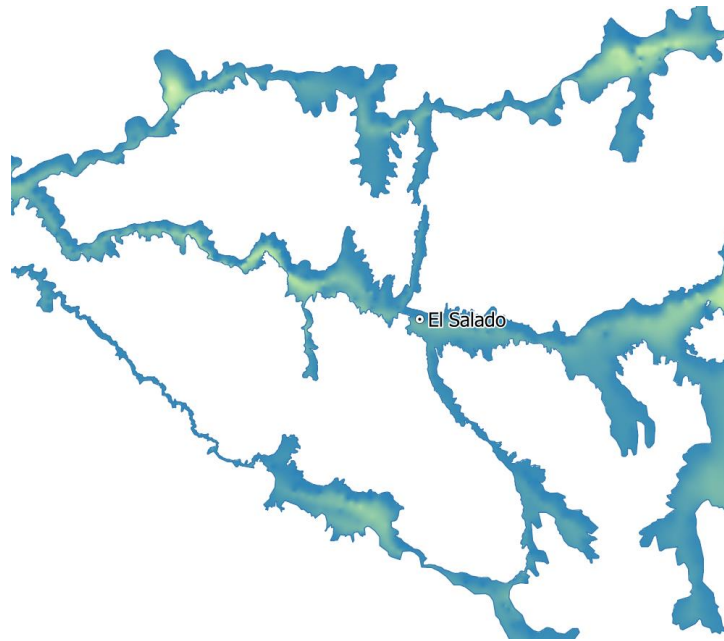


Fuente: Elaboración propia

Figura 2-35. Acuífero profundo cerca de la confluencia de los 3 acuíferos principales

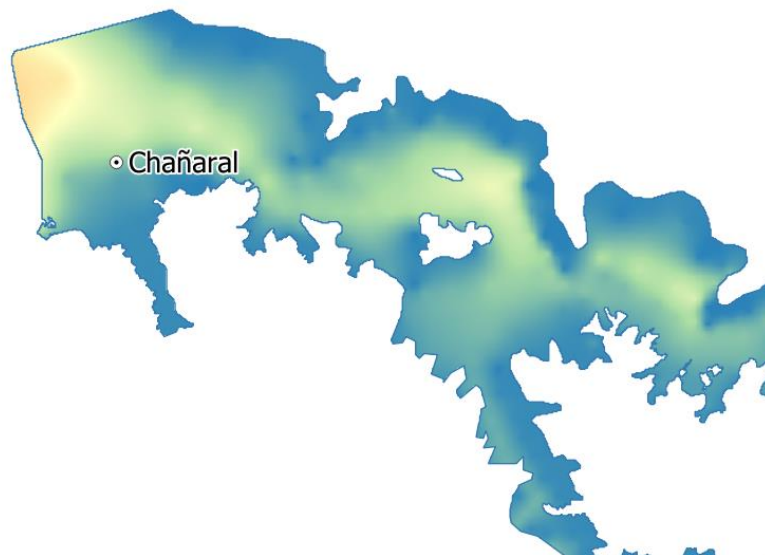
Los acuíferos de la Cordillera de la Costa no presentan profundidades tan exageradas como el valle principal, siendo las profundidades máximas de aproximadamente 120 m y contando con pocas zonas de embalsamiento (**Figura 2-36**).

En la desembocadura de la cuenca se tienen profundidades interesantes, donde las zonas más profundas siguen la curvatura del valle (**Figura 2-37**). El sector que está justo al límite con el mar llega a alcanzar los 200 m. de espesor.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-36. Profundidad de los acuíferos de la Cordillera de la Costa en la cuenca



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-37. Profundidad de basamento en el sector de desembocadura

2.4.3 Permeabilidades

La capa de **permeabilidades** se ha obtenido al interpretar los perfiles que resultaron de la campaña geofísica de prospección TEM, considerando la capa de profundidad de basamento (con el objetivo de validar las profundidades de la capa acuífera ya que la profundidad de los TEM es menos precisa). Para ello, se ha elaborado una data con los valores de resistividad eléctrica (ohm/m) que se definen en cada punto TEM; esto se ha hecho ponderando los valores de resistividad obtenidos en los perfiles de resistividad verticales de las estaciones TEM, en base a la distancia que abarca cada valor de resistividad en profundidad. A estas resistividades se les asocia una conductividad hidráulica (Coduto, 1999) a través de una correlación lineal calculada para el intervalo de resistividad y permeabilidad que puede tener cada material (**Tabla 2-1**). Según el tipo de suelo, se establece la relación de ser más conductivo un material cuando es más permeable y resistivo.

Tabla 2-1 - Datos para el cálculo de permeabilidad según correlación lineal.

| Material | Resistividad (Ohm-m) | K (cm/s) | K _i | K _s | R _i | R _s | Pendiente | Intercepto |
|----------------|----------------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|-------------|
| Gravas | 250,1 a 400 | 1 a 10 | 1 | 10 | 250,1 | 400 | 0,06004003 | -14,0160107 |
| Arenas gruesas | 150,1 a 250 | 0,1 a 1 | 0,1 | 1 | 150,1 | 250 | 0,00900901 | -1,25225225 |
| Arenas medias | 100,1 a 150 | 0,01 a 0,1 | 0,01 | 0,1 | 100,1 | 150 | 0,00180361 | -0,17054108 |
| Arenas finas | 40,1 a 100 | 0,0001 a 0,01 | 0,001 | 0,01 | 40,1 | 100 | 0,00015025 | -0,00502504 |
| Limos | 10,1 a 40 | 0,000001 a 0,0001 | 0,000001 | 0,0001 | 10,1 | 40 | 3,311E-06 | -3,2441E-05 |
| Arcillas | 0,1 a 10 | 0,0000000001 a 0,000001 | 1E-10 | 0,000001 | 0,1 | 10 | 1,01E-07 | -0,00000001 |

$$K(R) = K_i + (R - R_i) \cdot \frac{K_s - K_i}{R_s - R_i} \quad \text{correlación lineal}$$

K_i : Permeabilidad inicial (cm/s)

K_s : Permeabilidad final (cm/s)

R_i : Resistividad inicial (Ω -m)

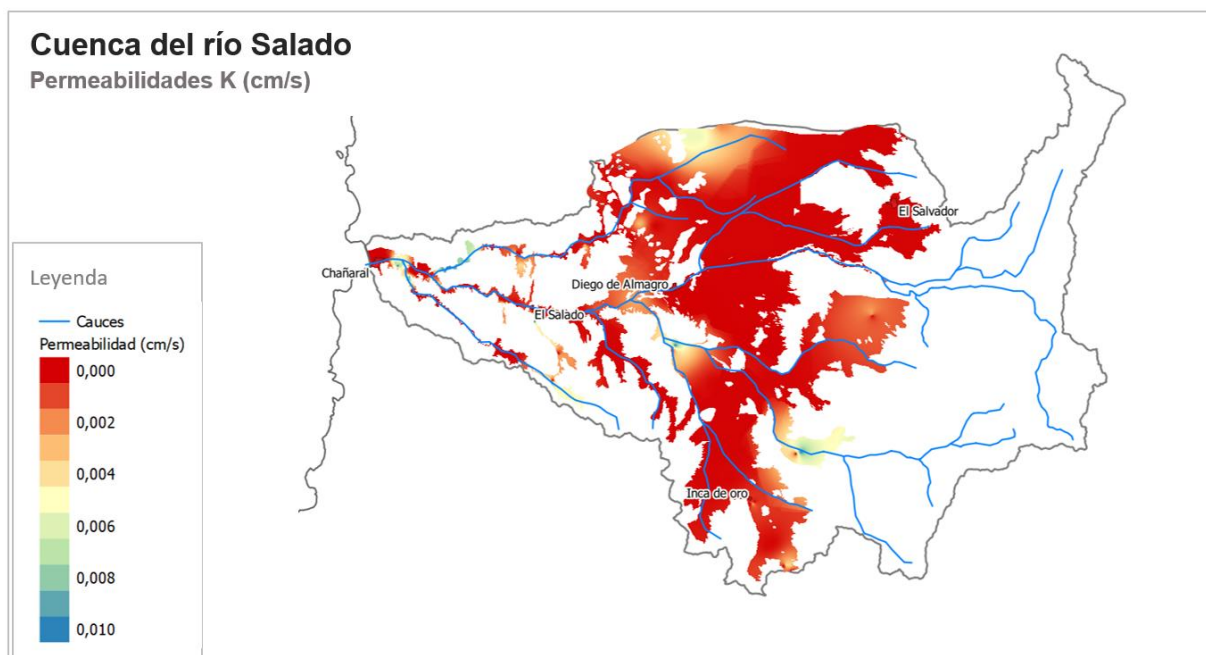
R_s : Resistividad final (Ω -m)

R : Resistividad (Ω -m)

$K(R)$: Permeabilidad en función de R (cm/s)

Dada la magnitud del área de la cuenca se ha diseñado la ubicación de los perfiles TEM con una distribución tal que permita obtener una caracterización global de la misma (ver

resultados de Campaña TEM en Anexo K-3). Sin embargo, al ser insuficiente esta información para generar un mapa de permeabilidades, se realiza la interpretación del mapa geológico, definiéndose distintos perfiles auxiliares con puntos que indican valores de permeabilidades de acuerdo con las formaciones geológicas asociadas. Esta información es interpolada en Surfer y de observarse desconexión en algún sector del área acuífera, debe densificarse la grilla de datos en la zona desconectada y realizar nuevamente la interpolación. El mapa de permeabilidades final para la cuenca río Salado se observa en la **Figura 2-38**.

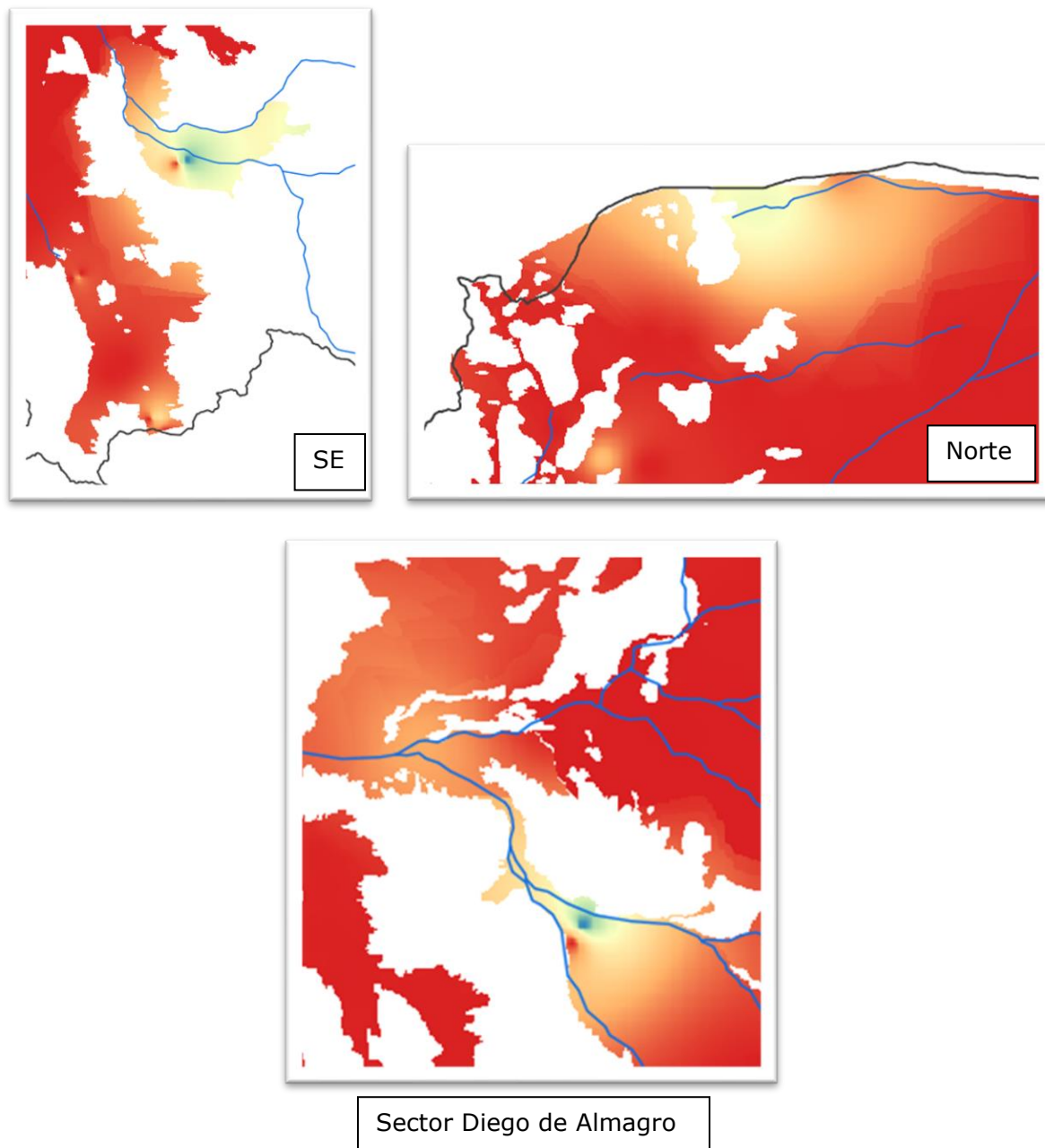


Fuente: Elaboración propia

Figura 2-38. Permeabilidades de la zona acuífera en la cuenca río Salado

La cuenca río Salado se caracteriza por permeabilidades que oscilan en el rango aproximado de $1,95e-07$ y $0,0099$ cm/s. Se observa que predomina un área acuífera representada por bajas permeabilidades asociadas a formaciones litológicas aluviales más cementadas. Sin embargo, existen algunos sectores de interés donde su permeabilidad es más elevada, característica de arenas medianas.

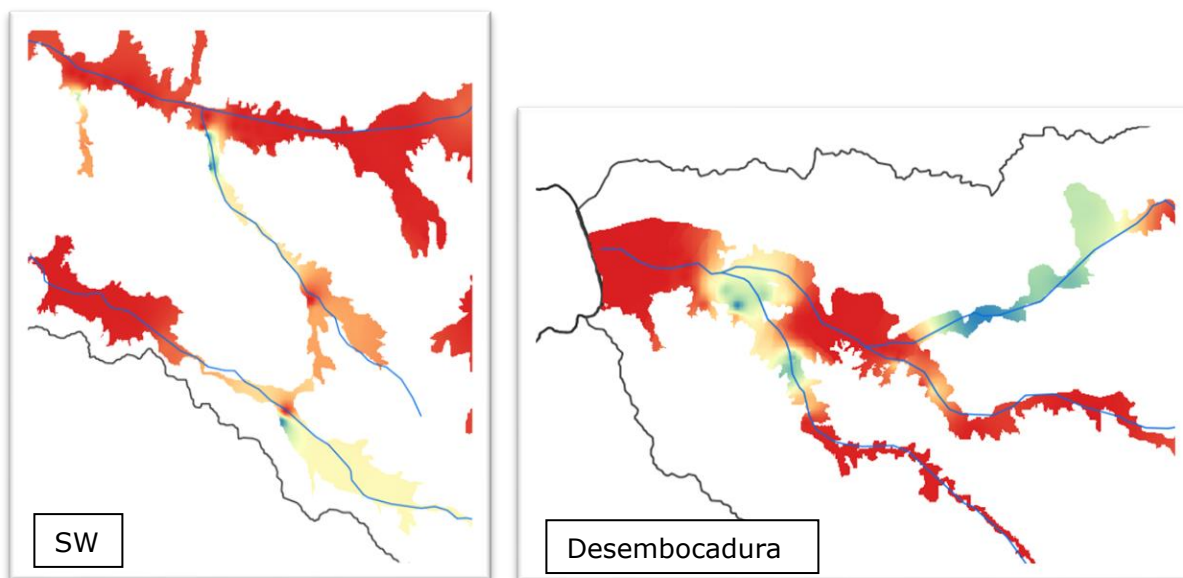
En la zona de la Depresión Intermedia se destacan permeabilidades relevantes en algunos sectores. Al Norte, se establece la hipótesis de una conexión con las cuencas vecinas a través de ese sector (acuífero 5), y coincide con valores medios en el rango establecido para la cuenca. Se observan permeabilidades más elevadas al Sureste indicando sectores más porosos y transmisivos del acuífero 7 (**Figura 2-34**). Ubicado al Sur de Diego de Almagro se distingue otro sector de interés dado su permeabilidad (**Figura 2-39**).



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-39. Zonas acuíferas permeables en la Depresión Intermedia de la cuenca río Salado

En los 3 cauces estrechos se visualizan sectores acuíferos con permeabilidades importantes para el sector de estudio. Existe una coincidencia de depósitos aluviales con altas permeabilidades en la zona donde se conectan los acuíferos 2 y 3 (**Figura 2-40**).



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-40. Zonas acuíferas permeables al SW y desembocadura de la cuenca río Salado.

Hacia la desembocadura (acuífero 1) también se visualizan zonas acuíferas permeables significativas, donde destaca la zona intermedia entre la línea de costa y la zona de confluencia de los 3 cauces estrechos, la cual se extiende hacia la conexión entre los acuíferos 1 y 2. Estas permeabilidades se denotan en el cauce estrecho asociado al acuífero 4 (**Figura 2-34** y **Figura 2-40**).

El mapa de permeabilidades también es importante para generar los valores de caudal que existen en las conexiones entre sectores acuíferos, según la fórmula de Darcy (Custodio&Llamas, 1996).

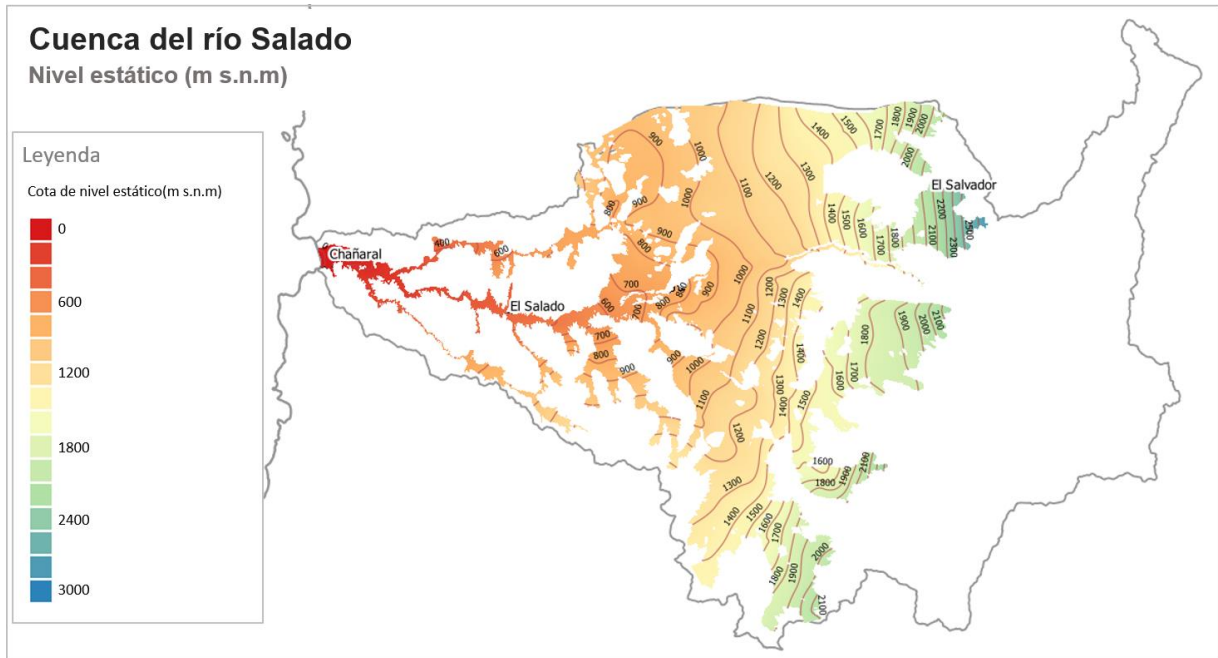
2.4.4 Nivel estático

La capa de **nivel estático** se ha generado interpretando los perfiles resultantes del procesamiento de las mediciones según el método geofísico de prospección TEM que se han realizado en terreno (ver resultados en Anexo K-3). Dado que se encuentra estimada la profundidad del basamento a partir de los resultados de gravimetría, es posible ocupar esta información como apoyo para estimar la ubicación de los niveles estáticos a partir de las resistividades obtenidas en las prospecciones TEM. Para este procedimiento, en cada estación TEM se analiza el perfil de resistividades obtenido y, tomando como referencia la escala presentada en la Figura 2-29, se determina la presencia de agua en el lugar y la ubicación estimada del nivel estático; sin embargo, es importante mencionar que no en todas las estaciones TEM se presentan resultados tan tajantes y apegados a aquella escala, por lo que en general también se determinó la ubicación del nivel estático de aguas subterráneas observando cambios abruptos de resistividad en la profundidad. Por otra parte, también se consideran perfiles TEM de estudios anteriores (CODELCO, 2018).

Cabe mencionar que la DGA no cuenta con estaciones de medición de niveles de aguas subterráneas en la cuenca de estudio, y tampoco existen estaciones que sean de otro organismo público. De esta manera, para apoyar las estimaciones de nivel estático realizadas a partir de las mediciones TEM, solo se cuenta con las profundidades de napa subterránea tomadas durante el desarrollo de la campaña hidroquímica de este estudio y no con mediciones de una red hidrométrica.

Con el objetivo de realizar una interpolación acertada del nivel estático, se definen perfiles auxiliares con valores de nivel estático intermedios entre los perfiles TEM medidos. De esta manera, se procede a la interpolación en Surfer de la data de niveles estáticos (m.s.n.m.) obtenida para la cuenca. Se debe prestar atención a las zonas de conexión entre sectores acuíferos con vistas a los cálculos de caudal que se detallan en el numeral 2.2.8 Flujos entre sectores acuíferos, ya que el caudal entre sectores acuíferos es un insumo requerido para el modelo subterráneo e input de entrada en la modelación numérica de aguas superficiales en WEAP.

El mapa de niveles estáticos por cota (m.s.n.m.) se representa en la **Figura 2-41**.



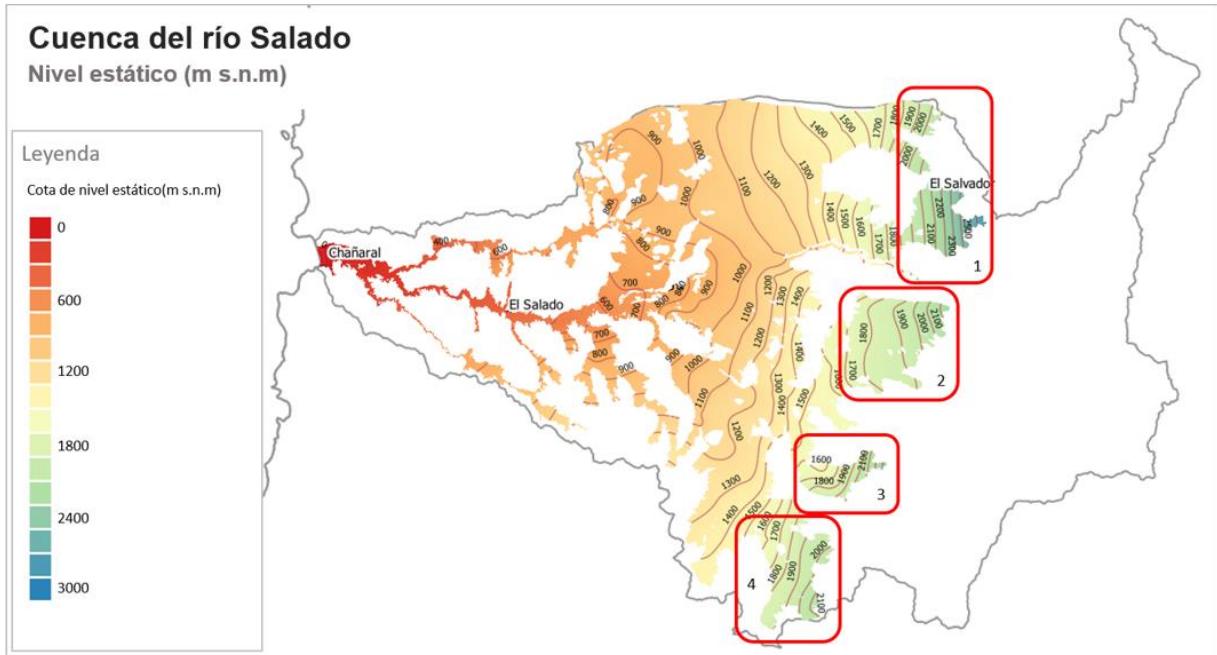
Fuente: Elaboración propia

Figura 2-41. Niveles estáticos de la zona acuífera en la cuenca río Salado

A modo global, en la zona este del acuífero, las profundidades del nivel estático son de aproximadamente 20 m en los sectores 1 y 2 de la **Figura 2-42**, mientras que en los sectores 3 y 4 el nivel estático de las aguas se encuentra a aproximadamente 40 m de profundidad.

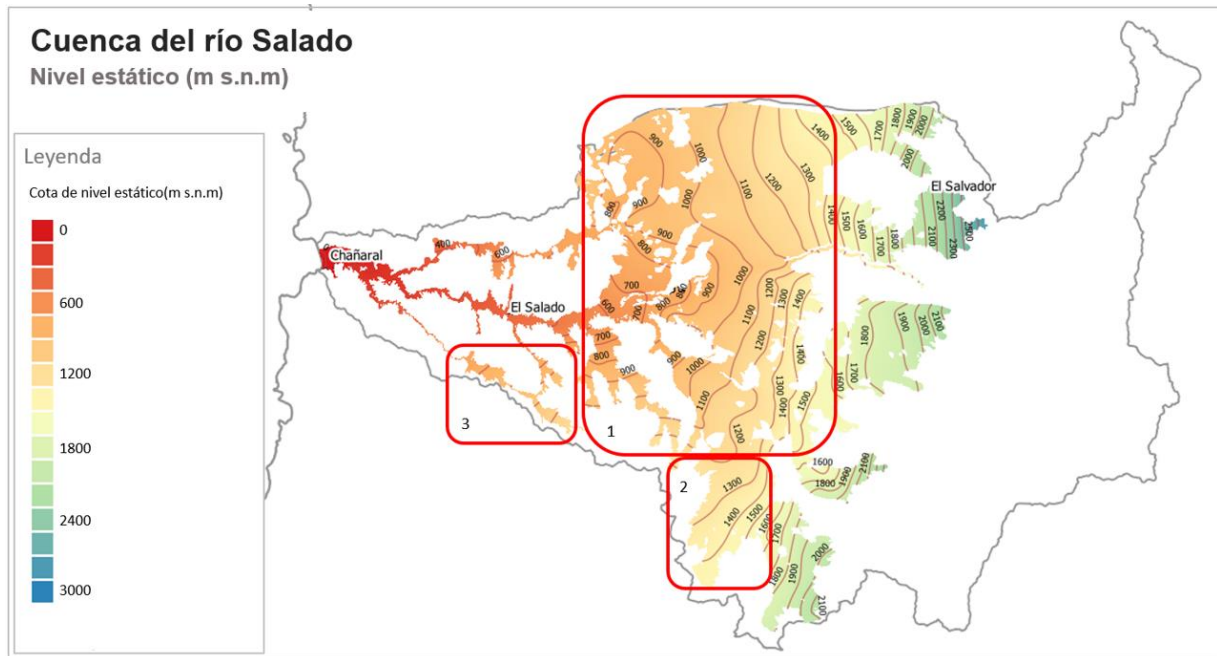
En la región central del acuífero, en la zona 1 de la **Figura 2-43**, existen profundidades del nivel estático del orden comprendido entre 20 a 100 m dependiendo de la evolución de la topografía de la zona. Por otra parte, en la zona 2 de la misma figura, se observan profundidades aproximadas de 20 m. Por último, en la zona 3 de la Figura 2-43 se aprecian profundidades del orden de 10 m.

Finalmente, en los sectores 1, 2 y 3 de la **Figura 2-44**, la profundidad del nivel estático de las aguas es del orden de 10 a 20 m.



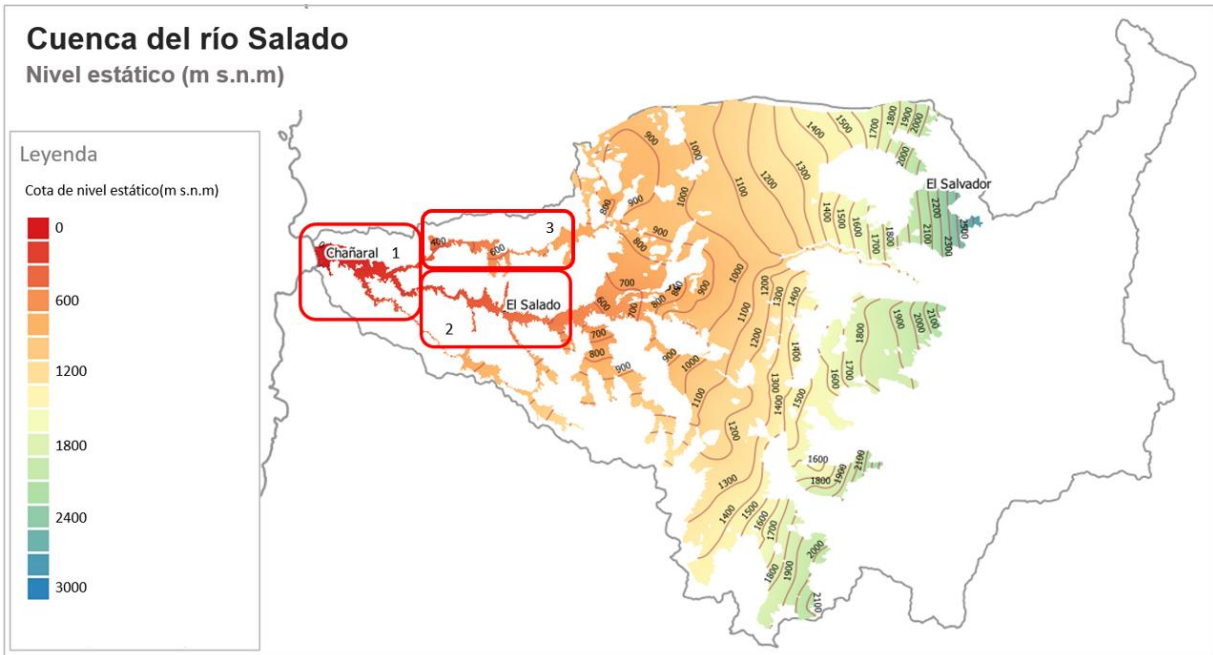
Fuente: Elaboración propia

Figura 2-42. Niveles estáticos en la zona este del acuífero en estudio



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-43. Niveles estáticos en la zona central del acuífero en estudio



Fuente: Elaboración propia

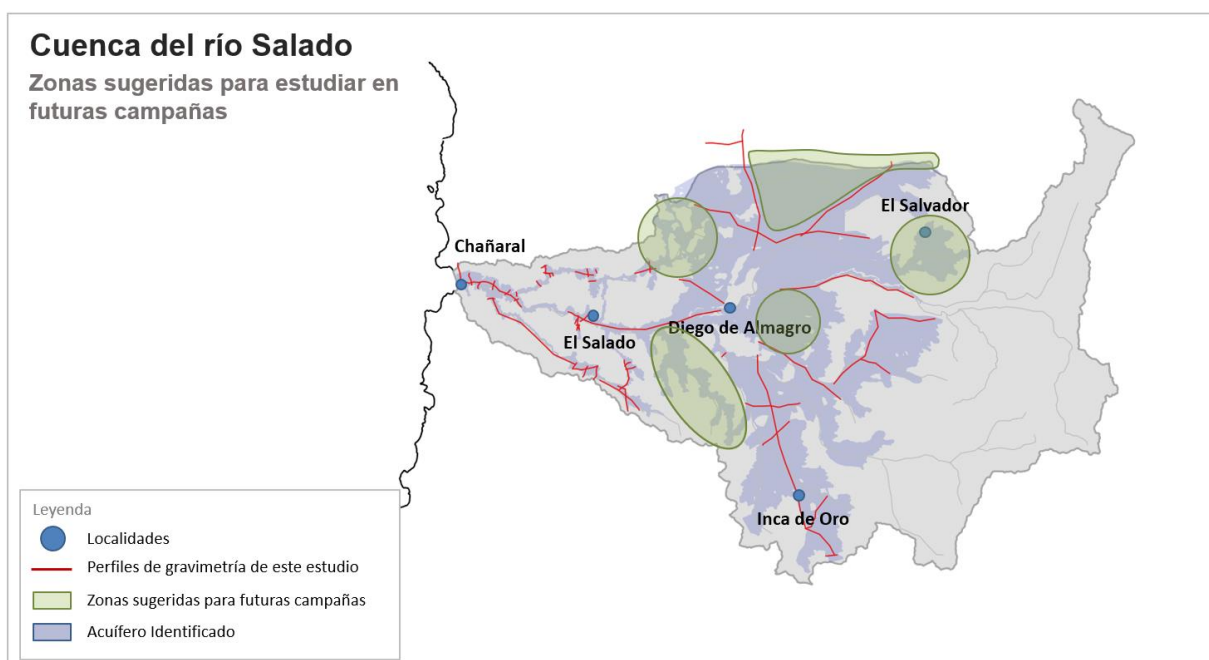
Figura 2-44. Niveles estáticos en la zona de desembocadura del acuífero en estudio

2.5 BRECHAS DEL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN HIDROGEOLÓGICA

Dentro de las principales oportunidades de mejora a la información levantada en las campañas hidrogeológicas de terreno, se puede mencionar:

- **Mejoramiento de la estimación de la ubicación del nivel de aguas subterráneas.** Esto debido a que los niveles en el presente modelo conceptual fueron estimados a partir de mediciones TEM, que arrojan una incertidumbre importante al momento de interpretar las mediciones obtenidas y determinar la ubicación de la napa subterránea. En general, esta información podría ser apoyada a través de medición directa de niveles de aguas subterráneas en pozos de observación ubicados a lo largo de la cuenca (no se cuenta con pozos de observación de niveles en la actualidad). Esto sería de vital importancia en la eventualidad de que se construya un modelo hidrogeológico numérico en el futuro, ya que aquel eventual modelo necesitará estadísticas de medición de niveles en diferentes lugares de la cuenca para que pueda ser calibrado. Se recomienda que en esa eventualidad, la estadística de niveles disponible sea continua y superior a 10 años; en caso extremo, no menor a 5 años.
- **Mejoramiento en la estimación de las permeabilidades en el acuífero.** Si bien es cierto que a partir de las campañas realizadas fue posible estimar magnitudes de permeabilidad en la extensión del acuífero, estas más bien corresponden a un primer acercamiento del conocimiento de la zona y no a valores de precisión suficiente para muchos objetivos. Esto se debe a que estas permeabilidades fueron obtenidas a partir de la interpretación de resistividades medidas a través de TEM, lo que corresponde a un proceso indirecto y en general poco preciso para la estimación de permeabilidades. Se sugiere apoyar estas estimaciones a través de mediciones por pruebas de bombeo, las que podrían ser útiles y utilizadas como insumo en la construcción de un modelo hidrogeológico numérico futuro.
- **Estudio de conexiones subterráneas con acuíferos ubicados aguas arriba del acuífero del río Salado.** Es decir, analizar y estudiar la existencia de posibles conexiones del acuífero de la cuenca del Salado con otros acuíferos ubicados en la cordillera de Los Andes, en la zona del salar de Pedernales. Para ello, se necesitaría de una campaña hidrogeológica orientada especialmente en la zona este del acuífero de Salado, en la zona de cordillera de Domeyko, y estaría orientada a determinar la existencia de la conexión. En caso de existir, tendría que estimarse de alguna forma el flujo que recibe el acuífero de Salado desde aquellos lugares. Sería necesario estudiar eventuales acuíferos fisurados y/o kársticos entre la zona del salar de Pedernales y la cuenca del río Salado.
- **Extensión de las mediciones gravimétricas a los sectores del acuífero que no alcanzaron a ser estudiados en esta ocasión.** La campaña de gravimetría ejecutado en esta oportunidad tuvo como objetivo estudiar el acuífero de la cuenca

de modo global y sistémico, teniendo en cuenta los recursos disponibles para el desarrollo del estudio. En este sentido, fue necesario priorizar la medición en ciertos lugares en desmedro de otros, por lo que, para próximas campañas, se recomienda el análisis de los sectores encerrados en verde en la **Figura 2-45**. Corresponden a lugares extensos en los que no hubo mediciones, a sectores angostos no estudiados que corresponden a pasillos por los que descargan caudales de otros sectores más amplios del acuífero, y al límite norte de la cuenca, donde todo indica que existiría una conexión subterránea con el acuífero vecino, de la cuenca ubicada al norte del río Salado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-45. Zonas sugeridas para estudiar en futuras campañas hidrogeológicas

- **Estudio más detallado de los estratos que componen el acuífero de la cuenca.** Como ha sido mencionado anteriormente, las campañas llevadas a cabo tienen el objetivo de estudiar globalmente la cuenca y obtener información útil para la elaboración de un plan de gestión hídrica. En esta línea, y contemplando las limitaciones de recursos disponibles para la realización de las campañas hidrogeológicas, no se obtuvieron resultados con un detalle suficiente como para determinar la composición estratigráfica del acuífero y la extensión espacial de estos estratos en sus dimensiones verticales y horizontales. Un levantamiento de información a través de sondajes o a través de prospecciones TEM con mayor cantidad de estaciones, perfiles más extensos y ubicación de estaciones más

cercanas unas con otras, podría ayudar a la construcción de un modelo más completo de los estratos del acuífero y entendimiento de la dinámica de las aguas subterráneas.

Contenido de los Anexos:

Anexo K - 1: Campaña de Gravimetría diseñada

Este anexo contiene 7 archivos. El Anexo N°1 es un .kml con los perfiles gravimétricos diseñados y aprobados por la DGA para la campaña gravimétrica. El Anexo N°2 corresponde a un Excel con información de interés para la campaña (nombre del perfil, su longitud, distancia entre puntos (estaciones gravimétricas) en cada perfil, y el número de puntos por perfil). Se incluye un .pdf con los registros de entrega de los reglamentos de higiene (Anexo N°3), un .kml con la ubicación de las estaciones que coinciden en roca (Anexo N°4), un .pdf con la Carta Gantt que detalla los trabajos en terreno (Anexo N°5). En el Anexo N°6 se describe en un Excel la comparación de precisión entre gravímetros, para fundamentar el cambio del equipo con respecto al exigido por bases. También existe un archivo .pdf con la minuta aprobada para la realización en terreno de la campaña gravimétrica.

Anexo K - 2: Cartas geológicas escala 1:100.000 zona de estudio

Este anexo contiene las 6 cartas geológicas a escala 1:100.000 que forman parte del área de estudio (Chañaral y Diego de Almagro, El Salvador, Inca de Oro, Quebrada Salitrosa, Salar de Maricunga y Potrerillos). Fueron consideradas en los análisis de la geología de la cuenca río Salado debido a que la escala es más detallada y precisa que la del Mapa Geológico a escala 1:1.000.000 (Sernageomin, 2003), permitiendo mayor precisión en el diseño de las campañas de terreno.

Anexo K - 3: Campañas gravimetría y TEM ejecutadas

En el presente anexo se incluyen los resultados crudos y de procesamiento obtenidos por las empresas subcontratadas en ambas campañas: gravimetría y prospección TEM.

Como parte de la campaña de terreno de gravimetría resultaron 11 archivos: un archivo Word con los perfiles que se generaron a partir de la interpretación de los perfiles gravimétricos (Perfiles según Anomalía de Bouguer, Modelo Calculado y Residual); un proyecto en QGIS que incluye capas de la campaña de gravimetría diseñada y medida, estas capas son también compiladas en un archivo WinRAR. Además, existe un archivo en formato Excel y .csv con los datos de cada estación medida (coordenadas (x, y, z) y valor de la gravedad). Las fotos tomadas durante el trabajo en terreno se compilan en un archivo WinRAR. La grilla de la campaña se incluye en un Excel con las coordenadas y profundidad

definida del basamento para cada estación. Los perfiles realizados y su ubicación en la cuenca están definidos en un .kml. En 2 archivos Excel se detalla el procesamiento de los datos crudos generados a partir de las mediciones.

De la campaña de prospección TEM resultaron 5 archivos: un Excel con la Campaña TEM diseñada, y otro que incluyen los puntos TEM con sus coordenadas, que requirieron ser movidos por interferencias durante la medición. Los datos crudos de las mediciones son agrupados en un archivo WinRAR. Además, se adjuntan el Informe del Estudio Geofísico para la Cuenca Estudiada en Word, así como un .kml con los puntos TEM donde se identifican los puntos modificados en la cuenca río Salado.

Anexo K - 4: Campaña de TEM diseñada

Este anexo contiene 5 archivos. El Anexo N°1 es un .kml con los perfiles de la campaña de prospección TEM diseñada y aprobada por la DGA. El Anexo N°2 corresponde a un Excel con varios datos de interés (número de perfil, su longitud, distancia entre puntos TEM, coordenadas para un punto de cada perfil y número de puntos por perfil). Se incluye un .pdf con la Carta Gantt que detalla los trabajos en terreno (Anexo N°3), y en otro .pdf se encuentran los registros de entrega de los reglamentos de higiene (Anexo N°4). También existe un archivo .pdf con la minuta aprobada para la realización en terreno de la campaña de prospección TEM.



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO K1 – CAMPAÑA DE GRAVIMETRÍA DISEÑADA

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Anexo K1

En este Anexo se entregan los principales productos resultado de la campaña gravimétrica realizada en terreno. Entre ellos, se incluyen planillas de cálculo con los diferentes puntos gravimétricos, cálculos de precisión; así como también archivos geospaciales y minutas asociadas a esta campaña. Para más detalles, revisar carpeta digital "Anexo K-1" en el anexo correspondiente. La información se encuentra ordenada de la siguiente manera.

Anexo N°1. Perfiles campaña gravimétrica Salado (archivo kml)

Anexo N°2. Puntos gravimétricos Salado (archivo xls)

Anexo N°3. Registros entrega de reglamentos de higiene (archivo pdf)

Anexo N°4. Salado Estaciones en roca (archivo kml)

Anexo N°5. Terreno Carta Gantt (archivo pdf)

Anexo N°6. Comparación de Precisión entre Gravimétricos (archivo xls)

Minuta de campaña gravimetría (archivo pdf)



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO K2 – CARTAS GEOLÓGICAS ESCALA 1:100.000 ZONA DE ESTUDIO

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Anexo K2

En este Anexo se entregan las cartas geológicas escala 1:100.000 utilizadas para el área de estudio. Para más detalles, revisar carpeta "Anexo K-2" en el anexo correspondiente. La información consta de seis cartas en formato JPG y se encuentran ordenadas de la siguiente manera.

Cornejo et al 1998 – Hoja Salar de Maricunga

Cornejo et al 2013 – Carta El Salvador

Godoy & Lara 1998 – Hoja Chañaral y Diego de Almagro

Lara & Godoy 1998 – Hoja Quebrada Salitrosa

Matthews et al 2006 – Carta Inca de Oro

Tomlinson et al 1999 – Hoja Potrerillos



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO K3 – CAMPAÑAS GRAVIMÉTRICAS Y TEM EJECUTADAS

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Anexo K3

En este Anexo se entregan los principales resultados de la campaña de terreno gravimétrica y TEM realizadas en el marco del proyecto. La información se encuentra ordenada según el tipo de campaña e incluyen planillas con los cálculos realizados, archivos geoespaciales, fotografías tomadas en terreno, entre otras. Para más detalles, consultar carpeta digital "Anexo K-3" en el anexo correspondiente. Se encuentra ordenada de la siguiente manera.

- 1. Campaña de terreno gravimétrica**
- 2. Campaña de terreno TEM**



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA RÍO SALADO

ANEXO K4 – CAMPAÑA DE TEM DISEÑADA

**REALIZADO POR
UTP HIDROGESTIÓN S.A. – NTT DATA S.A.**

S.I.T. N.º 490

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2021



Anexo K4

En este Anexo se entregan los principales productos de la campaña TEM en la cuenca río Salado. En esta carpeta digital, se encuentran disponibles archivos geospaciales, planillas de cálculo con los datos recopilados y otros documentos complementarios. Para mayor información, consultar carpeta digital "Anexo K-4" en el anexo correspondiente. La información se encuentra organizada de la siguiente manera.

Anexo N°1. Perfiles campaña Geofísica TEM Salado

Anexo N°2. Campaña TEM Río Salado

Anexo N°3. Carta Gantt

Anexo N°4. Registros entrega de reglamentos de higiene

Minuta de campaña TEM Cuenca Salado