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

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DE LA QUEBRADA TOTORAL Y COSTERAS HASTA QUEBRADA DE CARRIZAL

INFORME FINAL

ANEXOS

REALIZADO POR:

CON POTENCIAL CONSULTORES SPA

S.I.T. N° 500

Santiago, Junio 2022

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas

Arquitecto Sr. Juan Carlos García

Director General de Aguas (S)

Ingeniero Civil Sr. Cristian Núñez Riveros

Directora Regional Atacama (S)

Ingeniera Ambiental Srta. María Avilés Flores

Inspector Fiscal

Ingeniero en Recursos Naturales Renovables Sr. Maximiliano Bolados Arratia

Inspector Fiscal Subrogante

Ingeniero de Ejecución Forestal Sr. Jorge Espinoza Marino

Profesional DEP

Geóloga Srta. Loreto Valdivia Ortiz

Asesor en modelación

Ingeniero Civil Dr. Pedro Sanzana Cuevas

CON POTENCIAL CONSULTORES SPA

Jefe de Proyecto

Ingeniero Civil Sr. Alejandro Arenas Herrera

Equipo Profesional

Ingeniero Civil Dr. Felipe Espinoza Contreras

Geólogo/Hidrogeólogo Igor Aguirre Araneda

Bióloga María Ximena Molina Paredes

Ingeniero Civil Sr. Juan Torres Cubillos

Antropólogo Sr. Víctor Zúñiga Pérez

Geógrafa Sra. Soledad Huerta Miranda

Equipo Apoyo

Ingeniero Civil Sr. Marco Matamala Castro

Ingeniero Civil Sr. Gustavo Romero Sepúlveda

Ingeniero Civil Sr. Ulises Sepúlveda Jilberto

Ingeniero Civil Diego Soto Rodríguez

Geógrafo Sr. Sebastián Bozo Villarroel

Para citar bibliográficamente este estudio, se recomienda la siguiente manera: Dirección General de Aguas (DGA), 2022. Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca de la Quebrada de Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, SIT N° 500, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile. Realizado por: Con Potencial Consultores SpA.

ANEXO A

ABREVIACIONES

ORGANISMOS

AGRIMED	: Centro de Agricultura y Medio Ambiente
BBNN	: Bienes Nacionales
BC	: Banco Central de Chile
BIP	: Banco Integrado de Proyectos
CBR	: Conservador de Bienes Raíces
CEPAL	: Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CIREN	: Centro de Información de Recursos Naturales
CNR	: Comisión Nacional de Riego
CSIRO	: Commonwealth Industrial and Scientific Research Organization
CORA	: Corporación de la Reforma Agraria
CORE	: Consejo Regional
CONADI	: Corporación Nacional de Desarrollo Agrícola
CONAMA	: Comisión Nacional del Medio Ambiente
CORFO	: Corporación de Fomento de la Producción
DARH	: Departamento de Administración de Recursos Hídricos
DGA	: Dirección General de Aguas
DICTUC	: Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Pontificia Universidad Católica de Chile
DOH	: Dirección de Obras Hidráulicas
DPR	: Departamento de Proyectos de Riego
FCH	: Fundación Chile
MOP	: Ministerio de Obras Públicas
IGM	: Instituto Geográfico Militar
INDAP	: Instituto de Desarrollo Agropecuario
INE	: Instituto Nacional de Estadísticas

GORE	: Gobierno Regional
INIA	: Instituto de Investigaciones Agropecuarias
MIDESO	: Ministerio de Desarrollo Social y Familia
MINAGRI	: Ministerio de Agricultura
MINSAL	: Ministerio de Salud
MINVU	: Ministerio de Vivienda y Urbanismo
MMA	: Ministerio de Medio Ambiente
MOP	: Ministerio de Obras Públicas
OCDE	: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
ODEPA	: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias
ONEMI	: Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior
SAG	: Servicio Agrícola y Ganadero
SEA	: Servicio de Evaluación Ambiental
SEIA	: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
SEREMI	: Secretaría Regional Ministerial
SERNATUR	: Servicio Nacional de Turismo
SERNAGEOMIN	: Servicio Nacional de Geología y Minería
SERVIU	: Servicios de Vivienda y Urbanización
SISS	: Superintendencia de Servicios Sanitarios
SMA	: Superintendencia de Medio Ambiente
SUBDERE	: Subsecretaria del Desarrollo Regional y Administrativo
UICN	: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

ABREVIATURAS TÉCNICAS

SSR	: Agua Potable Rural
APU	: Agua Potable Urbana
BIP	: Banco Integrado de Proyectos
BNA	: Banco Nacional de Aguas
BNP	: Bien Nacional Protegido
CA	: Comunidad de Aguas Superficiales
CAS	: Comunidad de Aguas Subterráneas
CASUB	: Comunidades de Agua Subterránea
CA.AA.	: Comunidades Autónomas
CC	: Cambio climático
CC.HH.	: Confederaciones Hidrográficas
CCSM4	: Community Earth System Model
CPA	: Catastro Público de Aguas
DAA	: Derecho de Aprovechamiento de Aguas
DMA	: Directiva Marca del Agua Europea
EIA	: Estudio de Impacto Ambiental
ENSO	: El Niño- Southern Oscillation
ERD	: Estrategia Regional de Desarrollo
ERNC	: Energías Renovables No Convencionales
GCM	: Modelo de Circulación General
GRH	: Gestión de Recursos Hídricos
GSA	: Agencias de Sustentabilidad de Aguas Subterráneas
I+D+i	: Investigación, Desarrollo e Innovación
JV	: Juntas de Vigilancia
MCG	: Modelo de Circulación General

NCh	: Norma Chilena
NF	: Nuevas Fuentes de Agua
LGUC	: Ley General de Urbanismo y Construcciones
OH	: Obras Hidráulicas
OUA	: Organizaciones de Usuarios de Agua
PAC	: Plan de Participación Ciudadana
PEGH	: Plan Estratégico de Gestión Hídrica
PER	: Programa Estratégicos Regionales
PIB	: Producto Interno Bruto
PNU	: Patente por No Uso de agua
PM	: Plan de Monitoreo
PRI	: Programa de Riego Intrapredial
PTAS	: Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas
RCA	: Resolución de Calificación Ambiental
RIL	: Residuo Industrial Líquido
RNAP	: Registro Nacional de Áreas Protegidas
RPA	: Registro de Propiedad de Aguas
RPOU	: Registro Público de Organizaciones de Usuarios
RRHH	: Recursos hídricos
SHAC	: Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común
SGMA	: Acta de Gestión Sustentable de Aguas Subterráneas
SIG	: Sistema de Información Geográfica
SNASPE	: Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado
WEAP	: Water Evaluation and Planing System
ZOIT	: Zonas de Interés Turística

ANEXO B

REFERENCIAS

Estudio	Cita
AGRIMED (2015). Evapotranspiración de referencia para la determinación de las demandas de riego en Chile. Centro de Agricultura y Medio Ambiente (AGRIMED) - Universidad de Chile	AGRIMED (2015)
Arcadis Geotecnica,(2008). Proyecto Caserones, Estudio de Impacto Ambiental, Capitulo 5, Descripción de Línea de Base. Medio Biótico, Vegetación y Flora.	Arcadis Geotecnica (2008)
Criterios e Indicadores para la Conservación de la Biota de los Ecosistemas mediterráneos.	Arroyo (1999)
Banco Central de Chile (2021). Producto interno bruto por clase de actividad económica y por región, anuales, volúmenes a precios del año anterior encadenado. Base de Datos Estadísticos.	Banco Central de Chile (2021)
German Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR), 2012. LinkKitchen, User Manual.	BGR (2012)
Börgel, R (1983). Geomorfología. Colección Geografía Chile, Ediciones Instituo Geográfico Militar, Santiago, 182 pp.	Börgel (1983)
Centro de Cambio Global-Universidad Católica de Chile, Stockholm Environment Institute, 2009. Guía Metodológica – Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP. Desarrollada con contribuciones del PACC (Proyecto de Adaptación al Cambio Climático a través de una efectiva gobernabilidad del agua en Ecuador), Ministerio del Ambiente de Ecuador, y PROMAS (Programa para el Manejo del Agua y del Suelo) de la Universidad de Cuenca, Ecuador.	Centro de Cambio Global (2009)
Agua de Niebla. Nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en Zonas Áridas y Semiáridas. Editores: Pilar Cereceda, Pedro Hernández, Jorge Leiva y Juan de Dios Rivera. 2014.	Cereceda et al. (2014)
Centro de Información de recursos naturales CIREN (2013). Caracterización de Humedales Altoandinos para una Gestión Sustentable de las Actividades Productivas del Sector Norte del País. Flora y Vegetación III Región de Atacama.. -CIREN/L. Orellana.	CIREN (2013)
CIREN (2019). DEM Alos Palsar Región de Atacama. Recuperado en http://www.ide.cl/descargas/capas/Imagenes/DEM/ATCMA.rar	CIREN (2019)
CNR (2015). Eficiencias de aplicación de agua según método de riego, establecidas por el "Manual Técnico de presentación de proyectos de obras de tecnificación de riego" en el ITT-02. Comisión Nacional de Riego (CNR)	CNR (2015)
Diagnóstico para Desarrollar Plan de Riego en Cuenca de Huasco. Comisión Nacional de Riego-Facultad de Ciencias Agronómicas Universidad de Chile. 2016	CNR (2016)
Estrategia y Plan de Acción para la Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad de Atacama 2020-2017. Comité Regional de Biodiversidad -CONAMA, CONAF, SAG, CRIDESAT, SERNAPESCA. 2009	Comité Regional de Biodiversidad (2009)

Estudio	Cita
CORPORACION NACIONAL DE DESARROLLO INDIGENA (2022) Comunidades Indígenas. Actualización 2022. Sistema Integrado de Información CONADI.	CONADI (2022)
Estrategia Nacional para la Conservación y Uso racional de los Humedales en Chile.	CONAMA (2005)
Dirección General de Aguas (DGA), 2007. Resolución 425: Deja sin efecto resolución DGA N°341, de 2005, y establece nuevo texto de resolución que dispone normas de exploración y explotación de aguas subterráneas. Ministerio de Obras Públicas (MOP), 2007.	DGA (2007)
Dirección General de Aguas (DGA), 2008. Manual de normas y procedimientos para la administración de recursos hídricos, SIT N° 156, Ministerio de Obras Públicas (MOP), Dirección General de Aguas, Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH), Santiago, Chile.	DGA (2008)
Análisis y Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos de los Acuíferos Costeros Ubicados entre los Ríos Salado y Huasco, III Región de Atacama. SIT 198.	DGA (2010)
Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile. Dirección General de Aguas-UTP Hídrica Consultores SpA y Aquaterra Ingenieros Ltda. 2017a	DGA (2017a)
DGA (2017b). Actualización del Balance Hídrico Nacional, SIT N° 417, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile, Realizado por: Universidad de Chile y Pontificia Universidad Católica.	DGA (2017b)
DGA (2018a). Aplicación de la metodología de actualización del balance hídrico nacional en las cuencas de las macrozona norte y centro, SIT N°435. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile. Realizado por Fundación para la Transferencia Tecnológica y Pontificia Universidad Católica de Chile.	DGA (2018a)
Evaluación de la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos en los sectores acuíferos de la quebrada Totoral. Informe Técnico DARH N°378/2018	DGA (2018b)
Evaluación de la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos en los sectores acuíferos Llanos de Challe, Llanos de Algarrobal y La Jaula, y Llanos Chacritas y Las Campanas. Informe Técnico DARH N°311/2018	DGA (2018c)
DGA (2019a). Aplicación de la metodología de actualización del balance hídrico nacional en las cuencas de las macrozona sur y parte de la macrozona austral, SIT N°441. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile. Elaborado por: Universidad de Chile, facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.	DGA (2019a)
DGA (2019b) Análisis de disponibilidad de aguas subterráneas de los sectores acuíferos denominados Totoral Bajo y Totoral Alto, ubicados en la provincia de Copiapó, Región de Atacama. Informe Técnico DARH N°226/2019	DGA (2019b)

Estudio	Cita
Desarrollo de Herramienta para el Análisis de Gestión en el Marco del Plan Nacional de Recursos Hídricos. DICTUC S.A. – SEI. Dirección General de Aguas, 2019.	DGA (2019c)
DGA (2019d) Migración de modelos hidrogeológicos desarrollados en visual-modflow y groundwater vistas hacia su estado nativo de código modflow, SIT N°477. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile. Realizado por Pontificia Universidad Católica de Chile.	DGA (2019d)
DGA (2019e). Cuencas Banco Nacional de Aguas. Recuperando en: https://dga.mop.gob.cl/estudiospublicaciones/mapoteca/Documents/Cuencas_BNA.zip	DGA (2019e)
Dirección General de Aguas (DGA), 2021. Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca de Maricunga, SIT N° 485, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile.	DGA (2021)
(DGA-DOH), 2019. Sustentabilidad de asentamientos humanos rurales en chile. Análisis desde los comités de agua potable rural – cuenca del Aconcagua, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Dirección de Obras Hidráulicas, Santiago, Chile.	DGA-DOH (2019)
DOH (2019). Manual de proyecto de agua potable. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas, Santiago, Chile.	DOH (2019)
Declaración de Impacto Ambiental "Instalación de Servicio de Agua Potable Rural de la localidad de Totoral, comuna de Copiapó", 2001. Dirección de Planeamiento, MOP.	DIRPLAN (2001)
European Environment Agency (EEA): 10. Proposed Groundwater Monitoring Network, EEA, 8 [online] Available from: https://www.eea.europa.eu/publications/92-9167-023-5/page013.html, 2008.	EEA (2008)
Estudio de Impacto Ambiental Proyecto El Morro. Sociedad Contractual Minera El Morro, 2008	SCMEL (2008)
Efstratiadis, A., & Koutsoyiannis, D. (2010). One decade of multi-objective calibration approaches in hydrological modelling: a review. Hydrological Sciences Journal–Journal Des Sciences Hydrologiques, 55(1), 58-78.	Efstratiadis y Koutsoyiannis (2010)
Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: FAO, 298(0).	FAO (2006)
Estudio de Impacto Ambiental Proyecto "Parque Solar Fotovoltaico Nuevo Futuro" AVENIR, Solar Energy Chile. Cap. 7: Línea de base.	Foco Ambiental (2006)
Freeze, R.A. and Cherry, J.A. (1979) Groundwater. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, Vol. 7632, 604.	Freeze y Cherry (1979)
Fundación Chile (2019). Escenarios hídricos, Transición Hídrica, El futuro del Agua en Chile.ISBN:978-956-6200-49-7	Fundación Chile (2019)
Gobierno de Atacama (2013). Diagnóstico, Caracterización y Análisis del Sistema Rural Regional, Informe Final. Plan Regional de Ordenamiento Territorial, Región de Atacama.	GORE Atacama (2013)

Estudio	Cita
Plan Regional de Ordenamiento Territorial. Gobierno Regional de Atacama-División de Planificación y Desarrollo, 2014	GORE Atacama (2014)
Gobierno Regional de Atacama (2015). Política Regional de Turismo Atacama 2016-2025.	GORE Atacama (2015)
Sistema Territorial Cuencas Hidrográficas Región de Atacama. Gobierno Regional de Atacama-División de Planificación y Desarrollo. 2019	GORE Atacama (2019)
Gupta, H. V., Sorooshian, S., & Yapo, P. O. (1998). Toward improved calibration of hydrologic models: Multiple and noncommensurable measures of information. *Water Resources Research*, *34*(4), 751-763.	Gupta et al. (1998)
Gupta, H. V., Kling, H., Yilmaz, K. K., and Martinez, G. F.: Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling, J. Hydrol., 377, 80–91, 2009	Gupta et al. (2009)
Hawkins, E., Osborne, T. M., Ho, C. K., & Challinor, A. J. (2013). Calibration and bias correction of climate projections for crop modelling: An idealised case study over Europe. Agricultural and Forest Meteorology, 170, 19–31. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.04.007	Hawkings et al. (2013)
Hernández, H.J., Galleguillos, M & Estades, C. 2016. Mapa de Cobertura de Suelos de Chile 2014: Descripción del Producto. Laboratorio GEP, Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile.	Hernández et al., (2016)
INE, 1997. VI Censo Agropecuario y Forestal. Elaborado por: Instituto Nacional de Estadística (INE)	INE (1997)
Instituto Nacional de Estadísticas. (2002). CENSO 2002.	INE (2002)
INE, 2007. VII Censo Agropecuario y Forestal. Elaborado por: Instituto Nacional de Estadística (INE)	INE (2007)
Instituto Nacional de Estadísticas. (2017). CENSO 2017.	INE (2017)
Juliá, Cristobal, Montecinos, Sonia, & Maldonado, Antonio (2008). Características climáticas de la Región de Atacama. Libro rojo de la flora nativa y de los sitios prioritarios para su conservación: Región de Atacama, 25-42.	Juliá et al. (2008)
Knoben, W. J. M., Freer, J. E., and Woods, R. A.: Technical note: Inherent benchmark or not? Comparing Nash–Sutcliffe and Kling–Gupta efficiency scores, Hydrol. Earth Syst. Sci., 23, 4323–4331, https://doi.org/10.5194/hess-23-4323-2019, 2019.	Knoben et al. (2019)
Krause, P., Boyle, D. P., & Bäse, F. (2005). Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in geosciences*, *5*, 89-97. https://doi.org/10.5194/adgeo-5-89-2005	Krause et al. (2005)
LA RED, 2009. DesInventar: Sistema de Inventario de Desastres. Guía Metodológica. Versión 8.1.9. [en línea] <https://www.desinventar.org/metodologia.html>	LA RED (2009)

Estudio	Cita
Liang, X., Lettenmaier, D. P., Wood, E. F., and Burges, S. J.: A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models, J. Geophys. Res., 99, 14415–14428, https://doi.org/10.1029/94jd00483, 1994.	Liang et al. (1994)
Lindström, G. (1997). A simple automatic calibration routine for the HBV model. *Hydrology Research*, *28*(3), 153-168.	Lindström (1997)
Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Luebert F. & P. Pliscoff, 2017	Luebert F. y P. Pliscoff (2017)
Madsen, H., 2000. Automatic calibration of a conceptual rainfall runoff model using multiple objectives. J. Hydrol. 235 (3), 276–288. http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00279-1.	Madsen (2000)
Merlet Badilla, H. (1986). Evapotranspiración potencial y necesidades netas de agua de riego en Chile.	Merlet (1986)
Ministerio de Minería (2019). Faenas de Chile. Ministerío de Minería. Recuperado en: https://www.mineriaabierta.cl/mapa/es	Ministerio de Minería (2019)
Diagnostico Estado y Tendencias de la Biodiversidad Región de Atacama. Ministerio Medio Ambiente-PNUD. 2016	MMA (2016)
Biodiversidad de Chile, patrimonio y desafíos. Tercera edición-Tomo II	MMA (2018a)
Plan Nacional de protección de Humedales 2018-2022	MMA (2018b)
Ministerio de Medio Ambiente (2019). Sexto Informe Nacional de Biodiversidad de Chile ante el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB)	MMA (2019)
Ministerio Medio Ambiente (2020 a) 17° Proceso de Clasificación de Especies (2020-2021)-Finalizado. https://clasificacionespecies.mma.gob.cl/procesos-de-clasificacion/17o-proceso-de-clasificacion-de-especies-2020/	MMA (2020a)
Ministerio Medio Ambiente (2020 b). Inventario Nacional de Humedales.https://gis.mma.gob.cl/portal/home/item.html?id=24fe1392a1054e58be7832bd7e25450b	MMA (2020b)
Ministerio Medio Ambiente (2021 a). Diario oficial, CVE. 2015943. Declara Santuario de la Naturaleza Humedal Costero de Totoral.	MMA (2021a)
Ministerio Medio Ambiente (2021 b). Ficha técnica Humedal Costero de Tototal. RNAP	MMA (2021b)
Ministerio Medio Ambiente (2021 c). Sitios prioritarios para la Conservación de la Biodiversidad.	MMA (2021c)
Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., and Veith, T. L.: Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations, T. ASABE, 50, 885–900, https://doi.org/10.13031/2013.23153, 2007.	Moriasi et al. (2007)
Decreto 203: Aprueba reglamento sobre normas de exploración y explotación de aguas subterráneas. Ministerio de Obras Públicas (MOP). Recuperado de https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1060095	MOP (2013)
Ministerio Obras Públicas (2022).Mesa Nacional del Agua, Informe Final.	MOP (2022a)

Estudio	Cita
Ley 21345: Reforma el Código de Aguas. Ministerio de Obras Públicas (MOP), 2022. Recuperado de https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1174443	MOP (2022b)
River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles". Journal of Hydrology. 10 (3): 282–290. 1970	Nash y Sutcliffe (1970)
Organización Meteorológica Mundial. (2008). Guía de Prácticas Hidrológicas Volumen I. World Meteorological Organization, No. 168. Retrieved from http://www.wmo.int/pages/prog/hwrp/publications/guide/spanish/168_Vol_I_es.pdf	OMM (2008)
Proyecto evaluación de redes hidrológicas básicas (BNAP) informe de América del Sur. Organización Meteorológica Mundial, Asociación Regional III (América del Sur), Grupo de Trabajo sobre Hidrología. Humberto Peña T., 1983	Peña (1983)
Räty, O., Räisänen, J. and Ylhäisi, J. S.: Evaluation of delta change and bias correction methods for future daily precipitation: Intermodel cross-validation using ENSEMBLES simulations, Clim. Dyn., 42(9–10), 2287–2303, doi:10.1007/s00382-014-2130-8, 2014.	Räty et al. (2014)
A. Rojas, B. Reyes, L. Magzul, E. Schwarzt, R. Bórquez, D. Jara. 2008. Aguas de la Vida. Manual de Apoyo para la Resolución de Conflictos Socioambientales. Universidad de Regina, Canadá, Universidad de British Columbia, Canadá, Instituto de Ecología Política, Universidad de La Serena.	Rojas et al. (2008)
Evaluación de impactos de las actividades productivas en el entorno de Parque Nacional llanos de Challe.	Santibañez (2011)
Sarricolea, P., Herrera-Ossandon, M., & Meseguer-Ruiz, Ó. (2017). Climatic regionalisation of continental Chile. Journal of Maps, 13(2), 66-73.	Sarricolea (2017)
SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL (2012). Guía para el uso de modelos de aguas subterráneas en el SEIA. Santiago: SEA.	SEA (2012)
SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA, 2003. Mapa Geológico de Chile: Versión Digital, Publicación Geológica Digital, Nº4. Servicio Nacional de Geología y Minería. Santiago.	SERNAGEOMIN (2003)
Catastro de Depósitos de Relaves en Chile (actualización 10-08-2020). Datos Públicos Depósito de Relaves - SERNAGEOMIN	SERNAGEOMIN (2020)
SEI (2017). Tutorial, Una colección de modelos independientes para enseñar el software WEAP. Stockholm Environment Institute.	SEI (2017)
Servicio de Evaluación Ambiental (2022) Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Búsqueda de Proyectos. Recuperado en: https://seia.sea.gob.cl/busqueda/buscarProyecto.php	SEA (2022)
EIA, Proyecto Central Termoeléctrica Castilla, Cap. 5.2 Medio Biótico.	SEIA (2008)

Estudio	Cita
Cap. 2. La Flora Amenazada de la Región de Atacama, en en Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Atacama. Ed. U. La Serena.17-28 pp.	Squeo, Arancio & Gutiérrez (2008a)
Capítulo 8. Definición de los Sitios Prioritarios para la Conservación de la Flora Nativa de la Región de Atacama, en Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Atacama. Ed. U. La Serena.137-163.	Squeo, Arancio & Gutiérrez (2008b)
Ulloa R & Ortiz De Zarate (1989) Geografía III Región de Atacama. Colección Geografía de Chile, Ediciones Instituto Geográfico Militar, Santiago, 206 pp.	Ulloa y Zárate (1989)
van Griensven, A., Meixner, T., Grunwald, S., Bishop, T., Diluzio, M., Srinivasan, R., 2006. A global sensitivity analysis tool for the parameters of multi variable catchment models. J. Hydrol. 324 (1), 10–23. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.09.008.	van Griensven et al. (2006)
Zhao, Y.; Feng, D., Yua, L., Wang, X., Chen, Y., Hernández, H.J., Galleguillos, M., Estades, C., Biging, G., Radke, J. & Gong, P. 2016. Detailed dynamic land cover mapping of Chile: accuracy improvement by integrating multi-seasonal land cover data. Remote Sensing of Environment 183, 170–185. [Link] - doi:10.1016/j.rse.2016.05.016	Zhao et al. (2016)
Ministerio de Obras Públicas,2021. Bases Administrativas y técnicas licitación "PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LAS CUENCAS DE LA QUEBRADA CARRIZAL Y QUEBRADA DE TOTORAL Y COSTERAS HASTA QUEBRADA CARRIZAL". Dirección General de Aguas.	MOP (2021)
Ministerio de Obras Públicas,2022. Informe Final Mesa Nacional del Agua.	MOP (2022)
PNUD, 2005. Gobernanza para el Desarrollo Humano Sostenible, Nueva York, PNUD.	PNUD (2005)
BancoMundial,2013. Estudio para el mejoramiento del marco institucional para la gestión del agua. Documento de Trabajo del Banco Mundial.	Banco Mundial (2013)
ASTIER, J.L. (1975). Geofísica Aplicada a la Hidrogeología. Editorial Paraninfo.	ASTIER, J.L. (1975).
ASTIER, J.L. (1975). Geofísica Aplicada a la Hidrogeología. Editorial Paraninfo.	Astier J. (1975)
HIDROGEOLOGÍA DEL ÁREA DE INFLUENCIA Y MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS MINA LOS COLORADOS SEMESTRE 1 DE 2017 VERSION 2	VAI-CMP, 2019

ANEXO C

GLOSARIO

A

Aluvión

Avenidas torrenciales con arrastre de grandes cantidades de material sólido (guijarros, gravas y bloques de rocas), aplicable a aquellas regiones secas o cauces secos en los que las lluvias ocasionales los producen.

Avenida torrencial

Flujo violento de agua en una cuenca, a veces reportado como creciente (súbita, rápida), o como torrente. Se aplica cuando en los reportes aparece como -avalancha-, cuando la avenida transporta troncos de árboles y/o abundantes sedimentos desde finos hasta bloques de roca. Pueden ser generados por lluvias, por ruptura de represamientos o por abundantes deslizamientos sobre una cuenca. Excluye los aludes, porque éstos implican desprendimiento de hielo o nieve.

E

Estaciones fluviométricas

Son aquellas estaciones que miden la cantidad de caudal que lleva un curso de agua, el cual puede ser un río o un estero. Los caudales son medidos y procesados por la DGA expresándolos en diferentes unidades de tiempo, por ejemplo, caudales instantáneos, caudales medios diarios, caudales medios mensuales y/o anuales.

Estaciones meteorológicas

Son estaciones que miden gracias a diversos sensores e instrumentos parámetros meteorológicos, los cuales se agrupan en: pluviometría, temperaturas, humedad relativa, evaporación, viento, horas de sol y radiación solar, nubosidad y tiempo presente y presión atmosférica.

Estaciones de calidad de agua

Son estaciones que miden gracias a sensores específicos diversos parámetros de calidad del agua, pueden medir aguas superficiales (ríos, esteros), aguas subterráneas (en pozos a diversas profundidades) o en lagos o embalses también en diversas profundidades. Algunos parámetros son muy complejos de obtener en terreno por lo tanto son extraídos en muestras, las cuales son analizadas por el laboratorio de la DGA.

Dichos parámetros se agrupan en: Parámetros de terreno, valores Individuales de Iones, valores Individuales de metales, valores de Plaguicidas, nutrientes y demandas de oxígeno y parámetros microbiológicos.

Estaciones de Aguas Subterráneas o Niveles

Son pozos que disponen de un sensor que indica la profundidad de la napa subterránea. Se utilizan para monitorear los niveles del acuífero. También sobre ellos pueden ir instrumentos para medir algún parámetro de calidad.

Son aquellos glaciares cuya superficie se encuentra libre de cubiertas rocosas provenientes de derrumbes, por lo tanto, la nieve, neviza y hielo que forman el glaciar se encuentra mayoritariamente expuestos. Se distribuyen a lo largo de toda la cordillera de los Andes.

G

Granizada

Agua congelada que desciende con violencia de las nubes en granos más o menos duros y gruesos, pero no en copos como la nieve.

H

Helada

Disminución de la temperatura con efectos nocivos en la población, cultivos, bienes y servicios.

Hotspot

Región biogeográfica con una alta biodiversidad amenazada.

I

Inundación

Anegamiento o cubrimiento con agua de un terreno donde se localicen poblaciones, cultivos, bienes o infraestructura. Inundaciones por olas marinas en zonas litorales se reportarán con el término marejada.

L

Lluvias

Precipitación pluvial. Incluye lluvias puntuales, persistentes o torrenciales en una región específica, así como períodos largos de precipitaciones.

N

Nevada

Caída y acumulación de nieve.

O

Obras hidráulicas

Corresponden a obras de riego destinadas a mejorar la seguridad de riego en zonas agrícolas; obras de evacuación y drenaje de las aguas lluvias destinadas a mitigar los efectos por inundaciones derivadas de las lluvias en áreas urbanas; y obras de manejo de cauces naturales y de control aluvional destinadas a mitigar los efectos por desbordes de ríos y procesos aluvionales en quebradas.

Ola de calor

Aumento de la temperatura en una región con efectos sobre poblaciones humanas, cultivos, bienes y servicios.

R

Red hidrométrica

La red hidrométrica nacional consiste en una red de estaciones, distribuidas a lo largo y ancho de todo el país, con ellas se capturan datos de carácter hidrometeorológico, los cuales son almacenados y puestos a disposición del público, por la DGA, quien es la entidad que por ley debe operar y mantener dicha red, esta mide diversas variables hídricas, las cuales son relativas a las aguas superficiales, y subterráneas tales como fluviometría, calidad de aguas, sedimentos, niveles de pozos, entre otras, y por otra parte también realizan mediciones meteorológicas, con variables como, precipitaciones (pluviometría), temperaturas máximas y mínimas, radiación solar, velocidad de vientos, etc.

S

Sequía

Temporada seca, sin lluvias, o con déficit de lluvias. En general se trata de períodos prolongados (meses, años, incluso decenios), que pueden ocurrir en áreas continentales restringidas o a escalas regionales. Excluye "ola de calor" aunque ocurra durante un periodo de sequía.

Sistema Saneamiento Rural

Programa destinado a dotar de agua potable a las localidades rurales del país, mediante la construcción, mantenimiento, operación y conservación de Sistemas de agua potable. La administración está a cargo de los beneficiarios agrupados en comités o cooperativas. El Programa considera asistencia técnica para estos comités o cooperativas.

T

Tempestad

Lluvia acompañada de vientos fuertes y/o de descargas eléctricas (rayos, relámpagos). En general y también debido a connotaciones regionales, puede no ser posible diferenciar entre tempestad y vendaval.

ANEXO D

FIGURAS

En formato electrónico

ANEXO E

ANTECEDENTES RECOPILADOS

En formato electrónico

ANEXO F

ASPECTOS METODOLÓGICOS

INDICE

1. INTRODUCCIÓN Y ALCANCE DEL ESTUDIO 1

1.1 INTRODUCCIÓN 1

1.2 ALCANCES GENERALES DEL ESTUDIO 1

1.2.1 Descripción de la cuenca. Localización geográfica 1

1.2.2 Diagnóstico de la cuenca 1

1.2.3 Modelación hidrológica 1

1.2.4 Formulación del Plan de Acción 2

1.3 ASPECTOS METODOLÓGICOS GENERALES 2

2. ENFOQUE METODOLÓGICO DEL ESTUDIO 3

2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA 3

2.2 MERCADO DEL AGUA 4

2.2.1 Depuración de la Base de Datos 4

2.2.2 Complemento de las Base de Datos 5

2.2.3 Sistematización y presentación de la información 5

2.3 PROYECCIÓN DE DEMANDAS 7

2.3.1 Sistemas de Saneamiento Rural 7

2.3.2 Riego 7

2.4 MODELACIÓN HIDROLÓGICA 10

2.4.1 Descripción de la Plataforma WEAP 11

2.4.2 Descripción de MODFLOW 22

2.4.3 Acople WEAP-MODFLOW 27

2.4.4 Forzantes Meteorológicas 37

2.4.5 Oferta Sustentable 39

2.4.6 Análisis de criterios de sustentabilidad de acuíferos 41

2.4.6.1 Metodología de aplicación de Criterios de sustentabilidad de acuíferos ... 44

2.4.7 Selección de Modelos de Circulación General (MCG) para Escenarios de Cambio Climático 44

2.4.8 Corrección de forzantes meteorológicas futuras 48

2.4.9 Indicadores Hídricos Adimensionales 50

2.5 *GENERACIÓN DEL SIG* 50

2.6 *EVALUACIÓN Y RANKING DE LAS ACCIONES PROPUESTAS* 50
2.6.1 Evaluación Global de las Acciones *50*
2.6.2 Importancia relativa de los problemas *51*
2.6.3 Evaluación Financiera *51*
2.6.4 Evaluación Social *52*
2.6.5 Evaluación Ambiental *52*
2.7 METODOLOGÍA APLICADA AL PROCESO DE PARTICIPACIÓN CIUDADANA 53
2.7.1 Introducción *53*
2.7.2 Contacto con actores involucrados *53*
2.7.3 Formato de Multimedia *55*

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Esquema gráfico modelo WEAP. 16

Figura 2-2: Modelo Conceptual del acuífero en WEAP 19

Figura 2-3: Esquema de Vinculación WEAP-MODFLOW mediante archivo de enlace 28

Figura 2-6: Cambios en la precipitación anual media, proyectado hacia 2030-2060 respecto de LB 1985-2015 para cada MCG 46

Figura 2-7: Cambio relativo en precipitación media anual proyectada para el período futuro (2030-2060) respecto al período de línea base (1985-2015), promediado sobre un conjunto de cuencas con información fluviométrica 47

Figura 2-6: Esquema Asignación Puntajes Evaluación de Acciones 51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Variables y parámetros utilizados por el modelo WEAP 17

Tabla 2-2: Parámetros de acuífero en WEAP 19

Tabla 2-3: Atributos Archivo de Enlace WEAP - MODFLOW. 34

Tabla 2-5: MCG seleccionados para representar las proyecciones de cambio climático 45

1. INTRODUCCIÓN Y ALCANCE DEL ESTUDIO

1.1 INTRODUCCIÓN

La DGA es el organismo del Estado en Chile encargado de promover la gestión y administración del recurso hídrico, en un marco de sustentabilidad, interés público y asignación eficiente del agua para el consumo humano, producción de bienes y servicios y la conservación del medio ambiente. Actualmente, en un contexto en que la seguridad hídrica y la eficiencia en la gestión del recurso hídrico se imponen como menester, la planificación en esta materia debe tener un enfoque estratégico.

1.2 ALCANCES GENERALES DEL ESTUDIO

A continuación, se especifican los alcances generales del estudio.

1.2.1 Descripción de la cuenca. Localización geográfica

Según lo establecido en las Bases Técnicas del estudio, la descripción de la cuenca consiste en una recopilación de antecedentes alrededor de la cuenca de estudio, con sus principales características geográficas, administrativas, económicas, sociales, y otros aspectos en torno al recurso hídrico y su gestión actual.

1.2.2 Diagnóstico de la cuenca

Atendiendo a los objetivos específicos del estudio, se presenta la metodología para elaborar el diagnóstico de las cuencas de estudio, atendiendo a los siguientes aspectos:

- Oferta y demanda de agua, actual (2021) y futura (años 2031 y 2051);
- Infraestructura en materia hídrica;
- Gobernanza, principalmente enfocada en las OUA; y
- Cartera de acciones, en su mayoría inversiones públicas.

Se expone la metodología aplicada para analizar cuantitativa y/o cualitativamente cada uno de los ítems expuestos anteriormente, de forma de tener una "radiografía" de la cuenca de estudio en los puntos indicados.

1.2.3 Modelación hidrológica

La modelación hidrológica, en el presente estudio, pretende alcanzar una herramienta que permita visualizar la dinámica de los flujos superficiales y subterráneos de las cuencas de estudio, a partir de los modelos numéricos existentes y facilitados por la DGA.

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

1.2.4 Formulación del Plan de Acción

El Plan de Acción tiene como alcance la elaboración de un portafolio con acciones o iniciativas enfocadas en la resolución de las principales brechas y/o problemáticas detectadas en el diagnóstico y reuniones PAC, apoyándose, en caso posible, en el modelo numérico para establecer posibles escenarios de gestión. El PEGH está dirigido tanto a la DGA como a otras instituciones que tengan relación con la materia hídrica de la cuenca.

1.3 ASPECTOS METODOLÓGICOS GENERALES

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

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

Estos puntos se detallan en los capítulos sucesivos.

2. ENFOQUE METODOLÓGICO DEL ESTUDIO

2.1 Caracterización de la Cuenca

La metodología aplicada para elaborar la caracterización de la cuenca se ha basado íntegramente en el análisis de los antecedentes de estudios disponibles. Mayor detalle sobre éstos se compila en el Anexo E, en el que se adjunta una serie de fichas resumen, las cuales han sido de utilidad al momento de compilar y sintetizar la información relativa a la caracterización de la cuenca.

Específicamente, en la caracterización de la cuenca se abordaron los siguientes aspectos:

- Caracterización geográfica: geomorfología, geología, suelos, clima, hidrología superficial, subterránea y glaciar.
- Aspectos político-administrativos: división político-administrativa, caracterización de la cuenca, subcuencas y SHAC, OUA y otros actores relevantes de la cuenca.
- Demografía: caracterización de la población y abastecimiento de agua potable de la población.
- Actividad económica: valor de la producción regional, empleo regional por sector económico y principales actividades económicas en la cuenca.
- Infraestructura: embalses y centrales hidroeléctricas, infraestructura de riego, obras de abastecimiento de agua potable, obras de defensa fluvial y red hidrométrica de la DGA y otros actores
- Calidad del agua: caracterización hidroquímica de aguas superficiales y subterráneas.
- Aspectos ambientales: ecosistemas terrestres y de aguas continentales, áreas bajo protección oficial y otras figuras de conservación.
- Modelación hidrológica: antecedentes de modelación existentes.

La mayor parte de las características anteriores se estructuraron en los acápites enumerados a continuación, incluidos en el Capítulo 2 del Informe Final:

- Dimensión física y económica;
- Clima;
- Dimensión ambiental;
- Infraestructura;
- Gobernanza del agua.

Las características relativas a hidrología (superficial, subterránea, glaciar, y calidad de las aguas) así como división administrativa de carácter hidrológica se presentaron en el Capítulo 4 del Informe Final.

Las referencias bibliográficas que sustentan la información se presentan en el Anexo B.

2.2 Mercado del Agua

Para el diagnóstico del mercado de los DAA se consideró la información contenida en la base de datos entregada por la DGA y que registra las transacciones informadas por los Conservadores de Bienes Raíces (CBR). Disponible en la página web del servicio https://snia.mop.gob.cl/ciudadaniacbr/.

La metodología empleada se basó en el análisis de la información de transacciones efectivas de DAA en el mercado y cuyo resultado corresponde al estimado de transacciones y su evolución en el tiempo, de modo general y por uso asignado. De esta menara, se trabajó con las transacciones informadas por los CBR con jurisdicción en las comunas que integran la cuenca. El periodo relevante considerado en este estudio comprendió toda la data de transferencias informadas por los respectivos CBR. Los CBR considerados para el análisis fueron:

- CBR Copiapó
- CBR Vallenar
- CBR Freirina

Los pasos realizados para el análisis y sistematización de la información del Mercado de los DAA se detallan a continuación:

2.2.1 Depuración de la Base de Datos

Para el análisis de la situación histórica y evolución del mercado de aguas, la base de datos fue sometida a un proceso de depuración, a fin de descartar registros inconsistentes o que no contaban con valor de caudal o nombre del comprador y vendedor.

Por su parte, para la estimación del valor único de litros por segundo, la base de datos fue sometida a un proceso de depuración, de acuerdo al procedimiento indicado en el estudio "Análisis de Mercados de Derechos de Aprovechamiento de Aguas en Chile", SIT N.º 438, diciembre 2018, a fin de identificar y aislar datos inconsistentes. Las transacciones excluidas fueron aquellas con las siguientes características:

- Imposibilidad de identificar el tipo de naturaleza del DAA.
- Imposibilidad de identificar el tipo de ejercicio del DAA.

- Imposibilidad de identificar el mercado a la cual pertenece la transacción DAA.
- Inexistencia de información de caudal.
- Imprecisión en el monto de la transacción.
- Transacciones diferentes a compraventa.
- Transacciones en conjunto con otros bienes.
- Transacciones entre parientes.

Agrupación de observaciones que no presenten diferencias en la fecha de inscripción, comprador, vendedor y mercado relevante.

2.2.2 Complemento de las Base de Datos

Mediante la revisión exhaustiva de más de cien expedientes de transacciones digitalizados, se logró corregir errores u omisiones de las Bases de Datos. El criterio a aplicar fue seleccionar las transacciones más relevantes en términos de monto ($) y revisar si sus valores informados en Base Datos eran consistentes con lo indicado en escritura compraventa. Así mismo, se logró completar información respecto de cantidad, unidad de medida, datos comprador y vendedor, y aclarar y descartar aquellas que incorporaban otros bienes en la transacción.

2.2.3 Sistematización y presentación de la información

Sobre la base depurada se realizó el análisis del mercado de los DAA, análisis que se presenta de la siguiente manera:

2.2.3.1 *Situación histórica y evolución de transacciones de DAA en la cuenca*

A partir de la información histórica de transferencia de DAA, entregada por los CBR, se cuantificó el número total de transferencias efectuadas. Se presenta también, su distribución anual.

2.2.3.2 *Análisis de fluctuación de los DAA según la finalidad de uso por sector económico*

Los usos asignados a cada inscripción de DAA, fueron aproximados a partir del nombre del comprador y vendedor. De esta manera, fueron identificados los principales usuarios dentro de cada área estudiada. Para el resto de los usuarios se establecieron dos categorías a partir de los nombres de los titulares de los derechos: Particulares y Empresas.

El resultado del análisis presenta el total de transacciones de DAA efectuadas durante todo el periodo informado por los CBR respectivos en función del uso asignado a cada inscripción, así como también, el cambio en los usos de agua relacionados a los DAA a lo largo del último periodo estudiado. Se presenta también los principales usuarios compradores de DAA haciendo un análisis de las transferencias más frecuentes de DAA.

2.2.3.3 *Estimación del valor único*

Se aclara que se utilizará como referencia en adelante, para los DAA superficiales, la unidad de volumen (m³/año), por cuanto casi la totalidad de las transacciones de DAA revisados en los CBR de Vallenar, Freirina y Copiapó, utilizan esta unidad de volumen en las escrituras de transferencia, por lo que es usual en la cuenca emplear esta unidad para referir los DAA. Transformar los DAA a unidades de volumen (l/s) produce distorsiones en el precio, si se analiza la magnitud unitaria del DAA, que en muchos casos es inferior a la unidad 1 l/s; por otra parte, podría existir diferencia y efectos sobre el ejercicio real del derecho, y su disponibilidad temporal si se transforma arbitrariamente, para fines de este estudio, de m^3/año a l/s.

Para los DAA subterráneos, se utilizó para la estimación del valor único de litros por segundo (l/s), la metodología que la SISS utiliza para la estimación del valor de los derechos de aprovechamiento de aguas en los procesos tarifarios que se llevan a cabo cada 5 años y que se encuentra plasmada en el estudio "Análisis de Mercados de Derechos de Aprovechamiento de Aguas en Chile", SIT Nº 438, diciembre 2018.

Para analizar si existen diferencias en los valores del m³/año de agua transados (DAA Superficiales), y del l/s (DAA Subterráneos), por rubro comprador, se filtraron los rubros minería e Industria, y Personas Naturales y empresas privadas de otros rubros.

Conforme a lo anterior, el análisis fue desarrollado para los derechos de aprovechamiento de aguas consuntivos y no consuntivos (prácticamente no existen este tipo de derechos en la cuenca) del tipo permanentes y eventuales.

El análisis fue circunscrito a los sectores económicos identificados y de acuerdo a la base de datos entregada por la DGA y que registra las transacciones informadas por los CBR.

La información sobre las transacciones de DAA fue sometida a un proceso de depuración, el que corresponde al indicado previamente, para aislar los datos inconsistentes. Asimismo, se revisó que las inscripciones consideradas para la estimación de precios de mercado de DAA dispusieran de los antecedentes correspondientes para asegurar una estimación fidedigna. Los criterios utilizados para la estimación se muestran a continuación:

- Tipo de transacción: compraventa;
- Naturaleza del derecho: subterráneo y superficial, dependiendo del caso;
- Tipo de derecho; consuntivo y no consuntivo;
- Caudal: volumen por unidad de tiempo;
- Valor total de la transacción: monto en pesos y UF.

Asimismo, sobre la base de la información disponible se identificaron y excluyeron las inscripciones que no dispusieron de las especificaciones indicadas. Una segunda etapa del proceso de sistematización de la información implicó la identificación y exclusión de los valores atípicos. Tal como lo requiere la propia metodología de SISS, una vez depurada la base de datos, se deberá realizar un análisis de identificación de valores atípicos en relación a la distribución del precio unitario. En este proceso de eliminación de valores atípicos se dejaron fuera de la muestra final las estimaciones de aquellos valores con errores y con información duplicada.

Una vez depurada la base de datos, la estimación de los precios de mercado fue realizada usando la media.

2.3 Proyección de demandas

2.3.1 Sistemas de Saneamiento Rural

Para los SSR se procedió con antecedentes poblacionales al año 2016. Para la proyección se usó la relación de crecimiento geométrico:

$$P = P_0 \, (1 + r)^n$$

Donde:

P: Población al año n.

P_0: Población inicial.

R: la tasa de crecimiento.

Por otra parte, se dispone de la dotación de diseño (D), igual a 100 l/hab/día.

Finalmente, el caudal medio diario máximo se determina como:

$$Q = CDMC * D * P \text{ (l/día)}$$

Donde:

CDMC: Coeficiente de Consumo del Día de Máximo Consumo. Cuando no se dispone de antecedentes, se adopta 1,5 por recomendaciones DOH (2019).

2.3.2 Riego

2.3.2.1 *Evapotranspiración de referencia (ET_0)*

La ET_0 corresponde a la pérdida de agua por evaporación y transpiración desde un cultivo de referencia (pasto) en producción y sin déficit de agua en el suelo. Es un parámetro

relacionado con el clima y entrega una referencia sobre los aportes hídricos requeridos por la planta, ya sea a través de la precipitación o por riego complementario.

La definición de los valores de ET_0 es detallada en el acápite 2.4.8.3 del Anexo H.

2.3.2.2 *Coeficiente de cultivo (Kc)*

Cada tipo de cultivo posee un coeficiente único e independiente de su método de riego llamado coeficiente cultivo (Kc) que relaciona las necesidades diarias de agua con la evapotranspiración potencial. Generalmente, éstos son similares para especies de un mismo grupo, debido a la similitud de la altura de los cultivos, área foliar, grado de cobertura del suelo y manejo del agua (FAO, 2006).

La definición de los valores de ET_0 es detallada en el acápite 2.4.8.4 del Anexo H.

2.3.2.3 *Evapotranspiración del cultivo (ET_C)*

La evapotranspiración del cultivo se obtiene de la siguiente expresión:

$$ET_C = ET_O \, K_C$$

Donde:

ET_O (mm): Evapotranspiración de referencia

K_C $(-)$: Coeficiente de cultivo

Debido a que cada Zona Agrícola presenta más de un cultivo, es necesario generar series de evapotranspiración del cultivo para cada uno de ellos. Este cálculo es realizado de forma interna por el modelo WEAP.

2.3.2.4 *Demanda Neta de Agua de Riego*

Para determinar la demanda neta de agua de riego, es necesario en primer lugar conocer la precipitación efectiva en el área en estudio. Ésta corresponde a la fracción de la precipitación total que puede ser aprovechada por el cultivo. La fracción que no es utilizada puede perderse en forma de escorrentía superficial, percolación profunda o evaporación.

La fórmula utilizada para transformar precipitación total en efectiva corresponde al método de Blaney y Criddle modificado por Merlet y Santibáñez:

$$Pef = -0{,}0022 * PP^2 + 1{,}0903 * PP$$

Donde:

Pef: Precipitación efectiva mensual.

PP: Precipitación media mensual.

Una vez conocida la precipitación efectiva, se resta a la Evapotranspiración del cultivo (ET_C) obtenida en el punto anterior, obteniendo la Demanda Neta de cultivo, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Dn = ET_C - Pef$$

Dónde:

Dn: Demanda neta de cultivo (mm)

ET_C: Evapotranspiración del cultivo (mm)

Pef: Precipitación efectiva (mm)

De esta forma, se determinan las demandas unitarias netas mensuales para cada cultivo. Este cálculo es realizado de forma interna por el modelo WEAP.

2.3.2.5 *Eficiencias de Riego*

En el presente acápite se analizan las eficiencias de riego para los distintos métodos utilizados en el área de estudio.

Las eficiencias de riego prediales del área de estudio se determinaron tomando como base los parámetros utilizados en los manuales y estudios de la Comisión Nacional de Riego, los que además son considerados en los concursos de fomento al riego (Ley 18.450). Los valores corresponden a los que se producen a nivel potrero y varían según el método de riego utilizado, sea éste gravitacional o tecnificado.

2.3.2.6 *Tasas de Riego*

Los Requerimientos Totales de Agua por unidad de superficie o Tasas de Riego (Tr), resultan de la división de las demandas netas (Dn) y la eficiencia de aplicación (Ea), multiplicado por un factor de conversión de unidades (que en este caso es igual a 10 y se usa para convertir mm en m³/ha), tal como lo muestra la siguiente expresión:

$$Tr = 10 * \frac{Dn}{Ea}$$

Donde:

Tr es la Tasa de Riego en m³/ha/mes

Dn es la demanda neta de cultivo en mm/mes, y

Ea es la eficiencia de aplicación de riego

2.3.2.7 *Demanda Bruta y Tasa de Riego Ponderada*

La demanda bruta de agua se calculó mes a mes y resulta de multiplicar la tasa de riego mensual de cada cultivo por su respectiva superficie, para luego sumar esos resultados y obtener un total mensual para cada sector. La demanda bruta por cultivo se obtiene como se indica a continuación:

$$Db_{Ci} = Tr_{Ci} * S_{Ci}$$

Donde:

Db_{Ci} es la demanda bruta del Cultivo "i" en m³/mes
Tr_{Ci} es la tasa de riego del cultivo "i" m³/ha/mes, y
S_{Ci} es la superficie del cultivo "i" en ha

Posteriormente se suman todas las demandas brutas de los distintos cultivos, obteniendo una Demanda Bruta Total en m³/mes, tal como se muestra a continuación:

$$Db_T = \sum Db_{Ci}$$

Donde:

Db_T es la demanda bruta total en m³/mes, y
Db_{Ci} es la demanda bruta del cultivo "i" en m³/mes

Finalmente, se calcula la Tasa de Riego Ponderada, la cual se obtiene dividiendo la Demanda Bruta Total por sector por la Superficie de riego total por sector, tal como se indica a continuación.

$$Trp = \frac{Db_T}{S_T}$$

Donde:

Trp es la tasa de riego ponderada en m³/ha/mes
Db_T es la demanda bruta total en m³/mes
S_T es la superficie de riego total del sector en ha

2.4 Modelación Hidrológica

La modelación hidrológica del presente estudio pretende alcanzar una herramienta que permita visualizar la dinámica de los flujos superficiales y subterráneos en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, a partir de los modelos numéricos existentes y facilitados por la DGA. La simulación hidrológica se realiza mediante el acople del código MODFLOW, que permite la representación del sistema subterráneo en la

plataforma WEAP, utilizada en la modelación del sistema superficial. La metodología y plataformas utilizadas para alcanzar un acople efectivo se presenta en los acápites siguientes.

2.4.1 Descripción de la Plataforma WEAP

WEAP (http://www.weap21.org/) es una herramienta computacional para la planificación integrada de recursos hídricos desarrollada por el Stockholm Environment Institute (http://www.sei-us.org/) sede en Boston y el Tellus Institute (http:/www.tellus.org/). Proporciona un marco flexible y de fácil uso para la planificación del recurso hídrico y análisis de escenarios.

WEAP permite apoyar la planificación de recursos hídricos mediante el balance de la oferta hídrica (generada a través de módulos físicos de tipo hidrológico, a escala de subcuenca) con la demanda de agua (caracterizada por un sistema de distribución de variabilidad espacial y temporal, con diferencias en las prioridades de demanda y oferta). Para llevar a cabo este balance hídrico, se utiliza una gama de diferentes objetos disponibles en WEAP y procedimientos accesibles a través de una interfaz gráfica. Esto permite su uso para analizar un amplio rango de temas e incertidumbres a las que se ven enfrentados los planificadores (*stakeholders*) de recursos hídricos, incluyendo aquellos relacionados con el clima, condiciones físicas de la cuenca, proyecciones de demanda, condiciones regulatorias, objetivos de operación e infraestructura disponible.

WEAP es habitualmente forzado por variables climáticas, a diferencia de modelos de operación y gestión de recursos hídricos que se basan en modelación hidrológica externa, es decir, que separan el modelo hidrológico del operacional. Por otra parte, WEAP incluye rutinas diseñadas para distribuir el agua a diferentes tipos de usuarios, desde una perspectiva humana y ecosistémica. Estas características convierten a WEAP en un modelo apropiado para realizar estudios de cambio climático, donde es importante estimar cambios en la oferta de agua (e.j. cambios en la precipitación proyectados) y demanda de agua (e.j. cambios en la demanda a partir de variación del área de los cultivos), y cómo estos cambios convergen en un balance de agua diferente al correspondiente al escenario base o actual.

Si bien WEAP fue creado como una herramienta para la modelación operacional de sistemas de recursos hídricos, incluyendo elementos tales como centrales hidroeléctricas, demandas de riego, canales, embalses, etc., actualmente se ha ampliado su capacidad incluyendo módulos de hidrología (distintos métodos de cálculo de precipitación-escorrentía), calidad de agua y aguas subterráneas mediante el uso de enlaces con otro software de uso común (e.g. MODFLOW).

2.4.1.1 *Balance Hidrológico en WEAP*

WEAP resuelve numéricamente dos balances de masas planteados en cada estanque. Estos balances pueden ser resumidos como:

$$Z_{1max}\frac{dZ_1}{dt} = \left[P_e(t) - ET_o k_c \frac{5Z_1 - 2Z_1^2}{3}\right] - P_e(t)Z_1^{FR} - fK_1Z_1^2 - K_2(1-f)Z_1^2$$

$$Z_{2max}\frac{dZ_2}{dt} = K_2(1-f)Z_1^2 - K_2Z_2^2$$

Donde:

Pe: Precipitación, además derretimiento.

f: Dirección preferencial del flujo.

Kc: Coeficiente de cultivo.

Z_{1max}: Capacidad de caja superior

Z_{2max}: Capacidad de caja inferior

Z_1: Porcentaje de utilización inicial de la caja superior.

Z_2: Porcentaje de utilización inicial de la caja inferior.

K_1: Conductividad zona radicular

K_2: Conductividad zona profunda.

El cálculo de la evapotranspiración (ET_0) se realiza mediante el método de Penman-Monteith, resumido según la siguiente expresión:

$$ET_0 = \frac{0{,}408\Delta(R_n - G) + \gamma\frac{900}{T+273}u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0{,}34u_2)}$$

Donde:

ET_0: Evapotranspiración de referencia.

R_n: Radiación neta.

G: Densidad de flujo de calor del suelo.

T: Temperatura media diaria.

u_2: Velocidad del viento a dos metros sobre el suelo.

e_s: Presión de saturación de vapor de agua.

e_a: Presión de vapor.

Δ: Pendiente de la curva de presión de vapor.

γ: Constante psicométrica.

Este método se encuentra implementado en el software de acuerdo a los siguientes supuestos:

- Ecuación se estandariza para pasto de 0,12 m de altura y de resistencia superficial de 69 s/m.
- El albedo varía dentro de un rango de 0,15 a 0,25, como función de la cobertura de nieve.
- El término G se asume nulo.

Además, cabe destacar que la evapotranspiración potencial o de referencia, ETo, en WEAP se denomina *Reference PET*.

La evapotranspiración en el modelo WEAP se genera desde el estanque superior. Por esto, el volumen de agua almacenado allí influye directamente en la satisfacción de la demanda evapotranspirativa y debe ser observado con cuidado en el proceso de calibración ya que distintas soluciones, correctas en la simulación de caudal, pueden entregar valores irreales de evaporación.

En el caso de zonas de riego, la evapotranspiración se calcula a partir de un Kc que se obtiene de lo considerado en el modelo base y literatura, según tipo de cultivos, mientras que en cuencas laterales aportantes en estado natural, se utiliza un valor de Kc que no tiene significado desde el punto de vista agronómico. Por esto último, al utilizar esta simplificación en los catchments modelados según el método de humedad de suelo, podrían estar incluidas dentro del total otros procesos como evaporación directa desde suelo, sublimación, entre otros. De esta forma, el Kc en estos casos podría presentar valores no necesariamente concordantes con los rangos clásicos de literatura agronómica.

Otro proceso de importancia en la simulación del proceso físico corresponde a la acumulación y derretimiento de nieve. Esto se hace mediante la utilización de dos parámetros a calibrar denominados temperatura de congelamiento (T_c) y derretimiento (T_d). Teóricamente ambos corresponden a 0°C; sin embargo, debido a fenómenos que están siendo dejados de lado en la modelación a nivel mensual, T_c y T_d son generalmente calibrados en un rango que va de -5 a 5 °C, respectivamente (Centro de Cambio Global, 2009).

Los coeficientes de derretimiento y congelamiento determinan la proporción de agua líquida y sólida en la precipitación y la fracción de cobertura nival que se derrite en cada paso de tiempo. La siguiente ecuación resume este último fenómeno.

$$P_e(t) = \left(A_c(t) + P_p(t) m_c\right)$$

Donde:

$$m_c = \begin{cases} 0 & T_i < T_c \\ 1 & T_i > T_d \\ \dfrac{T_i - T_c}{T_d - T_c} & T_c < T_i < T_d \end{cases}$$

P_e: Aportes a la escorrentía de precipitación líquida y derretimiento de nieve.

A_c: Cobertura nival en unidades de longitud.

P_p: Precipitación total.

T_i: Temperatura media mensual del mes i.

2.4.1.2 *Elementos Disponibles en WEAP*

Existen numerosos elementos de gestión en WEAP, los cuáles pueden resumirse en:

- Ríos (River)
- Derivación (Diversion)
- Embalses (Reservoir)
- Agua subterránea (Groundwater)
- Otras fuentes (Other Supply)
- Sitio de Demanda (Demand Site)
- Unidad hidrológica (Catchment)
- Plana de tratamiento de Aguas (WasteWater Treatment Plant)
- Escorrentía/Infiltración (Runoff-Infiltration)
- Conducción (Transmission Link)
- Flujo de Retorno (Return Flows)
- Centrales Hidroeléctrica de Pasada (Hydropower)
- Requerimiento de Caudal (Flow Requirment)
- Medidor de Caudal (Streamflow Gauge)

Dado que este capítulo no busca entregar un manual de aplicación de WEAP, para lo cual están los propios manuales y tutoriales disponibles en su sitio oficial, aquí se ahonda en aquellos elementos básicos que resultan fundamentales para el modelo en particular implementado en este plan estratégico. Para una descripción más completa de todos los

elementos, se recomienda la revisión del documento DGA (2019c) o bien la guía del usuario de WEAP (Centro de Cambio Global, 2009).

a) *Hidrología*

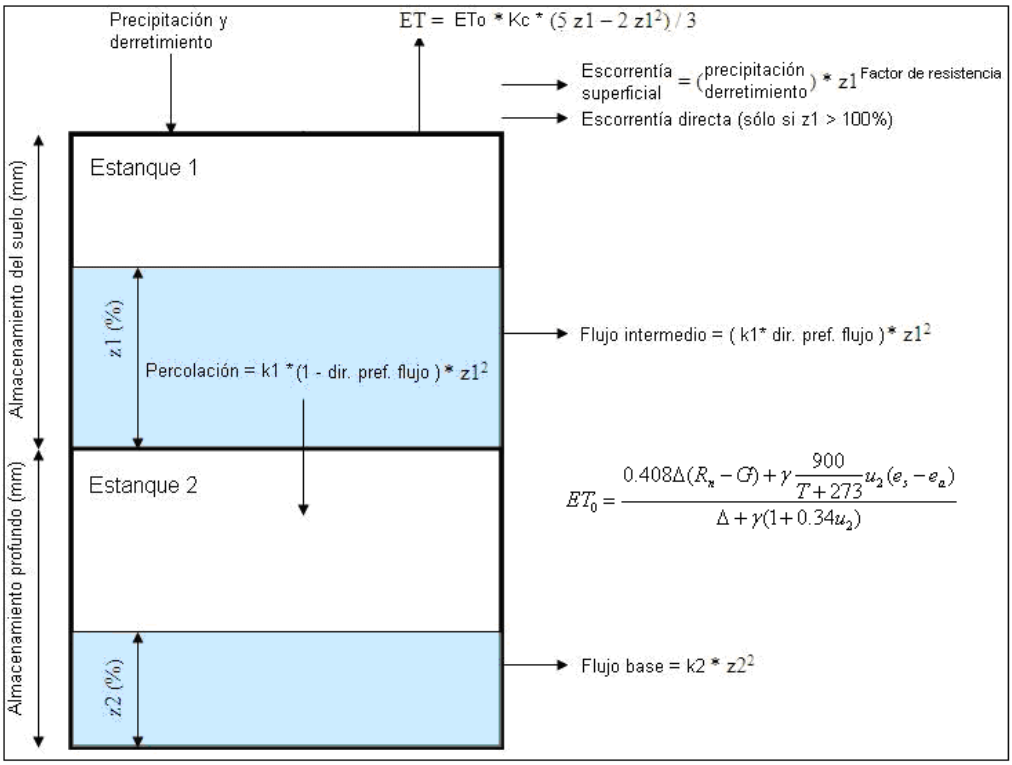
En WEAP existen métodos y elementos relacionados a la producción hidrológica, siendo los más relevantes los ríos y unidades hidrológicas.

En el caso de los ríos, estos son elementos que actúan como "tuberías", transportando el flujo de un lugar a otro. En la medida que se les va incorporando interacciones con otros elementos éstos comienzan a subdividirse en tramos, en donde se les pueden definir pérdidas por infiltración hacia elementos acuíferos, así como pérdidas totales del sistema. Estos elementos pueden "unirse" para formar confluencias y constituyen un elemento básico desde donde se definen otros elementos como derivaciones, requerimientos de flujo y estaciones fluviométricas de control.

Un elemento esencial es la unidad hidrológica o "catchment". Este elemento integra diferentes modelos hidrológicos incorporados en WEAP, algunos muy simples y otros más complejos, y por ende sintetiza tanto la información de clima como de uso de suelo dependiendo del método escogido. En este trabajo se ha utilizado principalmente el método de la humedad del suelo (Soil Moisture Method) como el método del coeficiente simplificado para las áreas de riego.

El módulo hidrológico integrado de la humedad del suelo que se utilizó en este estudio se basa en un esquema de dos estanques, capaces de reproducir distintas componentes de los flujos subterráneos y superficiales (Figura 2-1).

WEAP simula el proceso de precipitación-escorrentía a partir de una función de transferencia (que depende del módulo hidrológico seleccionado) en la que se determina una variable de salida (el caudal) a partir de una o varias variables de entrada, generalmente de carácter meteorológico (precipitación, temperatura, etc.). Internamente el modelo utiliza numerosos parámetros para representar el fenómeno físico. En la Tabla 2-1 se muestra una clasificación general de las variables involucradas.



Fuente: Centro de Cambio Global (2009)

Figura 2-1: Esquema gráfico modelo WEAP.

Donde:

Pp: Precipitación líquida.

ET: Evapotranspiración real.

ET_0: Evapotranspiración potencial.

z_1: Porcentaje de la capacidad del estanque superior utilizada.

z_2: Porcentaje de la capacidad del estanque inferior utilizada.

K_1: Conductividad del estanque superior.

K_2: Conductividad del estanque inferior.

Dir pref flujo: Dirección preferencial de flujo. Determina la fracción de flujo vertical y horizontal.

Tabla 2-1: Variables y parámetros utilizados por el modelo WEAP

Tipo de Parámetro	Descripción	Nombre Parámetro
Uso de suelo	Variables de entrada	- Área de la cuenca (catchment) - Coeficiente de cultivo (kc)
	Parámetros internos del modelo (a calibrar)	- Almacenamiento del suelo, estanque superior (z1 max) - Almacenamiento profundo, estanque inferior (z2 max) - Conductividad de la zona radicular o estanque 1 (K1) - Conductividad de la zona profunda o estanque 2 (K2) - Factor de resistencia al escurrimiento (FR) - Dirección preferencial del flujo - Almacenamiento inicial en el estanque 1 (z1 inicial) - Almacenamiento inicial en el estanque 2 (z1 inicial)
Clima	Variables de entrada	- Series de precipitación - Series de temperatura - Latitud - Humedad relativa - Viento - Fracción nublada o nubosidad - Radiación - Albedo de la nieve
	Parámetros internos del modelo (a calibrar)	- Nivel de nieve inicial - Temperatura de fusión de la nieve - Temperatura de derretimiento de la nieve - Albedo de nieve vieja - Albedo de nieve nueva
Cauces naturales	Variables de entrada	- Series históricas de caudal (Ríos)
Reservorios	Variables de entrada	- Curva de Volumen vs Elevación del reservorio - Serie de evaporación observada - Serie de volúmenes observados en la laguna

Fuente: Elaboración propia.

Respecto del método del coeficiente simplificado, este utiliza coeficientes del cultivo para calcular la evapotranspiración potencial. De cumplirse las condiciones de escorrentía, el excedente de la precipitación (escorrentía) puede fluir a un río y/o hacia un nodo de agua subterránea.

Las variables de entrada son menos que las del método anterior. En el caso del clima, recibe aparte de la precipitación la evapotranspiración de referencia y adicionalmente

es necesario definir la precipitación efectiva (Porcentaje de la precipitación disponible para la escorrentía).

Los parámetros de suelo son el coeficiente de cultivo "kc" y la superficie.

b) *Demandas*

En el caso de las demandas, éstas pueden ser representadas tanto por "Nodos de demanda" o "Demand Site" o por medio del elemento "unidad hidrológica" en la medida que se desee.

Usualmente, las demandas asociadas a: Industria, consumo humano o agua potable, minería, agricultura, ecológicas y de recreación pueden ser representadas a través del "nodo de demanda". La demanda de riego puede representarse con el método anterior o a través de una unidad hidrológica.

Respecto del nodo de demanda, se tienen dos métodos, los cuales permiten tanto especificar la demanda mensual a través de una serie de tiempo, o a través de la definición de un "tipo" de demanda, en donde se requiere representar el nivel de actividad anual (como puede ser la población, número de hectáreas, etc.), una tasa anual, más conocido como "dotación", y la variación mensual, que reparte a lo largo del año, la demanda total, una suerte de la renombrada curva "S" de la demanda que sirve para representar los consumos mínimos y máximos y en que parte del año se producen.

En el caso del método del coeficiente simplificado, sumado a los parámetros ya destacados en el acápite anterior, se agregan el riego, fracción de riego y tasa de reúso. Este método utiliza los coeficientes de cultivo para calcular la evapotranspiración potencial y así determinar la demanda de riego que se requiera. Cabe destacar que estos mismos parámetros se agregan en el caso que el método de generación de escorrentía sea el de la humedad del suelo.

Cuando se agrega más de un vínculo de escorrentía/infiltración desde la unidad hidrológica, sean ríos o nodos de agua subterránea, es necesario indicar el porcentaje en que se debe distribuir la escorrentía (fracción de escorrentía).

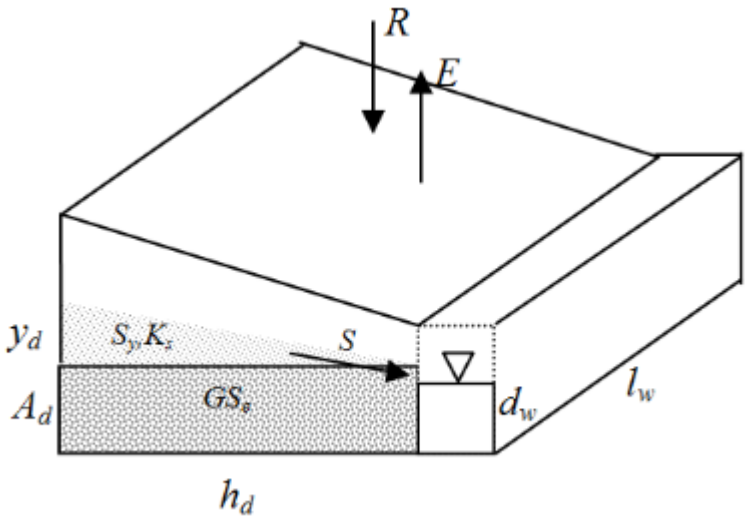
c) *Agua Subterránea*

La interacción entre el río y el acuífero puede ser modelada de diferentes formas en WEAP. Producto de la complejidad del sistema y la necesidad de conectar los acuíferos de los sistemas existentes, es posible modelar el acuífero con un módulo especial, el

cual permite incorporar la mayoría de la información recopilada en antecedentes relativos a espesores, anchos, volúmenes y conductividad hidráulica de los acuíferos.

En el caso de los elementos de agua subterránea, es conveniente relevar 3 métodos para la condición sin acople y el acople con MODFLOW propiamente tal.

En el caso que se desee modelar la interacción río-acuífero a través de WEAP, el método más conocido es el método de la "cuña". Este módulo representa al acuífero como un prisma, de geometría regular, que reemplaza al estanque inferior del modelo conceptual de la Figura 2-1. Este esquema tiene como función principal resolver el balance hídrico del acuífero, y su interacción con el río, pero no simula niveles. La Figura 2-2, presenta el modelo conceptual del acuífero en WEAP, el que además es simétrico respecto del eje del río.



Fuente: Manual del Usuario de WEAP.

Figura 2-2: Modelo Conceptual del acuífero en WEAP

La Tabla 2-2 presenta el detalle de los parámetros del modelo conceptual del acuífero en WEAP.

Tabla 2-2: Parámetros de acuífero en WEAP

Nombre de Parámetro	Abreviación	Descripción
Almacenamiento del Acuífero	GS_e	Volumen almacenado en el acuífero, ya sea inicial o en un paso de tiempo fijo. [Mm^3]

Nombre de Parámetro	Abreviación	Descripción
Ancho medio del acuífero	hd	Distancia representativa entre el eje del río hacia la extensión más alejada del acuífero, es decir, su ancho máximo. [m]
Perímetro mojado	lw	Perímetro de contacto entre el acuífero y el río [m]
Profundidad de Equilibrio	Ad	Profundidad que alcanza el acuífero en su condición de equilibrio.
Altura de escurrimiento	dw	Altura de escurrimiento del río [m]. Valor usado como referencia de comparación para las simulaciones de elevación del acuífero.
Conductividad Hidráulica	K_S	Conductividad Hidráulica del acuífero. [L/T]
Porosidad Específica	Sy	Porosidad Específica (Specific Yield).

Fuente: Manual del Usuario de WEAP.

El volumen del acuífero es estimado inicialmente a partir del supuesto que el nivel de agua en el acuífero se encuentra en equilibrio con el río; entonces el almacenamiento de equilibrio hacia un lado del río, denominado GS_e, se calcula como:

$$GS_e = h_d l_w A_d S_Y$$

La variable "yd" es una estimación de la altura sobre la cual el acuífero se encuentra por sobre o bajo el equilibrio, por lo que el almacenamiento inicial GS(0) en el acuífero, es decir el almacenamiento en t=0, está dado por la expresión:

$$GS(0) = GS_e + y_d h_d l_w S_Y$$

De esta forma, la altura del acuífero que está por sobre o bajo el equilibrio se puede determinar cómo:

$$y_d = \frac{GS - GS_e}{h_d l_w S_Y}$$

Mientras más aumente el nivel de agua relativo al lecho del río, mayor será entonces el aporte o filtración desde el acuífero hacia este. Por el contrario, al disminuir el nivel de agua respecto de la ubicación de la altura de equilibrio del río, mayor será la infiltración desde el río hacia el acuífero. La infiltración total (S) desde ambos lados del río puede ser descrita como:

$$S = 2\left(K_S \frac{y_d}{h_d}\right) l_w d_w$$

Donde K_S representa la conductividad hidráulica saturada del acuífero y d_w es una estimación de altura de escurrimiento del río, invariante en el tiempo. Tanto la altura de escurrimiento (d_w) como el perímetro de contacto (l_w) representan el área por donde ocurre la filtración. La conductividad hidráulica es la encargada de controlar la tasa a la cual el agua se mueve hacia o desde el área de filtración. Una vez que esta filtración es estimada, el almacenamiento del acuífero al final del paso de tiempo adoptado se estima como:

$$GS_i = GS_{i-1} + 0.5\,(R - E - S)$$

Donde E representa cualquier extracción antropogénica desde el acuífero destinada a la satisfacción de un nodo de demanda y R representa la recarga provista por la precipitación.

Otra manera de simular el acuífero corresponde al método de "especificar los flujos GW". En este método, se deben imponer los volúmenes del acuífero, así como su recarga natural y flujo desde un acuífero a otro y al caudal máximo de extracción. Usualmente este método es utilizado en el caso en que se tiene información de un modelo subterráneo, pero no se ha optado por el acople y existe información relativa a extracciones del acuífero. Cabe destacar que dicho método permite incluso la modelación de una "caja" de capacidad infinita.

Una manera simplificada de la representación del acuífero corresponde a la interacción entre los estanques superior (zona radicular) e inferior (caja acuífera) del modelo de la humedad del suelo. En este caso el acuífero se parametriza con una caja con una capacidad finita, una conductividad hidráulica y un nivel inicial. Este método tiene la limitación inherente que no permite la separación de ambos elementos por sí sólo, teniéndose que calcularse aparte flujos relevantes como la infiltración o percolación.

Cabe destacar que es factible acoplar una caja acuífera al método de la humedad del suelo. En dicho caso, los parámetros del estanque inferior son reemplazados por los de la caja acuífera. Este método requiere por cierto de mucha información y es extremadamente difícil de calibrar.

El último método corresponde justamente al acople WEAP-MODFLOW, que se discutirá más adelante.

2.4.2 Descripción de MODFLOW

Es un software de modelamiento tridimensional de agua subterránea, el cual resuelve las ecuaciones de flujo mediante diferencias finitas, elementos finitos (MODFLOW 2000,2005, NWT) y volúmenes finitos (MODFLOW USG). En el acople con WEAP solamente están permitidos el primer set de motores MODFLOW: MODFLOW 2000,2005, NWT. El código es continuamente desarrollado por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), existiendo diferentes versiones que han ido incorporando cálculos específicos y nuevas formulaciones de resolución. Al ser desarrollado por una institución pública, MODFLOW es de código libre, es decir se distribuye gratuitamente.

Es considerado internacionalmente como un código estándar en cuanto a la representación del flujo regional o local del agua subterránea y su interacción con los cuerpos de agua superficial. Presenta una estructura modular, es decir contiene componentes llamados "paquetes" que son acoplados a MODFLOW con los cuales son resueltos aspectos específicos de los componentes del flujo subterráneo, tales como los paquetes de resolución de pozos o río.

2.4.2.1 *Plataformas que corren MODFLOW*

MODFLOW corresponde a un código libre, sin embargo, su utilización no es sencilla. Para ello se han desarrollado múltiples plataformas que, utilizando el código MODFLOW original, permiten tanto la construcción del modelo, considerando la representación gráfica de las condiciones geométricas y propiedades hidráulicas del área de estudio, como la presentación de sus resultados. Dentro de ellas, se destacan:

- Model Muse: programa de interfaz gráfica libre y de código abierto desarrollado por el USGS para la modelación de flujo y transporte en aguas subterráneas.
- Visual MODFLOW: programa desarrollado por Waterloo Hydrogeologic, el cual en su lanzamiento el año 1994 se convirtió en la primera interfaz gráfica comercial del código MODFLOW. Utilizado para la modelación tanto de flujo como transporte, soporta las diferentes versiones de MODFLOW y sus respectivos paquetes.
- Groundwater Vistas: corresponde a un software comercial de modelación de flujos subterráneos y transporte de contaminante desarrollado por ESI (Enviromental Simulation Incorporated) que sustenta varios códigos, destacándose MODFLOW, MT3MS y SEAWAT, entre otros. El programa es compatible con ArcGIS y Surfer, formatos con los cuales se facilita el manejo de la geometría y propiedades del modelo.

2.4.2.2 *Motores y Paquetes Disponibles en MODFLOW*

MODFLOW, desde su lanzamiento, ha sido continuamente desarrollado, existiendo seis grandes actualizaciones al código base: MODFLOW-84, MODFLOW-88, MODFLOW-96, MODFLOW-2000, MODFLOW-2005 y MODFLOW 6. Asociados a estas versiones bases se han desarrollado variantes con mejoras específicas en la resolución de las ecuaciones de flujo, destacándose:

- MODFLOW NWT: utiliza la formulación de Newton Raphson para mejorar la simulación de flujo en acuíferos libres.
- MODFLOW USGS: utiliza una grilla no estructurada para el cálculo de las ecuaciones de flujo.

MODFLOW presenta una estructura modular, por lo que cada una de las versiones desarrolladas se apoya en distintos paquetes para la resolución de ecuaciones y presentación de resultados, entre ellos:

- Flujo
    - BCF6: Block-Centered Flow
    - BAS6: Basic
    - LPF: Layer Property Flow
    - HUF2: Hydrogeologic Unit Flow
    - UPW: Upstream Weighting
    - NPF: Node Property Flow
    - STO: Storage Package Pane
    - HFB: Horizontal Flow Barrier
    - UZF: Unsaturated-Zone Flow
    - SWI2: Seawater Intrusion

- Condiciones de Borde
    - CHD: Constant Head
    - BFH: Boundary Flow and Head
    - RCH: Recharge
    - WEL: Well
    - FHB: Flow and Head Boundary
    - DRN: Drain
    - DRT: Drain Return

- ETS: Evapotranspiration Segments
- EVT: Evapotranspiration
- GHB: General Head Boundary
- LAK: Lake
- MAW: Multi-Aquifer Well
- MNW1: Multi-Node Well
- MNW2: Multinode Well 2
- RES: Reservoir
- RIP: Riparian Evapotranspiration Package
- RIV: River
- SFR: Stream-Flow Routing
- STR: Stream

- Solvers
  - PCG: Preconditioned Conjugate Gradient
  - PCGN: Preconditioned Conjugate Gradient Solver with Improved Nonlinear Control
  - GMG: Geometric Multigrid Solver
  - SIP: Strongly Implicit Procedure
  - DE4: Direct Solver
  - NWT: Newton Solver
  - LMG: Link AMG
  - SOR: Slice Successive Overrelaxation

- Salida
  - HYD: HYDMOD
  - GAGE: Gage
  - LMT6: Link MT3DMS
  - MNWI: Multi Node Well Information

- Post Procesadores
  - MODPATH
  - ZONEBUDGET

- Subsidencia

- IBS: Interbed Storage
- SUB: Subsidence and Aquifer System Compaction
- SWT: Subsidence and Aquifer System Compaction for Water Table Aquifers

- Transporte
  - BTN: Basic Transport
  - ADV: Advection
  - DSP: Dispersion
  - SSM: Sink & Source Mixing
  - RCT: Chemical Reactions
  - GCG: Generalized Conjugate Gradient
  - TOB: Transport Observation
  - CTS: Contaminant Treatment Systems
  - LKT: Lake Transport
  - SFT: Stream Flow Transport
  - UZT: Unsaturated-Zone Transport

2.4.2.3 *Motores y Paquetes Disponibles en MODFLOW para acople WEAP*

El proceso de acople se hace a través de la lectura en WEAP de los diferentes paquetes de MODFLOW, sin embargo, no todos son permitidos. Actualmente WEAP soporta las versiones MODFLOW 2000, MODFLOW 2005 y MODFLOW NWT. En cuanto a los paquetes, se diferencian aquellos que son utilizados por WEAP para el cálculo de la interacción de flujos subterráneos y superficiales y aquellos que son permitidos por WEAP, pero que son utilizados por MODFLOW en su cálculo interno.

- Paquetes utilizados por WEAP
  - BCF6
  - BAS6
  - HUF2
  - LPF
  - UPW
  - CHD
  - DRN
  - RCH

- RIV
- WEL
- ETS
- EVT

- Paquetes permitidos por WEAP
  - ADV
  - DE4
  - GHB
  - GAGE
  - HFB
  - HYD
  - IBS
  - LMG
  - NWT
  - PCG
  - SIP
  - SOR
  - SUB

- Paquetes no permitidos por WEAP
  - DAF
  - DAFG
  - DRT
  - FHB
  - LAK
  - MNW1
  - MNW2
  - PES
  - PVAL
  - RES
  - SEN
  - SRF

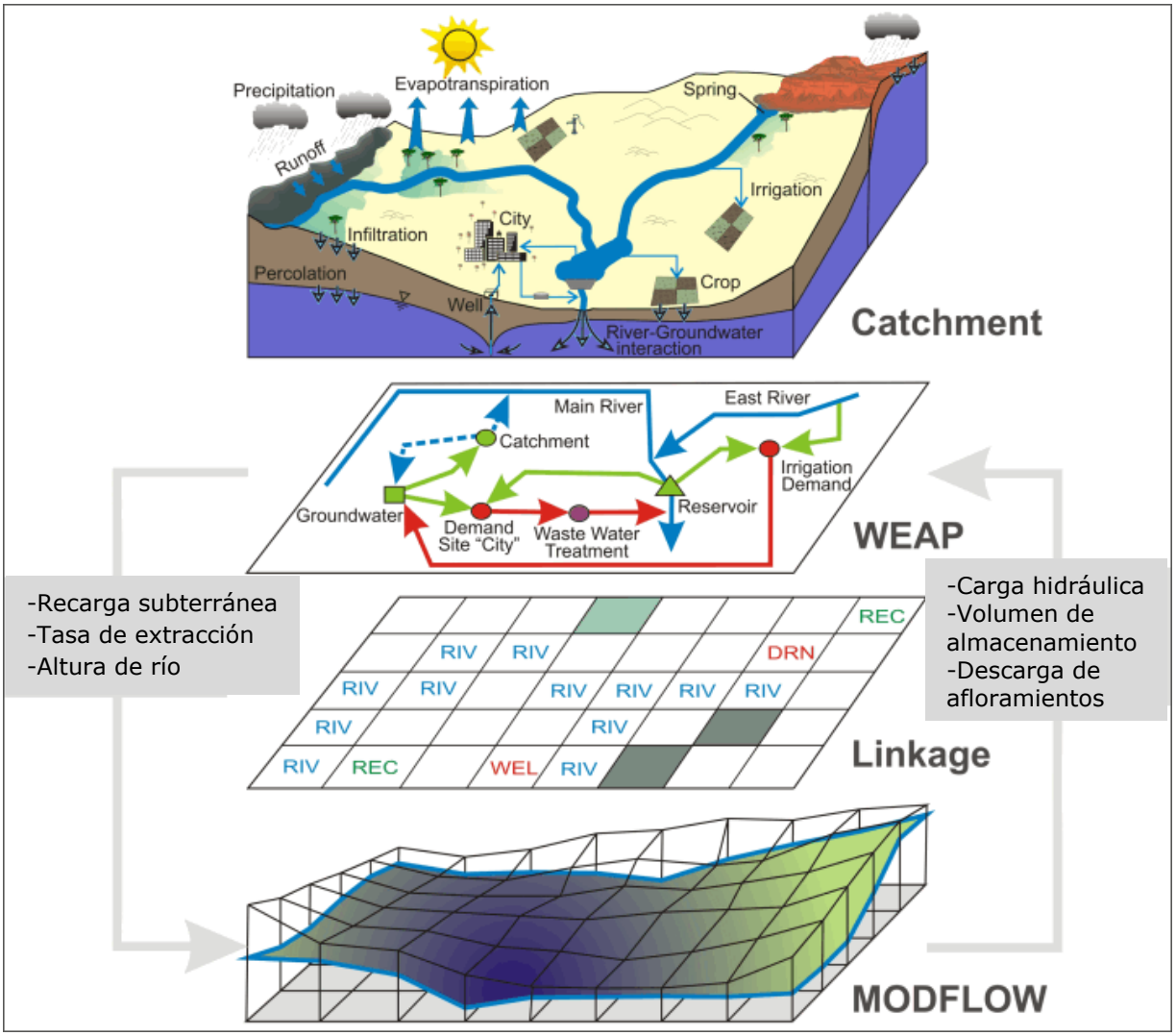
- STR
- SWR
- UZF

2.4.3 Acople WEAP-MODFLOW

Como ya se describió en el acápite 2.4.1, es usual que los modelos hidrológicos realizados en WEAP representen la zona de almacenamiento inferior (sistema subterráneo), con un enfoque de estanque o de cuña; mediante representaciones simplificadas de geometría y propiedades de acuífero, que simulan intercambio de flujos a nivel agregado.

En este sentido, es importante recalcar que WEAP es un modelo conceptualizado con segmentación espacial concentrada o semidistribuida; mientras que el modelo de flujo MODFLOW representa la dinámica de flujo subterráneo de manera espacialmente distribuida. De esta manera, mediante la implementación de un archivo de enlace en WEAP, que permite representar el acuífero vinculado a MODFLOW, es posible integrar directamente los flujos superficiales y subterráneos, para todos los periodos de simulación, ejecutando simultáneamente un modelo distribuido y otro semidistribuido.

Para llevar a cabo lo anterior, se debe generar los archivos de modelación subterránea en el formato nativo de MODFLOW; para luego desarrollar el archivo de enlace que vincula los elementos de WEAP con la malla del modelo subterráneo. En la Figura 2-3 se presenta un esquema de vinculación entre WEAP y MODFLOW, extraída de los estudios de The Federal Institute for Geosciences and Nature Resources (BGR Hannover).



Fuente: BGR Hannover

Figura 2-3: Esquema de Vinculación WEAP-MODFLOW mediante archivo de enlace

En el siguiente acápite se profundiza en el desarrollo de la herramienta de modelación integrada del recurso superficial-subterráneo, describiendo en el proceso de acople entre el software WEAP, que simula procesos de aguas superficiales; y el código de modelamiento MODFLOW, que simula los procesos de flujos de agua subterránea.

2.4.3.1 *Esquema General Implementado en Modelos Acoplados*

De acuerdo a lo indicado en la bibliografía especializada (DGA, 2019c), para acoplar un modelo subterráneo y superficial, se recomienda contar con un modelo subterráneo previamente calibrado, siendo posible que en el proceso de integración sea necesario recalibrar parámetros. En este sentido, y dada la experiencia del consultor en modelo

integrados iterativos como DGA (2018c), el enfoque utilizado para llevar a cabo el proceso de acople se resume en lo que sigue:

- Una vez que se cuenta con los modelos bases superficial y subterráneo, se realizan las modificaciones topológicas necesarias para el acople, de manera tal de representar y utilizar las condiciones de borde, motores de cálculo, y elementos que se encuentran disponibles para la operación conjunta de ambos modelos. En este aspecto, es sumamente importante considerar que la calidad de los modelos base, en lo referente a su conceptualización e implementación numérica, condiciona directamente la calidad del modelo acoplado final.
- Ambos modelos modificados y actualizados a abril 2019 son operados en conjunto en régimen transiente, teniendo especialmente en cuenta que los flujos de interrelación entre ambos modelos sean consistentemente similares en magnitud a nivel espacial y temporal; utilizando las recargas del modelo superficial en el modelo subterráneo.
- Es importante destacar que, a pesar de que en el proceso de acople se debe generar archivos en formato nativo para MODFLOW en tan sólo el primer paso de tiempo, es de suma relevancia realizar esta operación conjunta en el periodo de simulación completo, puesto que ayuda sustancialmente en el proceso de calibración.
- Posteriormente se realiza la vinculación mediante el archivo de enlace entre WEAP y el código de simulación MODFLOW; en aquellos sectores acuíferos en los cuales el modelo subterráneo cuenta con un dominio activo en la malla de modelación.

Finalmente, con el modelo acoplado, se realiza la calibración de éste, variando parámetros e incorporando aquellas modificaciones topológicas que son consideradas relevantes.

2.4.3.2 *Generación de Archivos MODFLOW Nativo*

Para llevar a cabo el enlace entre WEAP y MODFLOW, es necesario generar archivos de modelación subterránea en el formato nativo de MODFLOW, desde los softwares en los que los modelos fueron desarrollados.

Como se detalló en los puntos anteriores, la operación conjunta de WEAP y MODFLOW integra directamente los flujos superficiales y subterráneos, en todos los periodos de simulación, ejecutando simultáneamente un modelo distribuido y otro semidistribuido. De esta manera, en primer lugar, es necesario realizar modificaciones preliminares a los modelos, de manera que cumplan con:

- Modelo subterráneo MODFLOW implementado en régimen transiente.

- El periodo de stress del modelo subterráneo MODFLOW debe ser el mismo utilizado en WEAP.
- Unidades de ambos modelos deben ser: longitud, metros; tiempo, días.

Para cada paso de tiempo, WEAP genera los siguientes archivos y paquetes en formato nativo MODFLOW (detallados en el acápite 2.4.2), que tienen relación con extracciones subterráneas, interacción entre ríos, drenes y recargas superficiales al sistema acuífero.

- Archivo NAM: WEAP entrega este archivo en cada paso de tiempo especificando los nombres de archivos de entrada y de salida, así como los paquetes que deberá utilizar el código MODFLOW.
- Archivo DIS: contiene la información geométrica de la discretización del acuífero, así como la discretización temporal de los pasos de tiempo.
- Archivo OC: especifica en qué momento de la simulación y cuáles resultados deben ser guardados en los archivos de salida. Los resultados pueden corresponder a cotas en las celdas, flujo celda a celda y reducción de niveles. Estos pueden ser guardados en los archivos de salida con frecuencia mensual o con frecuencia mayor (se especifican los pasos de tiempo).
- Paquete RCH: entrega los flujos superficiales distribuidos en el dominio; calculados por el modelo WEAP en cada paso de tiempo y que son ingresados al modelo subterráneo. Se entrega un valor por celda acoplada en unidades de largo/tiempo, las cuales el código MODFLOW pondera por el área de cada celda para obtener las tasas volumétricas que se ingresan en la capa superior del modelo.
- Paquete RIV: dependiendo de los flujos superficiales calculados por WEAP, así como las curvas de descarga definidas para las secciones de río, WEAP entrega las cotas del río en cada paso de tiempo. Para los valores de cota y conductancia del lecho del río se mantienen los valores iniciales ingresados.
- Paquete WEL: de acuerdo con los nodos de demanda vinculados a celdas de la componente subterránea y a las tasas volumétricas asignadas a estos nodos, se genera este paquete para cada paso de tiempo; indicando las celdas, los flujos de extracción y las capas desde las que se bombea.

Por otro lado, WEAP requiere la generación de al menos los siguientes archivos y paquetes nativos, para poder operar el código MODFLOW. El resto de los paquetes MODFLOW mencionados en el acápite 2.4.2.3 son opcionales para la operación del acople WEAP-MODFLOW. Sin embargo, para el enlace entre elementos de río, nodos de demanda

correspondiente a pozos de extracción y recargas superficiales a la componente subterránea, se debe contar inicialmente con los paquetes WEL, RIV y RCH, respectivamente.

- Archivo NAM: indica todos los paquetes que serán utilizados por el motor de cálculo MODFLOW.
- Archivo DIS: se debe contar con la discretización espacial y temporal inicial para el cálculo en MODFLOW, la cual será replicada en cada paso de tiempo por WEAP.
- Paquete BAS6: el paquete Basic especifica las ubicaciones de celdas activas, inactivas y de carga constante, así como las cotas iniciales ingresadas al modelo. Por tanto, el acople WEAP-MODFLOW hace uso de este paquete para el ingreso de condiciones iniciales, así como de configuración de celdas para todos los pasos de tiempo.
- Paquete BCF6/HUF2/LPF/UPW: se debe contar con uno de los paquetes anteriores, de manera que se especifiquen propiedades que controlen el flujo celda a celda, como la permeabilidad hidráulica y el coeficiente de almacenamiento asignado a cada celda.

De acuerdo a las recomendaciones realizadas en DGA (2019d), como criterio general, se importa el primer paso de tiempo del modelo subterráneo para la generación de archivos nativos, en vías de ser acoplados con WEAP, puesto que contiene la información necesaria para que el modelo opere conjuntamente. Sin embargo, también se exportan los pasos de tiempo totales para verificar la convergencia del modelo subterráneo operando sin plataformas comerciales.

Finalmente, se implementaron las siguientes modificaciones básicas, que ayudaron en la interfaz visual del modelo acoplado:

- Representación de celdas inactivas del modelo con el id "-999", mediante la modificación directa en el paquete BAS6.
- Representación de celdas secas del modelo con el id "-888", mediante la modificación directa en el paquete BCF6/HUF2/LPF/UPW.

Es importante mencionar que de acuerdo a lo descrito por DGA (2019c), cada equipo modelador puede determinar una estrategia propia de generación de archivos nativos, según sea el dominio de los softwares con que se cuenten, para realizar este proceso en el menor tiempo posible. Conforme a lo anterior, y a las consideraciones detalladas en los

puntos anteriores, la metodología para generación de archivos en formato nativo, desde los softwares en que éstos fueron desarrollados.

De esta manera, dependiendo de la plataforma en la cual se desarrolló el modelo subterráneo base, se tienen las siguientes rutas de trabajo.

Modelo Desarrollado en Groundwater Vistas (GWV):

Una vez que el modelo se calibró en régimen transiente, se copian los siguientes archivos/paquetes a una nueva carpeta de proceso, según su uso en la conceptualización del modelo base y a las modificaciones propias llevadas a cabo en cada modelo.

- Archivo NAM
- Paquete BAS6
- Paquete DRN
- Paquete BCF6/HUF2/LPF/UPW
- Archivo DIS
- Archivo OC
- Paquete RCH
- Paquete RIV
- Paquete WEL
- Paquete CHD
- Paquete PCG/SIP/NWT

Posteriormente, los paquetes nativos BAS6, BCF6/HUF2/LPF/UPW, DIS y RCH son modificados con un editor de texto, agregando el carácter de espacio " " antes de los segmentos de códigos que presentaron paréntesis, separando estos códigos del número anterior. Lo anterior permite el reconocimiento correcto en WEAP.

Modelo Desarrollado en Visual MODFLOW (VM):

Se importa el archivo DIS y los paquetes BAS6 y CHD a la plataforma Groundwater Vistas; mediante la opción de importar sets de archivos MODFLOW. Para ello se genera en un editor de texto el archivo NAM, en cuyo contenido se incluyen los nombres de los archivos y paquetes DIS, BAS6 y CHD directamente compilados desde Visual MODFLOW. Los archivos/paquetes: DRN, BCF6/HUF2/LPF/UPW, RCH, RIV y WEL se exportan a capas SIG, desde las cuales son ingresadas a la plataforma Groundwater Vistas. De esta forma, una vez que el modelo se encontró completamente migrado a esta última plataforma, es decir,

que fueron verificadas las calibraciones y flujos en zonas de balances conceptualizados originalmente en el modelo Visual MODFLOW, se lleva a cabo el procedimiento descrito para modelos desarrollados en plataforma Groundwater Vistas.

Así también, un procedimiento alternativo consiste en importar los sets de archivos nativos compilados desde Visual MODFLOW a Visual MODFLOW Flex. La plataforma Visual MODFLOW Flex tiene la ventaja de que su estructura de archivos en formato nativo es compatible con la estructura de archivos de la plataforma ModelMuse, por lo que pueden ser importados a esta última directamente. De esta forma, una vez que el modelo se encontró migrado a ModelMuse, y se han verificado las calibraciones y flujos en zonas de balances, conceptualizados originalmente en el modelo Visual MODFLOW, se compilan los archivos en formato nativo MODFLOW, los que quedan directamente disponibles para ingresar a WEAP.

Finalmente, una vez que se generaron los archivos en lenguaje nativo MODFLOW para su acople en la plataforma WEAP-MODFLOW, se verifica que el código MODFLOW entregue resultados estables y coherentes con las calibraciones en las plataformas originales y sus flujos en zona de balance. Esto se lleva a cabo ejecutando directamente el código MODFLOW e ingresando el archivo NAM, de manera que se generen los resultados independientes de las plataformas Groundwater Vistas y ModelMuse. Los resultados son contrastados con lo obtenido en la actualización de los modelos subterráneos.

2.4.3.3 *Generación de Archivo de Enlace y Vinculación de Elementos entre WEAP y MODFLOW*

El acople WEAP – MODFLOW se realiza a través de la lectura desde WEAP de los archivos nativos MODFLOW junto a la construcción de un archivo de enlace que permite relacionar los elementos que interactúan entre los sistemas superficial y subterráneo.

Los archivos nativos de código MODFLOW deben ser copiados en una sub-carpeta llamada "MODFLOW" dentro de la carpeta del proyecto de manera que puedan ser utilizados por WEAP al momento de realizar la modelación acoplada.

El archivo de enlace corresponde a un archivo en formato *.shp que relaciona cada una de las celdas del modelo subterráneo (celdas activas como inactivas) a los elementos del modelo WEAP. La Tabla 3.4-3 presenta la estructura del archivo de enlace, en términos generales, de los atributos con los que cuenta. Debido a que los modelos se trabajan en idioma inglés, es necesario que el nombre del atributo se presente de igual forma.

Tabla 2-3: Atributos Archivo de Enlace WEAP - MODFLOW.

Atributo	Representación topológica
Row	Número de fila asociada a cada celda de la grilla del modelo subterráneo
Column	Número de columna asociada a cada celda de la grilla del modelo subterráneo
Row_Column	Atributo que integra el valor de fila y columna para cada celda
Is_Active	Indica la zona de la grilla que contiene las celdas activas del modelo subterráneo
Catchment	Atributo que permite enlazar las Unidades Hidrológicas del modelo
RiverReach	Enlace de tramos de río
GW	Enlace de elementos-acuífero de WEAP
DEMAND1	Enlace de nodos de demanda
DEMAND2	Enlace de nodos de demanda, en caso de existir más de uno de estos elementos a una misma celda

Fuente: Elaboración propia

2.4.3.4 *Vinculación de MODFLOW a modelo WEAP*

Una vez que los archivos nativos MODFLOW se encuentran dentro de la carpeta del proyecto, al igual que el archivo de enlace generado, es posible realizar el procedimiento de lectura desde WEAP de los archivos MODFLOW. Para ello, se debe continuar de la siguiente manera:

- Dirigirse al menú "Avanzado" y seleccionar "Nexo con MODFLOW (flujo Agua Subterránea)"
- Seleccionar la casilla de la opción "Enlace a MODFLOW"
- Seleccionar el motor de MODFLOW utilizado y vincular el archivo *.nam, correspondiente a uno de los archivos nativos de MODFLOW y que contiene la ubicación del resto de los paquetes generados.
- WEAP presenta una ventana de información referente al estado exitoso o no de la vinculación de los archivos
- Realizar la lectura del archivo enlace mediante "Elegir el shapefile que contiene información de enlaces MODFLOW"
- Especificar el atributo que contiene cada columna del archivo *shp de enlace

2.4.3.5 *Calibración del Modelo Acoplado WEAP-MODFLOW*

El proceso de calibración del modelo acoplado superficial subterráneo consiste en ajustar los parámetros relacionados a los flujos superficiales, subterráneos, y aquellos que se interrelacionan; reproduciendo como resultado de la modelación matemática los flujos medidos en estaciones fluviométricas, niveles medidos en pozos y flujos subterráneos estimados, desde una perspectiva global en el sistema hidrogeológico.

Se debe tener en consideración de que en caso de una modificación en la topología o elementos del modelo subterráneo como por ejemplo la ubicación de una condición de borde, inclusión de zonas de recarga o nuevas extracciones, se debe modificar el archivo de enlace WEAP – MODFLOW.

El proceso de ajuste del modelo subterráneo se realiza en base al cumplimiento de un valor máximo de 5% para los estadígrafos MAE normalizado y RMS normalizado, junto a un valor máximo de 1% de error en el balance para cada periodo de stress, todo ello de acuerdo a la Guía de Modelación del SEA. La generación de los estadígrafos, gráfico de comparación entre niveles piezométricos observados versus simulados y registros en pozos de observación frente al valor simulado, necesarios para el análisis del proceso de calibración tanto en términos estadísticos como de tendencia, se realizan mediante una rutina en código Python construida para el presente estudio.

Respecto al modelo superficial, la verificación del ajuste de la calibración se realizó de manera gráfica, permitiendo estimar la correspondencia de los resultados a la tendencia y estacionalidad de las estaciones fluviométricas, junto a un análisis estadístico entre el registro mediante los siguientes parámetros:

1. **NSE (Indicador de Eficiencia de Nash-Sutcliffe)**: La Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE; Nash y Sutcliffe, 1970) es una medida del error en las estimaciones del modelo, considerando la varianza de los valores en torno al promedio para normalizar el valor. Un ajuste perfecto corresponde a un valor de NSE de 1 y un ajuste insatisfactorio es relacionado a valores menores a 0,5 (Moriasi et al., 2007). Obtener valores de *NSE* negativos indica entonces que la serie promedio de observaciones es mejor modelo predictor que el modelo utilizado para la simulación (Gupta et al., 2009). Una falencia detectada en este criterio de ajuste corresponde a la relevancia que tienen los grandes valores en el ajuste, por lo que puede ser mejor opción considerar el log base 10 de las variables, sobre todo en el caso de esta cuenca en donde las precipitaciones tienden a ser valores pequeños.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2}$$

Donde:

O_i [-]: Valores observados.

P_i [-]: Valores simulados.

$\bar{O}$ [-]: Promedio de los valores observados.

2. **KGE (Indicador de Eficiencia de Kling-Gupta)**: La eficiencia de Kling-Gupta (KGE; Gupta et al., 2009), combina los tres componentes de la eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) de los errores del modelo (es decir, correlación, sesgo, razón de varianzas o coeficientes de variación) de una manera más equilibrada. Esta métrica se ha utilizado ampliamente para calibración y evaluación de modelos hidrológicos en los últimos años, ya que está en línea con el paradigma de usar múltiples objetivos para la calibración del modelo, con el objetivo de prevenir un sobreajuste de parámetros del modelo a un aspecto particular de las series de datos (Lindström 1997, Gupta et al. 1998). Tener en cuenta múltiples objetivos puede reducir las incertidumbres de la simulación y proporciona predicciones más confiables dado que los objetivos individuales no están correlacionados (Efstratiadis and Koutsoyiannis 2010). Un valor de 1 corresponde a un ajuste perfecto, mientras que un ajuste insatisfactorio aplica para valores menores que 0,3 (Knoben et al., 2019). La expresión para calcular este valor es la siguiente:

$$KGE = 1 - \sqrt{(r-1)^2 + (\beta - 1)^2 + (\gamma - 1)^2}$$

$$\beta = \frac{\mu_{Sim}}{\mu_{Obs}} \qquad \gamma = \frac{C_{V_{Sim}}}{C_{V_{Obs}}} = \frac{\sigma_{Sim}/\mu_{Sim}}{\sigma_{Obs}/\mu_{Obs}}$$

Donde:

r [-]= Coeficiente de correlación entre la simulación y la observación.

β [-]= BIAS.

γ [-]= coeficiente de variación

μ [-]= promedio. "Sim" significa simulación y "Obs" observación.

σ [-]= desviación estándar. "Sim" significa simulación y "Obs" observación.

3. **PBIAS (Porcentaje de sesgo)**: Medida porcentual de la tendencia promedio de los datos simulados a subestimar o sobrestimar los datos observados. El valor

óptimo se alcanza cuando *PBIAS = 0.* Valores positivos (negativos) indican un sesgo de sobrestimación (subestimación) del modelo (Moriasi, 2007).

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i^{sim} - Y_i^{obs}\right) * 100}{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i^{obs}\right)}\right]$$

4. **r² (Coeficiente de Determinación)**: Relación entre la dispersión de la serie simulada y la observada. El rango de r^2 descansa entre 0 y 1. Un valor 1 indica que la dispersión de la serie simulada es idéntica a la dispersión de la serie observada (Krause, 2005).

$$r^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(P_i - \bar{P})^2}}\right)^2$$

Donde:

O_i [-]: Valores observados.

P_i [-]: Valores simulados.

$\bar{O}$ [-]: Promedio de los valores observados.

$\bar{P}$ [-]: Promedio de los valores simulados.

5. **ME (Error Medio):** Es el promedio de la diferencia entre el valor observado y los valores predichos. Es un puntaje lineal, lo que significa que todas las diferencias individuales se ponderan por igual en el promedio.

$$ME = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(Z_i^{sim} - Z_i^{obs}\right)$$

2.4.3.6 *Modelos a Construir y/o Actualizar*

En el Anexo H del presente estudio se resumen de manera acabada los modelos superficiales y subterráneo que fueron tomados como base para la elaboración del presente estudio.

2.4.4 Forzantes Meteorológicas

Las forzantes meteorológicas utilizadas para la modelación superficial en WEAP, corresponden a los datos generados por el Balance Hídrico Nacional (DGA, 2017b). Previamente se realizan comparaciones entre los datos observados en estaciones

meteorológicas y las variables extraídas del balance, con el fin de validar las forzantes a utilizar en la cuenca.

En esta comparación se evalúan, para la precipitación, el grado de representación estacional del año promedio, magnitudes anuales y curvas de duración. En el caso de la temperatura sólo se evalúan la representación estacional y la media anual.

Para el análisis de las estaciones, es necesario realizar una categorización según ubicación espacial y nivel de información disponible.

2.4.4.1 *Criterios de bondad de ajuste*

Se emplean siete criterios de bondad de ajuste para escoger al producto grillado de forzantes meteorológicas, donde cinco corresponden a los detallados en el acápite **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. Los dos restantes se exponen a continuación.

- MAE (Error Medio Absoluto): Es el promedio de la diferencia absoluta entre el valor observado y los valores predichos. Es un puntaje lineal, lo que significa que todas las diferencias individuales se ponderan por igual en el promedio.

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|Z_i^{sim} - Z_i^{obs}\right|$$

Donde:

Z_i^{Obs} = Variable observada en el instante i.

Z_i^{Sim} = Variable simulada en el instante i.

- rSD (Índice de desviación estándar) es un indicador de análisis técnico que compara la relación de las desviaciones estándar entre los valores observados y simulados. Un valor 1 indica que la dispersión de la serie simulada es idéntica a la dispersión de la serie observada.

$$rSD = \frac{\sigma_{Sim}}{\sigma_{Obs}}$$

Donde:

σ_X [-]= desviación estándar. "Sim" significa simulación y "Obs" observación.

2.4.4.2 *Variabilidad climática*

En este punto se busca representar de manera cuantitativa y gráfica la variabilidad asociada a la precipitación, temperatura y caudales bajo escenarios de cambio climático, en comparación con el periodo histórico.

El análisis se realiza sobre las variables de precipitación, temperatura y caudales. Para cada una se analiza el periodo histórico (1990-2019) y futuro (2020-2050), utilizando como registros las series ponderadas a escala de cuenca generadas a partir de los resultados del Balance Hídrico Nacional. La escala espacial de la información es 5 x 5 km/pixel, mientras que la escala temporal es mensual. La agregación espacial se realizó sumando la información de cada pixel y dividiendo por el total de pixeles de la cuenca. La agregación temporal anual se realizó sumando los valores mensuales para la precipitación, mientras que para la temperatura y los caudales se consideró el promedio de los valores mensuales. Los resultados incluyen:

- Gráficos de las series anual histórica y futuras (para cada modelo de circulación general, o MCG)
- Distribución de los montos anuales para el periodo futuro.
- Distribución espacial de la variable analizada para el periodo histórico y para las diferencias porcentuales proyectadas para el periodo futuro.

2.4.5 Oferta Sustentable

Para la actualización de la oferta hídrica sustentable se utilizan como base los resultados de la simulación del modelo WEAP acoplado para el periodo histórico sin demandas

La configuración de un periodo histórico sin demandas involucra que para la ventana temporal de calibración (1990 a 2019), todas las demandas antrópicas subterráneas y superficiales son definidas como nulas (industrias, agrícola, consumo humano, entre otras). Requerimientos de agua naturales como la evaporación desde los ríos o infiltraciones a acuíferos se mantienen activos; mientras que el consumo de la vegetación nativa que se desarrolla en las riberas se considera satisfecho en base a las infiltraciones del río.

Para que la metodología siga los lineamientos establecidos en el Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos (DGA, 2008), debe incluir los siguientes puntos:

- Curvas de variación estacional para los puntos de control a considerar.
- Actualizar los derechos otorgados, en trámite, de todo tipo y distribución.
- Actualizar los caudales ecológicos.
- Calcular la oferta hídrica asociando derechos permanentes a un 85% de probabilidad de excedencia y los derechos eventuales a un 5%.

Con lo anterior, es posible establecer el diagnóstico para cada una de las secciones en la cuenca. La actualización de la oferta sustentable se lleva a cabo según lo detallado a continuación.

En primer lugar, se debe dividir la cuenca en sectores de interés estratégico donde es útil determinar el uso sustentable del agua, por ejemplo, sectores de cabecera, confluencias de ríos, zonas donde la asignación legal de derechos es alta, entre otros. Así, se establecen como división tres secciones en las que se subdivide la cuenca son descritas enunciadas continuaciones:

1) Totoral Alto: Desde el nacimiento de la quebrada Algarrobal hasta aguas debajo de la confluencia con la quebrada Salitral.
2) Totoral Medio: Desde el nacimiento de la quebrada Algarrobal hasta aguas arriba de le confluencia de la quebrada Boquerón con la quebrada Pajonales.
3) Totoral Desembocadura: Desde el nacimiento de la quebrada Algarrobal hasta la desembocadura de la quebrada Totoral.

A partir de la sectorización, se generan curvas de variación estacional en los puntos de control de los tres sectores de interés en base a los resultados de simulación del modelo WEAP acoplado para el periodo histórico sin demandas, identificando el régimen hidrológico que controla cada subcuenca.

Luego, es necesario actualizar y ordenar por tipo los derechos de aprovechamiento de aguas superficiales, a partir de la base de datos entregada por la dirección regional de la DGA, para posteriormente clasificarlos en base al sector en donde se ubican.

Para la actualización de los caudales ecológicos disponibles a nivel mensual, existen distintos métodos de determinación según los criterios del DARH, de donde se utiliza:

- Si, $0{,}5 * Q(P_{exc} = 95\%) < 0{,}1 * Q(P_{exc} = 50\%)$, entonces $Q_{eco} = 0{,}1 * Q(P_{exc} = 50\%)$

- Si, $0{,}5 * Q(P_{exc} = 95\%) > 0{,}2 * Q(P_{exc} = 50\%)$, entonces $Q_{eco} = 0{,}2 * Q(P_{exc} = 50\%)$
- De otra forma, $Q_{eco} = 0{,}5 * Q(P_{exc} = 95\%)$

Finalmente, se realizan balances localizados en los puntos de control de cada sección, desde las subcuencas de alta montaña hasta la desembocadura de la cuenca, para desplazar la oferta disponible en cada sección hasta el punto más bajo.

2.4.6 Análisis de criterios de sustentabilidad de acuíferos

Se presenta a continuación la metodología aplicada y los supuestos realizados para la estimación de los criterios de sustentabilidad para cada SHAC. El análisis se realizó para los dos SHAC incluidos en el modelo acoplado WEAP-MODFLOW, considerando los resultados del escenario histórico para los años 1990 al 2019 y del escenario futuro base para los años 2020 al 2050.

Es necesario destacar que a la fecha de realización de este estudio no existe un manual que defina por completo los criterios de sustentabilidad, aunque si existe el "Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos" del Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH) que ha sido utilizado para estudiar cuencas específico por dicho departamento. Los criterios utilizados en el presente estudio fueron los establecidos por DGA en forma general para los PEGH y se basan en la Resolución DGA-MOP N°425 de 2007 y en el Decreto MOP-DGA N°203 de 2014. Estos criterios corresponden al análisis de descensos sustentables, grado de afectación al río, satisfacción de la demanda, pozos secos y análisis de influencia hacia otros sectores, según el detalle presentado a continuación.

i. Criterio 1: Descensos sustentables

Se considera que el volumen de afección sobre el acuífero en el largo plazo (50 años) no debe afectar más allá de un 5% del volumen total del acuífero. En caso contrario, el sistema acuífero será considerado con afección y se deberá cerrar el acuífero.

Para evaluar el cambio de volumen acuífero de cada SHAC, se calculó el volumen inicial y final de cada SHAC, correspondiente al volumen medio de los años 2000 y 2050, respectivamente, y se comparó la diferencia con el 5% del volumen total del acuífero, considerado igual al volumen inicial según indica la siguiente expresión:

$$\frac{V_0 - V_{50}}{V_0} < 0{,}05$$

Donde:

V_{50}: Es el Volumen del acuífero a los 50 años de operación indicado por el modelo.

V_0: Corresponde al volumen inicial en el acuífero antes de la operación del modelo.

ii. Criterio 2: Interferencia río-acuífero

Este criterio busca analizar la afectación sobre los recursos superficiales ya comprometidos. El grado de interacción, equivalente a la diferencia de flujo neto hacia el río, debe ser menor que 10% de los flujos superficiales pasantes en cada una de las zonas, evaluados como el caudal promedio anual de 85% de probabilidad de excedencia. La afectación sobre el cauce superficial se define como la diferencia entre la recarga desde el río al acuífero generada en cada SHAC y los afloramientos al río. Esto resulta en:

$$\Delta Q \leq 10\% \cdot Q_{Anual,85\%}$$

Donde:

ΔQ: Diferencia de flujo neto hacía el río en una ventana temporal de 50 años.

$Q_{Anual,85\%}$: Caudal medio anual con probabilidad de excedencia de 85%.

Para aplicar este criterio se consideraron las recargas del río al acuífero y afloramientos desde el acuífero al río en los tramos correspondientes a cada SHAC, tomando los valores medios anuales de los años 2000 y 2050.

Por otra parte, se obtuvieron las series de caudal en un punto del cauce identificado a la salida de cada SHAC. Para cada serie se estimó el caudal de probabilidad de excedencia del 85% a través del método de Weibull.

Por último, se comparó la diferencia del flujo neto hacia el río entre los años 2000 y 2050 con el caudal superficial pasante de 85% de probabilidad de excedencia a la salida del respectivo SHAC y se definió el cumplimiento del criterio.

iii. Criterio 3: Satisfacción de la demanda

Este criterio considera que, para cada SHAC, el modelo debe permitir una extracción mínima de un 95% del caudal ingresado como demanda, considerando que la oferta está dada por el caudal de los pozos que el modelo indica que son factibles de obtener.

Para dar cumplimiento al criterio de satisfacción de la demanda en cada SHAC, el modelo debe permitir una extracción mínima del 95% del caudal ingresado como demanda, Esto resulta en:

$$Q_{oferta} \leq 95\% \cdot Q_{Demanda}$$

El no cumplimiento de la demanda por parte de una explotación subterránea se asocia a la incapacidad del pozo de seguir bombeando debido al descenso de niveles que deja pozos "colgados" o sin la altura de agua suficiente para la utilización de la bomba. Debido a las limitaciones que presenta el proceso de acople de los modelos subterráneo y superficial, los pozos se han incorporado sin la información de su habilitación y se encuentran con cribas en todo lo alto del estrato. Por lo tanto, para un mejor análisis del presente criterio se considera necesario un mayor detalle en la representación de las explotaciones subterráneas que permitan obtener valores con un menor grado de incertidumbre. El supuesto base considerado para la evaluación de la sustentabilidad, es que el pozo solo deja de bombear si es que la celda en la cual se encuentra se seca.

iv. Criterio 4: Pozos secos

Este criterio considera que en cada sector hidrogeológico no debe haber más de un 5% de pozos desconectados o colgados. En caso contrario el sector quedará cerrado. Esta condición apunta a respetar derechos de terceros sin importar la cantidad que suministre cada pozo.

Debido a que no se dispone de información completa y sistematizada de la profundidad de los pozos de bombeo en la cuenca, no es posible hacer un análisis directo sobre pozos desconectados o colgados. Lo anterior se explica en que si bien el modelo entrega para cada paso de tiempo el nivel en cada celda, al no contar con la profundidad real de cada pozo, no es posible establecer el punto en que estos quedan o no secos. Además, debido a que el modelo WEAP distribuye la demanda de un Sitio de Demanda (*Demand Site*) de forma equivalente a todos los pozos conectados, no se está representando necesariamente el comportamiento real del sistema al nivel de detalle requerido para el análisis de este criterio.

v. Criterio 5: Afección a otros sectores abiertos

Este criterio busca verificar que el aumento de extracciones desde un sector no afecte a la disponibilidad sustentable de otro sector aguas abajo. El cumplimiento de este criterio estará dado porque ninguno de los SHAC aumente la demanda provocando el no cumplimiento de los criterios para los otros sectores abiertos, o para los sectores cerrados.

Actualmente el criterio de sustentabilidad DGA de afectación a otros Sectores no tiene una metodología de análisis o un umbral explícitamente definidos. Por lo tanto, no se puede definir el cumplimiento o no cumplimiento de este criterio de manera definitiva.

2.4.6.1 Metodología de aplicación de Criterios de sustentabilidad de acuíferos

De manera general, la aplicación de estos criterios se realizó considerando:

- El análisis se realizó a todos los SHAC que se encuentren acoplados en su totalidad.
- Se analizaron solo los criterios que apliquen a cada SHAC en particular
- Los escenarios construidos para el análisis de cada criterio corresponden a una extensión de 50 años, considerando el periodo 2000 – 2050.
- Las demandas para el periodo de extensión 2020 – 2050 corresponden a las del año 2019.
- El periodo 2020 – 2050 considera las forzantes climatológicas asociadas al Modelo de Circulación General de cada cuenca.
- Un SHAC se ha considerado que posee una explotación sustentable solo en caso de cumplir con todos los criterios de sustentabilidad que apliquen.
- El caudal de oferta sustentable corresponde al menor valor de explotación que resulte del análisis y cumplimiento de todos los criterios de sustentabilidad que apliquen en cada SHAC.

2.4.7 Selección de Modelos de Circulación General (MCG) para Escenarios de Cambio Climático

La selección de los modelos de circulación general (MCG) para este estudio se enmarca en la metodología empleada en la Actualización del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2017b).

De acuerdo con dicho documento los modelos que se seleccionaron para el estudio poseen 3 razones fundamentales:

1. Respuesta regional a ambos modos globales de variabilidad climática: Esto considera que también interpretan a las forzantes climáticas: El Niño/Oscilación del Sur (ENSO) y el Modo Anular del hemisferio Sur (SAM), ambos asociados a la precipitación.
2. Sensibilidad Climática: El grado de respuesta de los modelos antes las variaciones de temperatura y de concentraciones de CO_2. Hay modelos con distintas sensibilidades.
3. Cambios regionales: Se evaluaron los cambios en las forzantes de precipitación y temperatura para el escenario RCP 8.5 en la ventana 2030-2060 respecto de la línea base. Se buscaron entonces modelos que cubrieran una gama de variaciones.

Siguiendo estos 3 criterios, 4 modelos fueron seleccionados para el estudio, los cuales se presentan en la Tabla 2-4. Como se puede ver, los modelos agrupan 4 condiciones de sensibilidad, desde una baja extrema hacia un alta extrema y son ejecutados por centros científicos de diversos lugares en el mundo (USA, Francia, Japón y Australia).

Tabla 2-4: MCG seleccionados para representar las proyecciones de cambio climático

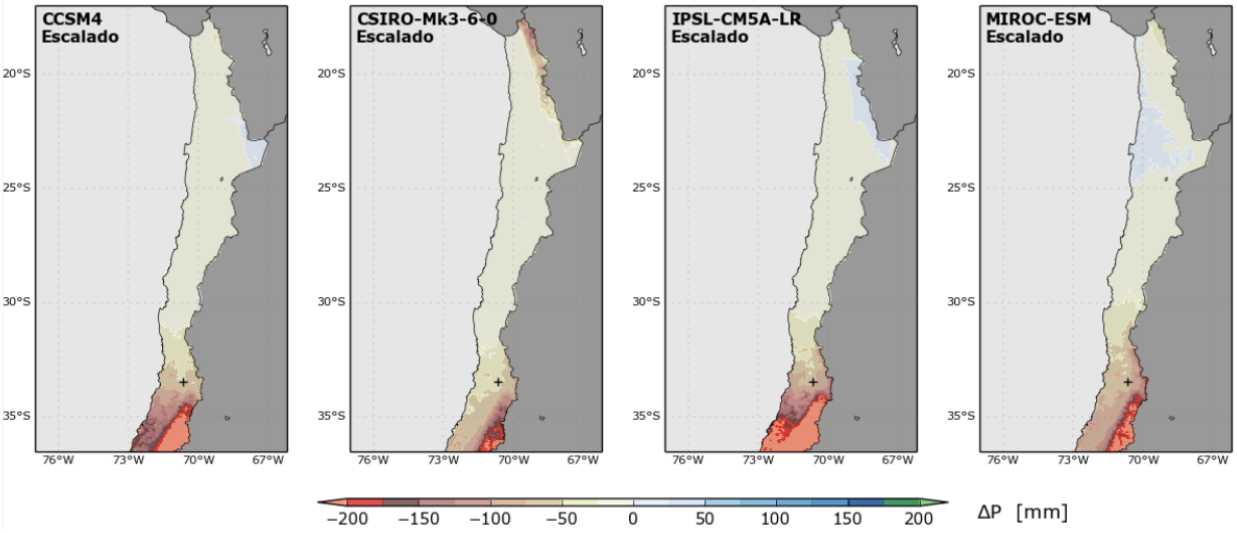
Modelo	**Institución**	**Sensibilidad climática**
CSIRO-MK3-6-0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization in collaboration with Queensland Climate Change Centre of Excellence, Australia	Baja Extrema
CCSM4	National Center for Atmospheric Research, USA	Baja moderada
MIROC-ESM	Agency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

Nota: Corresponde a la Tabla 2.8 de dicho informe.

Fuente: DGA (2017b).

Dentro de los documentos generados en DGA (2017b) se encuentra el Anexo F, que resume los cambios en precipitación, temperatura y escorrentía, entre otros, para todas las cuencas "DARH" solicitadas por DGA. Este análisis lo realiza para los 4 MCG, de manera que los tomadores de decisión sean los que evalúen que modelo utilizarán para la evaluación de políticas de gestión.

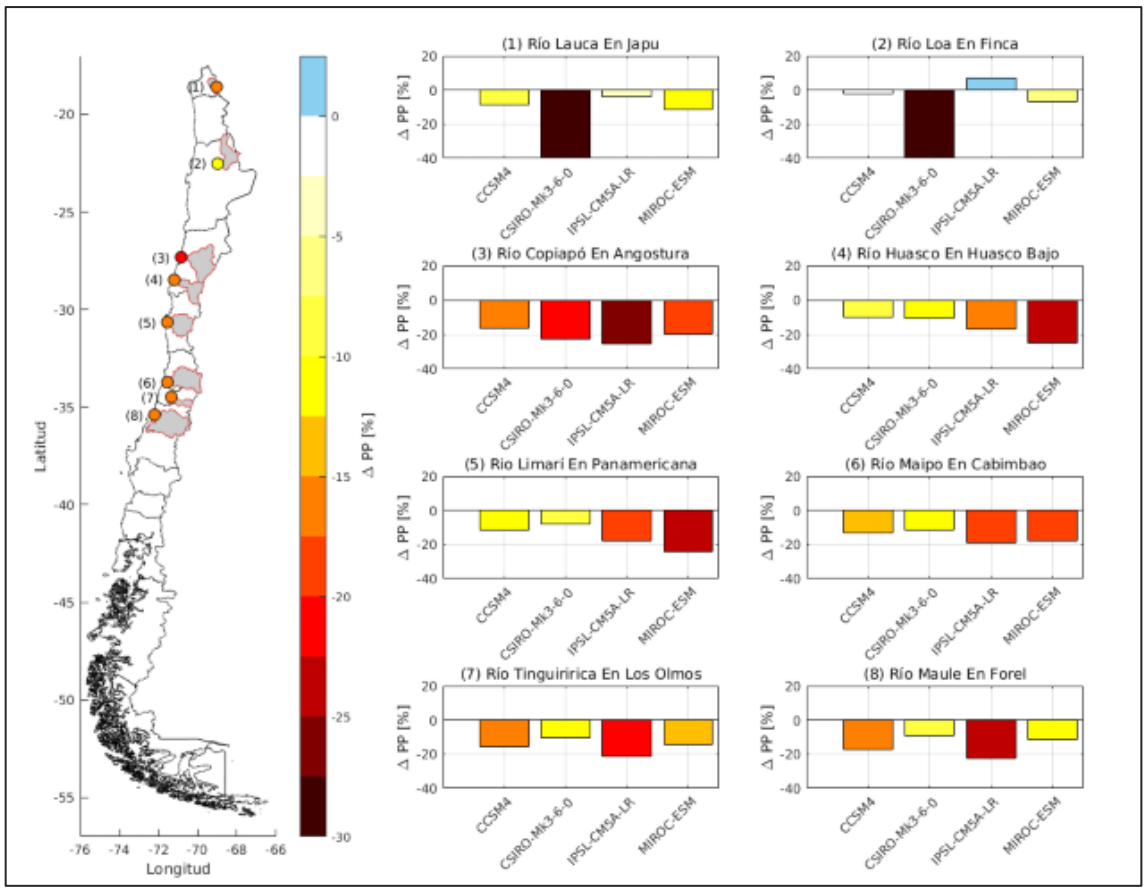
Dentro de esos resultados, los cambios de precipitación más severos suelen ocurrir con los modelos IPSL y MIROC. Sin embargo, en el estudio también se reconoce que los cambios son heterogéneos, habiendo más disparidad en el Norte Grande y Norte Chico. Sólo de la RM hacia el sur dominan las tendencias negativas. En la parte Central de Chile se prevé una disminución de precipitaciones que va desde 5-10% (CSIRO) hasta un 20-25% (IPSL) (Figura 2-4).



Fuente: DGA (2017b).

Figura 2-4: Cambios en la precipitación anual media, proyectado hacia 2030-2060 respecto de LB 1985-2015 para cada MCG

Los cambios a nivel de cuenca son entonces variados conforme se aumenta la latitud no existiendo un único modelo que siempre muestre una tendencia marcada al ascenso o aumento, por ejemplo, de las precipitaciones. En la Figura 2-5, se puede ver como en el río Loa en la Finca el descenso más marcado ocurre para el modelo CSIRO, mientras que para el río Copiapó en Angostura, ocurre en el modelo IPSL.



Fuente: DGA (2017b).

Figura 2-5: Cambio relativo en precipitación media anual proyectada para el período futuro (2030-2060) respecto al período de línea base (1985-2015), promediado sobre un conjunto de cuencas con información fluviométrica

Por tanto, se debe entender que cada cuenca representa un sistema único donde el comportamiento de los modelos MCG escogidos por DGA (2017b) pueden tener proyecciones muy distintas dependiendo de la ubicación geográfica en que éstos se encuentren. Adicionalmente a esto, se debe superponer el hecho de que la elección del MCG debe ser compatible con el modelo acoplado, particularmente, debe permitir operar el modelo hasta el año 2050, asegurando su convergencia numérica.

Por este motivo, se analizarán los resultados de la modelación hidrológica de la Actualización del Balance Hídrico Nacional; de acuerdo a lo indicado en esta metodología. Conforme al análisis, se seleccionarán dos escenarios de cambio climático a implementarse en el modelo numérico acoplado; considerando las menores variaciones de precipitación y escorrentía para la cuenca estudiada.

De este resumen, se escogen entonces las menores variaciones de precipitación y escorrentía para cada cuenca estudiada.

2.4.8 Corrección de forzantes meteorológicas futuras

La capacidad de los MCG para simular el sistema climático de la Tierra está limitada por las simplificaciones inherentes que incorporan. En consecuencia, los resultados brutos de los modelos comprenden diferentes tipos de sesgos en relación con el clima observado, por lo que parecería apropiado cierto grado de "calibración" del resultado del modelo climático bruto, donde la calibración se refiere a cualquier intento de hacer que el resultado del MCG sea más realista.

Debido a que los sesgos dificultan el uso directo de las proyecciones meteorológicas simuladas en los estudios de impacto del cambio climático, los resultados brutos a menudo se ajustan primero estadísticamente en función de evaluaciones del modelo en el clima actual. Este paso de post-procesamiento se aplica hoy en día de forma rutinaria a los resultados de los MCG en un intento de mejorar la confiabilidad de los impactos de las simulaciones (Räty et al., 2014).

a) Precipitación

La precipitación es una de las variables más importantes en los estudios de impacto del cambio climático. Sin embargo, la estimación robusta de los cambios de precipitación es un desafío debido a la gran variabilidad temporal y espacial que presenta ésta.

En este estudio, utilizamos la metodología de corrección de sesgo (*Bias correction method*; Räty et al., 2014) para corregir las proyecciones brutas de los MCG sobre el área de estudio. Este enfoque pondera a los datos futuros del MCG el cambio relativo entre los resultados brutos del MCG y las observaciones en un periodo de referencia, para corregir así el sesgo medio. Los cambios relativos se suelen considerar para la precipitación con el fin de evitar valores negativos.

En el caso más simple, donde se supone que la variabilidad de las observaciones y los resultados del MCG son iguales en el periodo de referencia, el método de corrección de sesgo se aplica según muestra la ecuación a continuación:

$$P_p(t) = \frac{\overline{P_o}}{\overline{P_c}}\, P_s(t)$$

Donde:

$P_p(t)$ (mm): Precipitación media proyectada y corregida del mes t.

$\overline{P_o}$ (mm): Promedio de la serie de precipitación media observada en periodo de referencia.

$\overline{P_c}$ (mm): Promedio de la serie de precipitación media simulada por el MCG en periodo de referencia.

$P_s(t)$ (mm): Precipitación media simulada por el MCG en el periodo futuro.

El periodo de referencia y futuro necesitan la misma duración. Considerando que el periodo futuro es establecido a la ventana temporal 2020 – 2050, se determina que el periodo de referencia corresponde a 1985 – 2015, ambos con una extensión de 31 años.

b) Temperatura

La temperatura también es una de las variables más importantes en los estudios de impacto del cambio climático. Para esta variable se aplica método "delta" (*Delta change method* o *Change factor*; Hawkings et al., 2013), el que se define como la adición de un cambio medio (normalmente mensual) en el clima, derivado de los MCG, a las propias observaciones mensuales. Este método tiene la ventaja de utilizar la distribución correcta de datos mensuales.

Para el caso general, donde se consideran cambios en la varianza, el método "delta" se aplica según muestra la ecuación a continuación:

$$T_p(t) = \overline{T_s} + \frac{\sigma_{T,s}}{\sigma_{T,c}} (T_o(t) - \overline{T_c})$$

Donde:

$T_p(t)$ $(°C)$: Temperatura media proyectada y corregida del mes t.

$\overline{T_s}$ $(°C)$: Promedio de la serie de temperatura media simulada por el MCG en el periodo futuro.

$\overline{T_c}$ $(°C)$: Promedio de la serie de temperatura media simulada por el MCG en periodo de referencia.

$\sigma_{T,c}$ $(°C)$: Desviación estándar de la serie de temperatura media simulada por el MCG en el periodo de referencia.

$\sigma_{T,s}$ $(°C)$: Desviación estándar de la serie de temperatura media simulada por el MCG en el periodo futuro.

$T_o(t)$ $(°C)$: Temperatura media observada en el periodo de referencia.

El periodo de referencia y futuro necesitan la misma duración. Considerando que el periodo futuro es establecido a la ventana temporal 2020 – 2050, se determina que el periodo de referencia corresponde a 1985 – 2015, ambos con una extensión de 31 años.

2.4.9 Indicadores Hídricos Adimensionales

Con objetivo de comparar los indicadores entre sí, es necesario utilizar los valores del escenario Caso Base (1990 – 2019) como referencia para convertir a todos los indicadores en valores adimensionales, tal como se detalla a continuación:

$$IH_{AD} = \frac{IH}{IH_{CB}}$$

Donde:

IH_{AD} $(-)$: Indicador Hídrico adimensionalizado

IH $(l/s,\ hm^3, \%, \ldots)$: Indicador Hídrico no adimensionalizado

IH_{CB} $(l/s,\ hm^3, \%, \ldots)$: Indicador Hídrico no adimensionalizado en el Caso Base (1990 – 2019)

Por lo tanto, el valor de los Indicadores Hídricos del Caso Base adquiere el valor de 1, mientras que para la Ventana Futura, indicadores mayores a 1 indican una mejora con respecto al Caso Base y menores a 1 un empeoramiento de éste.

2.5 *Generación del SIG*

El proyecto SIG, tiene como principales objetivos el generar cartografía de apoyo y hacer análisis espaciales los cuales se ven reflejados en el informe principal y en las coberturas presentadas en la Geodatabase. Todo el detalle del SIG generado para la cuenca se encuentra en el Anexo G del presente estudio.

2.6 *Evaluación y Ranking de las Acciones Propuestas*

2.6.1 Evaluación Global de las Acciones

Para efectos de determinar el ranking de las acciones propuestas, se consideraron los siguientes 4 indicadores: Importancia relativa del problema resuelto por la acción, impacto financiero, social y ambiental, según se presenta posteriormente en los acápites 2.6.2 a 2.6.4. Para efectos de cálculo, se adopta para el primer indicador un peso del 40%, y un 20% a los restantes. Este proceso, se muestra gráficamente en la Figura 2-6, y matemáticamente en la ecuación siguiente:

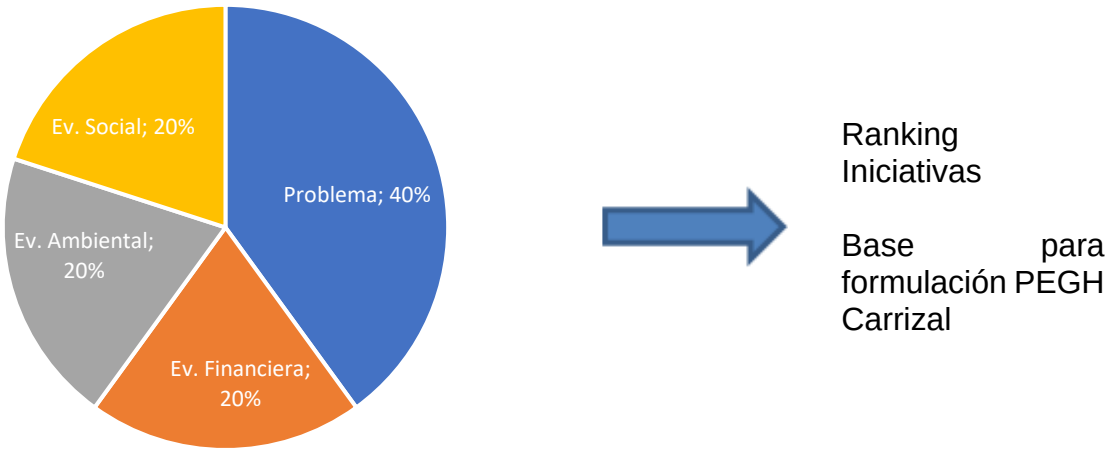
$$Puntaje = \sum_i \alpha_i \, C_i$$

Donde:

Puntaje: Puntaje total de la acción

α_i : Corresponde al peso dado a la calificación considerada (ver Figura 2-6)

C_i : Corresponde al puntaje dado a la calificación, ya sea el puntaje dado por el trabajo con la comunidad o por el criterio experto.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-6: Esquema Asignación Puntajes Evaluación de Acciones

Debe hacerse notar que usualmente para este tipo de evaluaciones se consideran matrices de evaluación más complejas, pero se estimó que la simplicidad aplicada es mejor, ya que le da más importancia a lo que opinan los usuarios del territorio y no el equipo de expertos.

2.6.2 Importancia relativa de los problemas

Este puntaje corresponde a la importancia relativa de los problemas. A los más importantes, dado por alto número de preferencias mostrados, se les asignó 100 puntos, a los de nivel intermedio 75, y a los con menos preferencias, se les asignó 50 puntos.

2.6.3 Evaluación Financiera

La evaluación económica que se presenta es una evaluación simplificada y apunta más bien a evaluar financieramente las acciones, dado que la evaluación económica tradicional requiere la evaluación de beneficios, los que por el tipo de acciones presentadas no son evaluables. Por lo mismo la evaluación de costo-eficiencia que se presenta apunta a obtener le mejor retorno por la inversión. Por lo mismo, para esta evaluación, las alternativas se evalúan por su impacto en el desembolso anual equivalente.

Para las acciones con bajo impacto en el flujo (bajo VAC) se adoptó un puntaje igual a 100, mientras que para las acciones más caras se adoptó un valor de 50. Para las acciones definidas como de impacto financiero intermedio se adoptó un valor de 75.

2.6.4 Evaluación Social

La evaluación social considera la opinión experta del equipo Consultor, ya que evalúa el efecto social esperado para cada iniciativa, calificándose como de alto impacto aquellas que pueden afectar a la comunidad en forma importante, medio con aquellas que generan menor impacto, y bajo para aquellas que generen efectos sociales muy menores.

Se decidió aplicar esta metodología simplificada, ya que del trabajo PAC ya se dispone de una opinión de las acciones por parte de los usuarios, por lo que lo único que se persigue es identificar aquellas la importancia relativa entre las acciones propuestas.

También se debe hacer notar que al no haberse realizado un trabajo específico con la comunidad en lo relacionado a las acciones se procedió de esta forma simplificada.

Para esto se consideran 3 categorías generales de evaluación:

- **Impacto social alto:** Acciones cuya aplicación tiene un alto efecto en la comunidad ya sea por el número de personas afectadas o por la superficie afectada, además de la inmediatez del efecto. Por ejemplo, en esta categoría está el mejoramiento de los SSR, o las capacitaciones en diversas temáticas
- **Impacto social medio:** Acciones cuya aplicación tiene un alto efecto en la comunidad ya sea por el número de personas afectadas o por la superficie afectada, pero su efecto es más lento de obtener o percibir. En particular, no se caracterizaron acciones propuestas en esta categoría.
- **Impacto social bajo:** En esta última categoría se clasifican aquellos proyectos que son más de planificación de muy largo plazo que se deben realizar al principio de una evaluación donde se analizan alternativas antes de socializarlas. En esta categoría también se consideran acciones que tengan un impacto negativo socialmente hablando

2.6.5 Evaluación Ambiental

La evaluación ambiental recoge los aspectos principales en materia medioambiental de la acción propuesta, considerándose para su evaluación 2 elementos: necesidad de ingresar la acción a evaluación del SEA y la existencia de impactos ambientales. Ambas variables son de tipo binario, es decir, se requiere ingreso o no, y la segunda, hay o no hay impacto.

Para efectos de evaluación, se tienen los siguientes valores:

Variable considerada	Si	No
Ingresa al SEA	0	50
Existen impactos negativos	0	50

El objetivo es identificar aquellas acciones que presenten algún grado de impacto en el medioambiente, de modo que aunque sean acciones preferidas por la comunidad, se les clasifique con un puntaje bajo en esta acción de modo de hacerlos menos competitivos.

En general ya que las acciones consideradas son más bien a nivel de planeamiento, no se requiere ingreso al SEA, siendo esperable su aplicación solo a las acciones que consideren la integración hídrica, o a la implementación de SSR, ya que por la naturaleza del agua en la cuenca, requieren tratamiento, y por lo tanto ingreso al SEA.

Con la metodología de evaluación propuesta, un proyecto que no requiere ingreso al SEA y no presenta impactos negativos es evaluado con 100 puntos. De la misma forma, un proyecto que ingresa al SEA y tiene algún tipo de impacto negativo, tendría un puntaje igual a 0.

2.7 Metodología Aplicada al Proceso de Participación Ciudadana

2.7.1 Introducción

Considerando el contexto actual de pandemia por el COVID-19 y las restricciones para congregarse, con el fin de implementar el proceso de participación ciudadana se propuso realizar alternativas para afrontar las actividades solicitadas en los términos de referencia, manteniendo los objetivos exigidos.

Por lo anterior, se tuvo que adaptar la metodología presencial señalada en los términos de referencia a una participación virtual. Cada una de las actividades planificadas tuvo que considerar las nuevas condiciones sanitarias impuesta por el COVID-19 en los territorios y en las formas de interacción con los actores.

A partir de aquello, se fueron desplegando nuevas estrategias y usos de tecnologías para poder contactar e interactuar con los actores involucrados, tanto de las comunidades como de las universidades, autoridades y servicios públicos, entre otros.

2.7.2 Contacto con actores involucrados

Para poder tener un panorama general de los actores involucrados en el estudio, se llevaron a cabo distintos pasos.

Primeramente, se generó una base de datos que fue agrupando en cada pestaña a cada grupo de actor. Por un lado, se identificaron los actores correspondientes a Autoridades y Servicios Públicos, tales como Delgados Presidenciales Regionales y Provinciales (Copiapó y Huasco), Seremias, Delegados, funcionarios Municipales, Direcciones Regionales INDAP,

DOH, DGA, CONAF, SAG, entre otros. Por otro lado, se identificaron los actores de la comunidad, correspondientes a cada localidad y/o sector involucrado en el área de estudio.

Una vez realizada esta primera estrategia, se procedió a confirmar tal información y actualizarse, según correspondiera, mediante llamada telefónica o correo electrónico.

Para llevar a cabo las reuniones con actores de la comunidad se utilizó como herramienta de comunicación, la red de mensajería "WhatsApp''. Al respecto, se hace notar la importancia que tiene esta herramienta para la población a la cual estuvo dirigido el estudio. Se trata de una herramienta conocida, apropiada y legitimada por la población como canal de comunicación efectivo, siendo profusamente usado por las municipalidades de las comunas del área de estudio.

A través de esta red no sólo fue posible establecer y ampliar los contactos con los diversos actores, sino también atender al flujo de comunicación que allí puede desarrollarse: comentarios, inquietudes y aportes significativos. Se entiende además que esta red no se limita a la estrecha temporalidad que impone la agenda de una reunión, con tiempos acotados, sino que es factible gestionar la continuidad del vínculo de los participantes con el proyecto por un tiempo más prolongado (antes, durante y después).

De esta forma, se fueron generando los primeros acercamientos al contacto con actores, lo que a su vez permitió reconocer cuáles actores serían, posteriormente, considerados como claves en el proceso de despliegue del Plan Estratégico, pues mantenían una mayor o menor influencia en este y podían aportar en el conocimiento de brechas y/o iniciativas necesarias para implementar en el Plan.

Teniendo en cuenta que la metodología se debía necesariamente adaptar a las nuevas restricciones por el COVID-19, las reuniones, talleres y entrevistas se decidieron realizar de forma online, lo que develó la brecha digital en algunos sectores y grupos de la sociedad chilena. Mala conectividad, tecnología antigua y bajo nivel de conocimientos de las nuevas tecnologías, se agregaron a las conversaciones de los consultores.

Dado lo anterior, se reconoce que en ciertas localidades las reuniones sí tenían la posibilidad de ser en formato online, por ejemplo, las actividades con DGA, Universidades y Centros de Estudio, Municipalidades, Seremias, Delegados y Servicios Públicos, Autoridades Políticas y ciertas Comunidades, fueron pensadas y desarrolladas de manera online, realizándose en su mayoría con éxito. Sin embargo, estas no estuvieron exentas de dificultades. A continuación se presenta el Formato de Multimedia llevado a cabo.

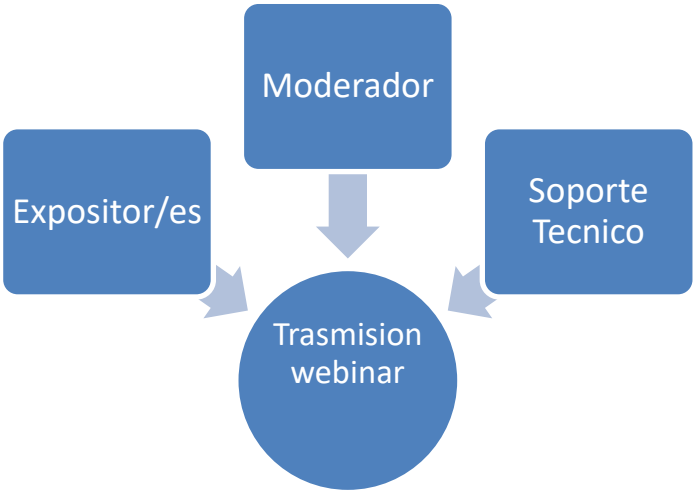
2.7.3 Formato de Multimedia

Las reuniones de presentación se realizaron a través de la plataforma ZOOM. Este sistema de videoconferencia permite; grabar la reunión; mantener una participación controlada de los asistentes a través de invitaciones individuales; y contar con la cantidad de tiempo suficiente para la reunión al tener la respectiva licencia pagada.

En la preparación, ejecución y sistematización de las reuniones virtuales, se contó con el apoyo técnico que permitió minimizar errores y cumplir con los objetivos propuestos.

En la 8 se muestra la modalidad de funcionamiento utilizado para los días de reuniones, que permitió una correcta ejecución del encuentro.

De igual forma, para la realización de las preguntas, consultas, comentarios y/o sugerencias, se concertó una modalidad que permitiera a los asistentes plantear lo que ellos consideraran pertinente. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**9 se muestra la modalidad de la participación utilizada por los asistentes el día de las reuniones.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-8: Modalidad de funcionamiento

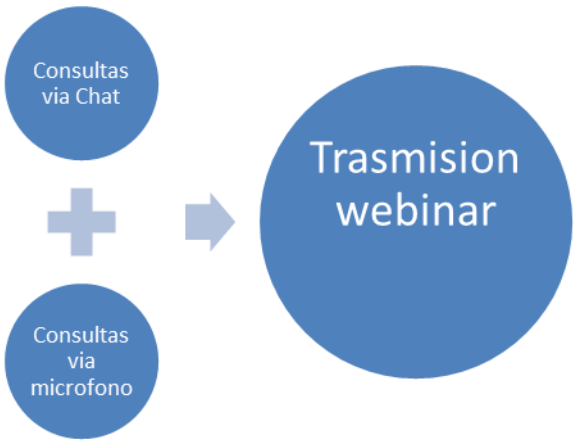


Figura 2-9: Modalidad Día Reunión Virtual

Fuente: Elaboración Propia

A pesar de que se había identificado que podían surgir elementos adversos, en las reuniones emergieron problemas, principalmente de conectividad, que dificultaron aún más el proceso de comunicación. Teniendo que desplegar, en el momento, acciones para solucionarlas. Una acción que se destaca fue el tener que llamar a ciertos dirigentes y ponerlos en altavoz para que pudieran escuchar la reunión y realizar preguntas, sugerencias y comentarios, lo que no fue del todo fácil, ya que muchas veces no escuchaban bien a los expositores y tampoco los expositores los escuchaban bien a ellos, haciendo más engorrosa la instancia. A pesar de aquello, al generar estas acciones, se fueron minimizando las dificultades y se pudo recuperar la información que proporcionaba la comunidad.

Dentro de las reuniones, se llevó a cabo una encuesta online, mediante la plataforma Google Form, que tenía como objetivo retroalimentar las reuniones realizadas. Dicha encuesta identificó las mejoras que podrían incorporarse en futuras reuniones, recuperando problemas de conectividad, los tiempos de exposición y preguntas, entre otros. Se distribuyó vía correo electrónico y WhatsApp a los actores públicos y municipales, actores universitarios y actores comunitarios.

En el caso de las reuniones con DGA, Universidades y Centros de Estudio, Municipalidades, Seremias, Delegados y Servicios Públicos, no hubo mayor dificultad, ya que los participantes contaban con los insumos necesarios, como computadores y buena conectividad. En general el horario de la presentación se consideró bueno, con un 53,3%, y muy bueno, con un 46,7%. Con respecto al tiempo total de duración de la reunión, en su

totalidad lo consideraron –apropiado- (100%). Las otras opciones eran –excesivo- y –poco-. En su totalidad (100%), el tiempo destinado a acoger inquietudes se consideró apropiado. Las otras opciones eran –excesivo- y –poco-. En cuanto a la conexión de internet y redes móviles para la reunión, se evaluó con un 13,3% -regular- y 86,7% -bueno-. Un 80% de los asistentes a las reuniones consideró fácil de entender la presentación y un 20% consideró que la presentación fue muy fácil de entender. En términos generales, la actividad de participación ciudadana se evaluó como –buena-, en un 53,3% -muy buena- en un 40% y –regular- con un 6,7%. Las encuestas fueron respondidas en su mayoría por hombres, 53,3% y mujeres 46,7%.

Respecto a la última pregunta, referida a cómo se podría mejorar la actividad de Participación Ciudadana Virtual, las sugerencias fueron:

1. Creo que ya existe cierta saturación de la conexión sincrónica pero de momento súper bien. gracias
2. Incorporar algún medio tecnológico para el registro de opiniones
3. Muy buena
4. Quizás enviar con anticipación una minuta para mejorar la participación de los invitados.

Lo anterior, permite tener una retroalimentación de estas instancias y así poder ir planteando mejores estrategias a considerar en estos tiempos extraordinarios en los que nos encontramos.

Ahora bien, en el caso de las Comunidades, se pudieron llevar a cabo 3 reuniones online; una con la comunidad de Carrizal Bajo, otra con la comunidad de Totoral y otra con las comunidades de Llanos del Lagarto, Los Toyos y Caleta Angosta. En su mayoría quienes respondieron la encuesta, son mujeres, con un 71,4% y hombres con un 28,6%. En general el horario de duración de la presentación se consideró –muy bueno- y –bueno-, con un 42,9%, y –regular- con un 14,3%. El tiempo que duró la reunión lo consideraron en su mayoría –apropiado- con un 71,4%, y 14,3% lo considero –excesivo- y –poco-, respectivamente. En general se consideró –apropiado- el tiempo destinado a acoger las inquietudes, sugerencias y comentarios, con un 85,7% y un 14,3% lo consideró –poco-. La conexión de internet se consideró –buena- en un 57,1% y –regular- un 42,9%. La presentación se evaluó en general como –fácil de entender- con un 85,7% y –muy fácil de entender- con un 14,3%. En términos generales la Actividad de Participación Ciudadana fue evaluada como –buena- con un 57,1%, -muy buena- con un 28,6% y –regular- con un 14,3%. A pesar de que en general la actividad se evaluó bien, se realizaron sugerencias en

cuanto a la presencialidad de las reuniones, indicando que la participación y cambios de opiniones serían más fluidas, destacando que se está interactuando con dirigentes del sector rural, en palabras de los mismos pobladores.

En las localidades de Canto de Agua y Los Pozos, las reuniones tuvieron que pensarse de forma presencial, debido a la falta de conectividad que se presenta en esas comunidades. Esta información fue entregada por los mismos dirigentes con los que se tomó contacto vía teléfono, quienes mencionaron la imposibilidad de realizar reuniones online. Así, se tuvieron que pensar nuevas formas de acceder a estas comunidades, organizando reuniones presenciales, considerando lugar de realización, infraestructura, insumos necesarios, convocatoria, aforo y medidas sanitarias que permitieran resguardar la salud y seguridad de todos los involucrados.

ANEXO G

SIG

INDICE

1. OBJETIVO DEL SIG 1

2. NATURALEZA Y ORIGEN DE LOS DATOS 1

2.1 BASE CARTOGRÁFICA 2

2.2 ANÁLISIS MULTITEMPORAL (CLASIFICACIÓN SUPERVISADA) 3

3. ESTRUCTURA DEL DIRECTORIO, DATUM Y PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA .. 3

4. ESTRUCTURA DE DATOS 7

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1: Vista General del Directorio en interfaz SIG 4

Figura 3-2: Capa desconectada 4

Figura 3-3: Ventana de propiedad 5

Figura 3-4: Opción de "source" y ruta donde está alojado el archivo 5

Figura 3-5: Ventana de "reapair data source" 6

Figura 3-6: Ventana de búsqueda de capa 6

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1: Estructura del Directorio 9

1. OBJETIVO DEL SIG

Este Sistema de Información Geográfica (SIG) tiene por objeto sistematizar, almacenar, gestionar y representar toda la información geoespacial relativa al presente estudio, bajo el principio de interoperabilidad de los datos, mediante homologación de formatos, DATUM y sistemas de proyección. La relevancia de este compendio de datos geoespaciales es ofrecer de forma coherente, lógica y en completitud la información espacial base en qué se originan los productos cartográficos que están contenidos en el "Plan Estratégico de Gestión Hídrica en las Cuencas de La Quebrada de Totoral" solicitado por Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas.

2. NATURALEZA Y ORIGEN DE LOS DATOS

Este SIG contiene dos grandes categorías de información en base a su origen; fuentes primarias, referidas a todo el universo de datos geoespaciales elaborados por este consultor y, por otra parte, almacenará también fuentes secundarias, concernientes a toda aquella información recopilada atingente al estudio y que permitiese dar un contexto general a escala regional. Sobre la segunda categoría, dicha información ha sido elaborada por distintos servicios públicos y, en su mayoría, mas no en totalidad, se encuentran disponibles en el portal de Infraestructura de Datos Espaciales, más conocida como IDE-Chile.

Sobre el Software necesario: Se utiliza ArcGis 10.2© (Esri) en su versión Desktop ArcInfo, paquete que despliega ArcMap, ArcScene y ArcCatalog.

ArcMap fue el principal software utilizado, realizando los geoprocesos de acotamiento de la información disponible y el armado de cartografías/figuras. Por su parte, ArcScene permite observar en 3D capas SIG, siendo utilizado para organizar información que después sería incluida en alguna cartografía/figura. El ArcCatalog permite organizar los archivos conectados a cualquier programa ArcGIS. De esta manera, este software permitió la organización de los Geodatabase, además de guiar el armado del Directorio de Capas y Diccionario de Capas.

Respecto a la estructura de datos, este SIG agrupa información espacial de dos naturalezas: Vectorial y Raster, sin embargo, estos se encuentran contenidos en archivos denominados geodatabase.

La geodatabase es una colección de datasets geográficos de variados tipos propio del software ArcGIS. Esta forma de almacenamiento permite acceder y trabajar con datos geográfico contenidos en diversos archivos y formatos. Algunos de estos formatos son: shapefiles, archivos CAD, archivos TIN, cuadrículas, datos CAD, imágenes, archivos GML, entre otros.

De esta manera, al ser la entrega de datos a través de este formato, permite la automatización de datos, sin embargo, limitándose únicamente al software ArcGIS.

2.1 Base cartográfica

Para iniciar el estudio se requirió de información espacial básica y fundamental que, mediante análisis y procesos geomáticos, derivaron en cartografías temáticas específicas para la investigación. Esta información cartográfica se basa en los datos entregados por servicios públicos tales como la Dirección Nacional de Fronteras y Límites del Estado, el Ministerio de Obras Públicas, entre otros, principalmente través del portal de Infraestructura de Datos Espaciales de Chile IDE-CHILE (detalle en Directorio de Capas).

Dicho análisis y procesos geomáticos se basaron básicamente en acotar la información disponible al área de estudio, dado que los datos reunidos comúnmente se encontraban a escala país o escala regional. También se utilizó el cálculo de perímetros, longitud o superficies de capas, ya sea en polígonos o polilíneas, además de la unión de tablas de atributos o capas para consolidar las bases de datos de cada capa final. En términos técnicos y específicos, con relación al software utilizado, los procesos geomáticos más utilizados fueron: Cálculo de Geometría (superficie, perímetro y longitud), Clip, Merge, Add XY Data, Union y Dissolve.

Sobre las capas en las que se ocupó cada proceso geomático, se puede resumir en:

-Las capas contenidas en el GDB Plan, las capas de geometría "punto" se utilizó Add XY Data, la cual permitía establecer en base a las coordenadas UTM las ubicaciones de cada elemento en cuestión. Mientras que las capas de geometría "polígono" se utilizó el geoproceso Clip, ya que como se indicó, las capas obtenidas de diferentes fuentes representaban la información a una escala espacial más amplia (regional o nacional). Existen algunos casos puntuales, como los "polígonos" del Feature Infraestructura, que permitieron obtener los datos de coordenadas para crearlos en formato "punto".

-El cálculo de geometría más utilizado fue el cálculo de superficie que se realizaba en capas como subcuencas DGA o subcuencas DARH, con el fin de comprobar la factibilidad de la capa comparándolo con la superficie total de la cuenca.

2.2 Análisis multitemporal (clasificación supervisada)

Para la realización del análisis multitemporal de cobertura de suelo se realizó una clasificación supervisada con imágenes Landsat. Los años escogidos fueron 1991, 2008 y 2021. Para los años 1991 y 2008 se ocuparon imágenes Landsat 5 y para el año 2021 Landsat 8. La combinación de bandas escogido fue la NIR-SWIR 1-Blue, siendo las bandas 4, 5 y 1 para Landsat 5 y 5, 6 y 2 en Landsat 8. Esta combinación de bandas permite observar en distintas tonalidades y colores la vegetación, según su densidad y crecimiento.

3. ESTRUCTURA DEL DIRECTORIO, DATUM Y PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA.

El directorio "01 proyectos" contiene los proyectos (.mxd), archivos que desplegar, visualizar, gestionar y contextualizar espacialmente la información recabada en el presente estudio hasta la etapa actual. Tanto los proyectos como las capas de información en él contenidas, están referenciados en DATUM WGS84, HUSO 19 SUR, Proyección UTM.

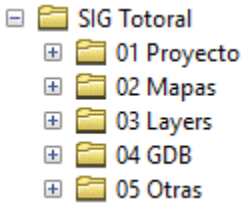
El directorio "02 Mapas" está destinado a almacenar las salidas gráficas, es decir, los mapas en formato imagen (.jpg) que tienen como origen los proyectos almacenados en el directorio anteriormente descrito.

El directorio "03 Layers" corresponde a la información presentada en archivos que están destinado a almacenar las leyendas, vale decir, las características gráficas de color y textura con que se han representado los geoespaciales. Se trata de archivos nativos de Esri (.lyr).

El directorio "04 GDB" almacena las Estructura de Datos: Geodatabase (.gdb), que permite contener datos en formatos y lenguajes diversos (raster, vector, tablas), con relaciones topológicas, junto a librerías o catálogos, que permitan la interacción con gestores de Bases de Datos, la importación-exportación desde y hacia distintos entornos, así como la utilización de rutinas y programaciones (geoprocesos), así como el despliegue y salida de productos para la presentación de resultados. Este directorio está compuesto por una raíz común de tres geodatabases:

- GDB Carta Base
- GDB del PLAN;
- GDB DGA

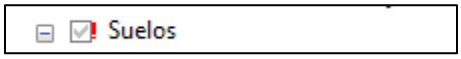
Finalmente, el quinto directorio contiene el presente anexo junto al diccionario de capas y directorio de capas. En la Figura 3-1 se gráfica la disposición en que se ordenaron los directorios.



Fuente: Elaboración propia.

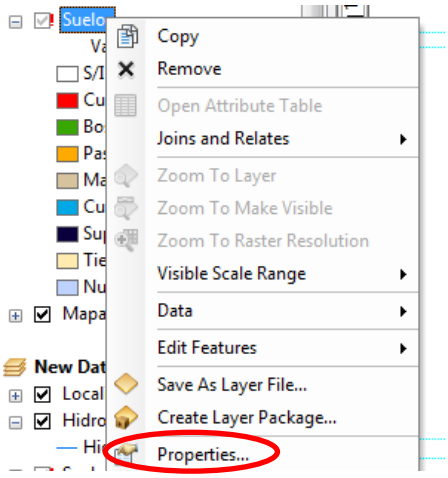
Figura 3-1: Vista General del Directorio en interfaz SIG

En caso de una desconexión de las capas en los proyectos .mxd (Figura 3-2), se recomienda reparar la conexión a través de la herramienta Set Data Source. Para llegar a ella, es necesario ingresar a las propiedades de la capa (segundo botón sobre la capa) (Figura 3-3) y en la opción de Source (Figura 3-4), notar la ruta donde se encuentra alojada la capa. Luego, volver a la capa y seleccionar (segundo botón sobre la capa) lo mostrado en la Figura 3-5. En esta nueva opción, seleccionar "repair data source" y en la ventana de la Figura 3-6 buscar la capa en la dirección obtenida en la Figura 3-4.



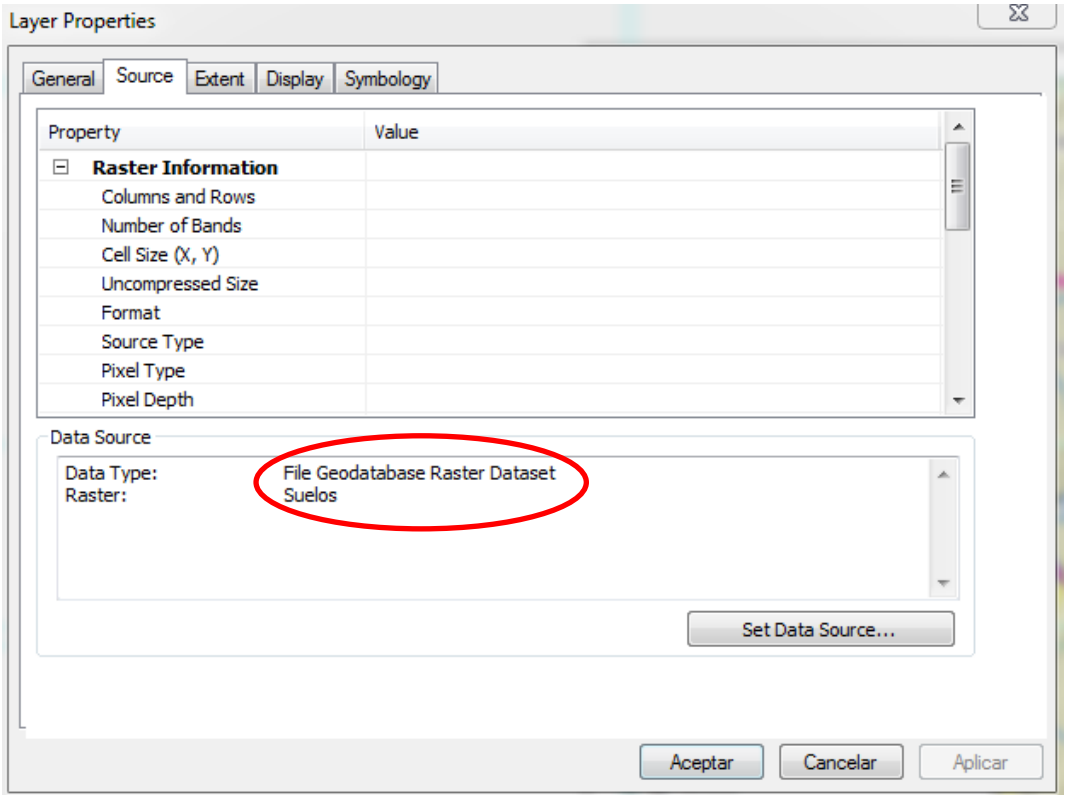
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-2: Capa desconectada



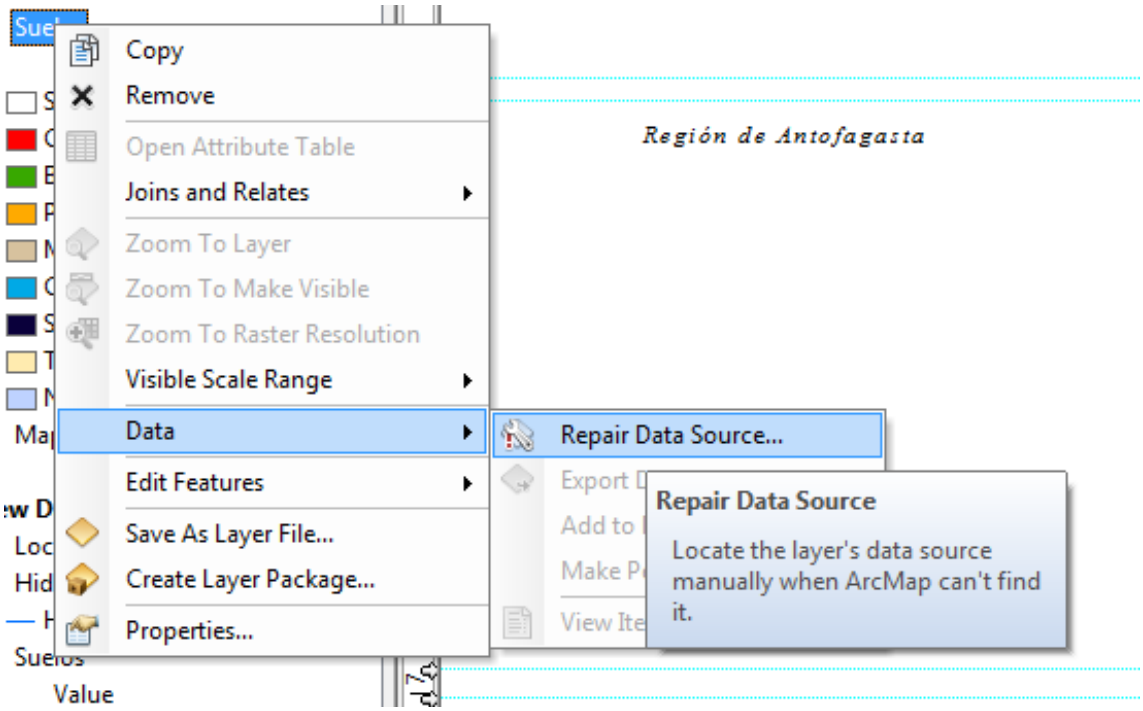
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-3: Ventana de propiedad



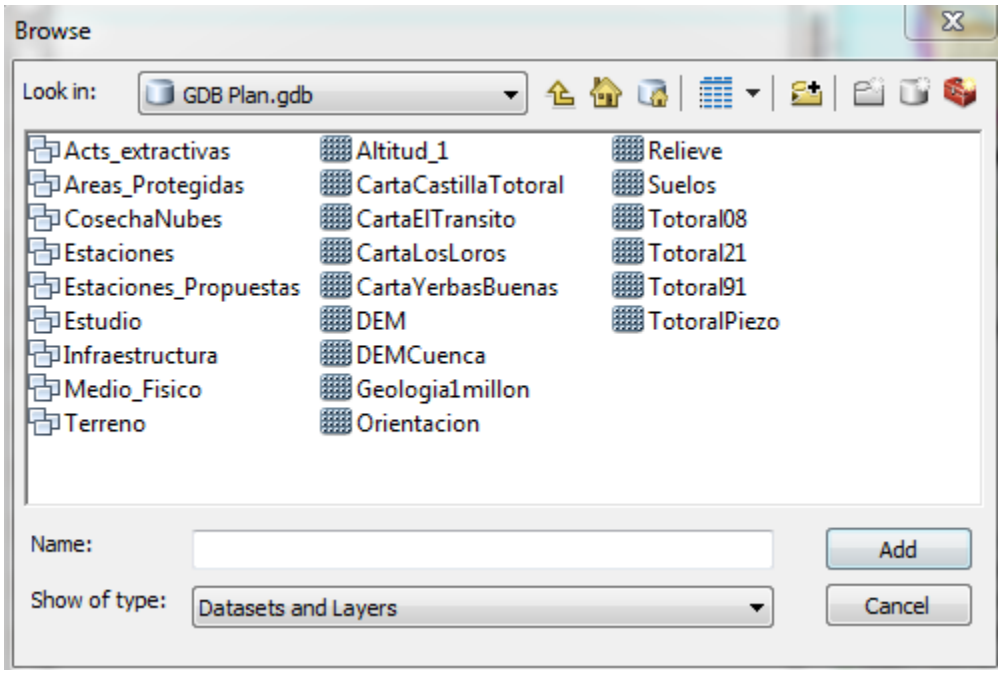
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-4: Opción de "source" y ruta donde está alojado el archivo



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-5: Ventana de "reapair data source"



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-6: Ventana de búsqueda de capa

4. ESTRUCTURA DE DATOS

Como se indicó en el punto anterior, el cuarto directorio almacena las Geodatabase del estudio, teniendo un total de cuatro: Carta Base, DGA y GDB Plan

La primera corresponde a las capas utilizadas como apoyo cartográfico y que, por lo tanto, solo se hicieron escasas modificaciones (como acotarlas al área de estudio o área de presentación cartográfica) o ninguna modificación. Aquí se encuentran capas de localidades, ciudades, división político-administrativa, caminos, entre otros. Además, las capas de esta Geodatabase se encuentran en casi todas las figuras ya que, en resumen, las capas aquí presentes entregan el contexto cartográfico del área que se desea mostrar.

En la Geodatabase DGA se encuentran capas cuyo origen proviene de la Dirección General de Aguas. Al igual que la Geodatabase Carta Base, las modificaciones sufridas por estas capas es prácticamente nula y de igual forma, sirven para realizar el contexto espacial del área estudiada, esta vez focalizado en lo relativo a la DGA.

La tercera Geodatabase se denomina GDB Plan y guarda relación con las capas nuevas generadas en este estudio. Aquí no solo se incorpora información producida por el Plan Estratégico de Gestión Hídrica, sino también capas de origen DGA que han sido modificadas significativamente, ya sea por modificación de geometría o de base de datos.

En la Tabla 4-1 se encuentra organizada la información que contienen las Geodatabases. De esta forma, en la primera columna se indica a que Geodatabase pertenece el estudio (Carta Base, DGA o GDB Plan). La segunda columna titulada "Temática" corresponde a los Dataset contenidos en cada Geodatabase. La tercera columna nombrada "Capa", especifica la Feature Class contenida en cada Dataset, siendo esta la capa utilizada en el estudio. Finalmente, la cuarta y quinta columna guardan relación con características de cada capa respecto a su obtención y publicación, respectivamente.

Para mayor detalle de las capas contenidas en cada una de las Geodatabase se generó un Directorio de capas, donde se encuentra la Tabla N°1 además de una descripción de cada capa.

Tabla 4-1: Estructura del Directorio

GDB	Temática	Capa	Origen	Año Publicación
Carta Base	Centros Poblados	Capitales	Capitales Regionales, Provinciales y Comunales de Chile. Actualización de información proporcionada por MIDEPLAN (2009)	2009
		Capitales_Nregional	Capitales Regionales, Provinciales y Comunales de Chile. Actualización de información proporcionada por MIDEPLAN (2009)	2009
		Localidades	Capitales Regionales, Provinciales y Comunales de Chile. Actualización de información proporcionada por MIDEPLAN (2009)	2009
		Poblados	Capitales Regionales, Provinciales y Comunales de Chile. Actualización de información proporcionada por MIDEPLAN (2009)	2009
		PobladosCuenca	Capitales Regionales, Provinciales y Comunales de Chile. Actualización de información proporcionada por MIDEPLAN (2009)	2009
	Límites División Político-administrativa (DPA)	Comunas	Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo	2019
		ComunaCuenca	Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo	2019
		Comunas_Carrizal	Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo	2019
		ComunasReferencia	Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo	2019
		Comunas_Totoral	Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo	2019
		DPA_Nregional	Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo	2019
		Regiones	Biblioteca del Congreso Nacional	2019
		DPA (División Política Administrativa)	Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo	2019
	Hidrografia	Hidrografia_ general	IDE Chile en archivo shape en escala 1:25.000	2021
		Hidrografía_principal	IDE Chile en archivo shape en escala 1:25.000	2021
		HidrolofiaPrincipal	IDE Chile en archivo shape en escala 1:25.000	2021
	Máscaras	Mascara_Nregional	Carta base obtenida a partir de datos de ESRI en base a ñicencias ArcGIS	2010
		Mar	Carta base obtenida a partir de datos de ESRI en base a ñicencias ArcGIS	2010
	Caminos	Red Vial	Dirección de Vialidad. Ministerio de Obras Públicas	2019
		Ruta 5	Red Vial Nacional. Ministerio de Obras Públicas	2015
DGA	Cuencas Hidrográficas	Cuenca_Carrizal	Mapoteca DGA, Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas	2015
		Cuenca_Totoral	Mapoteca DGA, Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas	2015
		Cuencas	Mapoteca DGA, Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas	2015
		SSCuenca	Mapoteca DGA, Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas	2015
		SSCuencaDARH	Mapoteca DGA, Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas	2015
		Subcuencas	Mapoteca DGA, Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas	2015
	Acuíferos	Acuíferos SHAC	Mapoteca DGA, Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas	2020
		Acuiferos	Mapoteca DGA, Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas	2020
		Areas_Zonas	Mapoteca DGA, Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas	2020
		SHAC	Mapoteca DGA, Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas	2020
	Estaciones	Meteorologicas	Mapoteca DGA, Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas	2017
		Nivel Pozos	Mapoteca DGA, Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas	2019
	Otras Capas	SSR	Mapoteca DGA, Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas	2017
		DerechoAprovechamientoAguas	Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas	2022
		DAA	Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas	2021

GDB	Temática	Capa	Origen	Año Publicación
GDB Plan	Acts extractivas	Concentracion Proyectos SEA	Elaboración propia en base a Ministerio de Medio Ambiente	2021
		Privados	Elaboración propia	2021
		DistritosCensalesAgropecuarios	Instituto Nacional de Estadisticas	2007
		Proyectos SEA	Elaboración propia en base a Ministerio de Medio Ambiente	2021
		TuberiaProyectoElMorro	Elaboración propia usando EIA El Morro	2022
		Tranques Relave	Minería abierta, Ministerio de Minería	2021
	Areas Protegidas	Areas Protegidas	Ministerio de Medio ambiente	2021
		Sitios Prioitarios	Ministerio de medioambiente	2020
	Estaciones Propuestas	Fluviometrica	Elaboración propia	2022
		NivelPozos	Elaboración propia	2022
	Estaciones	Estaciones Temperatura	Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas	2019
		Est_Pp_T	Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas	2019
	Cosecha Nubes	Altura	Elaboración propia en base a Ciren (2019)	2022
		Costa	Elaboracion propia	2022
		Intersección	Elaboracion propia	2022
		Pendiente	Elaboracion propia	2022
	Infraestructura	Bocatoma	Elaboración propia en base a DGA.	2021
	Medio Físico	Geología	Mapa Geológico de Chile. Escala 1:1.000.000. Servicio Nacional de Geología y Minería.	2003
		Pisos Vegetacionales	Pisos vegetacionales de Luebert y Pliscoff 2017	2017
		Geomorfología	GeoNodo CEDEUS en base a Börgel	1983
		Humedales	Inventario Nacional de Humedales, Ministerio de Medio Ambiente	2020
		Curvas de Nivel	Elaboración propia en base a imagen Alos Palsar (2016)	2021
		Cobertura de Suelo	Hernández, Galleguillos y Estades	2016
		Relleno_Geologia	Elaboración propia en base a Sernageomin (2003)	2021
		Roca Geología	Elaboración propia en base a Sernageomin (2003)	2021
		Clima	Sarricolea et al.	2016
	Medio Humano	Comunidades indígenas	Sistema Integrado de Información CONADI - SIIC	2019
	Estudio	Cuenca Modelo	Elaboración Propia en base a DGA	2021
		Acuifero Modelo	Elaboracion propia	2022
		Acuifero Modelo Carrizal	Elaboracion propia	2022
		Acuifero Modelo Totoral	Elaboracion propia	2022
		Carrizal Desembocadura	Elaboracion propia	2022
		DAA	Elaboración Propia en base a DGA	2022
		DAACarrizal	Elaboración Propia en base a DGA	2022
		Puntos de Calibracion	Elaboracion propia	2022
		Sondaje	Elaboracion propia	2022
		Totoral Alto	Elaboracion propia	2022
		Totoral Desembocadura	Elaboracion propia	2022
		Totoral Medio	Elaboracion propia	2022
		UH Datos	Elaboracion propia	2022
		Dominio Activio	Elaboración propia	2021
		UH	Elaboración propia	2021
		SHAC_Dominio	Elaboración Propia en base a DGA	2021

GDB	Temática	Capa	Origen	Año Publicación
GDB Plan	Terreno	Estaciones Geofisico	Elaboración propia	2021
		Estaciones GRAV	Elaboración propia	2021
		Flujos Carrizal	Elaboración propia	2021
		Muestreo Hidroquímico	Elaboración propia	2021
		Pozos_Estratigrafia	Elaboración propia	2021
		Pozos Isotopia	Elaboración propia	2021
		Pzos_Terreno	Elaboración propia	2021
		Terrenos_Fiscales	Elaboración propia	2021
	Raster	Altitud	Imagen Aster	2021
		Geologia1millon	SERNAGEOMIN	2003
		Relieve	Imagen Aster	2021
		Suelos	Hernández, Galleguillos y Estades	2016
		Carta Carrizal	Arevalo y Welkner	2008
		Suelos Carrizal	Hernández, Galleguillos y Estades	2016
		Orientacion	Elaboracion propia	2022
		DEM Cuenca	Imagen Alos Palsar	2016
		DEM	Imagen Alos Palsar	2016
		Carrizal08	Elaboracion propia	2021
		Carrizal91	Elaboracion propia	2021
		Carrizal21	Elaboracion propia	2021
		Carrizal Pezo	Elaboracion propia	2021

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO H

MODELACIÓN HIDROLÓGICA

INDICE

1 MODELO SUBTERRÁNEO 1

1.1 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA 1

1.1.1 Análisis Antecedentes 1

1.1.2 Análisis Trabajos Geofísicos 2

1.2 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL 53

1.2.1 Representación geoespacial de la ocurrencia del flujo subterráneo 60

1.2.2 Caracterización de propiedades hidráulicas 62

1.2.3 Geometría 64

1.2.4 Volumen de Agua Almacenada en Acuífero 69

1.2.5 Caracterización Hidroquímica 71

1.2.6 Aproximación de tasas de recarga 94

1.2.7 Modelo 3D del acuífero estudiado 95

1.3 ANÁLISIS MODELO NUMÉRICO EXISTENTE 102

1.3.1 Plataforma, Motor y Solver 103

1.3.2 Límites y Geometría 103

1.3.3 Discretización del Dominio 103

1.3.4 Atributos Temporales 106

1.3.5 Condiciones de Borde 106

1.3.6 Parámetros hidrogeológicos 113

1.3.7 Pozos de Observación 115

1.3.8 Resultados de Calibración 117

1.4 MODIFICACIONES Y ACTUALIZACIÓN MODELO SUBTERRÁNEO PARA ACOPLE 123

1.4.1 Plataforma, Motor y Solver 123

1.4.2 Límites y Geometría 123

1.4.3 Discretización del Dominio 123

1.4.4 Atributos Temporales 124

1.4.5 Condiciones de Borde 124

1.4.6 Parámetros hidrogeológicos 131

1.4.7 Pozos de Observación 134

1.4.8 Resultados de Calibración 135

2 MODELO SUPERFICIAL 137

2.1 PLATAFORMA WEAP 137

2.2 ESTRUCTURA DEL MODELO 138

2.3 HORIZONTE Y DISCRETIZACIÓN TEMPORAL 139

2.4 ACTUALIZACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA 139

2.4.1 Elección del producto grillado 142

2.4.2 Forzantes meteorológicas 146

2.5 CONCEPTUALIZACIÓN DEL ÁREA A MODELAR 147

2.5.1 Dominio de modelación 149

2.5.2 Flujos de Cabecera 149

2.5.3 Unidades Hidrológicas (UH) 149

2.5.4 Agua Subterránea 169

2.5.5 Ríos 171

2.5.6 Escorrentía/Infiltración 173

2.5.7 Sitio de Demandas 173

2.5.8 Zonas agrícolas 183

2.5.9 Derivación 193

2.5.10 Conducción 193

2.5.11 Flujo de Retorno 194

2.5.12 Medidor de Caudal 194

2.5.13 Requerimiento de Flujo 196

2.5.14 Otros Suministros 196

2.5.15 Reservorios 196

2.5.16 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales 196

2.5.17 Centrales Hidroeléctricas de Pasada 196

3 CONSTRUCCIÓN DE MODELO ACOPLADO SUPERFICIAL SUBTERRÁNEO . 197

3.1 GENERACIÓN DE ARCHIVOS MODFLOW NATIVOS 197

3.2 GENERACIÓN DE ARCHIVOS DE ENLACE Y VINCULACIÓN DE ELEMENTOS WEAP Y MODFLOW 199

3.2.1 Aguas subterráneas 199

3.2.2 Sitios de Demanda 200

3.2.3 Unidades Hidrológicas 200

3.2.4 Ríos 201

3.2.5 Otros elementos de interés 202

4 CALIBRACIÓN Y RESULTADOS DEL MODELO ACOPLADO 203

4.1 CALIBRACIÓN DE FLUJOS SUPERFICIALES 203

4.2 CALIBRACIÓN DE NIVELES SUBTERRÁNEOS 205

4.3 RESULTADOS DE MODELO DE SIMULACIÓN 208

4.3.1 Flujos superficiales en puntos de control 208

4.3.2 Niveles simulados-observados 212

4.3.3 Flujos subterráneos 216

5 SITUACIÓN PROYECTADA 219

5.1 MCG DISPONIBLES 219

5.2 CORRECCIÓN DE SESGOS 225

5.3 SELECCIÓN DE MCG 226

5.4 VENTANA FUTURA (VF) 227

6 SUSTENTABILIDAD 229

6.1 OFERTA HÍDRICA SUSTENTABLE SUPERFICIAL 229

6.1.2 Sustentabilidad de sectores acuíferos DGA 233

7 INDICADORES HÍDRICOS DE LA CUENCA 239

7.1 RESULTADOS DE LOS INDICADORES 240

7.2 COMPARACIÓN DE INDICADORES 240

8 ESCENARIOS DE GESTIÓN ESPECÍFICOS 243

8.1.1 Definición de escenarios 243

8.1.2 Resultados de escenarios de gestión 246

9 COMENTARIOS 257

9.1 COMENTARIOS GENERALES DEL MODELO ACOPLADO 257

9.2 LIMITACIONES IDENTIFICADAS EN EL DESARROLLO DEL MODELO 257

9.3 BRECHAS DE MODELACIÓN SUBTERRÁNEA 258

9.3.1 Condiciones de borde 259

9.3.2 Motores y Solvers permitidos 260

9.4 METODOLOGÍA DE CUANTIFICACIÓN DE LA BRECHA HÍDRICA 260

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Ubicación de la geofísica realizada para este estudio 3

Figura 1-2: Perfil geoeléctrico PT-1 5

Figura 1-3: Perfil geoeléctrico PT-2 7

Figura 1-4: Perfil geoeléctrico PT-3 9

Figura 1-5: Perfil geoeléctrico PT-4 11

Figura 1-6: Perfil geoeléctrico PT-5 y TEM-01 13

Figura 1-7: Perfil geoeléctrico PT-6 15

Figura 1-8: Perfil geoeléctrico PT-7 17

Figura 1-9: Perfil geoeléctrico PT-8 19

Figura 1-10: Perfil geoeléctrico PT-9 21

Figura 1-11: Perfil geoeléctrico PT-10 23

Figura 1-12: Perfil geoeléctrico PC-1 25

Figura 1-13: Perfil geoeléctrico PC-2 27

Figura 1-14: Perfil geoeléctrico PC-3 29

Figura 1-15: Perfil geoeléctrico PC-4 31

Figura 1-16: Ubicación de Estaciones GRAV 32

Figura 1-17: Modelamiento Gravimétrico 2D (Cuenca) Línea L1. Cuenca Sedimentaria / Basamento Intrusivo. Contraste de Densidad = −1,00 g/cm³. Línea roja muestra coincidencia con sección TEM 33

Figura 1-18: Modelamiento Gravimétrico 2D (Cuenca) Línea L2. Cuenca Sedimentaria / Basamento Intrusivo. Contraste de Densidad = −0,90 g/cm³. Línea roja muestra coincidencia con sección TEM 33

Figura 1-19: Modelamiento Gravimétrico 2D (Cuenca) Línea L3. Cuenca Sedimentaria / Basamento Volcano-Sedimentario. Contraste de Densidad = −0,44 g/cm³. Línea roja muestra coincidencia con sección TEM 34

Figura 1-20: Modelamiento Gravimétrico 2D (Cuenca) Línea L3. Cuenca Sedimentaria / Basamento Volcano-Sedimentario. Contraste de Densidad = –0,55 g/cm³. Línea roja muestra coincidencia con sección TEM 34
Figura 1-21: Mapa de ubicación perfilaje geofísico en pozos 36
Figura 1-22: Fotografías del trabajo en terreno Pozo 4 38
Figura 1-23: Interpretación del perfilaje geofísico en el Pozo 4 38
Figura 1-24: Fotografías del trabajo en terreno Pozo 7 39
Figura 1-25: Interpretación del perfilaje geofísico en el Pozo 7 40
Figura 1-26: Fotografías del trabajo en terreno Pozo 8 41
Figura 1-27: Interpretación del perfilaje geofísico en el Pozo 8 42
Figura 1-28: Fotografías del trabajo en terreno Pozo 19 43
Figura 1-29: Interpretación del perfilaje geofísico en el Pozo 19 44
Figura 1-30: Fotografías del trabajo en terreno Pozo 31 45
Figura 1-31: Interpretación del perfilaje geofísico en el Pozo 31 46
Figura 1-32: Fotografías del trabajo en terreno Pozo 37 47
Figura 1-33: Interpretación del perfilaje geofísico en el Pozo 37 48
Figura 1-34: Fotografías del trabajo en terreno Pozo 39 49
Figura 1-35: Interpretación del perfilaje geofísico en el Pozo 39 50
Figura 1-36: Fotografías del trabajo en terreno Pozo 40 52
Figura 1-37: Interpretación del perfilaje geofísico en el Pozo 40 52
Figura 1-38: Unidades Geológicas para las cuencas Carrizal y Totoral 54
Figura 1-39: Esquema de información hidrogeológica 58
Figura 1-40: Ocurrencia del agua subterránea y piezometría año 2021 61
Figura 1-41: Conductividad hidráulica en pozos de las cuencas Carrizal y Totoral 63
Figura 1-42: Profundidades de basamento hidrogeológico para el área de estudio 65
Figura 1-43: Perfiles esquemáticos hidrogeológicos, acuífero sector Canto de Agua .. 66

Figura 1-44: Perfil hidrogeológico interpretado PT-1 y antecedentes geológicos para su construcción 68

Figura 1-45: Curva de embalse del acuífero 70

Figura 1-46: Diagrama de Piper para la Cuenca de Totoral y (C-T) Compartida 86

Figura 1-47: Diagramas de Stiff para la Cuenca de Totoral y C-T Compartida 88

Figura 1-48: Diagrama de Piper para la Cuenca de Carrizal 88

Figura 1-49: Diagramas de Stiff para la Cuenca de Carriza 89

Figura 1-50: Ubicación de las muestras analizadas por isótopos estables Cuenca Carrizal 92

Figura 1-51: Ubicación de las muestras analizadas por isótopos estables Cuencas Totoral 93

Figura 1-52: Deuterio vs Oxígeno 18 de muestras de aguas subterráneas de las cuencas de Carrizal y Totoral. 94

Figura 1-53: Elevación de la capa de basamento rocoso 96

Figura 1-54: Modelo de Capas, representación gráfica en 3D 97

Figura 1-55: Representación gráfica de Basamento rocoso con capa de material se baja permeabilidad 98

Figura 1-56: Representación gráfica de Basamento rocoso con capa de material conductor (acuífero) 99

Figura 1-57: Modelo Conceptual 3D 100

Figura 1-58: Mapa modelo Conceptual 101

Figura 1-59: Información utilizada para la construcción del modelo de capas 102

Figura 1-60: Dominio mallado, topografía del fondo y topografía de la superficie del modelo numérico 105

Figura 1-61: Zonas de recarga del modelo numérico 107

Figura 1-62: Zonas de evaporación Quebrada Totoral 109

Figura 1-63: Zonas de evaporación Quebrada Carrizal 110

Figura 1-64: Pozos de extracción modelo subterráneo 111
Figura 1-65: Condición inicial en régimen transiente 112
Figura 1-66: Resumen de valores de conductividad hidráulica 113
Figura 1-67: Distribución de zonas de conductividad 114
Figura 1-68: Pozos de observación ingresados al modelo Modflow 116
Figura 1-69: Ubicación de pozos de monitoreo DGA 117
Figura 1-70: Histogramas de calibración 119
Figura 1-71: Niveles observados contra simulados, régimen permanente 120
Figura 1-72: Distribución espacial del rendimiento específico Sy 121
Figura 1-73: Niveles observados vs simulados, régimen transiente 122
Figura 1-74: Zonas de recarga del modelo numérico 125
Figura 1-75: Celdas tipo *River* en modelo numérico 126
Figura 1-76: Principios de recarga de agua subterránea en cuencas asociadas a frentes montañosos 128
Figura 1-77: Comportamiento de la precipitación media y la altura 129
Figura 1-78: Pozos de observación y pozos de inyección recarga desde laderas, sector norte 130
Figura 1-79: Pozos de observación y pozos de inyección recarga desde laderas, sector sur 131
Figura 1-80: Distribución espacial de la conductividad hidráulica (K) y almacenamiento específico (Sy) 133
Figura 1-81: Niveles simulados contra observados y estadígrafos de calibración 135
Figura 1-82: Histograma de residuos (niveles simulados - observados) 136
Figura 2-1: Esquema de dos baldes modelo WEAP 138
Figura 2-2: Interfaz gráfica y elementos WEAP 139
Figura 2-3: Ubicación de estaciones meteorológicas utilizadas para evaluación de versiones de productos grillados CR2MET 141

Figura 2-4: Diagramas de dispersión de valores de criterios de bondad de ajuste ... 144

Figura 2-5: Comparación de ajuste de precipitaciones medias mensuales históricas entre productos CR2MET versión 1.4.2 y 2.0 145

Figura 2-6: Diagrama ombrotérmico de forzantes meteorológicas utilizadas en la cuenca Quebrada de Carrizal 146

Figura 2-7: Diagrama ombrotérmico de forzantes meteorológicas utilizadas en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal..... 147

Figura 2-8: Modelo WEAP – MODFLOW de las cuencas Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal 148

Figura 2-9: Unidades Hidrológicas adoptadas en modelo WEAP 152

Figura 2-10: Precipitación media anual en las UH 160

Figura 2-11: Temperatura media mensual en las UH..... 162

Figura 2-12: Humedad relativa media de las UH..... 164

Figura 2-13: Velocidad media del viento en las UH..... 166

Figura 2-14: Nodos de Agua Subterránea vinculados en WEAP – MODFLOW..... 170

Figura 2-15: Hidrografía conceptualizada como elementos Río en WEAP 172

Figura 2-16: DAA subterráneos otorgados en las cuencas Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal..... 181

Figura 2-17: Distribución espacial de cobertura de suelo cultivo 184

Figura 2-18: Distritos censales ubicados dentro de las cuencas Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal..... 186

Figura 2-19: Superficies agrícolas de riego catastradas a través de imágenes satelitales en el distrito censal de Castilla 188

Figura 2-20: Puntos de calibración superficial sintética definidos 195

Figura 3-1: Curvas Caudal-Profundidad-Ancho-Velocidad de elementos Río..... 201

Figura 4-1: Diagrama de dispersión de niveles freáticos observados y simulados.... 206

Figura 4-2: Histograma de residuales en pozos utilizados para calibrar..... 207

Figura 4-3: Resultados calibración en punto de control Totoral Alto 209

Figura 4-4: Resultados calibración en punto de control Totoral Medio 210

Figura 4-5: Resultados calibración en punto de control Totoral Desembocadura 211

Figura 4-6: Series a escala mensual de niveles freáticos observados y simulados ... 212

Figura 4-7: Serie mensual de niveles en pozo Quebrada Tamarico 213

Figura 4-8: Serie mensual de niveles en pozo Milla Nueve 213

Figura 4-9: Serie mensual de niveles en pozo Zanjón 214

Figura 4-10: Serie mensual de niveles en pozo Quebrada Algarrobal W2 214

Figura 4-11: Serie mensual de niveles en pozo Estación Algarrobal 215

Figura 4-12: Serie mensual de niveles en pozo Boquerón Chañar 215

Figura 4-13: Serie mensual de niveles en pozo Quebrada Porotillos 216

Figura 4-14: Serie mensual de niveles en pozo Canto del Agua 216

Figura 4-15: Balance hídrico por componentes en sector del acuífero ubicado en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal 217

Figura 4-16: Variación del volumen del acuífero en el sector Totoral 218

Figura 5-1: Cambios relativos en precipitación media anual proyectada para el periodo futuro (2030-2060) respecto a línea base (1985-2015) 221

Figura 5-2: Variación absoluta de temperatura media y cambio porcentual de precipitación y caudal en régimen natural, con respecto a periodo 1985 – 2015, según proyecciones bajo ECC CSM4 en cuencas en estudio. 223

Figura 5-3: Variación absoluta de temperatura media y cambio porcentual de precipitación y caudal en régimen natural, con respecto a periodo 1985 – 2015, según proyecciones bajo ECC CSIRO-MK3-6-0 en cuencas en estudio. 223

Figura 5-4: Variación absoluta de temperatura media y cambio porcentual de precipitación y caudal en régimen natural, con respecto a periodo 1985 – 2015, según proyecciones bajo ECC IPSL-CM5A-LR en cuencas en estudio. 224

Figura 5-5: Variación absoluta de temperatura media y cambio porcentual de precipitación y caudal en régimen natural, con respecto a periodo 1985 – 2015, según proyecciones bajo ECC MIROC-ESM en cuencas en estudio. 224

Figura 6-1: Curva de variación estacional en puntos de control 230

Figura 6-2: Curva de duración de caudales medios anuales en salida del SHAC Totoral Alto. Periodo 1990 – 2019 235

Figura 6-3: Serie de flujo neto desde el acuífero Totoral Alto hacia el río 236

Figura 7-1: Esquema de Indicadores Hídricos subterráneos..... 239

Figura 7-2: Comparación de Indicadores Hídricos adimensionales en escenarios Caso Base (CB) y Ventana Futura (VF)..... 241

Figura 8-1: Esquema de árbol de escenarios modelados en WEAP..... 243

Figura 8-2: Satisfacción de la demanda de los titulares proyectada..... 248

Figura 8-3: Curva Volumen demandado – Satisfacción de la demanda 249

Figura 8-4: Demanda de agua en la cuenca por tipo (panel superior) y como porcentaje del total (panel inferior) en escenario futuro G2 251

Figura 8-5: Demanda de agua en la cuenca por tipo (panel superior) y como porcentaje del total (panel inferior) en escenario futuro G3 252

Figura 8-6: Comparación de Indicadores Hídricos adimensionales en escenarios Caso Base (CB) y Gestión 2 (G2)..... 254

Figura 8-7: Comparación de Indicadores Hídricos adimensionales en escenarios Caso Base (CB) y Gestión 3 (G3)..... 255

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Relación de resistividad con tipo de materiales 2

Tabla 1-2: Datos de los Pozos Perfilados..... 35

Tabla 1-3: Detalle de los parámetros y sus unidades, medidos por la sonda empleada 35

Tabla 1-4: Sondaje S.A.S S-706 55

Tabla 1-5: Sondaje S.A.S S-683 56

Tabla 1-6: Sondaje S.A.S S-644 57

Tabla 1-7: Síntesis de unidades hidrogeológicas para las cuencas de Carrizal y Totoral 59

Tabla 1-8: Valores de Conductividad Eléctrica obtenidas a partir de Pruebas de Bombeo 62

Tabla 1-9: Parámetros hidráulicos Cuenca de Carrizal 64

Tabla 1-10: Volumen almacenado en el acuífero 69

Tabla 1-11: Volumen almacenado respecto a profundización de niveles piezométricos 69

Tabla 1-12: Límites normas NCh 1333 y NCh 409 71

Tabla 1-13: Colores representan sobre paso en las normas de calidad de agua 72

Tabla 1-14: Resultados análisis hidroquímicos y comparación con las normas Quebrada Totoral y límite Carrizal 75

Tabla 1-15: Resultados análisis hidroquímicos y comparación con las normas Quebrada Carrizal 77

Tabla 1-16: Isótopos estables en muestras de aguas subterráneas Cuencas Carrizal y Totoral 91

Tabla 1-17: Resumen de valores de recarga en zonas sobre el modelo 118

Tabla 1-18: Resumen de caracterización de precipitación y altura de subcuencas aportantes aguas arriba del modelo subterráneo 129

Tabla 1-19: Resumen pozos de inyección de aportes laterales y caudales calculados e impuestos en modelo régimen permanente 130

Tabla 1-20: Resumen de ubicación de pozos de observación. 134

Tabla 2-1: Estaciones meteorológicas utilizadas para calcular métricas de bondad de ajuste de productos grillados CR2MET 140

Tabla 2-2: Estadígrafos de ajuste de precipitación a escala mensual entre registro de estaciones DGA y producto CR2MET v1.4.2 142

Tabla 2-3: Estadígrafos de ajuste de precipitación a escala mensual entre registro de estaciones DGA y producto CR2MET v2.0 142

Tabla 2-4: Estadígrafos de ajuste de temperatura a escala mensual entre registro de estaciones DGA y producto CR2MET v1.3 143

Tabla 2-5: Estadígrafos de ajuste de temperatura a escala mensual entre registro de estaciones DGA y producto CR2MET v2.0 143

Tabla 2-6: Elementos esquemáticos del modelo WEAP 147

Tabla 2-7: Unidades Hidrológicas iniciales en modelo WEAP 150

Tabla 2-8: Parámetros estadísticos de precipitación aplicados a las subcuencas definidas por DGA (2014) 151

Tabla 2-9: Parámetros estadísticos de precipitaciones aplicadas a UH modificadas en cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal 153

Tabla 2-10: Parámetros estadísticos de precipitaciones aplicadas a UH modificadas en cuenca Quebrada de Carrizal 153

Tabla 2-11: Área de Unidades Hidrológicas 154

Tabla 2-12: Valores del parámetro Coeficiente de Cultivo en UH 155

Tabla 2-13: Valores del parámetro Capacidad de Agua del Suelo en UH 156

Tabla 2-14: Valores del parámetro Factor de Resistencia a la Escorrentía en UH 157

Tabla 2-15: Valores del parámetro Conductividad de Zona Radicular en UH 158

Tabla 2-16: Precipitación media anual de las UH 159

Tabla 2-17: Temperatura media mensual de las UH 161

Tabla 2-18: Humedad relativa media en las UH 163

Tabla 2-19: Velocidad media del viento en las UH 165

Tabla 2-20: Latitud de Unidades Hidrológicas 167

Tabla 2-21: Acuíferos considerados en modelo WEAP 169

Tabla 2-22: Quebradas modeladas como elemento Río 171

Tabla 2-23: Detalle de las demandas subterráneas implementadas como Sitio de Demanda en modelo WEAP en periodo de calibración (1990 – 2019) para la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal 175

Tabla 2-24: Detalle de las demandas subterráneas implementadas como Sitio de Demanda en modelo WEAP en periodo de calibración (1990 – 2019) para la cuenca Quebrada Carrizal 177

Tabla 2-25: Factores de uso de agua consideradas en el estudio 182

Tabla 2-26: Detalle de las demandas superficiales implementadas como Sitio de Demanda en modelo WEAP en periodo de calibración (1990 – 2019) para la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal 183

Tabla 2-27: Información de cultivos recopilada del VII Censo Agrícola y Forestal 185

Tabla 2-28: Superficies agrícolas de riego (ha) para distintos grupos de cultivo en cuencas Quebrada de Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal 187

Tabla 2-29: Superficies agrícolas de riego del distrito censal de Castilla rectificadas a través de imágenes satelitales 188

Tabla 2-30: Evapotranspiración de referencia (mm) en subcuencas del territorio 189

Tabla 2-31: Coeficientes de cultivo por grupo de cultivo para la región de Atacama 190

Tabla 2-32: P_{ef} (mm) sobre el área agrícola de riego de la cuenca Quebrada Carrizal 191

Tabla 2-33: P_{ef} (mm) sobre el área agrícola de riego de la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal 191

Tabla 2-34: Eficiencia de riego según método de aplicación 193

Tabla 2-35: Eficiencia de riego según método de aplicación considerado en modelo 193

Tabla 3-1: Descripción de elementos antes y después de vinculación 199

Tabla 3-2: Acuíferos y celdas activas en enlace WEAP – MODFLOW 200

Tabla 3-3: Unidades Hidrológicas asignadas en enlace WEAP – MODFLOW 200

Tabla 3-4: Valores sugeridos para curvas de descarga en los elementos Río 202

Tabla 4-1: Estadígrafos de calibración para periodo histórico..... 203

Tabla 4-2: Calificación de rendimiento general de modelos recomendada para estadísticas de periodo de tiempo mensual 204

Tabla 4-3: Estadígrafos de calibración del sistema subterráneo 206

Tabla 4-4: Balance hidrogeológico en Escenario de calibración 217

Tabla 5-1: MCG seleccionados para proyecciones de cambio climático..... 220

Tabla 5-2: Principales flujos hidrológicos para las cuencas en estudio bajo diferentes escenarios de cambio climático..... 222

Tabla 5-3: Variación porcentual corregida de la precipitación media futura en la cuenca 226

Tabla 5-4: Aumento absoluto corregido de la temperatura media futura (°C) en la cuenca 226

Tabla 6-1: Caudales ecológicos (l/s) en puntos de interés..... 231

Tabla 6-2: Balance hídrico para el sector Totoral Alto (m^3/s)..... 232

Tabla 6-3: Balance hídrico para el sector Totoral Medio (m^3/s) 232

Tabla 6-4: Balance hídrico para el sector Totoral Desembocadura (m^3/s)..... 232

Tabla 6-5: Estado actual de SHACs de la cuenca 234

Tabla 6-6: Resultados de criterio volumen sustentable 234

Tabla 6-7: Resultados de criterio interferencia río-acuífero 236

Tabla 6-8: Resultados de criterio satisfacción de la demanda 237

Tabla 7-1: Indicadores Hídricos para la sustentabilidad del acuífero. Periodos 1990 – 2019 (CB) y 2021 – 2050 (VF) 240

Tabla 8-1: Volumen subterráneo demandado en escenarios de explotación..... 244

Tabla 8-2: Superficies agrícolas de riego (ha) proyectadas para distintos grupos de cultivo en cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal 246

Tabla 8-3: Balance hídrico subterráneo (l/s) de sub – escenarios Art 62 CdA 247

Tabla 8-4: Satisfacción de demandas promedio en periodo 2021 – 2050 248

Tabla 8-5: Comparación balance subterráneo, periodo futuro y último año 250

Tabla 8-6: Síntesis de demanda de agua y brecha hídrica en escenario G2 252

Tabla 8-7: Síntesis de demanda de agua y brecha hídrica en escenario G3 253

Tabla 8-8: Indicadores Hídricos para la sustentabilidad del acuífero. Periodos 1990 – 2019 (CB) y 2021 – 2050 (G2)..... 253

Tabla 8-9: Indicadores Hídricos para la sustentabilidad del acuífero. Periodos 1990 – 2019 (CB) y 2021 – 2050 (G3)..... 254

1 MODELO SUBTERRÁNEO

1.1 Caracterización Hidrogeológica

1.1.1 Análisis Antecedentes

Para el presente estudio se planificó la medición de perfiles de resistividad eléctrica y perfiles gravimétricos con el objeto de caracterizar la geometría acuífera y las características del relleno sedimentario a través de la interpretación hidrogeológica de estos antecedentes.

De esta forma, los trabajos de geofísica de superficie consideraron un levantamiento de Transiente Electromagnético (TEM) y de Gravimetría. Adicionalmente se realizó Perfilaje Geofísico en pozos disponibles para ello.

Para lo anterior se analizó información de cartas geológicas e hidrogeológicas, geofísica existente realizada el 2009, ubicaciones de pozos a partir de expedientes de derechos de agua de la DGA y localización de los dos pozos de Agua Potable Rural (APR) de la zona de estudio.

Respecto de la geofísica existente, la principal fuente de información corresponde al estudio DGA (2010). El estudio antes mencionado incorpora 6 perfiles geoeléctricos construidos con 60 estaciones TEM para la cuenca en estudio los cuales fueron realizados con 100 m de loop por la empresa GEODATOS SAIC para GCF INGENIEROS CONSULTORES.

En el estudio TEM existente se propuso una interpretación para las anomalías de resistividad de acuerdo a la Tabla 1-1. Sin embargo, también es posible que algunas anomalías de baja resistividad se relacionan más bien a salinidad o a presencia de minerales conductores, y que la resistividad de la roca corresponda a afloramientos de roca alterada y/o fisurada parcialmente. Es por ello por lo que las mediciones de estaciones TEM en sitios asociados a roca en extremos de alguno de los perfiles aquí propuestos permitirá evaluar esta influencia en los resultados a obtener para cada perfil. Junto con ello, permitirán controlar y apoyar con antecedentes respecto de las profundidades de basamento para la modelación e inversión de datos gravimétricos de cada perfil.

Tabla 1-1: Relación de resistividad con tipo de materiales

	Resistividad (Ω-m)	Descripción
1	> 20	Sedimento superficiales secos
2	10 - 18	Gravas arcillosas
3	18 - 30	Gravas arenosas
4	< 10	Sedimentos arcillosos
5	> 100	Roca Basal
6	30 - 100	Sedimentos compactos y/o roca basal alterada

Fuente: Adaptación propia a partir de Astier J. (1975)

1.1.2 Análisis Trabajos Geofísicos

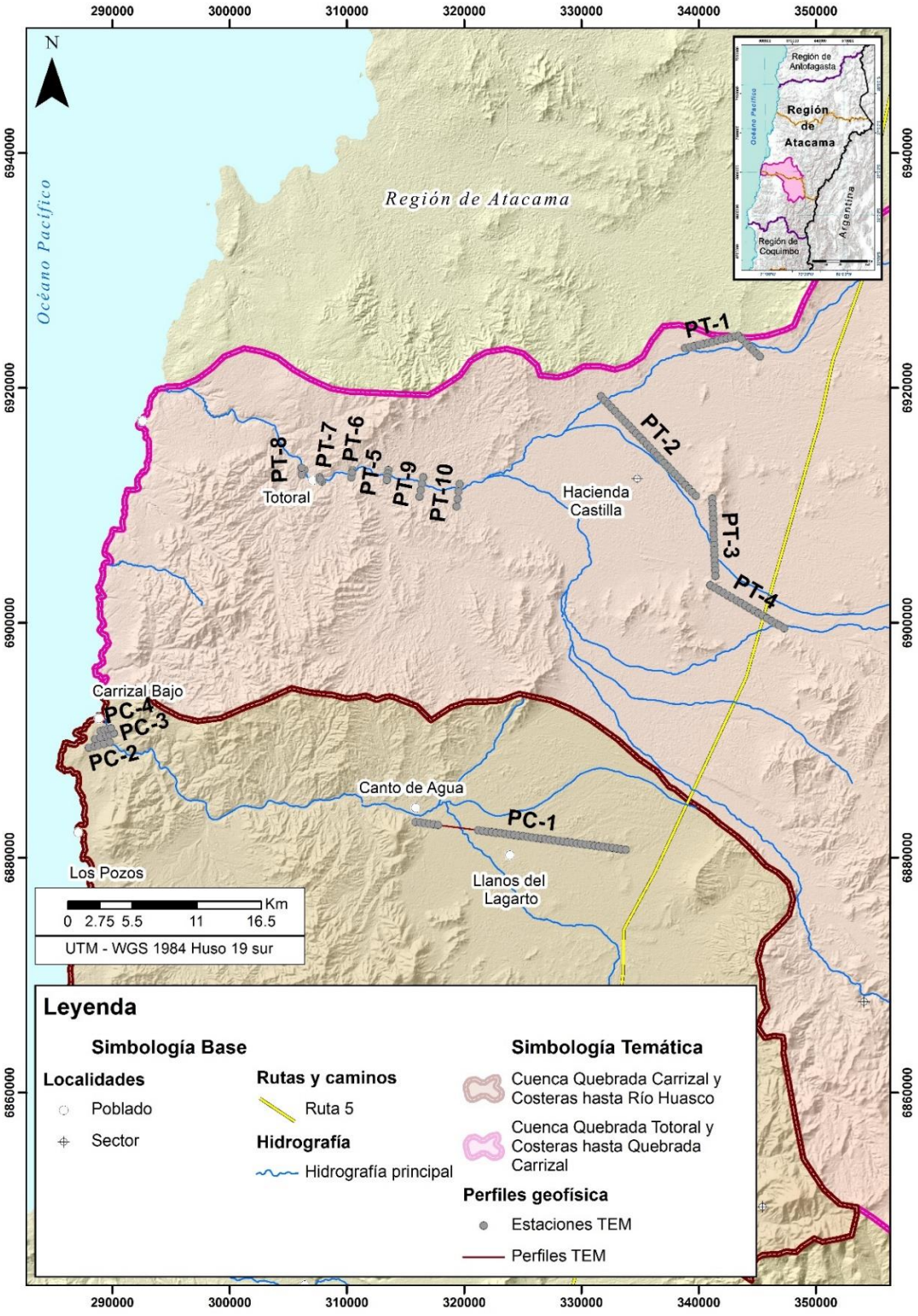
1.1.2.1 Estudio TEM

El presente capítulo describe los resultados de una campaña geofísica ejecutada mediante el método de prospección geofísica denominado Transiente Electromagnético (TEM). A partir de este levantamiento geofísico se generan modelos de distribución espacial de zonas de resistividad relativamente homogéneas las que posteriormente se relacionan con la geometría acuífera y características hidrogeológicas del sector estudiado. La interpretación propuesta se realiza considerando los antecedentes disponibles a la fecha y conocidos por esta empresa consultora. Los trabajos de terreno se ejecutaron durante el mes de septiembre del año 2021.

Complementariamente, y de manera anexa, se incluyen los datos registrados, los modelos de inversión desarrollados y los perfiles geoeléctricos resultantes, junto con un registro fotográfico que muestra las condiciones del terreno durante el desarrollo de este trabajo.

Localización de los perfiles TEM realizados

Los sitios de estudio se localizan al interior de la cuenca de quebrada Carrizal y de la cuenca de quebrada Totoral, al norte de Vallenar y al sur de Copiapó, en la Región de Atacama. La Figura 1-1 muestra la ubicación de los trabajos geofísicos realizados para este estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-1: Ubicación de la geofísica realizada para este estudio

Durante los trabajos de terreno se logró levantar información de resistividades mediante perfiles geoeléctricos a partir de estaciones TEM. La Figura 1 muestra la ubicación general de los sitios de estudio junto a la posición de los levantamientos TEM y perfiles efectuados para el presente estudio.

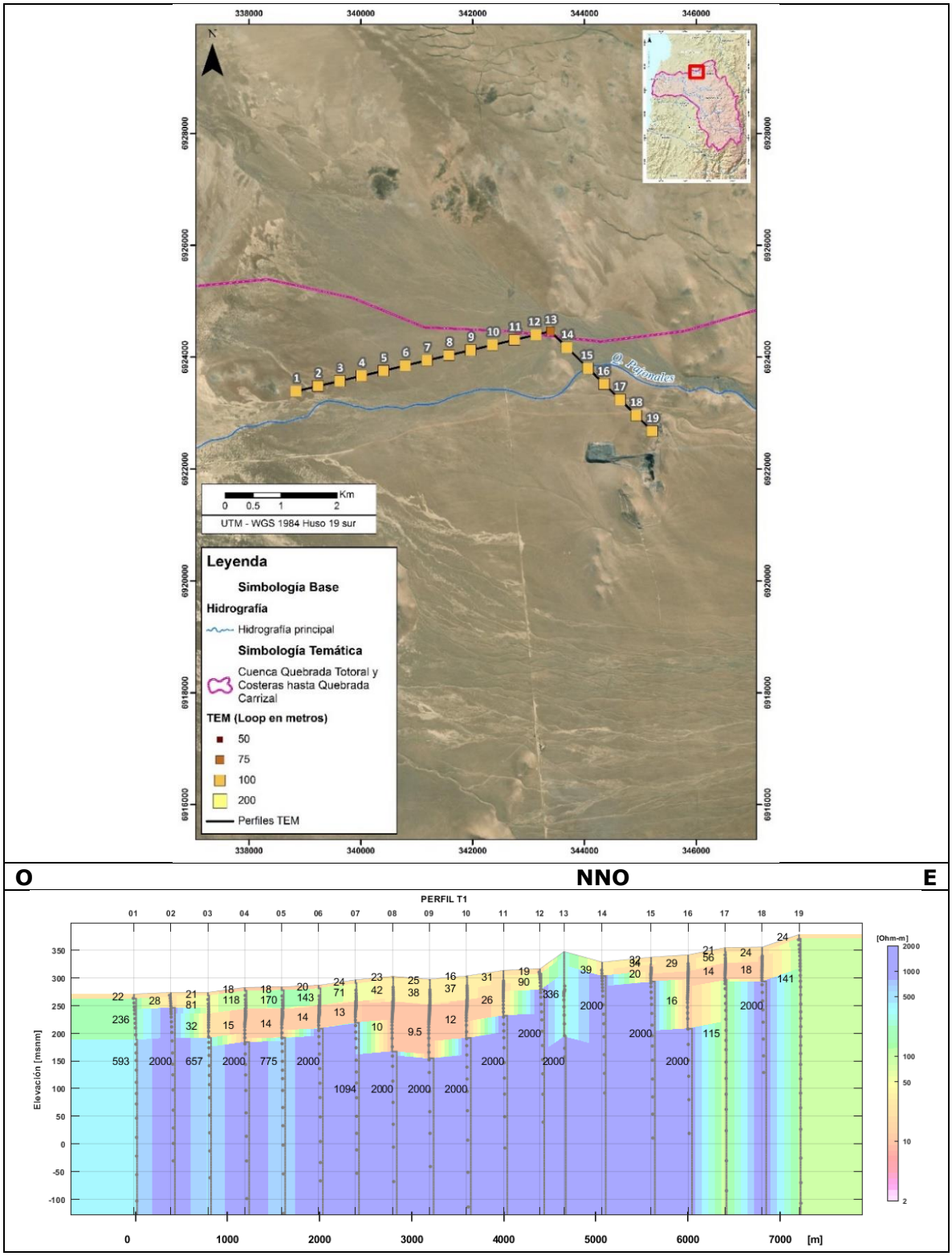
A continuación, se presentan los resultados de las mediciones de resistividad en donde se describe la adquisición y control de calidad de los resultados de las determinaciones de resistividad, los resultados propiamente tales obtenidos mediante la inversión de los datos geofísicos y los perfiles geoeléctricos resultantes de cada método, junto a una propuesta de sitios de exploración directa realizada sobre la base de los antecedentes disponibles y a las observaciones de terreno.

Para cada sector, además se comentan los resultados del levantamiento hidrogeológico realizado por personal de la empresa Con Potencial.

Perfil Geoeléctrico PT-1

La sección de resistividad del perfil PT-1, de orientación O-E y 7225 m de largo, con su centro orientado al NNO, fue construida mediante los resultados de la inversión de las estaciones TEM-01 a TEM-19 del presente perfil, el que se muestra en la Figura 1-2.

Respecto del perfil geoeléctrico PT-1, es posible caracterizar cuatro unidades geoeléctricas. La primera y más superficial presenta un nivel de baja resistividad con valores predominantemente entre los 16-24 Ω-m. Subyaciendo a esta capa superficial se distingue un segundo nivel con valores de resistividad predominantemente entre 33-170 Ω-m. Subyaciendo a este segundo nivel i se reconoce un tercer nivel con resistividades predominantemente entre 10-26 Ω-m. El cuarto nivel más profundo se corresponde con un aumento en la resistividad aparente del subsuelo con valor modelado predominantemente de 2000 Ω-m. Para los extremos del perfil (TEM-01 y TEM-19), realizados cercanos o sobre roca, el aumento de la resistividad es menor al mostrado por el nivel resistivo profundo de los otros TEM.



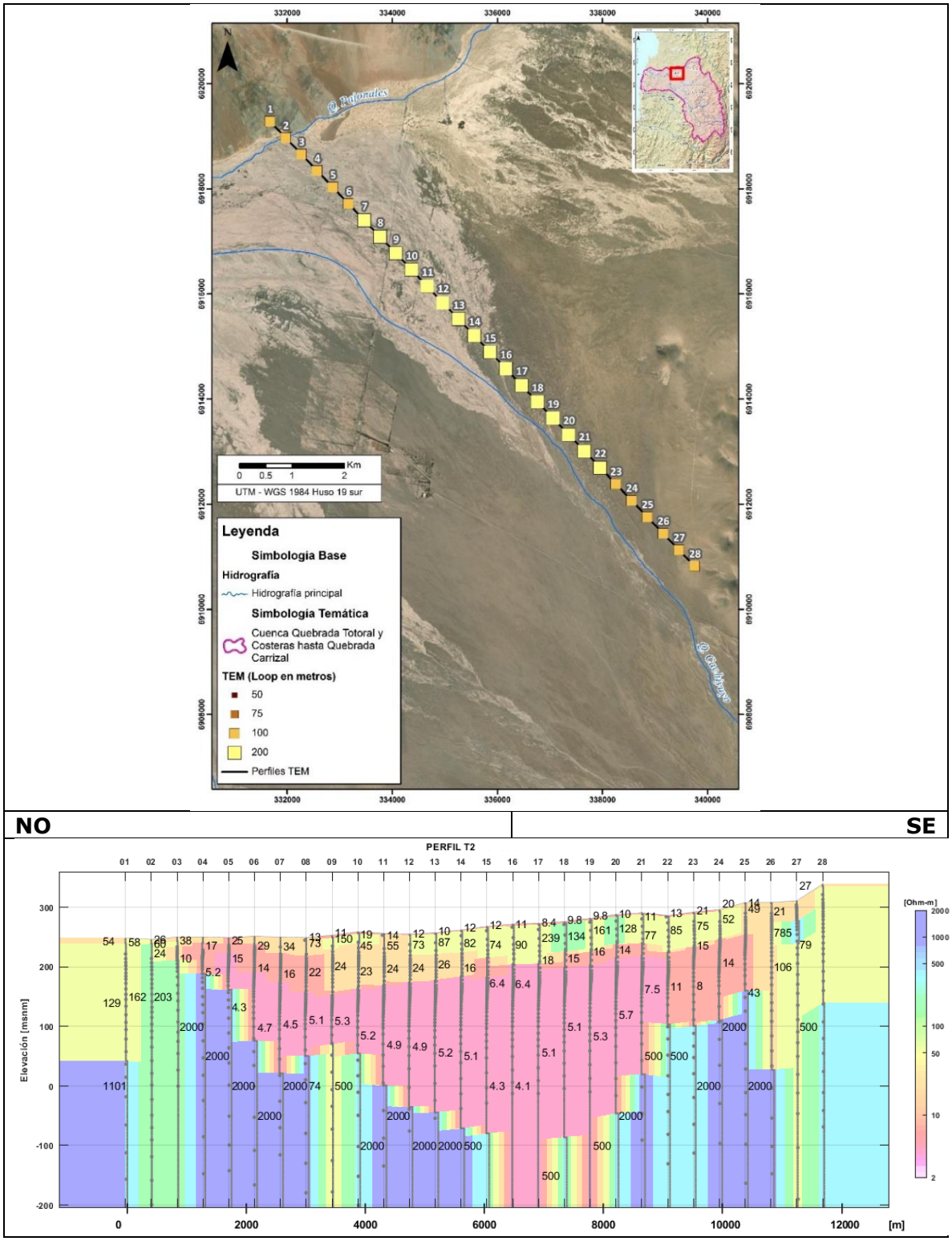
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-2: Perfil geoeléctrico PT-1

Perfil Geoeléctrico PT-2

La sección de resistividad del perfil PT-2, de orientación NO-SE y 11706 m de distancia, fue construida mediante los resultados de la inversión de las estaciones TEM-01 a TEM-28, el que se muestra en la Figura 1-3.

En este perfil geoeléctrico, es posible caracterizar cinco unidades geoeléctricas. La primera y más superficial presenta un nivel de baja resistividad con valores predominantemente entre los 10-20 Ω-m. Subyaciendo a esta capa superficial se distingue un nivel intermedio con valores de resistividad predominantemente entre 54-239 Ω-m. Subyaciendo a este nivel intermedio se reconoce un tercer nivel con resistividades predominantemente de 14-26 Ω-m. Bajo este nivel se observa un cuarto nivel con resistividades de 4,1-7,5 Ω-m con valores de 8-14 Ω-m hacia el extremo sur del perfil. El nivel más profundo se corresponde con un aumento en la resistividad aparente del subsuelo con valor modelado predominantemente de 2000 Ω-m. Para los extremos del perfil (TEM-01 y TEM-28), realizados cercanos o sobre roca, el aumento de la resistividad es menor al mostrado por el nivel resistivo profundo de los otros TEM.



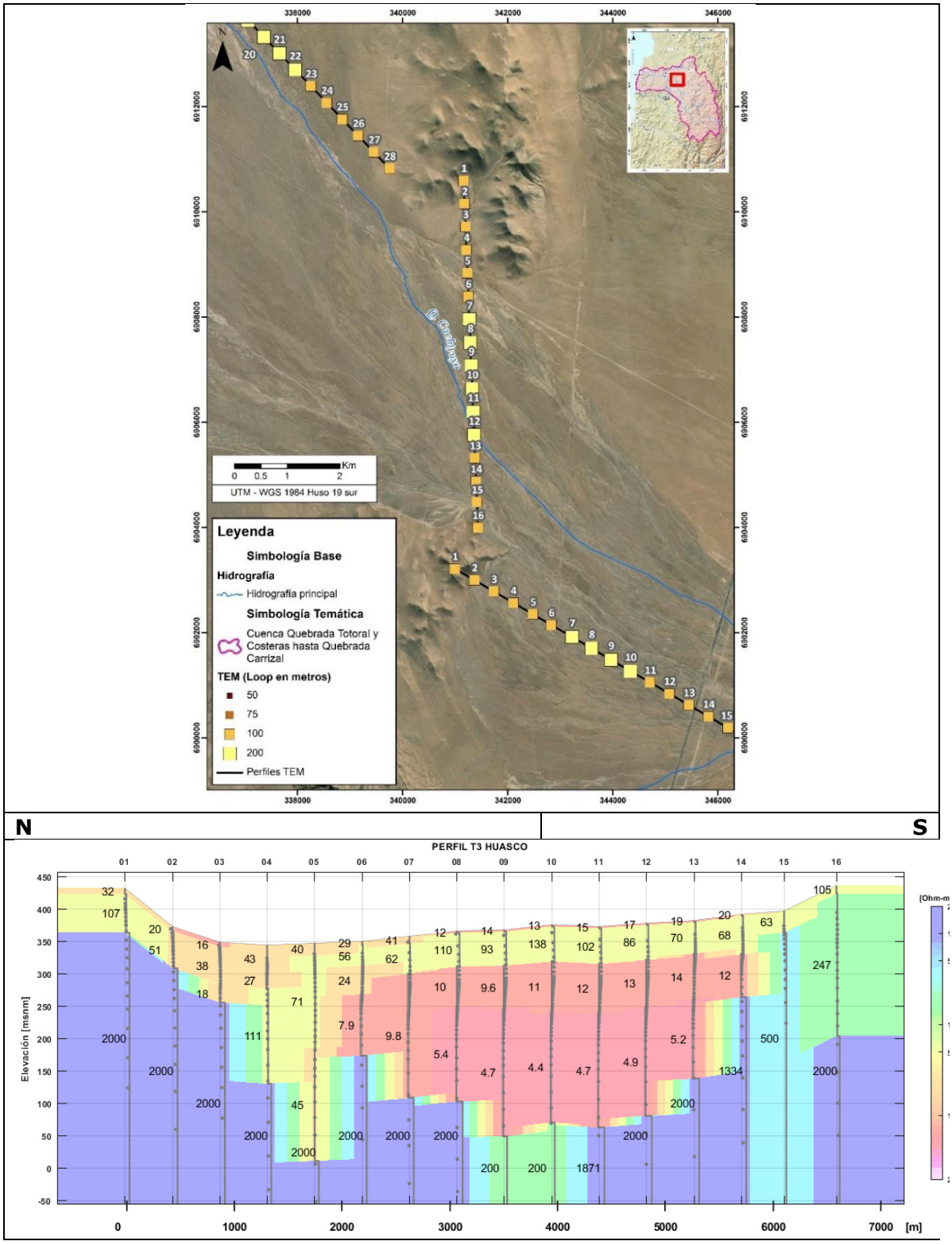
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-3: Perfil geoeléctrico PT-2

Perfil Geoeléctrico PT-3

La sección de resistividad del perfil PT-3, de orientación N-S y 6602 m de longitud, fue construida mediante los resultados de la inversión de las estaciones TEM-01 a TEM-16 de este perfil, el que se muestra en la Figura 1-4.

Respecto de este perfil geoeléctrico, es posible caracterizar cinco unidades geoeléctricas. La primera y más superficial presenta un nivel de baja resistividad con valores principalmente entre los 12-29 Ω-m. Subyaciendo a esta capa superficial se distingue un segundo nivel con valores de resistividad 56-138 Ω-m para los TEM-06 a TEM-15 y 38-71 Ω-m para los TEM-02 a TEM-05. Subyaciendo este nivel se distingue un tercer nivel de 10-14 Ω-m para los TEM-06 a TEM-14 y de 24-51 Ω-m para los TEM-02 a TEM-05. El nivel más profundo se corresponde con un aumento en la resistividad aparente del subsuelo con valor modelado predominantemente de 2000 Ω-m. Para los extremos del perfil (TEM-01 y TEM-16), realizados cercanos o sobre roca, el aumento de la resistividad es menor al mostrado por el nivel resistivo profundo de los otros TEM.



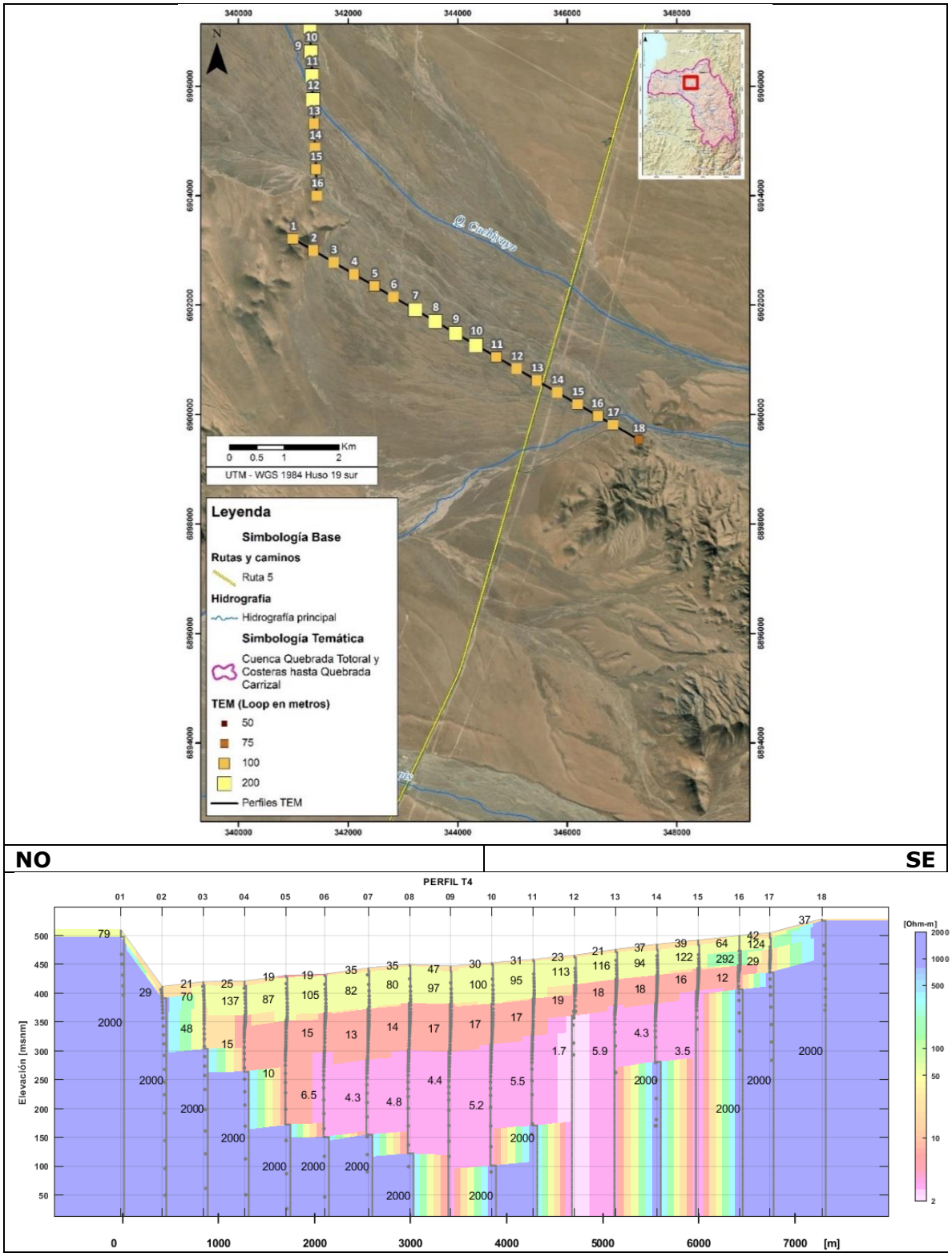
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-4: Perfil geoeléctrico PT-3

Perfil Geoeléctrico PT-4

La sección de resistividad del perfil PT-4, de orientación NO-SE de 7298 m de extensión, fue construida mediante los resultados de la inversión de las estaciones TEM-01 a TEM-18 de este perfil, el que se muestra en la Figura 1-5.

En este perfil geoeléctrico es posible caracterizar cinco unidades geoeléctricas. La primera y más superficial presenta un nivel de resistividad con valores predominantemente ente entre los 19-42 Ω-m. Subyaciendo a esta capa superficial se distingue un segundo nivel con valores de resistividad 70-137 Ω-m. Subyaciendo a este nivel se observa un tercer nivel con resistividades que se centran en valores de 12-15 Ω-m. Subyaciendo a este nivel se reconoce un cuarto nivel con resistividades de 1,7-6,5 Ω-m. El nivel más profundo se corresponde con un aumento en la resistividad aparente del subsuelo con 2000 Ω-m como resultado de los modelos. Para los extremos del perfil (TEM-01, TEM-02, TEM-17 y TEM-18), realizados cercanos o sobre roca, presentan valores de resistividad que parecen más bien influenciados por presencia pequeños volúmenes de relleno sedimentario, regolito, roca alterada o levemente fracturada.



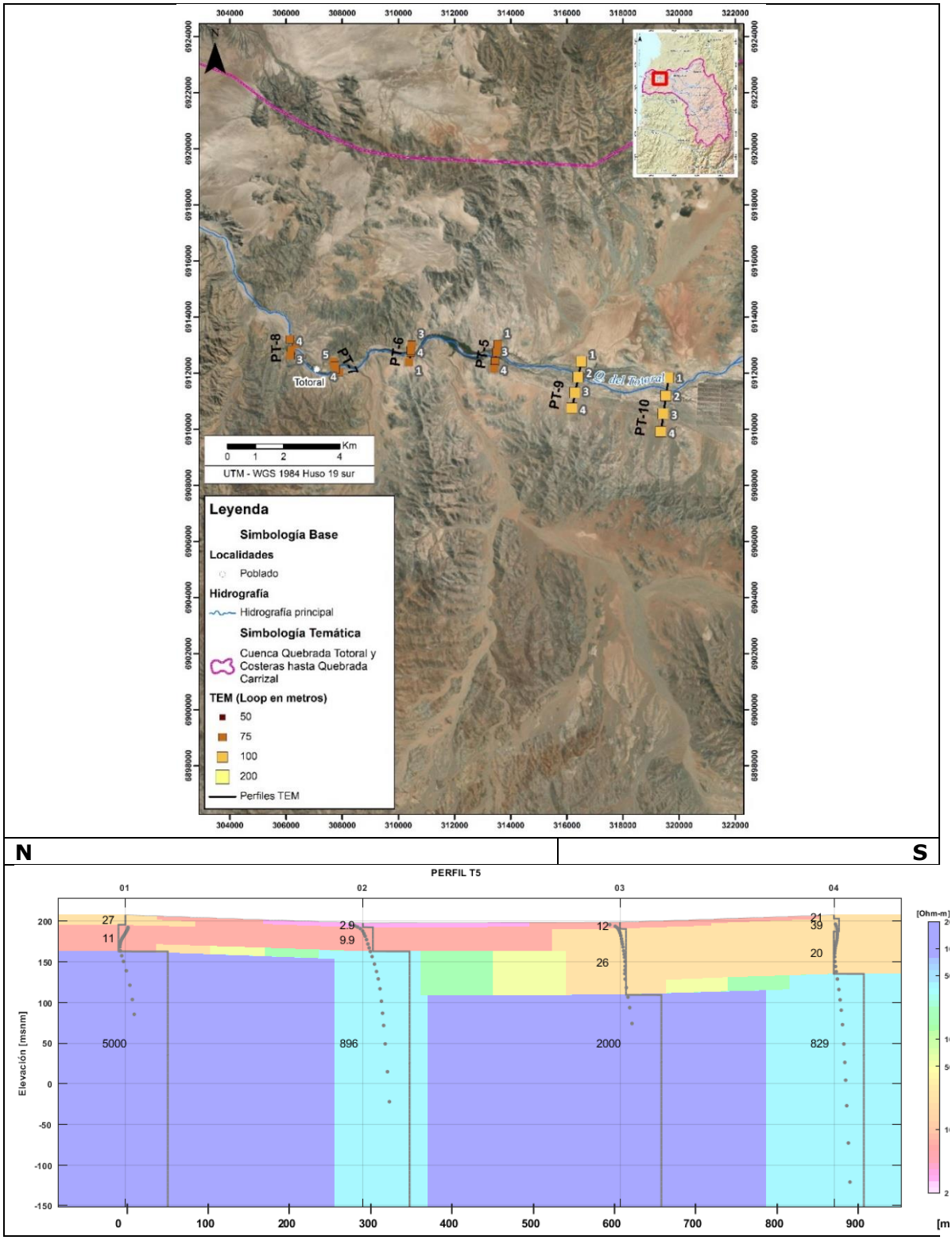
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-5: Perfil geoeléctrico PT-4

Perfil Geoeléctrico PT-5

La sección de resistividad del perfil PT-5, de orientación aproximadamente N-S y 869 m de extensión, fue construida mediante los resultados de la inversión de las estaciones TEM-01 a TEM-04 de este perfil, el que se muestra en la Figura 1-6.

En este perfil geoeléctrico es posible caracterizar tres unidades geoeléctricas. La primera y más superficial presenta un nivel de resistividad con valores predominantemente entre los 12-31 Ω-m. Subyaciendo a esta capa superficial se distingue un segundo nivel que a su vez se puede agrupar en rangos de 9,9-11 Ω-m (TEM-02 y TEM-01) y otro con valores de 20-24 Ω-m (TEM-04 y TEM-03). Subyaciendo a este nivel se reconoce un nivel más profundo que se corresponde con un aumento en la resistividad aparente del subsuelo con 829, 896 y 2000 Ω-m como resultado de los modelos.



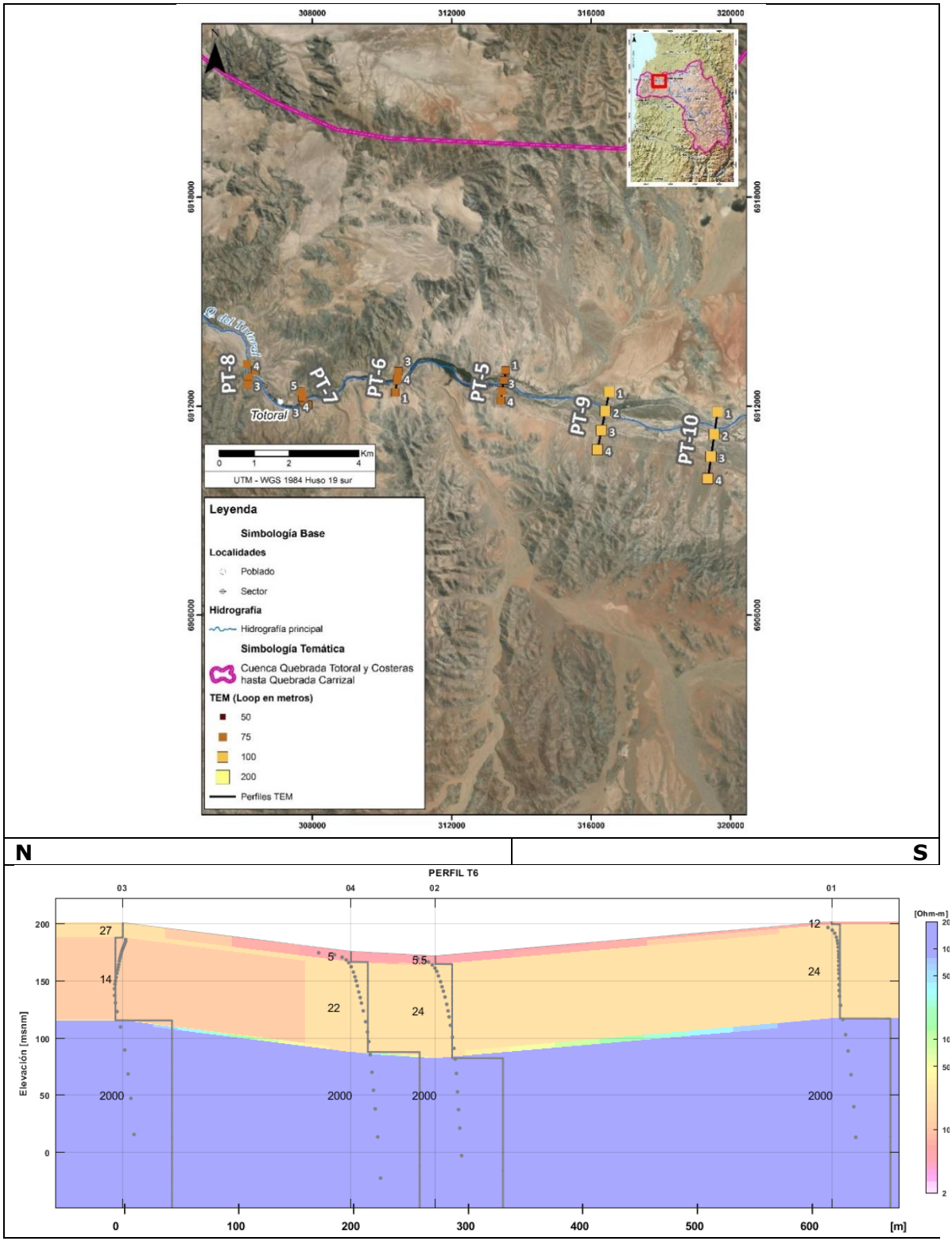
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-6: Perfil geoeléctrico PT-5 y TEM-01

Perfil Geoeléctrico PT-6

La sección de resistividad del perfil PT-6, de orientación aproximadamente N-S y 618 m de extensión, fue construida mediante los resultados de la inversión de las estaciones TEM-01 a TEM-04 de este perfil, el que se muestra en la Figura 1-7.

En este perfil geoeléctrico es posible caracterizar tres unidades geoeléctricas. La primera y más superficial presenta un nivel de resistividad con valores predominantemente ente los 5-27 Ω-m. Subyaciendo a esta capa superficial se distingue un segundo nivel que a su vez se puede agrupar con valores de 14 Ω-m (TEM-03) y otro con valores de 22-24 Ω-m (TEM-04, TEM-01 y TEM-02). Subyaciendo a este nivel se reconoce un nivel más profundo que se corresponde con un aumento en la resistividad aparente del subsuelo con 2000 Ω-m como resultado de los modelos.



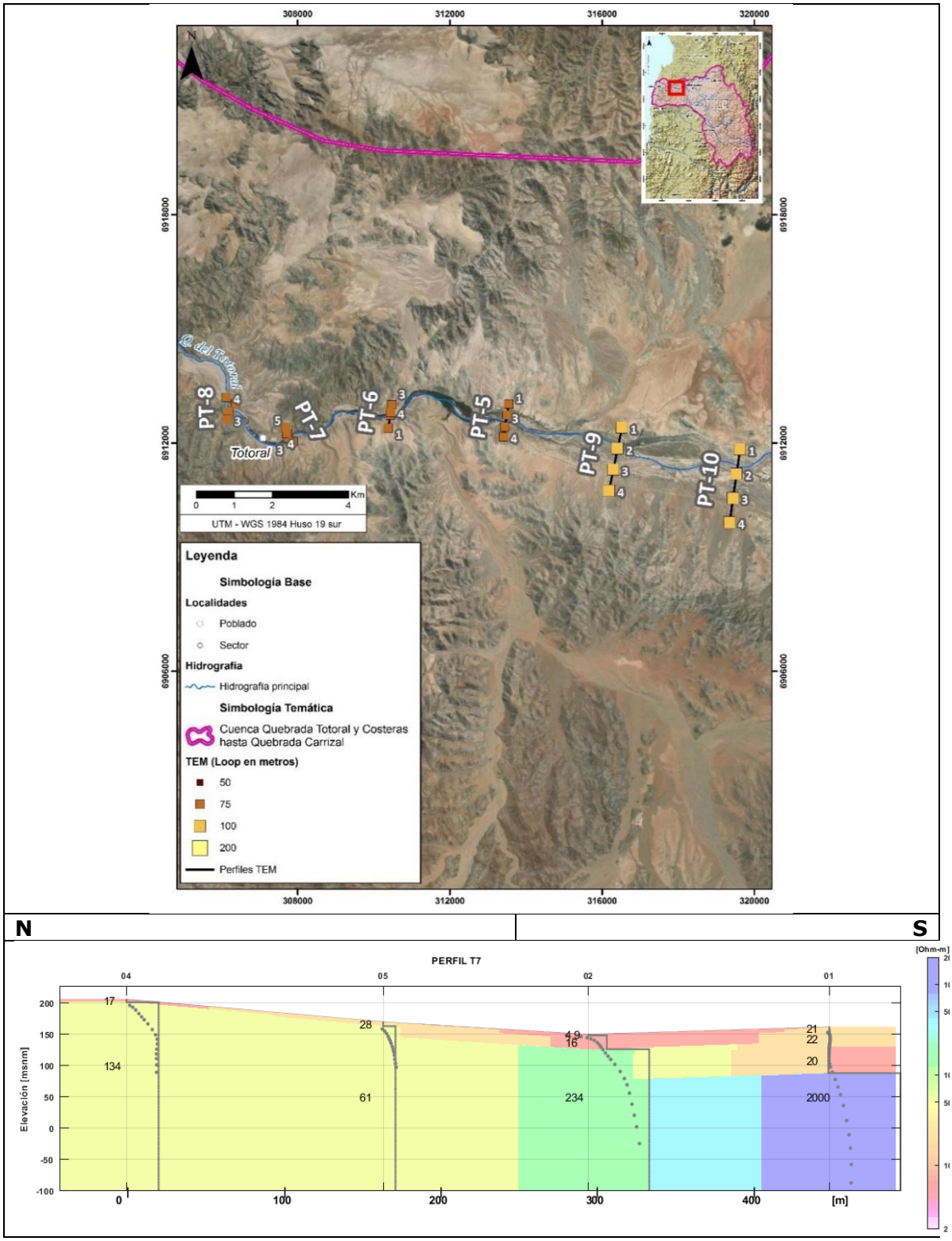
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-7: Perfil geoeléctrico PT-6

Perfil Geoeléctrico PT-7

La sección de resistividad del perfil PT-7, de orientación N-S y 449 m de largo, fue construida mediante los resultados de la inversión de las estaciones TEM-01 a TEM-05 de este perfil, el que se muestra en la Figura 1-8. La estación TEM-03, no se incluye en este perfil pues sus resultados no resultaron satisfactorios.

En este perfil geoeléctrico es posible caracterizar tres unidades geoeléctricas. La primera y más superficial presenta un nivel de resistividad con valores predominantemente ente los 4,9-28 Ω-m. Subyaciendo a esta capa superficial se distingue un segundo nivel que a su vez se puede agrupar con valores de 61-134 Ω-m (TEM-05 y TEM-4) y otro con valores de 16-20 Ω-m (TEM-01 y TEM-02). Subyaciendo a este nivel se reconoce un nivel más profundo que se corresponde con un aumento en la resistividad aparente del subsuelo con 234 y 2000 Ω-m como resultado de los modelos de inversión obtenidos para los TEM-02 y TEM-01, respectivamente. Para los TEM-04 y TEM-05, el nivel inferior queda indeterminado.



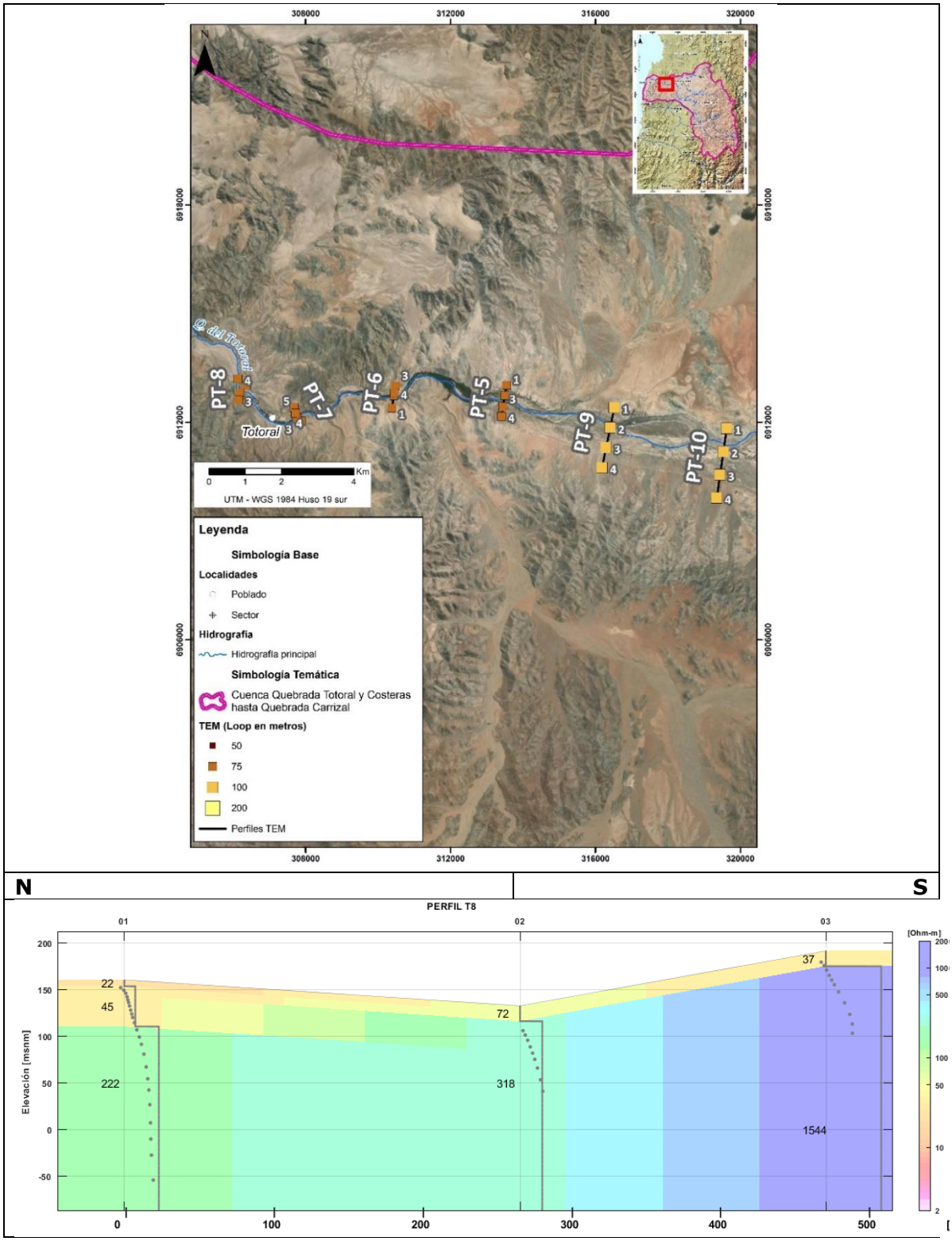
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-8: Perfil geoeléctrico PT-7

Perfil Geoeléctrico PT-8

La sección de resistividad del perfil PT-8, de orientación aproximadamente N-S y 470 m de largo, fue construida mediante los resultados de la inversión de las estaciones TEM-01 a TEM-03 de este perfil, el que se muestra en la Figura 1-9.

En este perfil geoeléctrico es posible caracterizar dos a tres unidades geoeléctricas. La primera y más superficial presenta una resistividad de 22 Ω-m y solo se reconoce en el TEM-01. También a nivel superficial para los TEM-02 y TEM-03 se reconocen resistividades de 37 y 72 Ω-m (TEM-02 y TEM-03). Subyaciendo la capa de 22 Ω-m, solo en el TEM-01 se reconoce una capa de 45 Ω-m. Bajo esta capa y bajo el nivel de 37-72 Ω-m se reconoce un aumento en la resistividad aparente del subsuelo con 222, 318 y 2.000 Ω-m como resultado de los modelos de inversión obtenidos para los TEM-01, TEM-02 y TEM-03, respectivamente.



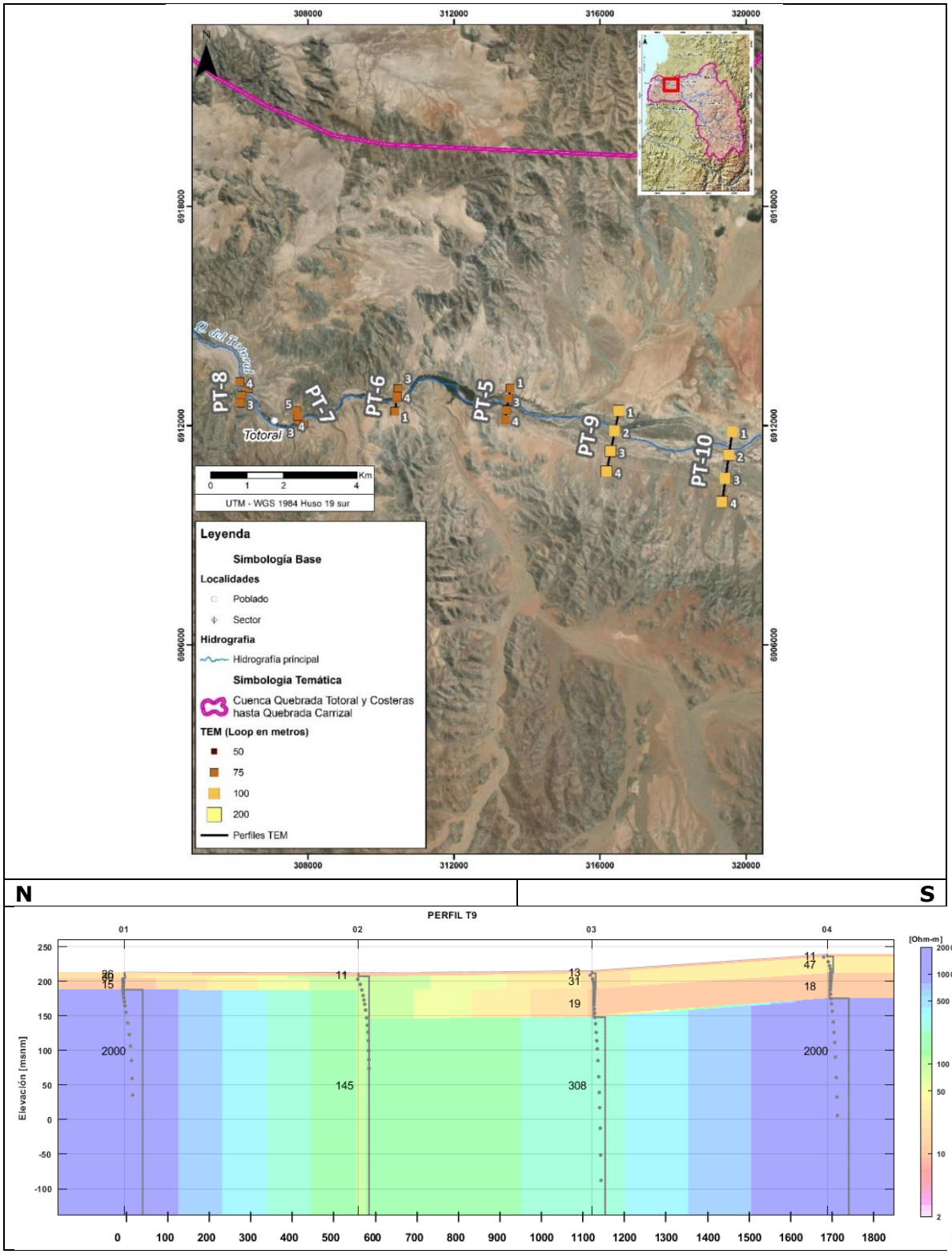
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-9: Perfil geoeléctrico PT-8

Perfil Geoeléctrico PT-9

La sección de resistividad del perfil PT-9, de orientación aproximadamente N-S y 1692 m de extensión, fue construida mediante los resultados de la inversión de las estaciones TEM-01 a TEM-04 de este perfil, el que se muestra en la Figura 1-10.

En este perfil geoeléctrico es posible caracterizar dos a tres unidades geoeléctricas. La primera y más superficial presenta un nivel de resistividad con valores predominantemente entre los 11-26 Ω-m. Subyaciendo a esta capa superficial se distingue un segundo nivel que a su vez se puede agrupar en rangos de 15 y 18-19 Ω-m (TEM-01 y TEM-03 a TEM-04) y otro con un valor de 145 Ω-m (TEM-02). Subyaciendo a este nivel, y salvo para el TEM-02, se reconoce un nivel más profundo que se corresponde con un aumento en la resistividad aparente del subsuelo con 308 y 2.000 Ω-m como resultado de los modelos de los TEM-01, 03 y 04. Para el TEM-02.



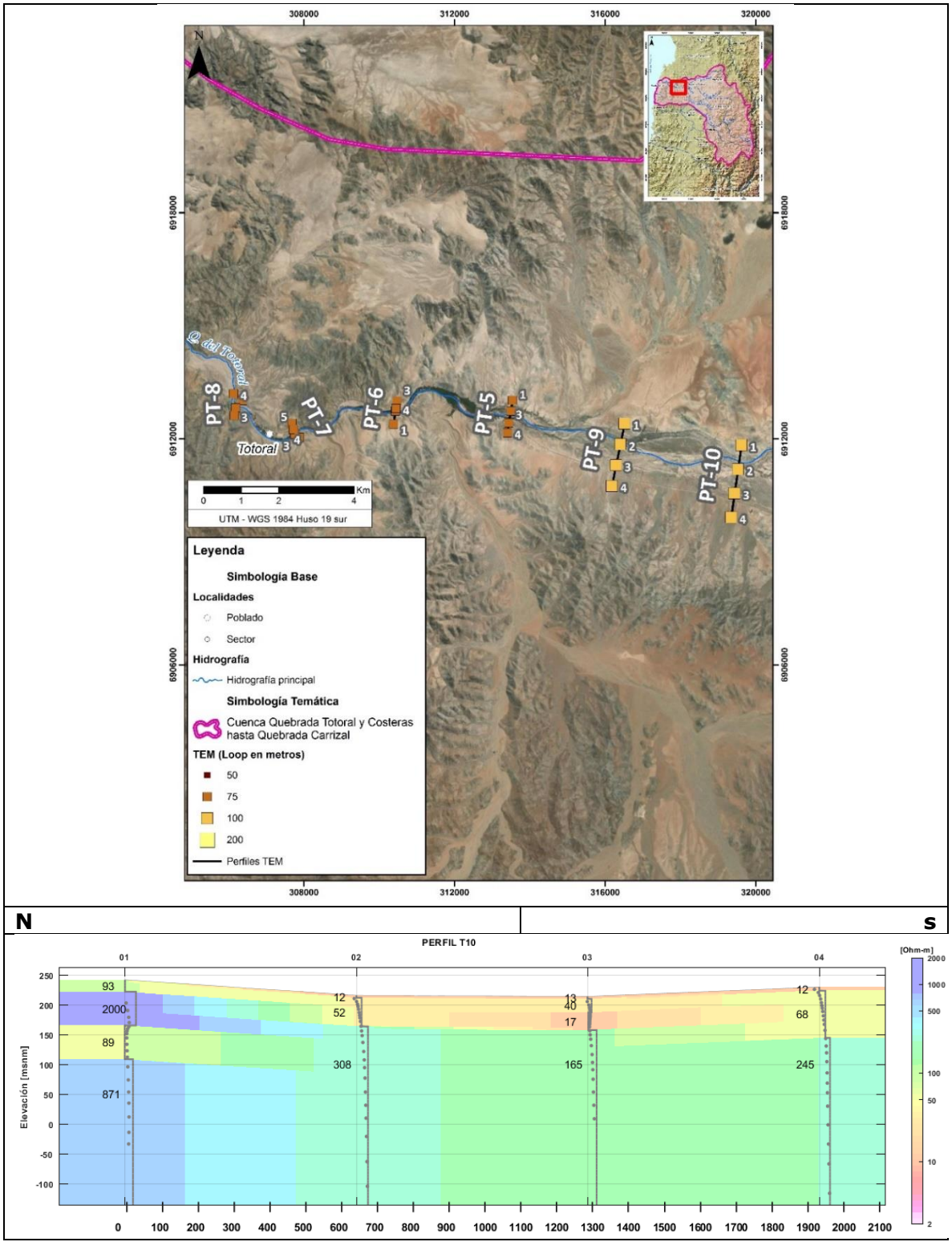
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-10: Perfil geoeléctrico PT-9

Perfil Geoeléctrico PT-10

La sección de resistividad del perfil PT-10, de orientación aproximadamente N-S y 1936 m de longitud, fue construida mediante los resultados de la inversión de las estaciones TEM-01 a TEM-04 de este perfil, el que se muestra en la Figura 1-11.

En este perfil geoeléctrico es posible caracterizar dos a tres unidades geoeléctricas para los TEM-02, 03 y 04. La primera y más superficial presenta un nivel de resistividad con valores predominantemente entre los 12-23 Ω-m. Subyaciendo a esta capa superficial se distingue un segundo nivel que a su vez se puede agrupar en rangos 40-68 Ω-m (TEM-02, 03 y TEM-04) y 2000 Ω-m para el TEM-01 pudiendo incluir la tercera capa de 17 Ω-m del TEM-03. Subyaciendo a este segundo nivel, se reconoce un nivel más profundo que se corresponde con un aumento en la resistividad aparente del subsuelo con 165, 245 y 308 Ω-m como resultado de los modelos de los TEM-03, 04 y 01. Para el TEM-01, se consideran validos los resultados de las dos primeras capas con 93 y 2.000 Ω-m.



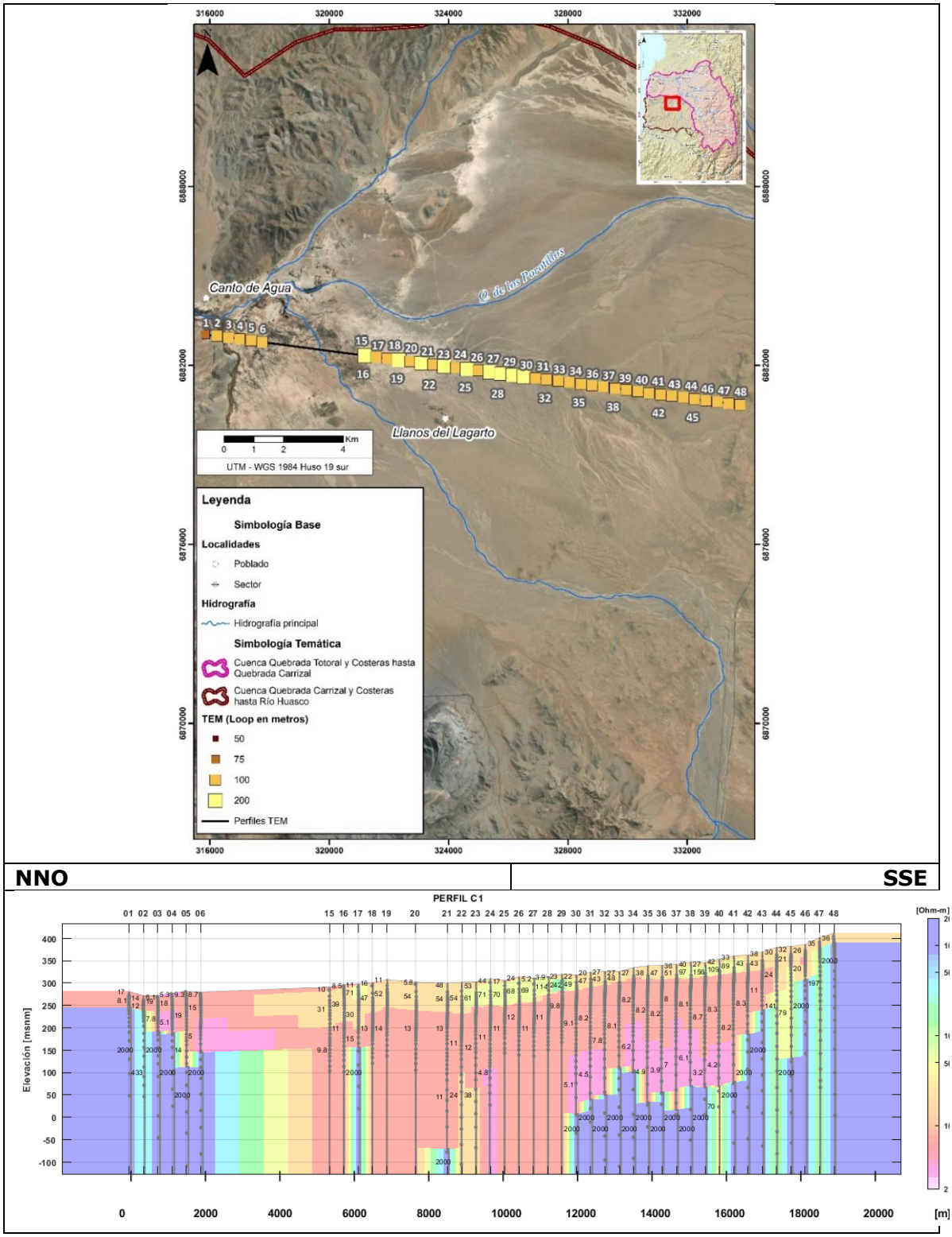
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-11: Perfil geoeléctrico PT-10

Perfil Geoeléctrico PC-1

La sección de resistividad del perfil PC-1, de orientación NNO-SSE y 18075 m de largo, fue construida mediante los resultados de la inversión de las estaciones TEM-01 a TEM-06 y TEM-16 aTEM-48 de este perfil, el que se muestra en la Figura 1-12.

En este perfil geoeléctrico es posible caracterizar cinco unidades geoeléctricas. La primera y más superficial presenta un nivel de resistividad con valores predominantemente entre los 5-44 Ω-m. Subyaciendo a esta capa superficial se distingue un segundo nivel con valores de resistividad 21-156 Ω-m, con un extremo de 242 Ω-m en el TEM-29. Subyaciendo a este nivel se observa un tercer nivel con resistividades que se centran en valores de 8-15 Ω-m. Subyaciendo a este nivel, entre los TEM-24 a TEM-40, se reconoce un cuarto nivel con resistividades de 3,9-5,1 Ω-m. El nivel más profundo se corresponde con un aumento en la resistividad aparente del subsuelo con 2000 Ω-m como resultado de los valores modelados. Para los extremos del perfil (TEM-01 yTEM-45 a TEM-48), realizados cercanos o sobre roca, presentan valores de resistividad que parecen más bien influenciados por presencia pequeños volúmenes de relleno sedimentario, regolito, roca alterada o levemente fracturada.



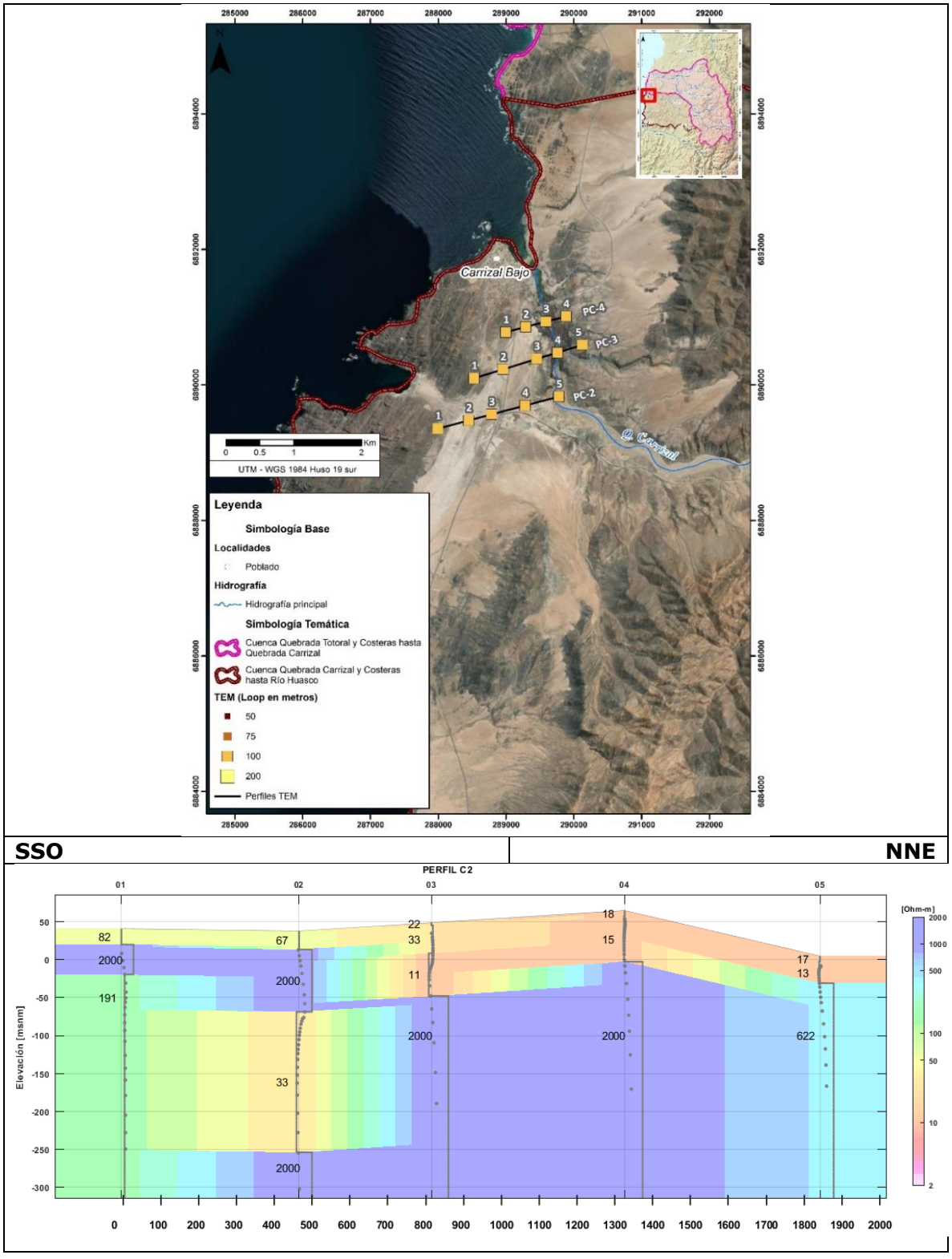
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-12: Perfil geoeléctrico PC-1

Perfil Geoeléctrico PC-2

La sección de resistividad del perfil PC-2, de orientación SSO-NNE y 1846 m distancia, fue construida mediante los resultados de la inversión de las estaciones TEM-01 a TEM-04 de este perfil, el que se muestra en la Figura 1-13.

En este perfil geoeléctrico es posible caracterizar tres unidades geoeléctricas. La primera y más superficial presenta resistividades de 17-22 Ω-m (TEM-03, 04 y 05) y de 67-82 Ω-m (TEM-01 y 02). Para este nivel, de acuerdo con las elevaciones y posiciones relativas entre los TEM cercanos y el TEM-03, es razonable incluir la segunda capa de este TEM con un valor de 33 Ω-m. Subyaciendo este nivel somero, y solo en los TEM-03, 04 y 05 se reconoce un nivel de 11-13 Ω-m. Bajo esta capa y bajo el nivel de 37-72 Ω-m se reconoce un aumento en la resistividad aparente del subsuelo con 622 y 2.000 Ω-m como resultado de los modelos de inversión obtenidos para los TEM. En los TEM-01 y TEM-02 como última y penúltima capa se modelan 191 Ω-m y 33 Ω-m, respectivamente.



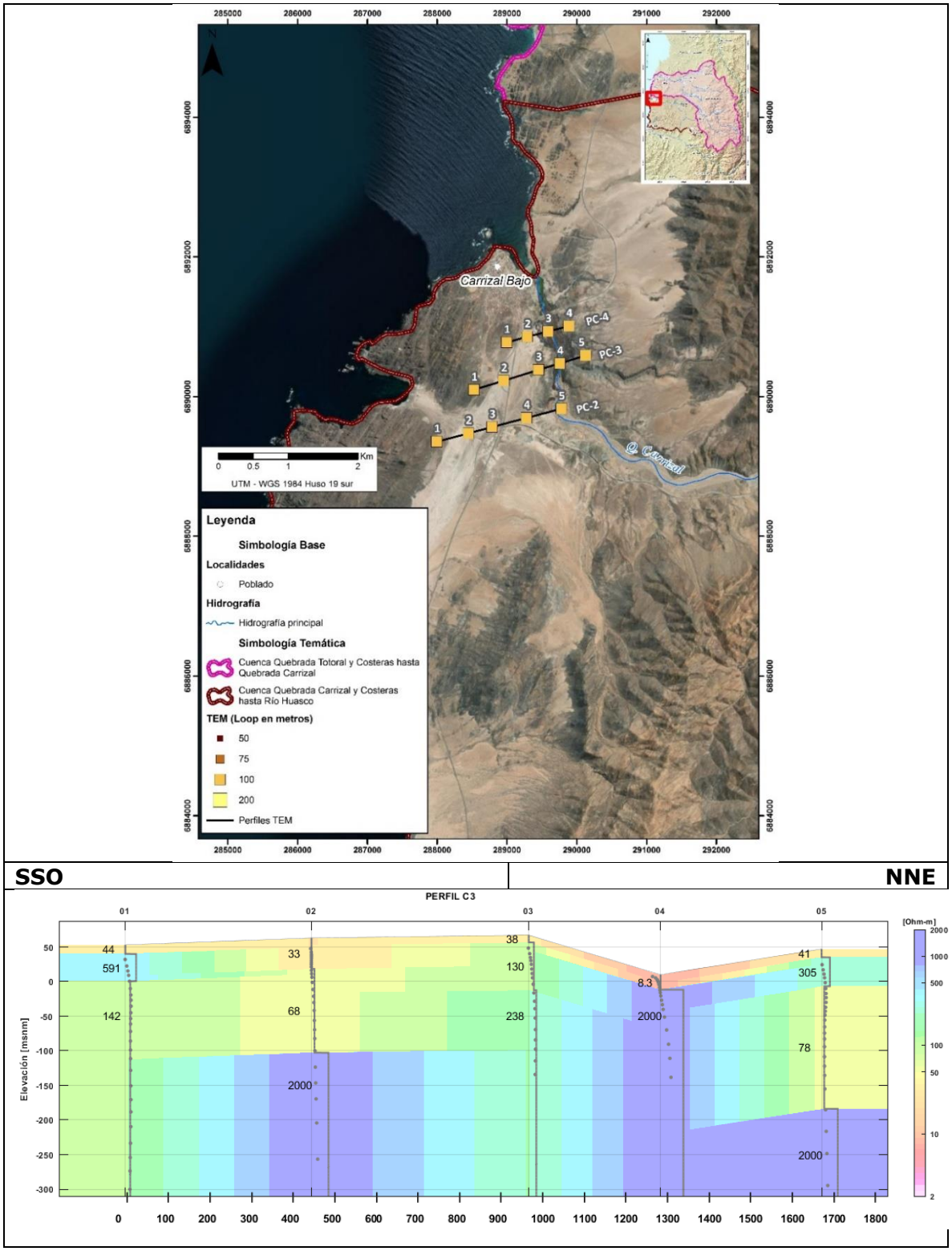
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-13: Perfil geoeléctrico PC-2

Perfil Geoeléctrico PC-3

La sección de resistividad del perfil PC-3, de orientación SSO-NNE y 1674 m distancia, fue construida mediante los resultados de la inversión de las estaciones TEM-01 a TEM-05 de este perfil, el que se muestra en la Figura 1-14.

En este perfil geoeléctrico es posible caracterizar tres unidades geoeléctricas. La primera y más superficial presenta resistividades de 33-44 Ω-m en los TEM-01, 02, 03 y 05. En el TEM-04 se reconoce una resistividad mucho menor, de 8,3 Ω-m. Subyaciendo este nivel somero se reconoce un nivel de 2000 Ω-m bajo el TEM-04 y con valores de 142 y 238 Ω-m para los TEM-01, 03, Para los TEM-02 y 05 se reconoce un nivel de resistividad intermedio del orden de 68-78 Ω-m previo al ascenso resistivo de 2.000 Ω-m.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-14: Perfil geoeléctrico PC-3

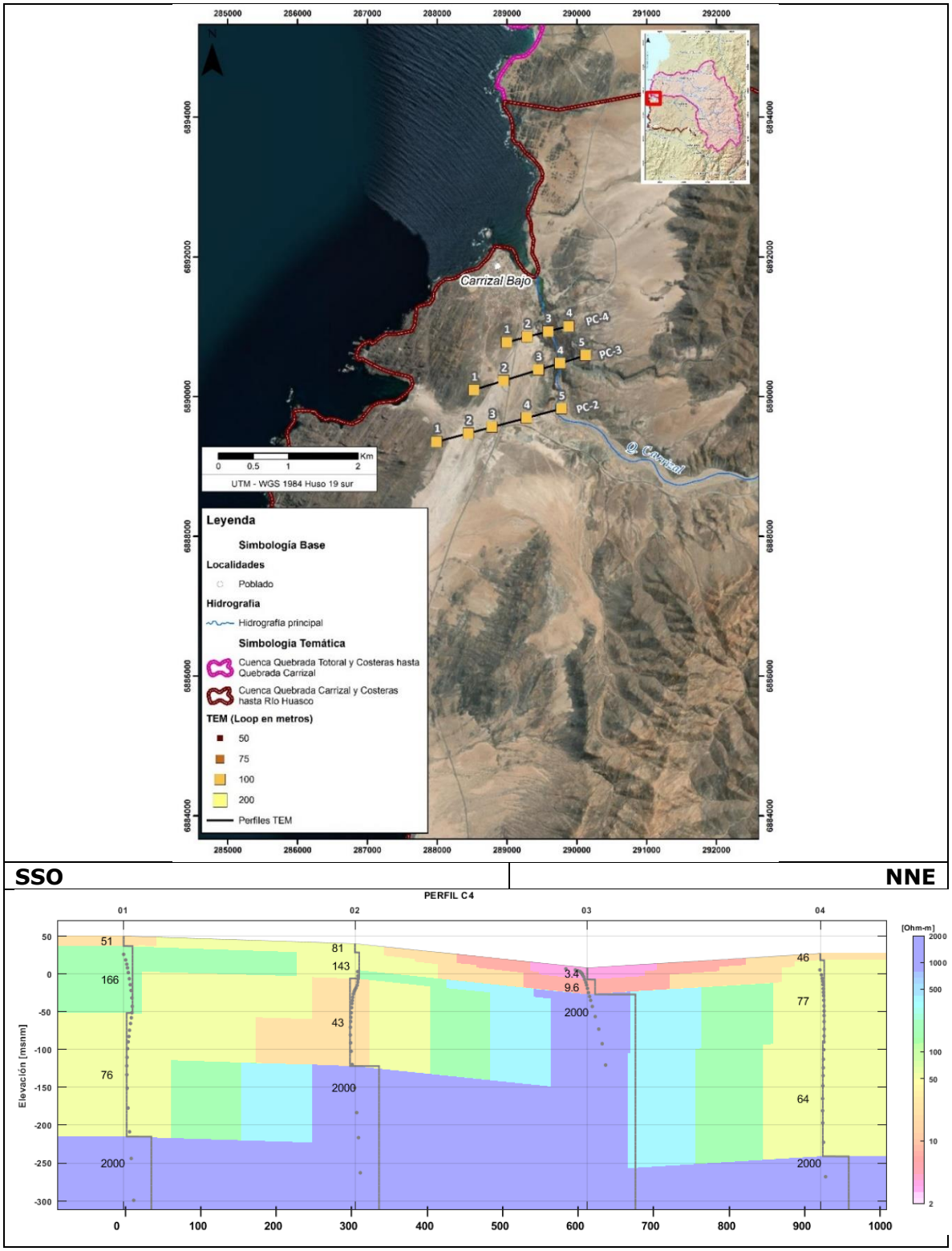
Perfil Geoeléctrico PC-4

El objetivo del estudio es estimar la profundidad de la interfaz sedimentos/basamento mediante modelamientos 2D de cada línea, con modelos tipo Cuenca, compuesto de dos unidades (sedimentos y basamento), cada una de densidad homogénea.

Todas las líneas gravimétricas, llegan en sus extremos a afloramientos de roca (basamento). Además de esta restricción, se dispone de información suministrada por Con Potencial acerca de la profundidad del substrato resistivo detectado mediante sondeos TEM (Loop de 200 y 100 m) situados sobre las líneas gravimétricas. La profundidad del substrato geoeléctrico es usada como referencia para el ajuste de la profundidad del substrato gravimétrico.

La sección de resistividad del perfil PC-4, de orientación SSO-NNE y 919 m de distancia, fue construida mediante los resultados de la inversión de las estaciones TEM-01 a TEM-05 de este perfil, el que se muestra en la Figura 1-15.

En este perfil geoeléctrico es posible caracterizar tres unidades geoeléctricas para el TEM-03. Para el TEM-01, 02 y 04 las resistividades modeladas muestran patrones variables con un aumento en las resistividades aparentes para la última capa modelada con un valor de 2000 Ω-m

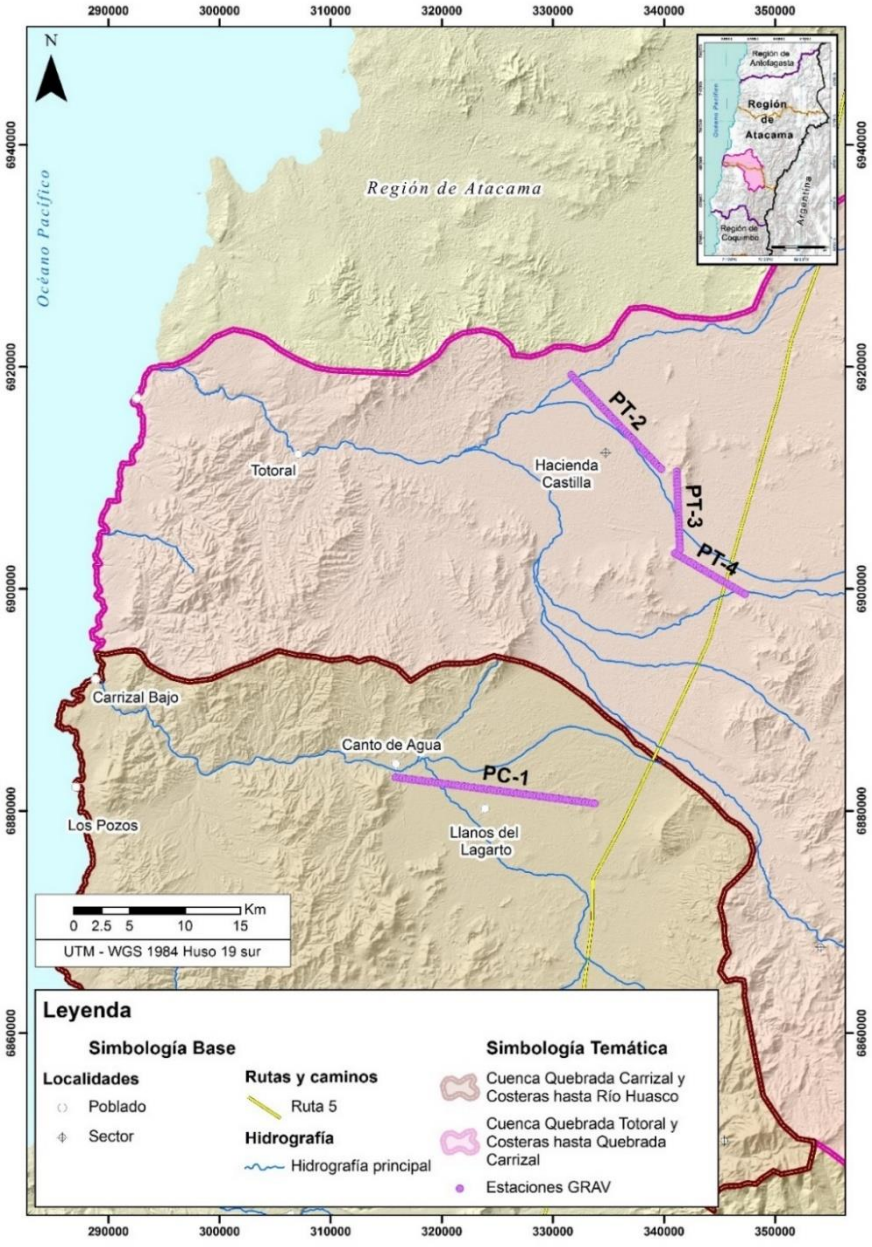


Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-15: Perfil geoeléctrico PC-4

1.1.2.2 Gravimetría

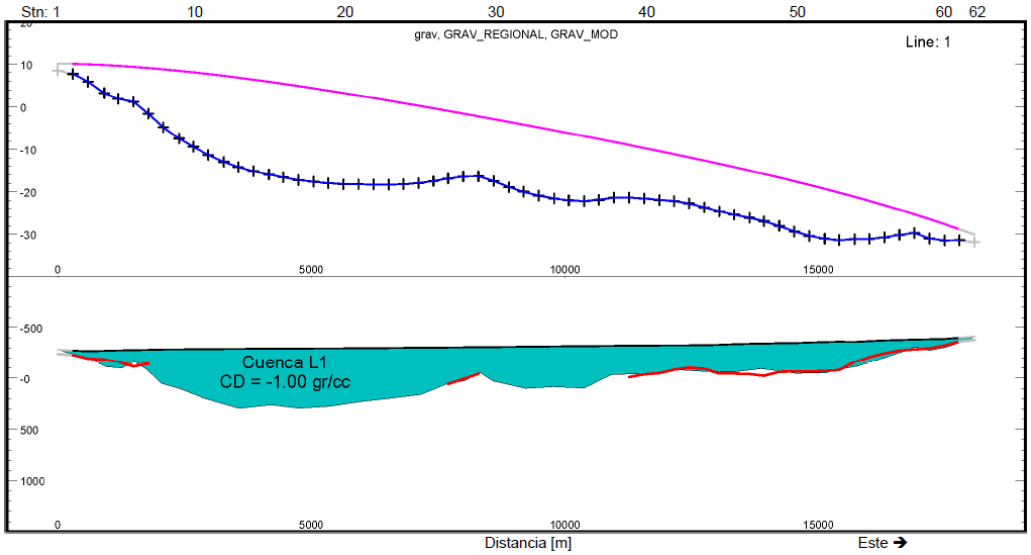
Los trabajos gravimétricos constaron de la medición total de 150 estaciones, ubicada entre la Cuenca de la Quebrada Totoral y Costeras Hasta Quebrada de Carrizal, y su distribución espacial puede ser observada en la Figura 1-16. Los trabajos de terreno se ejecutaron durante el mes de septiembre del año 2021.



Fuente: Elaboración propia.

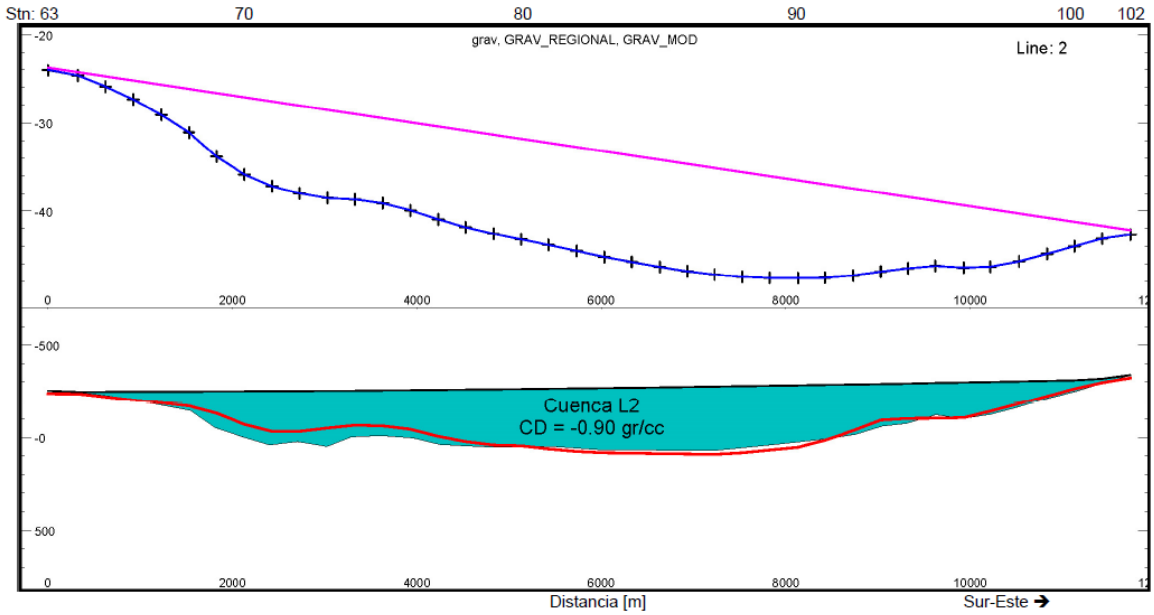
Figura 1-16: Ubicación de Estaciones GRAV

Del estudio gravimétrico, se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la Figura 1-17 a Figura 1-20.



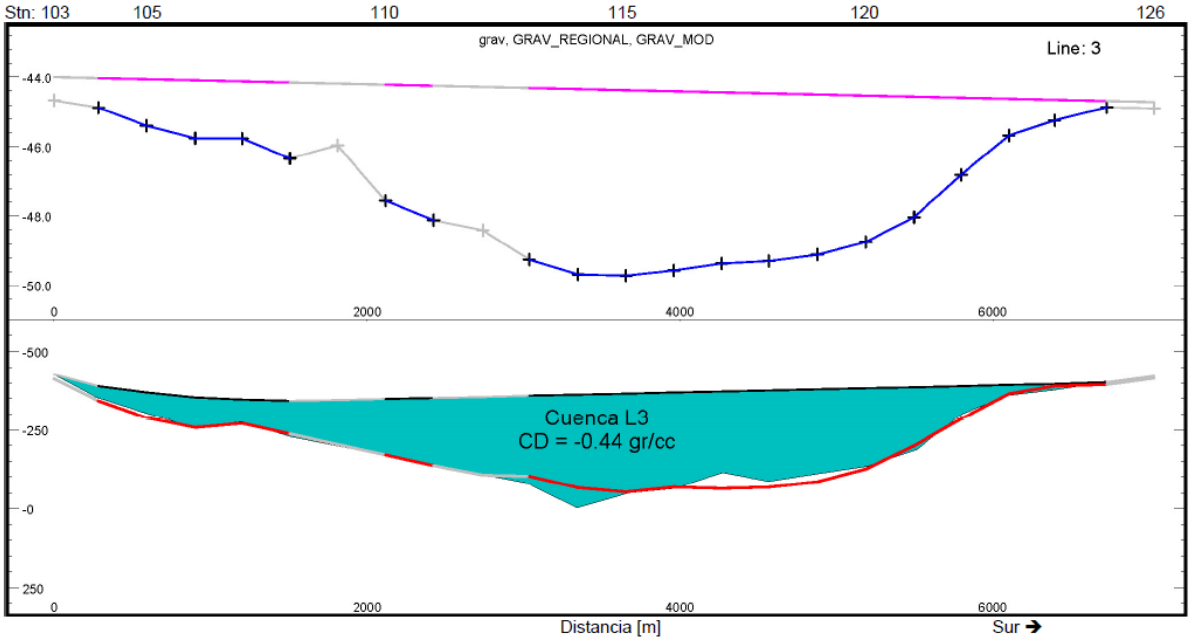
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-17: Modelamiento Gravimétrico 2D (Cuenca) Línea L1. Cuenca Sedimentaria / Basamento Intrusivo. Contraste de Densidad = –1,00 g/cm³. Línea roja muestra coincidencia con sección TEM



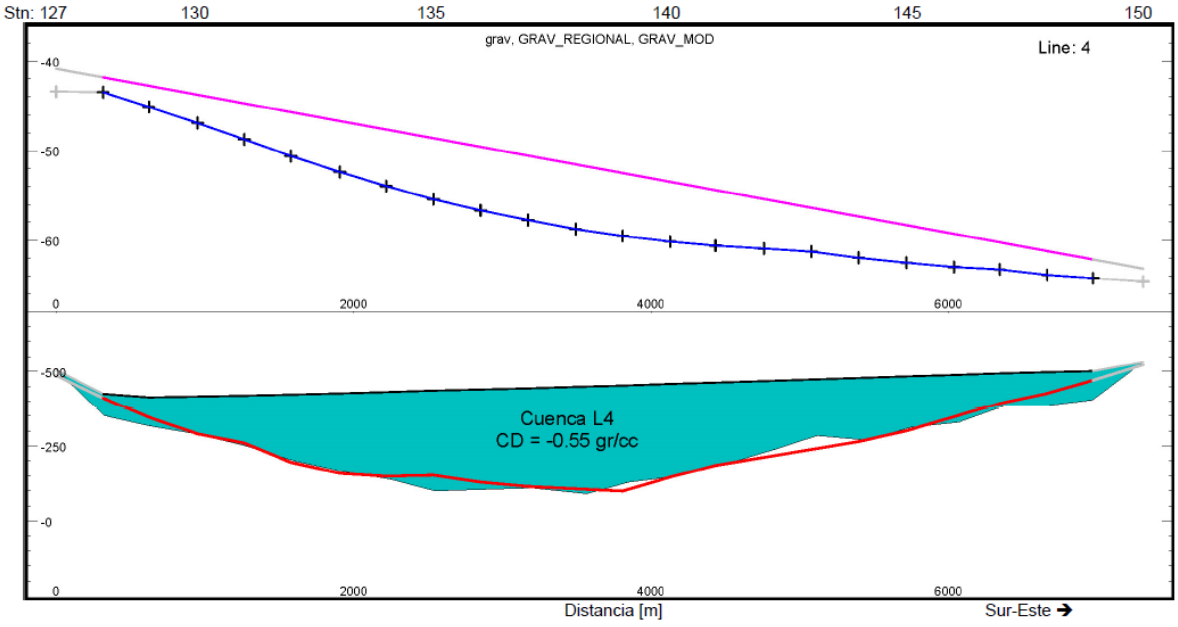
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-18: Modelamiento Gravimétrico 2D (Cuenca) Línea L2. Cuenca Sedimentaria / Basamento Intrusivo. Contraste de Densidad = –0,90 g/cm³. Línea roja muestra coincidencia con sección TEM



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-19: Modelamiento Gravimétrico 2D (Cuenca) Línea L3. Cuenca Sedimentaria / Basamento Volcano-Sedimentario. Contraste de Densidad = –0,44 g/cm³. Línea roja muestra coincidencia con sección TEM



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-20: Modelamiento Gravimétrico 2D (Cuenca) Línea L3. Cuenca Sedimentaria / Basamento Volcano-Sedimentario. Contraste de Densidad = –0,55 g/cm³. Línea roja muestra coincidencia con sección TEM

1.1.2.3 Perfilaje geofísico de pozos

El objetivo del perfilaje es la medición de propiedades físicas de las rocas alrededor de los pozos a lo largo de toda su extensión, con el fin de lograr la mejor descripción litológica de cada pozo en función de las propiedades medidas. De acuerdo con lo solicitado se usó la Sonda Dual Neutrón (DNNS) la cual mide Porosidad y Gamma Natural.

La ubicación geográfica de los pozos perfilados, el nivel del acuífero, los metros perfilados y la fecha de medición, se señalan en la Tabla 1-2. Las coordenadas están referidas al Sistema Coordenado Datum WGS84 UTM H-19S (Figura 1-21). Los trabajos de terreno se ejecutaron durante el mes de septiembre del año 2021.

Tabla 1-2: Datos de los Pozos Perfilados

Pozo	Este (m) WGS 84	Norte (m) WGS 84	Nivel acuífero	Metros perfilados	Fecha medición
4	358.426	6.919.275	6,89	7	22-09-21
7	325.493	6.859.001	14,46	37	24-09-21
8	327.815	6.852.927	20,21	43	24-09-21
19	339.532	6.886.710	21,83	23	23-09-21
31	328.268	6.888.412	26,07	59	23-09-21
37	307.350	6.859.001	1,36	3	24-09-21
39	334.943	6.911.995	47,73	49	22-09-21
40	333.570	6.915.087	28,43	34	22-09-21

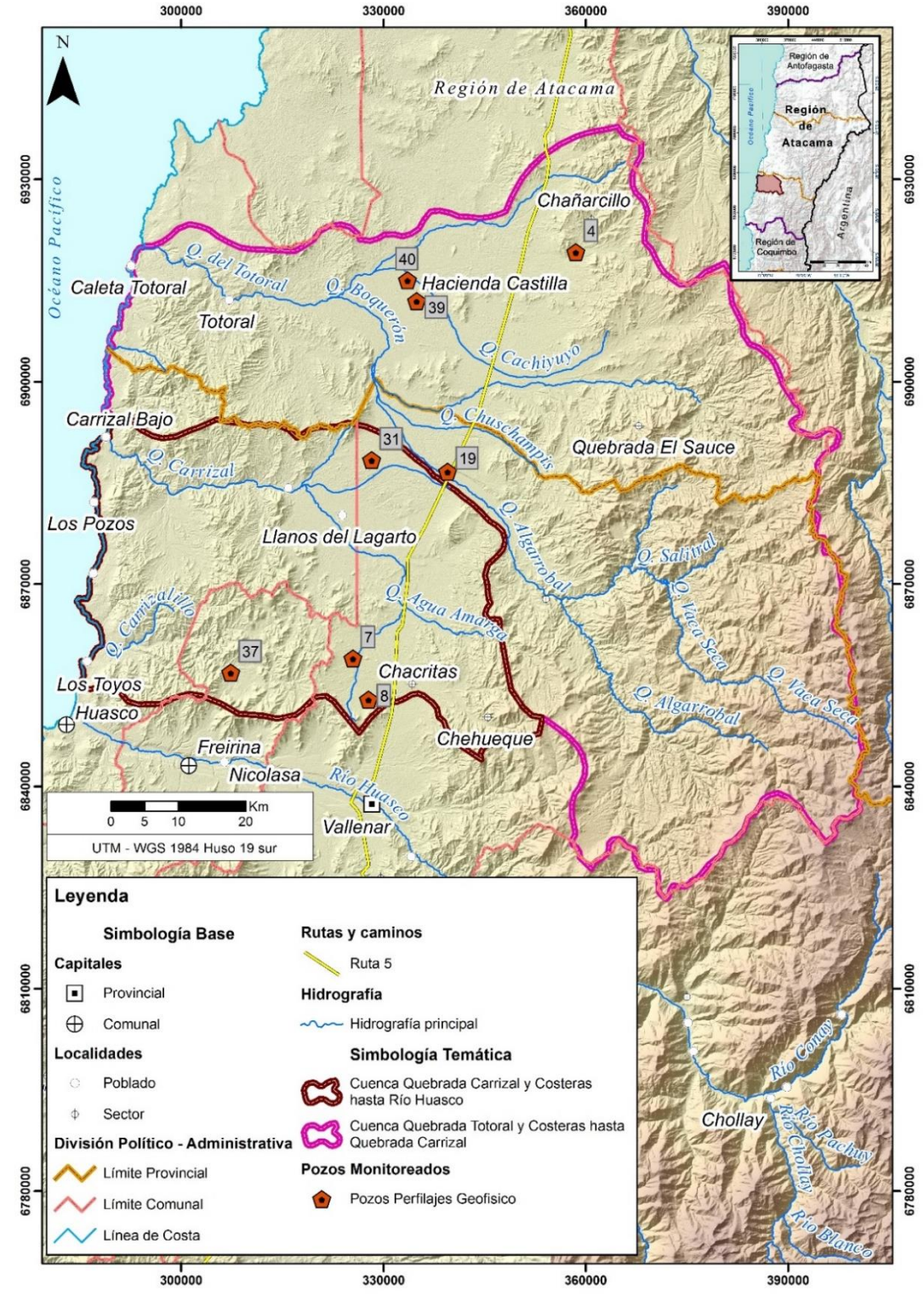
Fuente: Elaboración propia.

La unidad de Porosidad LPU, del inglés Limestone Porosity Unit, implica que sondas de este tipo (Dual Neutrón) son calibradas en un bloque de roca caliza pura, entregando valores en porcentaje de porosidad de una roca caliza. Por otro lado, los valores de Gamma Natural son medidos, por esta sonda, en Cuentas Por Segundo (CPS). (ver Tabla 1-3.)

Tabla 1-3: Detalle de los parámetros y sus unidades, medidos por la sonda empleada

Sonda	Parámetros	Unidades
Dual-Neutrón (DNNS)	Porosidad	LPU
	Gamma Natural	CPS

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-21: Mapa de ubicación perfilaje geofísico en pozos

En las Figura 1-22: Fotografías del trabajo en terreno Pozo 4 a Figura 1-37, se interpretaron las diagrafías registradas para cada pozo perfilado, considerando que el parámetro de Gamma Natural muestra variaciones correlacionables con los cambios observados en la Porosidad, donde los incrementos de Gamma Natural, que se asocia a la presencia de arcilla, afectan a la Porosidad, haciendo que esta disminuya y por otro lado, una disminución en los valores de Gamma Natural indicaría una disminución en la cantidad de arcilla, los que implicaría un aumento en la Porosidad. En este set de figuras, también se presentan fotografías de los pozos perfilados.

Pozo 4

En la Figura 1-23 se observa la interpretación del perfilaje del Pozo 4, la cual se describe a continuación:

Los sectores que contienen valores altos de Gamma Natural junto con valores bajos de Porosidad, lo que implicaría la presencia de sedimentos con granulometrías finas, siendo interpretados como arcillas y limos, son los siguientes:

2,07 m – 2,94 m

3,12m – 3,85 m

Mientras que el sector que contiene valores medios de Gamma Natural junto con valores altos de Porosidad, lo que indicaría la presencia de granulometrías medias y que fue interpretado como arenas y gravas, es el comprendido entre 2,94 m y 3,12 m de profundidad.

Por otro lado, el sector que registró menores valores de Gamma Natural y altos valores de Porosidad, lo que explicaría la presencia de granulometrías gruesas, siendo interpretado como gravas y arenas, corresponde al tramo entre 3,85 m y 5,5 m de profundidad.

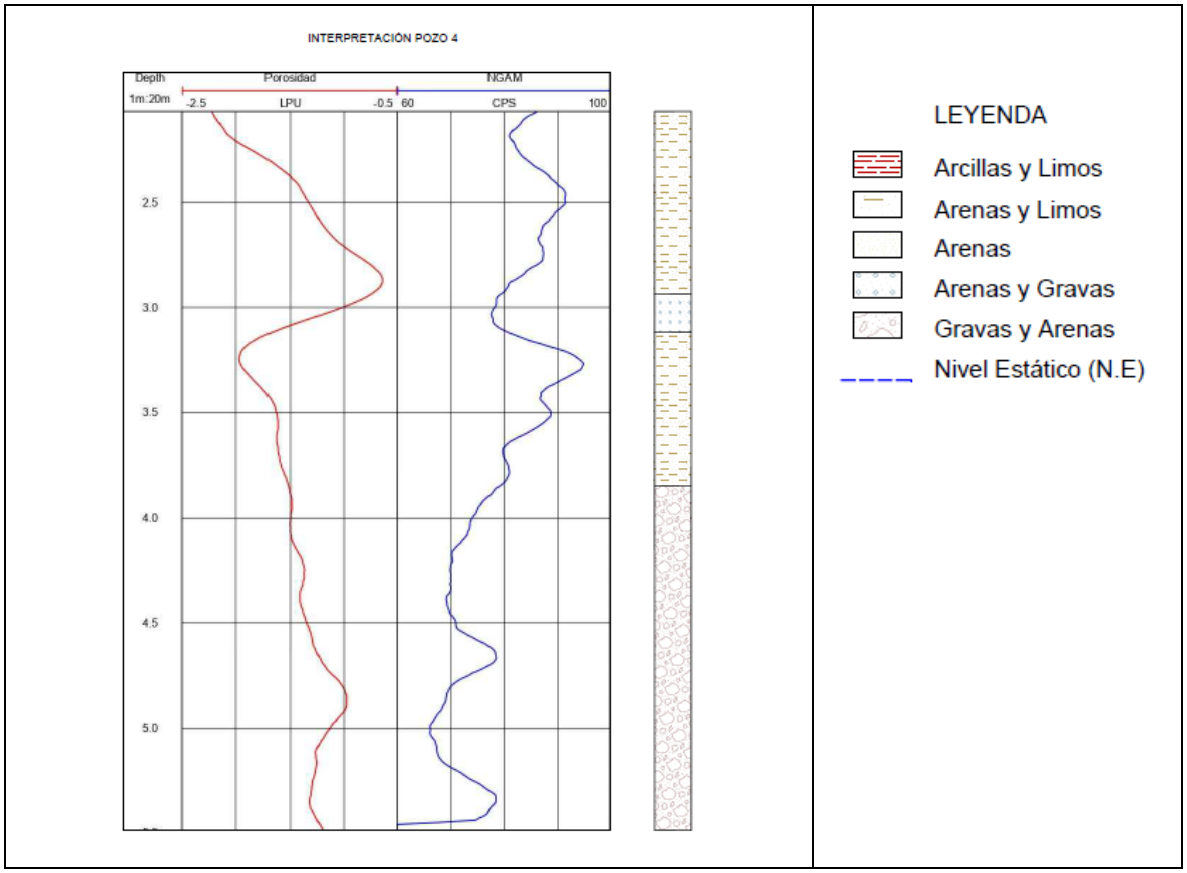
Finalmente, no se detectan zonas saturadas, pues no se observa un aumento brusco en los valores de porosidad y, según lo informado, el nivel del acuífero se encontraría a 6,89 m de profundidad.

Pozo 4



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-22: Fotografías del trabajo en terreno Pozo 4



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-23: Interpretación del perfilaje geofísico en el Pozo 4

Pozo 7

La Figura 1-25 representa la interpretación del perfilaje del Pozo 7, la cual se describe a continuación:

Los sectores que contienen valores altos de Gamma Natural junto con valores bajos de Porosidad, lo que indicaría la presencia de sedimentos con granulometrías finas y que fueron interpretados como arenas son los siguientes:

1,28m – 16,80 m

29,43m – 37,5 m

Mientras que el sector que contiene valores medios de Gamma Natural junto con valores altos de Porosidad, lo que indicaría la presencia de granulometrías medias y que fue interpretado como arenas y gravas es el comprendido entre 20,57 m y 26,93 m de profundidad.

Por otro lado, los sectores que registran menores valores de Gamma Natural y altos valores de Porosidad, los que revelarían la presencia de granulometrías gruesas, siendo interpretados como gravas y arenas son los siguientes:

16,8 m – 20,57 m

26,93 m – 29,43 m

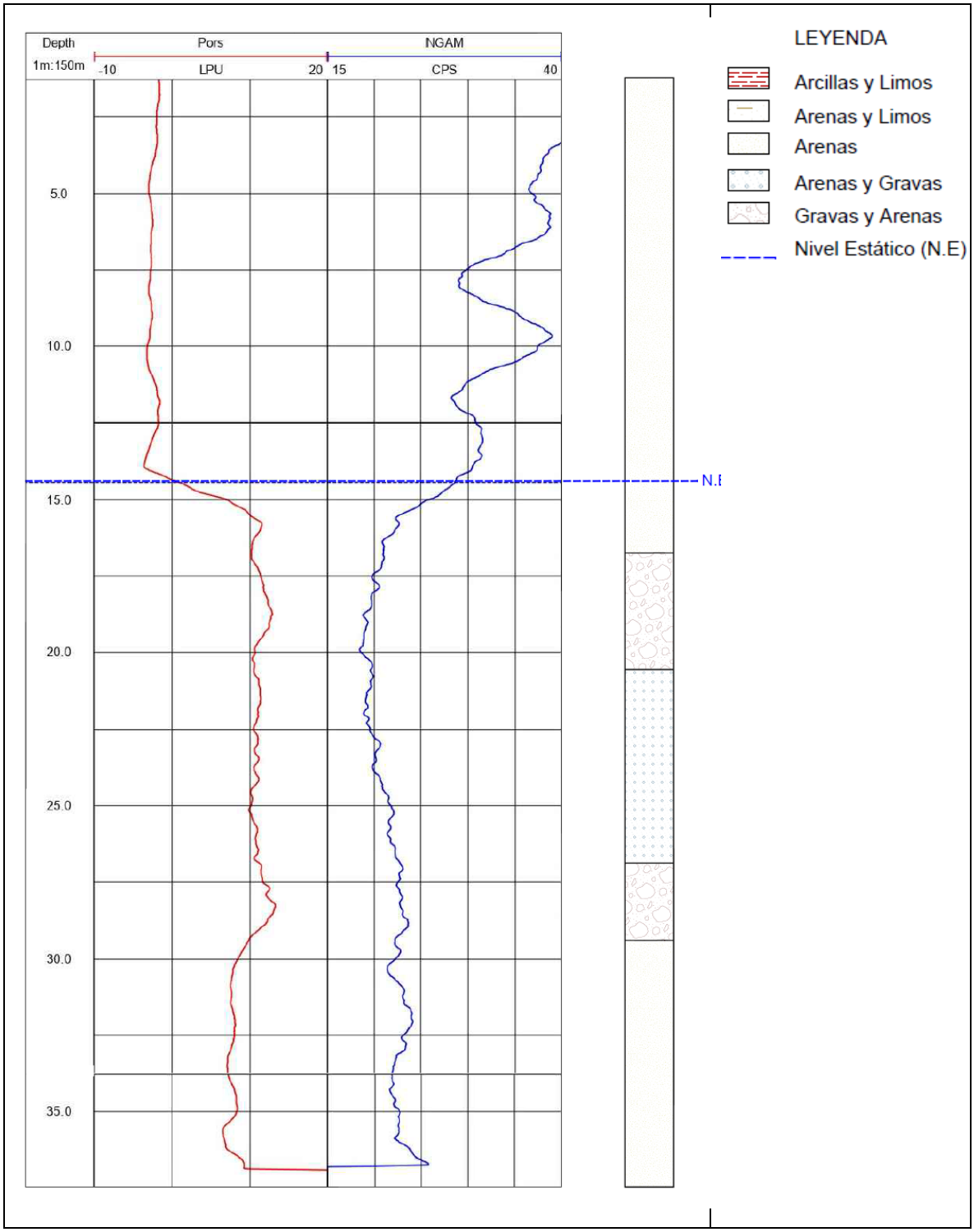
Finalmente, el nivel del acuífero es observado a la profundidad en la cual los valores de porosidad sufren un brusco aumento, la que corresponde a 14,44 m.

Pozo 7



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-24: Fotografías del trabajo en terreno Pozo 7



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-25: Interpretación del perfilaje geofísico en el Pozo 7

Pozo 8

La Figura 1-27 describe la interpretación del perfilaje del Pozo 8, la cual se detalla a continuación:

La zona que indica valores altos de Gamma Natural junto con valores bajos de Porosidad, lo que implicaría la presencia de sedimentos con granulometrías finas, siendo interpretada como arenas y limos es la comprendida entre 7,30 m y 20,55 m de profundidad. Mientras que los sectores que describen valores medios de Gamma Natural junto con valores altos de Porosidad, lo que indicaría la presencia de granulometrías medias a gruesas y que fueron interpretados como arenas y gravas son los siguientes:

1,81m – 6,17 m
20,55m – 27,36 m
30,1m – 44,50 m

Por otro lado, los sectores que registran menores valores de Gamma Natural y altos valores de Porosidad, lo que revelaría la presencia de granulometrías gruesas, siendo interpretados como gravas y arenas son los siguientes:

6,17m – 7,30 m
27,36 m – 30,10 m

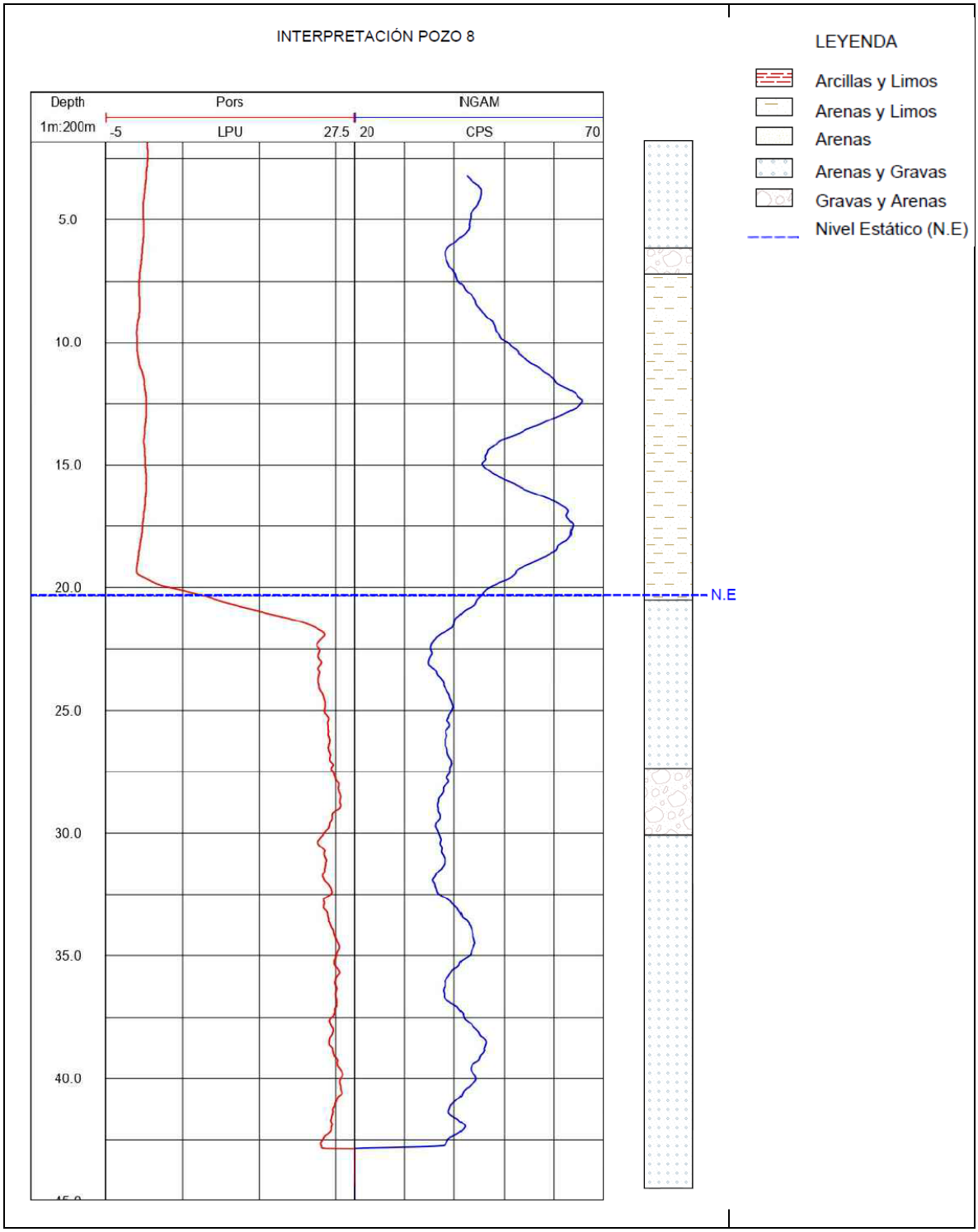
Finalmente, el nivel del acuífero es observado a la profundidad de 20,35 m, cuando los valores de porosidad sufren un brusco aumento.

Pozo 8



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-26: Fotografías del trabajo en terreno Pozo 8



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-27: Interpretación del perfilaje geofísico en el Pozo 8

Pozo 19

La Figura 1-29 presenta la interpretación del perfilaje del Pozo 19, la cual se describe a continuación:

Los sectores que contienen los valores más altos de Gamma Natural junto con valores bajos de Porosidad, lo que indicaría la presencia de sedimentos con granulometrías finas, siendo interpretados como arcillas y limos son los siguientes:

2,07m -6,40 m
7,74m -9,01 m
13,21m -14,72 m
16,24m -20,33 m

Mientras que las zonas que contiene valores medios a altos de Gamma Natural junto con valores bajos de Porosidad, lo que indicaría la presencia de granulometrías medias a bajas y que fueron interpretadas como arenas y limos son las siguientes:

6,40m -7,74 m
9,01 m-13,21 m
20,33 m-21,7 m

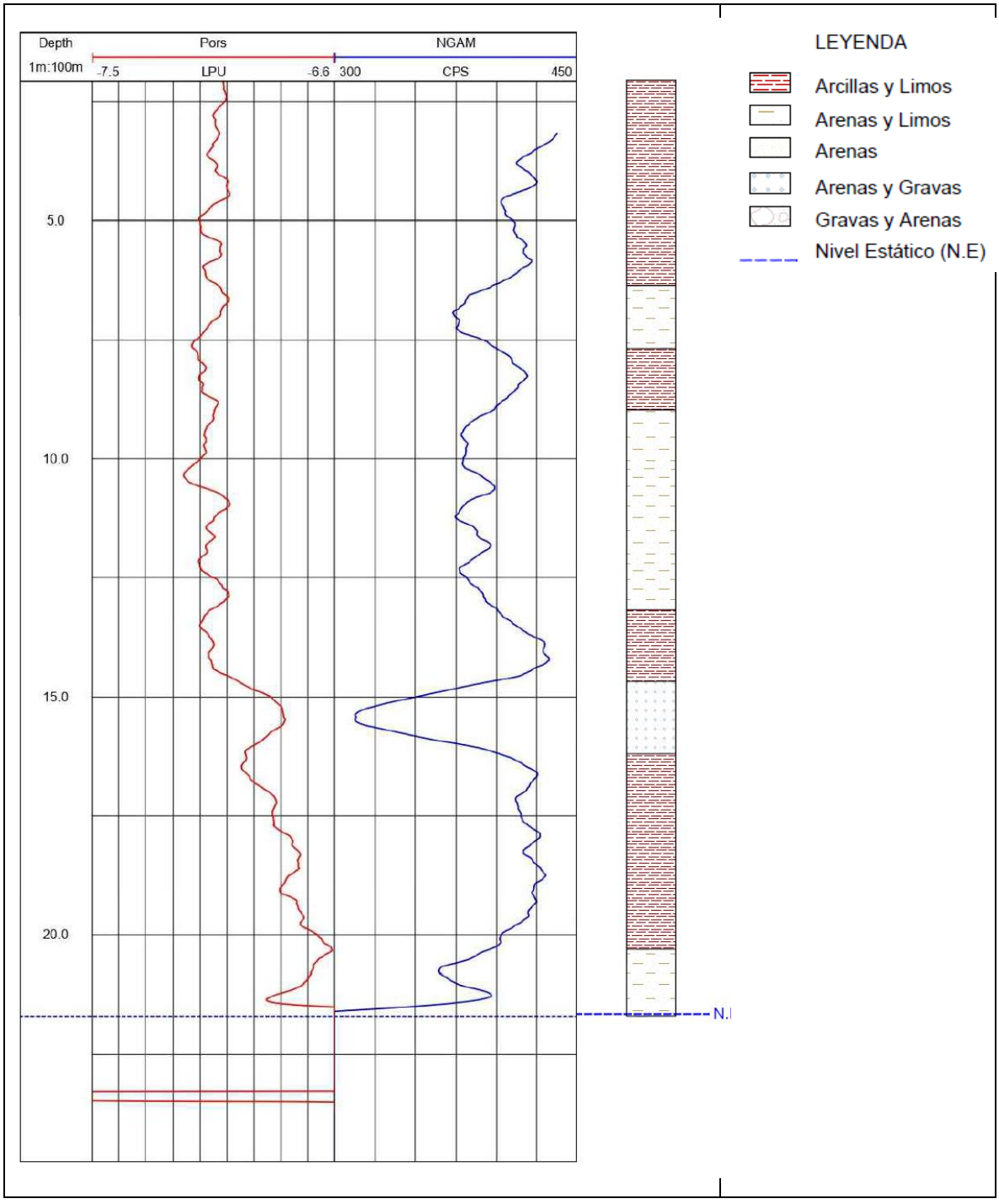
Por otro lado, el sector que registra menores valores de Gamma Natural y altos valores de Porosidad, lo que revelaría la presencia de granulometrías medias a gruesas, siendo interpretado como arenas y gravas es el comprendido entre 14,72 m y 16,24 m de profundidad. Finalmente, el nivel del acuífero es observado a la profundidad de 21,7 m, en el sector en que los valores de porosidad sufren un brusco aumento.

Pozo 19



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-28: Fotografías del trabajo en terreno Pozo 19



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-29: Interpretación del perfilaje geofísico en el Pozo 19

Pozo 31

La Figura 1-31 presenta la interpretación del perfilaje del Pozo 31, la cual se describe a continuación:

El sector que contiene valores altos de Gamma Natural junto con valores bajos de Porosidad, lo que indicaría la presencia de sedimentos con granulometrías finas, siendo interpretado como arenas es el comprendido entre 2,01 m y 27,95 m.

Mientras que los sectores que presentan valores medios a bajos de Gamma Natural junto con valores altos de Porosidad, lo que indicaría la presencia de granulometrías medias a gruesas y que fueron interpretados como arenas y gravas son los siguientes:

39,8m – 47,4 m

50,45m – 57,87 m

Por otro lado, los sectores que registran menores valores de Gamma Natural y altos valores de Porosidad, los que revelarían la presencia de granulometrías gruesas, siendo interpretados como gravas y arenas son los siguientes:

27,95m – 39,8 m

47,4m – 50,45 m

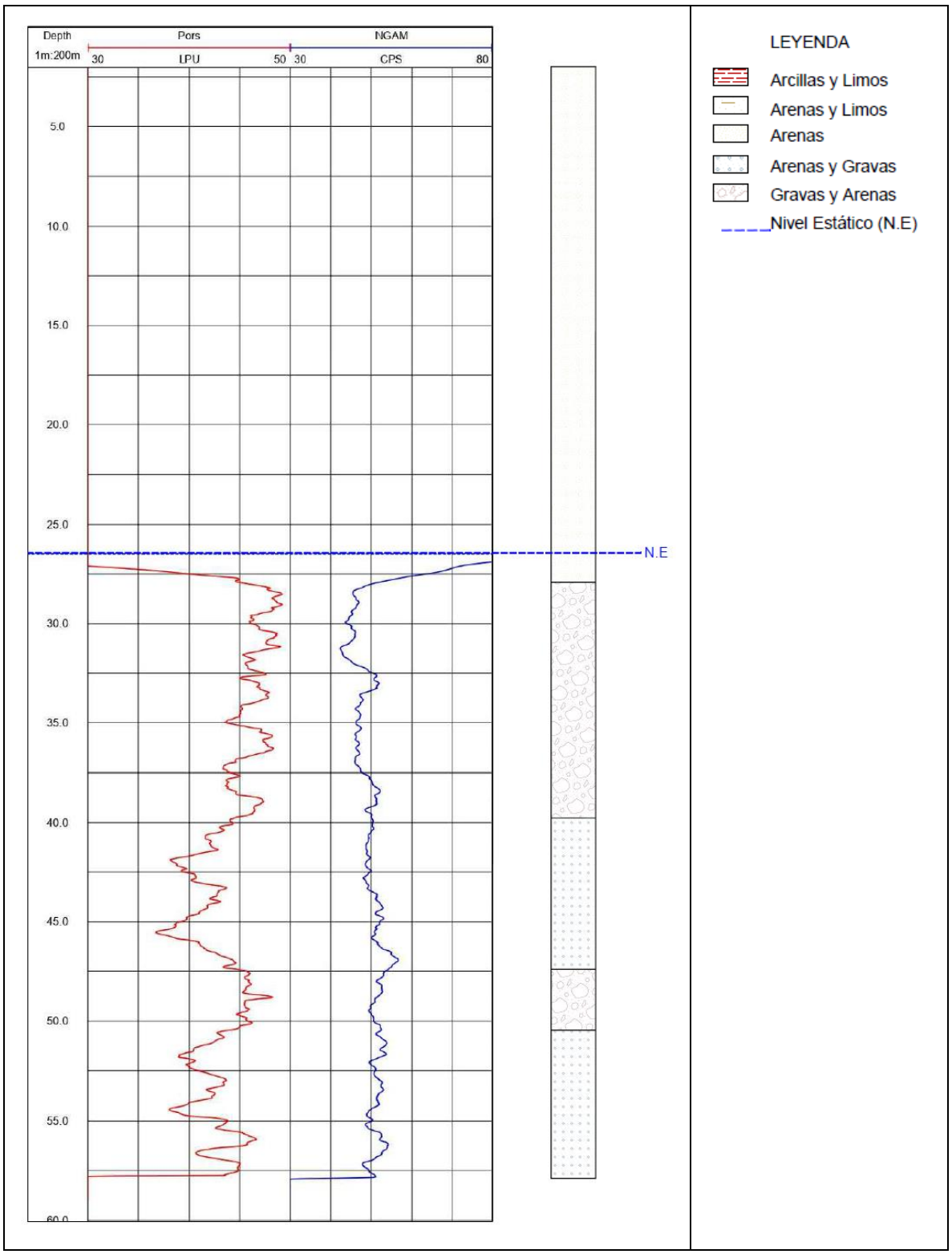
Finalmente, el nivel del acuífero es observado a la profundidad de 26,47 m, en el área en que los valores de porosidad sufren un brusco aumento.

Pozo 31



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-30: Fotografías del trabajo en terreno Pozo 31



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-31: Interpretación del perfilaje geofísico en el Pozo 31

Pozo 37

La Figura 1-33 presenta la interpretación del perfilaje del Pozo 37, el cual correspondía a una noria de 3 m, profundidad insuficiente para realizar el sondeo, pues se necesitan al menos 5 m. Debido a esto, se perfiló por fuera del pozo (Figura 1-32), lo que implicó que no se registraran valores de Gamma Natural desde los 1,73 m, por lo que, a partir de esta profundidad, se consideraron solo los valores de Porosidad para realizar la interpretación:

El sector que contiene valores altos de Gamma Natural junto con valores bajos de Porosidad, lo que indicaría la presencia de sedimentos con granulometrías finas, siendo interpretado como arenas es el comprendido entre 1,09 m y 1,54 m. Mientras que los sectores que presentan valores medios de Porosidad, lo que indicaría la presencia de granulometrías medias a gruesas y que fueron interpretados como arenas y gravas son los siguientes:

1,54m -1,82 m

2,09m -2,80 m

Por otro lado, el sector que registra altos valores de Porosidad, lo que revelaría la presencia de granulometrías gruesas, siendo interpretado como gravas y arenas, es el comprendido entre 1,82 m y 2,09 m.

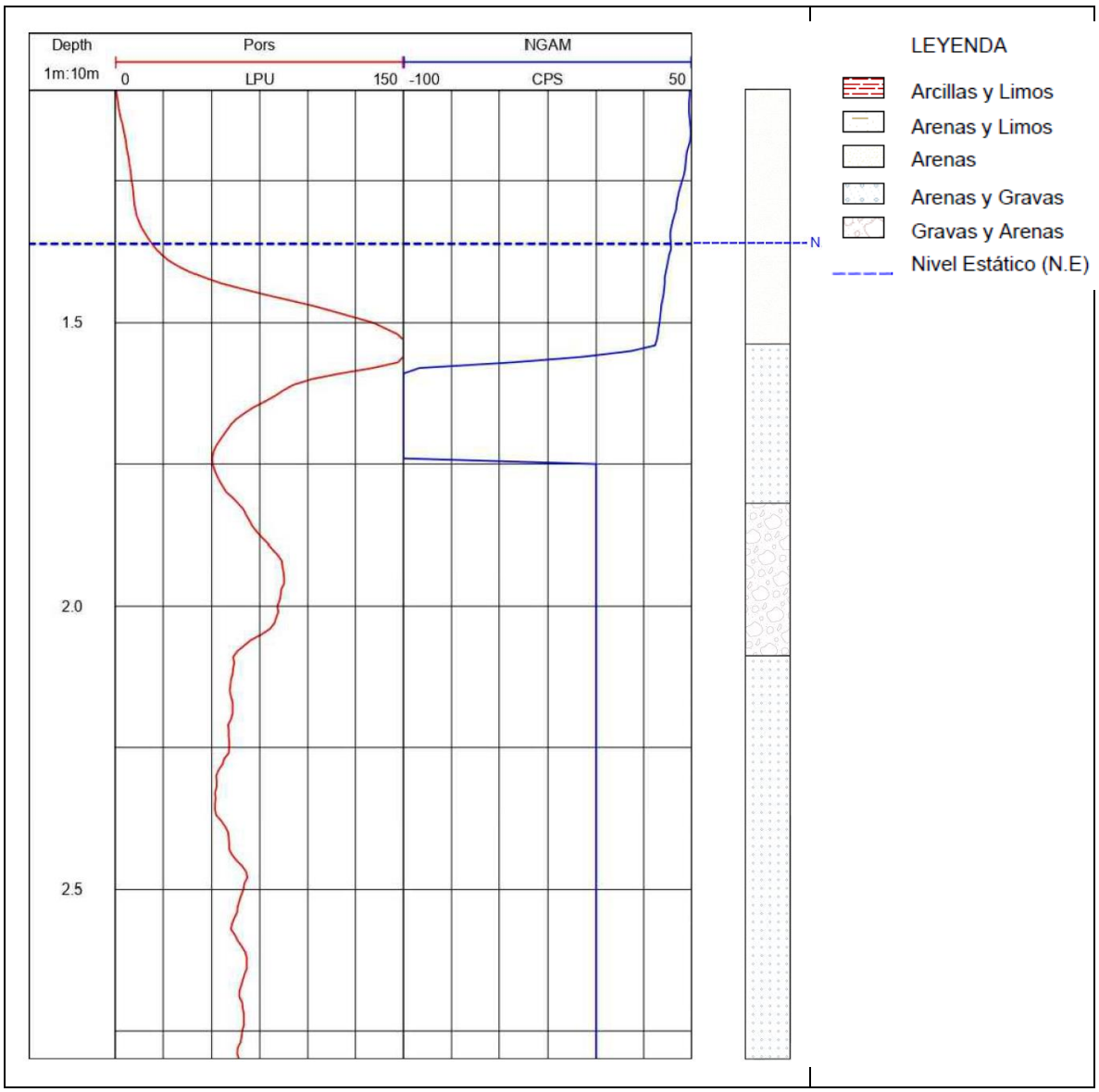
Finalmente, el nivel del acuífero es observado a la profundidad de 1,36 m cuando los valores de Porosidad sufren un brusco aumento.

Pozo 37



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-32: Fotografías del trabajo en terreno Pozo 37



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-33: Interpretación del perfilaje geofísico en el Pozo 37

Pozo 39

La Figura 1-35 presenta la interpretación del perfilaje del Pozo 39, en la cual, no se observa una evidente correlación entre los valores de Porosidad y los de Gamma Natural, por lo que, al ser perfilado este pozo en seco, solo se consideraron los valores de Gamma Natural para realizar la interpretación:

El sector que registra valores altos de Gamma Natural, lo que indicaría la presencia de sedimentos con granulometrías finas, siendo interpretado como arenas y limos es el comprendido entre 31,4 m y 47,5 m.

Mientras que el sector que presenta valores medios a bajos de Gamma Natural, lo que implicaría la presencia de granulometrías medias y que fue interpretado como arenas y gravas es el comprendido entre 13,6 m y 31,4 m.

Por otro lado, el sector que registra menores valores de Gamma Natural, lo que revelaría la presencia de granulometrías gruesas, siendo interpretado como gravas y arenas es el que se encuentra entre 1,94 m y 13,60 m.

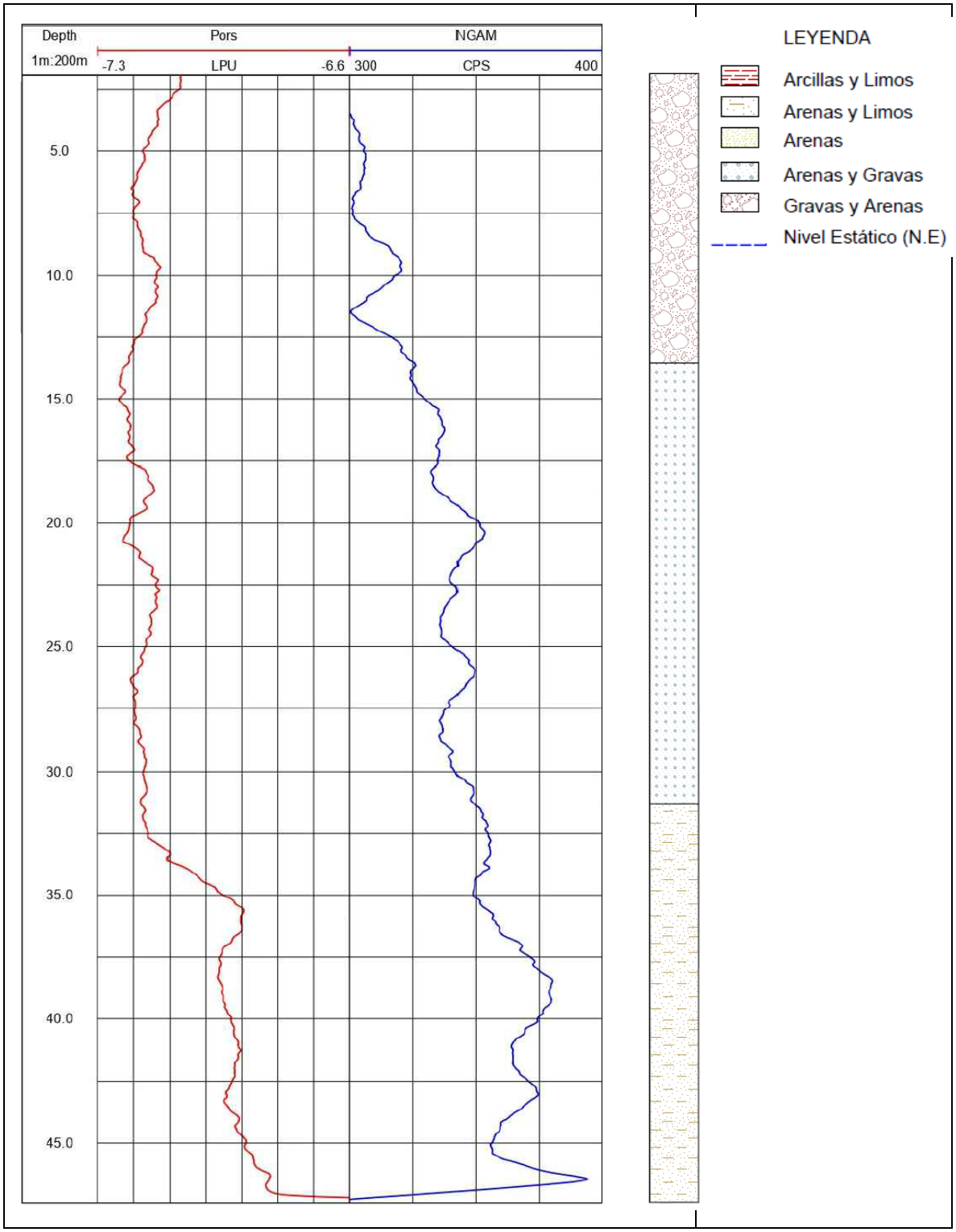
Finalmente, no se detectan zonas saturadas, pues no se observa un aumento brusco en los valores de porosidad y según lo informado, el nivel del acuífero se encontraría a 47,73 m de profundidad.

Pozo 39



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-34: Fotografías del trabajo en terreno Pozo 39



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-35: Interpretación del perfilaje geofísico en el Pozo 39

Pozo 40

La Figura 1-37 presenta la interpretación del perfilaje del Pozo 40 la cual se describe a continuación:

El sector que contiene valores altos de Gamma Natural junto con valores bajos de Porosidad, lo que indicaría la presencia de sedimentos con granulometrías finas, siendo interpretado como arcillas y limos es el comprendido entre 2,06 m y 7,42 m.

Mientras que los sectores que presentan valores medios a bajos de Gamma Natural junto con valores medios de Porosidad, lo que indicaría la presencia de granulometrías medias y que fueron interpretados como arenas y gravas son los siguientes:

7,42m -10,80m

15,32m -17,50 m

Por otro lado, los sectores que registran menores valores de Gamma Natural y altos valores de Porosidad, los que revelarían la presencia de granulometrías gruesas, siendo interpretados como gravas y arenas son los siguientes:

10,80m -15,32 m

17,5m -24,9 m

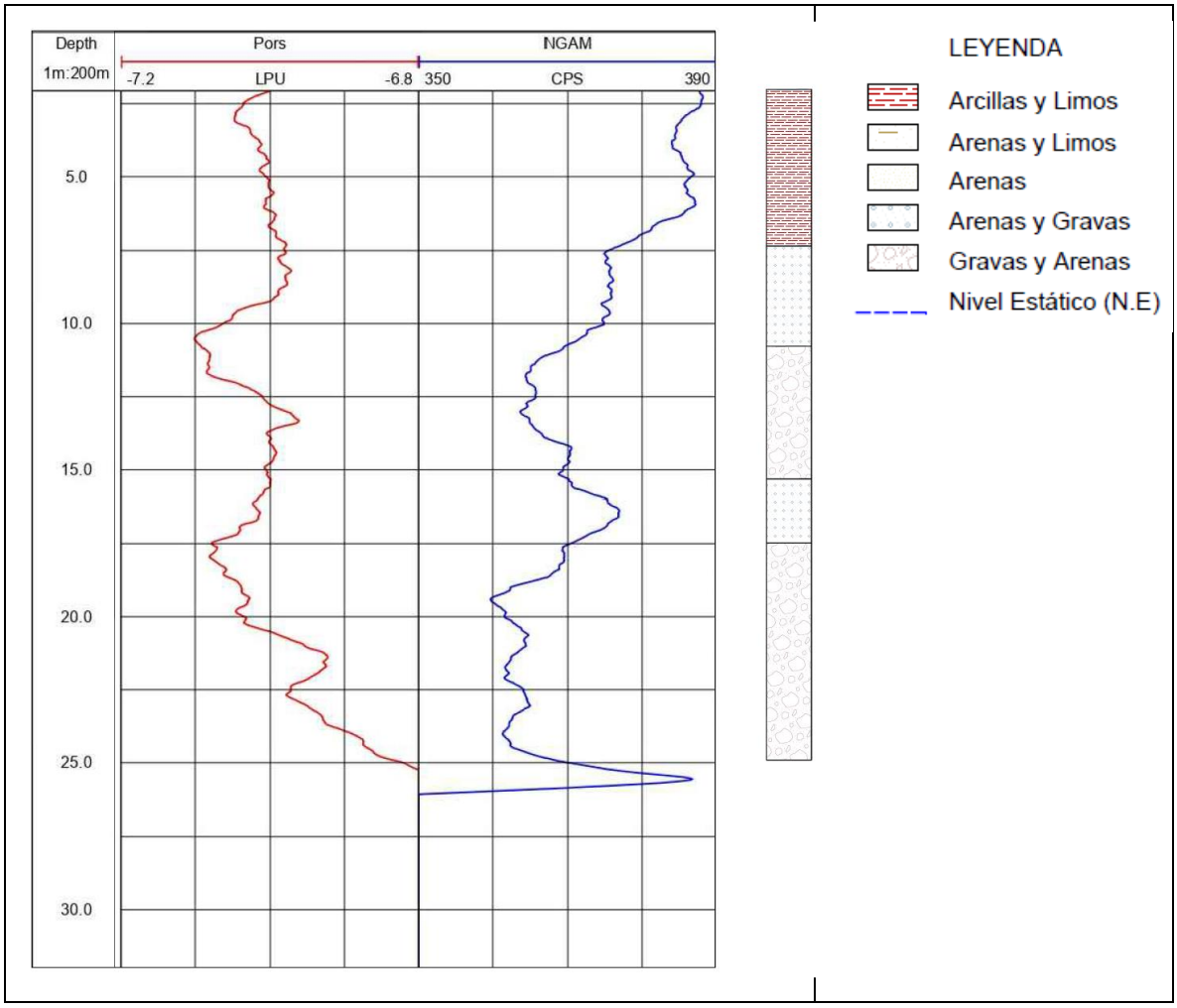
Finalmente, no se detectan sectores saturados, pues no se observa un aumento brusco en los valores de porosidad y, según lo informado, el nivel del acuífero se encontraría a 28,42 m de profundidad. El presente reporte se efectúo sin conocimiento de la descripción litológica de los pozos, por lo que no fue posible correlacionarla con los parámetros medidos.

Pozo 40



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-36: Fotografías del trabajo en terreno Pozo 40



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-37: Interpretación del perfilaje geofísico en el Pozo 40

1.1.2.4 Conclusiones

El estudio geofísico mediante TEM permitió caracterizar las resistividades del subsuelo en 160 estaciones. Con ellas fue posible generar secciones geoeléctricas para cuatro perfiles en la cuenca de Carrizal y diez secciones en la Cuenca de Totoral. A su vez, el estudio de gravimetría, permitió confirmar las profundidades de basamento establecidas mediante el método TEM.

Por otro lado, el estudio de perfilaje geofísico, si bien no fue posible realizarlo en los sectores de interés definidos para el estudio TEM y Gravimétrico, permitió levantar información puntual en sitios o sectores complementarios.

Toda esta información, se utilizará junto a los antecedentes hidrogeológicos para generar una geometría de unidades hidrogeológicas, como base conceptual para la elaboración de un modelo de cuenca y para el modelo numérico a construir.

1.2 Modelo Hidrogeológico Conceptual

Las cuencas de Carrizal y Totoral se presentan en este estudio como una sola unidad dado que están interconectadas hidráulicamente tanto subterránea como superficialmente. En particular el estudio de DGA, (2010), estima un flujo subterráneo entre ambas cuencas.

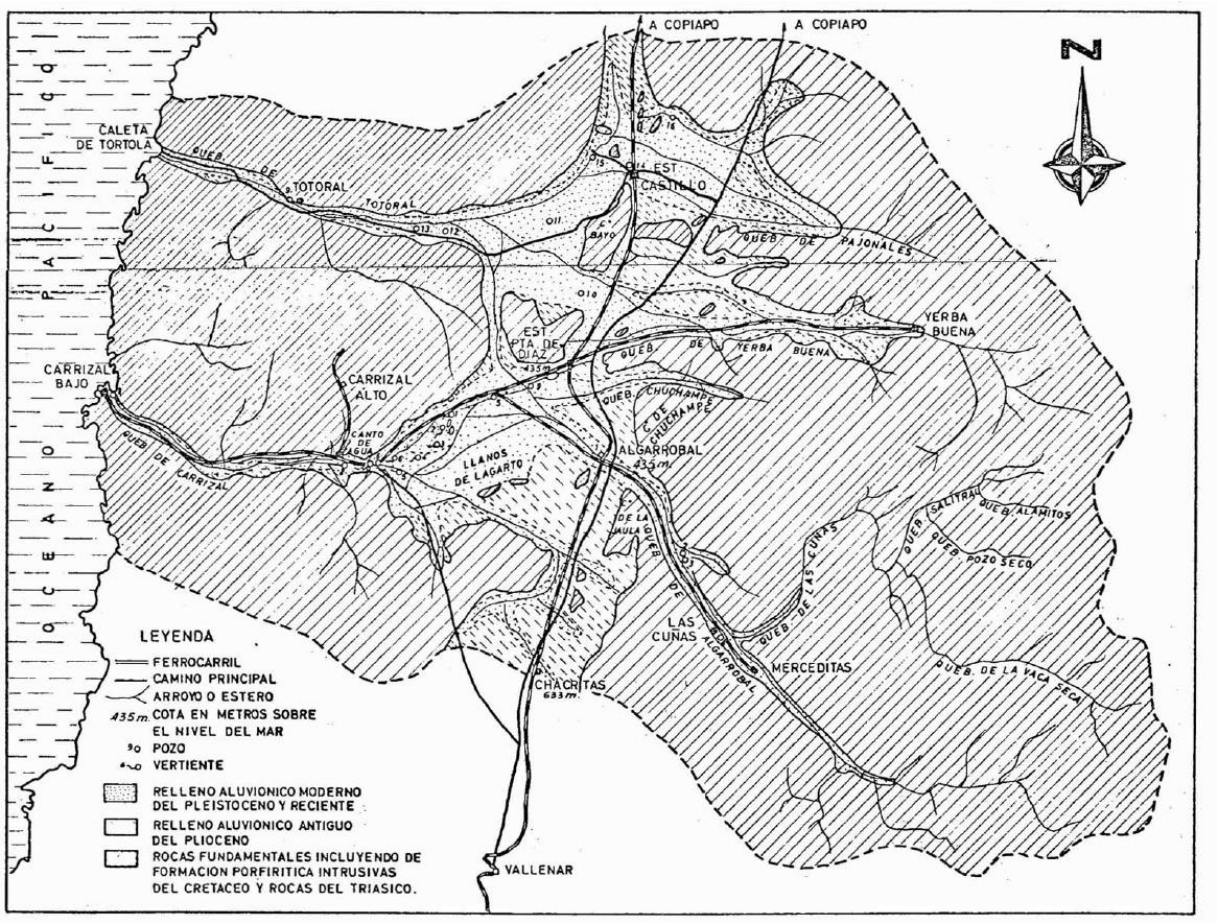
Uno de los primeros estudios que aborda aspectos relevantes para entender el modelo hidrogeológico conceptual de las cuencas en estudio corresponde al realizado CMP (1969).

En este estudio se muestra un resumen de las características geológicas, hidrológicas y de antecedentes de pozos de la cuenca. La Figura 1-38 muestra un mapa con el entendimiento geológico de las cuencas en estudio a esa fecha.

El estudio de CMP (1969), señala que el relleno sedimentario de la subcuenca intermedia deriva de aluviones o corrientes de barro conformados por una mezcla de gravas con presencia de bloques o bolones de gran tamaño y con abundante porcentaje de finos de arenas, limos y arcillas. Estos depósitos condicionan el espesor de esta parte de la cuenca lo cual es coherente con los antecedentes de pozos existentes a esa fecha. Lo anterior, según los autores de este trabajo, señala la dificultad para definir las divisiones de aguas tanto superficiales como subterráneas, ya que producto de las crecidas, las quebradas principales logran sobrepasar los portezuelos que limitan la subcuenca intermedia de la región de Algarrobal con la planicie de la región de Castilla, a través del portezuelo de la Serranía de Pajaritos.

Estos depósitos aluvionales de permeabilidad poco favorable debido al porcentaje de finos arcillosos que poseen presentan intercalaciones más permeables asociados a antiguos cauces superficiales capaces de lavar finos y dejar in situ los materiales más gruesos del aluvión. Por otra parte, también se encuentran intercalaciones mucho

menos permeables y con predominio franco de limos-arcillas, en sectores marginales a dichos cauces donde se emplazaron lagunas temporales CMP (1969).



Fuente: CMP (1969)

Figura 1-38: Unidades Geológicas para las cuencas Carrizal y Totoral

De acuerdo con todo lo anterior, puede indicarse que los acuíferos de buena permeabilidad y susceptibles de rendir cantidades importantes de aguas subterráneas y dependiendo de las condiciones de recarga de la cuenca, tendrán típicamente una repartición anárquica y ligada a los antiguos cauces que alguna vez acumularon los materiales favorables, es decir, tales acuíferos tendrán escasa o ninguna continuidad lateral y, longitudinalmente, se presentaran sinuosos de acuerdo al recorrido de los diversos cauces que lo acumularon.

CMP (1969) incluye un resumen de las características de algunos de los sondajes efectuados por CORFO (incluidos Anexo A del estudio de CMP), con comentarios relevantes para la interpretación de las condiciones hidrogeológicas de la cuenca a partir de los Sondajes denominados S.A.S.-706, S.A.S.-683 y S.A.S.-644.

Para el sondaje S.A.S.-706, CMP (1969) (ver Tabla 1-4), destaca la presencia de dos zonas acuíferas con un nivel estático asociado, en parte, a la presión de confinamiento de la napa inferior; es decir, este nivel sería más alto que el correspondiente en este sector al acuífero superior. Por otra parte, se estima que los materiales cortados por el sondaje corresponden especialmente a depósitos acumulados por la quebrada Algarrobal en escurrimientos hacia el Norte. En estas condiciones, se produjeron grandes avenidas de agua con gran porcentaje de finos que no pudieron ser descargados a la cuenca de Totoral.

Tabla 1-4: Sondaje S.A.S S-706

Profundidad total (m)	97	
Nivel estático (m)	16,61	
Capas acuíferas (m)	24,10 - 39,00	Según ranurado habilitación)
	81,20 - 96,00	Según ranurado habilitación)
Caudal de prueba (l/s)	5	
Depresión caudal prueba (m)	Casi total (hasta el fondo del sondaje)	
Rendimiento probable acuífero superior (l/s)	2	
Rendimiento probable acuífero inferior (l/s)	3	
Perfil geológico resumido (datos perforista) (m)	0,00 - 38,50	Mezcla de grava, bolones, arena, con poca arcilla o con capitas muy delgadas arcillosas
	38,50 - 82,50	Arcillas, arenas y poca grava
	82,50 - 97,00	Arena, grava y arcilla

Fuente: Elaboración propia con antecedentes CMP (1969)

El sondaje S.A.S.-683, según CMP (1969), (ver Tabla 1-5) no cortaría el acuífero inferior del sondaje S.A.S.-706, para lo cual propone dos interpretaciones. La primera es que el acuífero inferior tendría escasa continuidad lateral en esta parte y se presenta en otro lugar, posiblemente hacia el Norte. La otra posibilidad planteada es que el acuífero inferior no tiene continuidad en dirección al valle inferior de Quebrada Boquerón y cambia

de rumbo en las cercanías del sondaje S.A.S.-706 dirigiéndose al sur poniente. En cuanto al acuífero superior, el sondaje S.A.S.-683 documenta las pobres condiciones de explotación de aguas subterráneas de este sitio.

Tabla 1-5: Sondaje S.A.S S-683

Profundidad total (m)	150,6	
Nivel estático (m)	20,03	Bajo superficie
Capas acuíferas (m)	21,0 - 32,81	Según ranurado habilitación)
Caudal de prueba (l/s)	3	
Depresión caudal prueba (m)	10 (Nivel de trabajo a 30m)	
Rendimiento probable acuífero superior (l/s)	3	
Perfil geológico resumido (datos perforista) (m)	0,00 - 33,50	Arena, grava, bolones chicos, arcilla
	33,5 - 150,6	Arcillas, limo y arenas en capas a menudo compactas o endurecidas. Ocasionalmente estratos delgados con más arena, algunos bolones chicos y algo de grava. No define zonas acuíferas favorables.

Fuente: Elaboración propia con antecedentes CMP (1969)

En relación con el sondaje S.A.S.-644, CMP (1969), señala que corresponde a la mejor captación de aguas subterráneas eventualmente disponibles a esa fecha en la zona. Según estos autores, la estratigrafía del sondaje señala claramente la existencia de un cauce, relativamente reciente y ampliamente atractivo para prospecciones (zona III de Plano Nro 4 en CMP (1969)). Los autores comentan además que es probable que la falla indicada en el Plano Nro 4 tenga alguna relación con el emplazamiento de dicho cauce adosado a los cordones de cerros occidentales.

Otro estudio relevante de comentar corresponde al realizado por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA por sus siglas en inglés) del año 1988 denominado: Informe Final para el estudio de factibilidad sobre el proyecto de desarrollo agrícola mediante aprovechamiento de aguas subterráneas en Tololo Pampa en la Región de Atacama.

Tabla 1-6: Sondaje S.A.S S-644

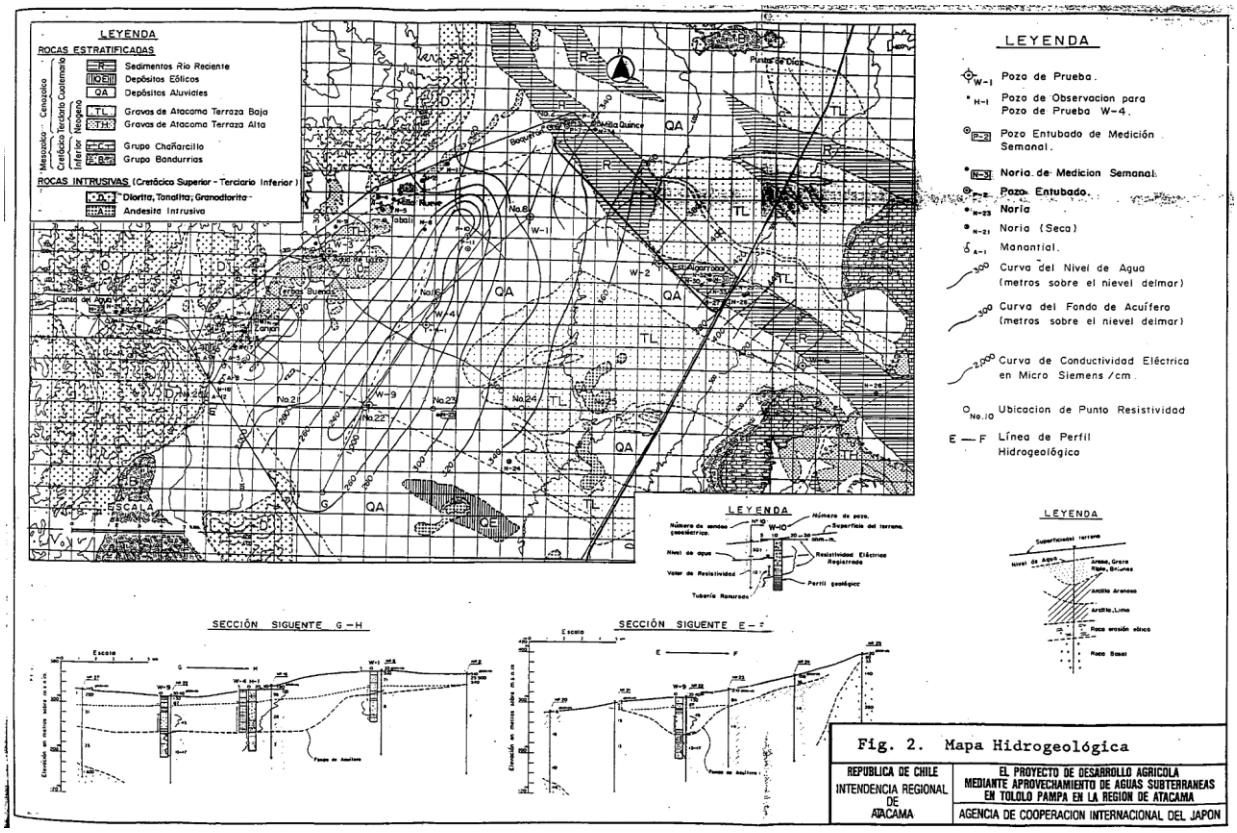
Profundidad total (m)	60	
Nivel estático (m)	11,94	Bajo superficie
Capas acuíferas (m)	15,00 - 17,00	Todas según ranurado de la habilitación Todas constituyen acuífero superior
	18,00 - 19,00	
	21,00 - 22,00	
	22,92 - 26,00	
	28,00 - 40,00	
	21,00 - 32,81	
Caudal de prueba (l/s)	20	
Depresión caudal prueba (m)	28 (Nivel de trabajo a 40m)	
Rendimiento probable acuífero superior (l/s)	20	
Perfil geológico resumido (datos perforista) (m)	0,00 - 28,40	Arena, grava, arcilla
	28,40 - 38,40	Arcilla, arena
	38,40 - 46,00	Arcilla, grava, arena y bolones
	46,00 - 50,25	Arena, grava, arcilla
	50,25 - 60,00	Arena, bolones, arcilla

Fuente: Elaboración propia con antecedentes CMP (1969)

El estudio presenta un esquema de información hidrogeológica (ver Figura 1-39).

Estudios más reciente corresponden a los presentados por la Mina Los Colorados (MLC) perteneciente a la Compañía Minera del Pacifico (CAP), ubicada hacia el sur de la cuenca Carrizal. La mina extrae mineral de hierro de un rajo abierto y ha desarrollado estudios producto de que en el año 2009 MLC presentó un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para su proyecto "Ampliación y Mejoras Operacionales en Mina Los Colorados" que contemplaba aumentar la capacidad de producción de hierro a 9,15 millones de toneladas anuales. En la Adenda 2 de la Solicitud de Aclaraciones rectificaciones o Ampliaciones del EIA, las autoridades ambientales solicitaron la presentación de un informe técnico a la DGA sobre la hidrogeología del área de influencia del proyecto y el monitoreo de agua subterránea en un punto ubicado aguas abajo de la faena.

Este estudio denominado VAI CMP (2019) presenta el tercer informe técnico del estudio hidrogeológico del área de influencia del proyecto correspondiente al periodo del primer semestre de 2017 (enero a junio). En este estudio se presentó una descripción de unidades hidrogeológicas que es coherente con lo detectado en el presente estudio.



Fuente: JICA (1988)

Figura 1-39: Esquema de información hidrogeológica

Unidades Hidrogeológicas

Para el sector de la cuenca Quebrada Carrizal y también para la cuenca de Quebrada Totoral, la principal unidad hidrogeológica corresponde al relleno sedimentario. Para la primera, según los estudios de JICA (1988) en VAI-CMP (2019) se ha interpretado la existencia de 4 unidades hidrogeológicas correspondientes a:

1. Estrato Detrítico (A y B): Estratos de grava y arena, permeable y con algunos horizontes arcillosos de limitada continuidad lateral. Esta unidad se encuentra parcialmente saturada, definiendo así las capas A (no saturada) y B (saturada). La Capa A posee una alta permeabilidad, sin embargo, no constituye un acuífero debido a que no se encuentra saturada. El espesor de esta capa es de aproximadamente 20 - 30 m desde la superficie, disminuyendo su potencia hacia el oeste hasta desaparecer en algunos sectores donde se presentan vegas y afloramientos de agua cercanos a Canto del Agua. La Capa B es el acuífero que

presenta la mejor permeabilidad de la zona, formada básicamente por grava que en algunos lugares contiene una proporción variable de limo y arcilla. La distribución de esta unidad se circunscribe a la parte central de la cuenca (llano), en donde alcanza un espesor cercano a los 40 – 60 m. La mayor permeabilidad de esta capa se observa en la parte sur del centro del área de estudio, cercano a Llano del Lagarto.

2. Estrato de sedimentos Finos (Capa C): Estrato de arcilla arenosa "semi-impermeable" o de baja permeabilidad, o estratos de arcilla y limo de muy baja permeabilidad. Su límite superior corresponde al acuífero principal (Capa B) y su base se encuentra en contacto con el basamento. Se ha estimado un espesor entre 100 y 200 m.
3. Estrato de Sedimentos Eólicos (Capa D): Estrato eólico de limo arenoso impermeable, presenta una limitada distribución espacial en el área de estudio.
4. Basamento Rocoso (Capa E): Corresponde a la roca basal que subyace a las unidades hidrogeológicas sedimentarias. Está compuesto por rocas metamórficas (Complejo Epimetamórfico de Chañaral de edad Paleozoica), diversos cuerpos intrusivos Mesozoicos, y secuencias volcano-sedimentarias pertenecientes a las formaciones Canto del Agua (Triásico-Jurásico), La Negra (Jurásico), Punta del Cobre (Jurásico-Cretácico) y el Grupo Chañarcillo (Cretácico).

Sin embargo, para ambas cuencas, y complementando la descripción anterior, las Unidades Hidrogeológicas se pueden simplificar de acuerdo con la siguiente propuesta de interpretación (Tabla 1-7) hidrogeológica a partir del estudio geofísico desarrollado para el presente estudio.

Tabla 1-7: Síntesis de unidades hidrogeológicas para las cuencas de Carrizal y Totoral

Color	Unidad hidrogeológoica	Resistiviaddaes predominantes	Propuesta de Interpretación
	Unidad A	~ 20-250	Sedimentos no consolidados grava, arena, limo, arcilla conformando posibles acuiferos de carácter intergranular de moderada a elevada permeabilidad
	Unidad B	< 25	Sedimentos semiconsolidados grava, arena y/o una eleva proporcion limos y arcillas con una elevada salinidad conformando posibles acuíferso intergranulares y de baja a moderada
	Unidad C	~ 100-300	Roca alterada o con cierto grado de fracturamiento con eventual presencia local de acuíferos fisurados de permeabilidad baja a muy baja (a confirmar con mayores estudios)
	Unidad D	> 300-2000	Roca de muya baja a nula permeabilidad, conformando el basamento hidrogeológico o impermeable

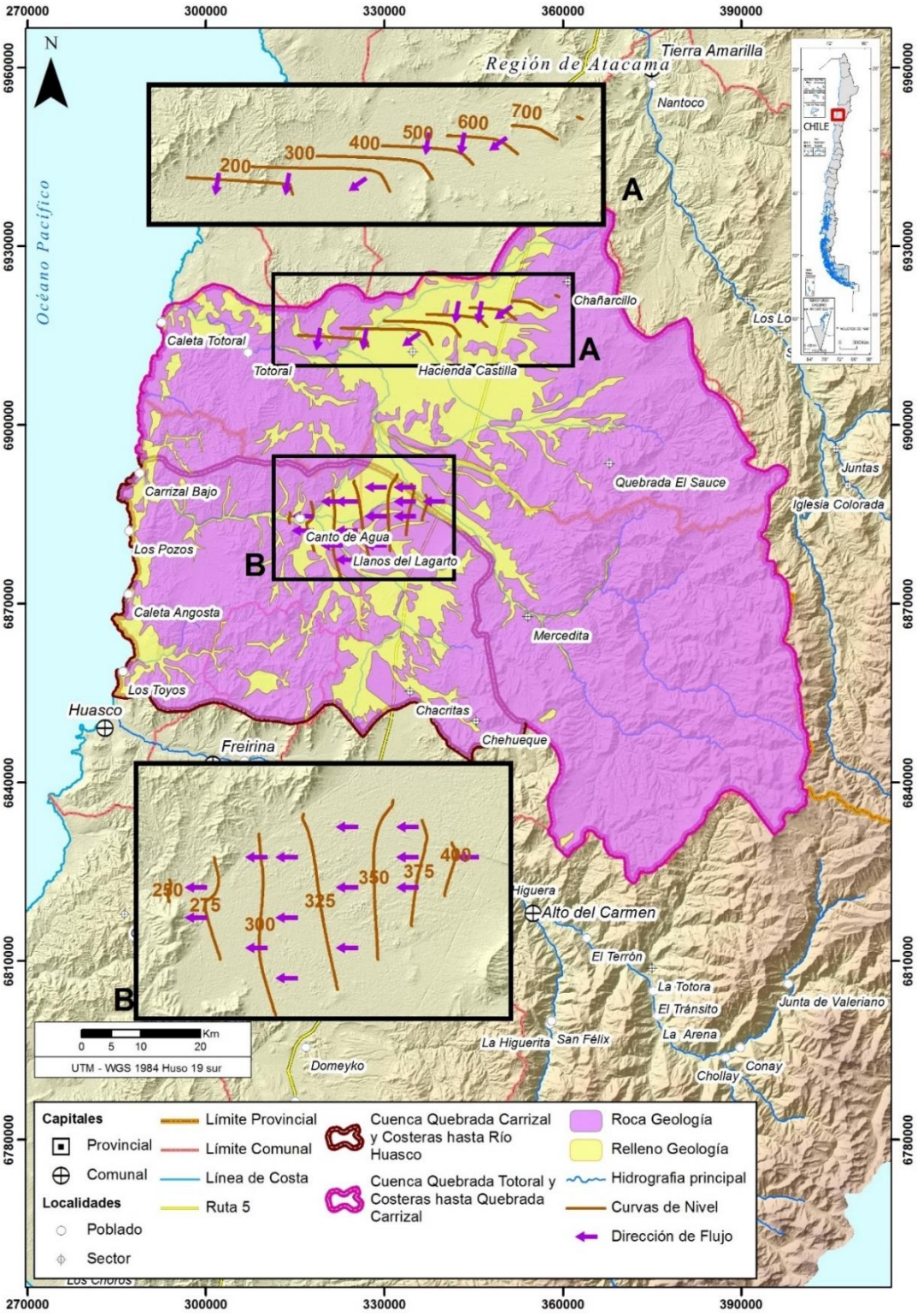
Fuente: Elaboración propia.

La Unidad A se corresponde con el Estrato Detrítico (A y B). La Unidad B se corresponde con el Estrato de Sedimentos Finos (Capa C) y en parte puede incluir Estrato de Sedimentos Eólicos (Capa D). La unidad D se corresponde con el Basamento Rocoso (Capa E) aun cuando podría incluir sedimentos consolidados. La Unidad C, además de lo indicado, podría incluir unidades sedimentarias semiconsolidadas a cementadas en parte.

1.2.1 Representación geoespacial de la ocurrencia del flujo subterráneo

La ocurrencia del flujo subterráneo al interior de las cuencas en estudio se establece a partir de los antecedentes existentes, como el mapa hidrogeológico de la DGA, la ubicación de captaciones de agua subterránea, las unidades geológicas capaces de captar, almacenar y transmitir agua subterránea y las mediciones hidrogeológicas y geofísicas realizadas en diferentes campañas de terreno realizadas para el presente proyecto.

La Figura 1-40 muestra una síntesis de la distribución espacial de la ocurrencia del agua subterránea detectada en las cuencas de estudio a partir de estos resultados. Se incluye un mapa con los niveles piezométricos que dan cuenta de la dirección del flujo subterráneo a partir de las mediciones realizadas este año 2021.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-40: Ocurrencia del agua subterránea y piezometría año 2021

1.2.2 Caracterización de propiedades hidráulicas

Las propiedades hidráulicas se caracterizan a continuación sobre la base de los antecedentes de pozos disponibles en la DGA, los que han sido resumidos por el estudio de S.I.T. 198 de la DGA (Nenanovich-DGA, 2010). Estos valores a su vez han sido obtenidos a partir de pruebas de gasto constante recopiladas de los expedientes e información relacionada con los pozos de la zona. La Tabla 1-8 presenta los valores compilados y la Figura 1-41 muestra su distribución espacial.

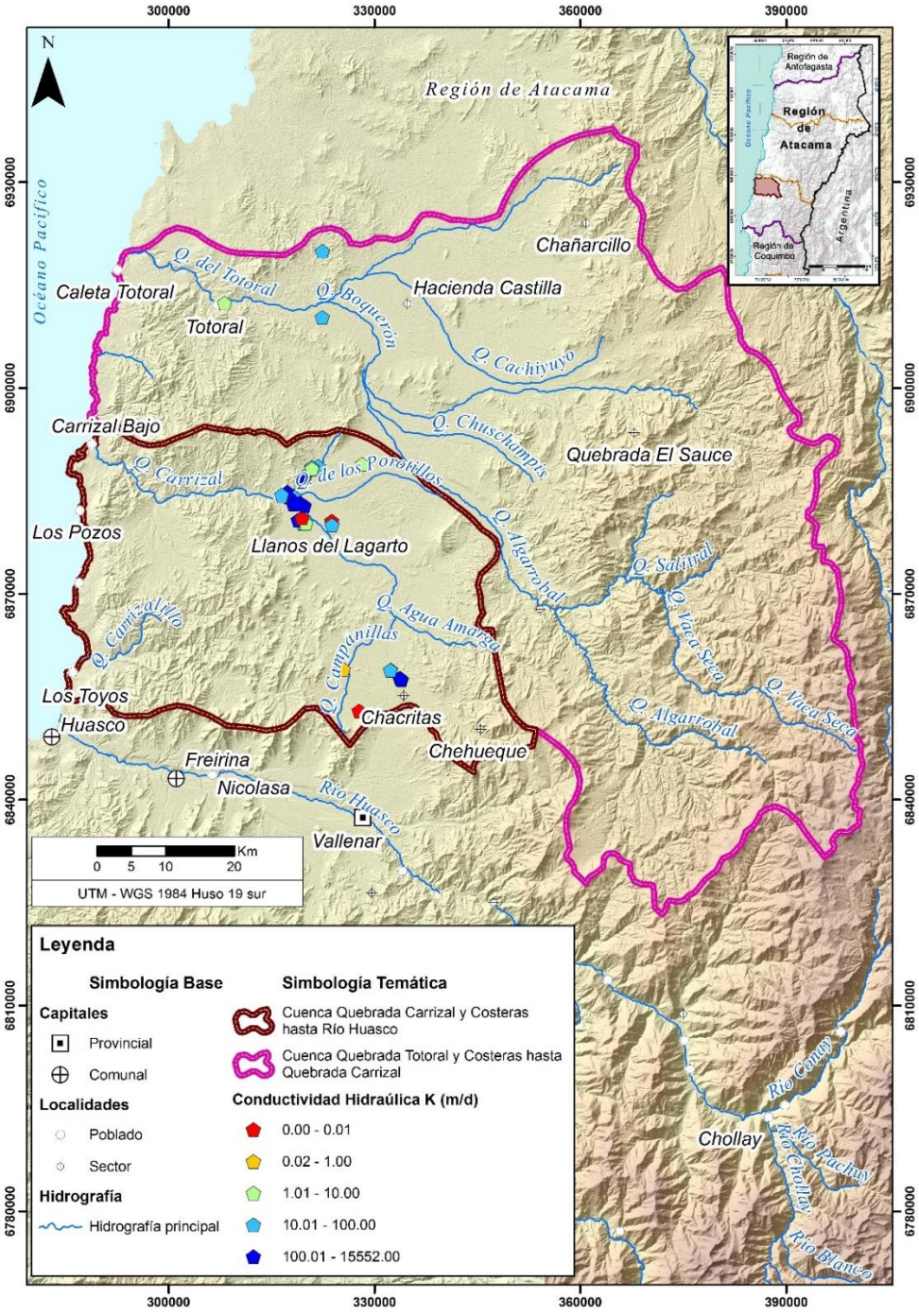
Tabla 1-8: Valores de Conductividad Eléctrica obtenidas a partir de Pruebas de Bombeo

Ubicación	Norte (m)	Este (m)	Propietario	K (m/s)
Carrizal Bajo	6.880.314	319.590	Emp. De Inv. Sergio Hudson y Cía Ltda.	7,0,E-04
Pampa Algarrobal	6.880.757	318.919	Cristian Centella	1,7,E-04
Canto del Agua	6.880.284	320.060	Cristian Centella	9,7,E-06
Totoral	6.912.381	308.188	Emp. Servicios Sanitarios Los Lagos (APR Totoral)	1,5,E-06
Canto del Agua km29, Vallenar	6.881.047	319.492	Carlos Jerez Caballero	0
Totoral (Fundo Travesía)	6.910.299	322.430	Hernán Ramos Oliveros	5,8,E-05
Totoral (Fundo Travesía)	6.919.931	322.467	Hernán Ramos Oliveros	5,2,E-05
Pampa Totolo	6.880.616	323.815	Sres. Coresol	0
Sector Chacritas	6.857.504	333.952	S/I	1,2,E-04
Sector Chacritas	6.857.737	333.732	S/I	1,5,E-04
Sector Chacritas	6.857.626	333.845	S/I	1,4,E-04
Canto del agua	6.884.833	317.329	Juan Antonio Castro	1,1,E-03
Llano de Algarrobal	6.888.899	328.254	Luis Rodillo Barceló	1,9,E-06
Quebrada los Sapos, Llanos del Lagarto	6.880.033	323.855	Agrupación de pequeños criaderos (Eleuterio Godoy Figueroa)	1,5,E-05
El Zanjón	6.884.063	318.411	Ricardo Chepito Flores	5,5,E-05
Chacrita	6.858.928	332.408	Juan Rojas Navarro	2,1,E-05
Chacrita	6.858.866	332.356	Juan Rojas Navarro	7,4,E-05
Criadero de Avestruces	6.887.215	319.950	Oscar Rodríguez Vargas	8,3,E-05
Canto del Agua	6.886.849	319.682	Gustavo Gallardo Godoy	3,4,E-04
Canto del Agua	6.882.834	319.814	Cesar Aime Fuentes	3,3,E-03
Canto del Agua	6.883.290	319.156	Jorge Aime Bravo	1,1,E-03
Canto del Agua	6.884.085	317.572	Jorge Yáñez	1,8,E-02
Canto del Agua	6.883.077	318.239	Luz María Aime Bravo	3,5,E-03
Canto del Agua	6.883.214	318.625	Jorge Aime Bravo	1,6,E-02
Canto del Agua	6.888.593	321.822	Iván Cotes Altamirano	3,2,E-04
Canto del Agua	6.888.464	320.915	Eduardo Guzmán Araya	6,8,E-04
Canto del Agua	6.888.221	320.939	Daniza Guzmán Araya	4,5,E-05
Canto del Agua	6.884.285	316.575	Alberto Villegas	7,6,E-04
Canto del Agua	6.884.433	316.528	Teodoro Campillay	3,2,E-04
Llano las Campanas de Vallenar	6.852.927	327.812	Osvaldo Díaz Cobián	9,7,E-08
Llano las Campanas de Vallenar	6.859.001	325.491	Osvaldo Díaz Cobián	1,4,E-07

Fuente: DGA (2010)

De la Figura 1-41, se observa que los mayores valores de permeabilidad se concentran en la cuenca de Carrizal. A su vez los menores valores de permeabilidad se concentran

en el sector de la cuenca de Totoral, aun cuando en esta cuenca existen menos antecedentes.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2010)

Figura 1-41: Conductividad hidráulica en pozos de las cuencas Carrizal y Totoral

Complementado lo anterior, respecto de las propiedades hidráulicas de la Cuenca Quebrada Carrizal, VAI-CMP, 2019 presenta resultados de estas propiedades a partir de pruebas realizadas en 6 pozos de bombeo (W-1 a W-9) y 1 de observación (H-1correspondientes a pozos y norias en el área de la cuenca de Carrizal. La Tabla 1-9 muestra los resultados de los ensayos hidráulicos ejecutados en los puntos antes mencionados, los que se resumen de la siguiente manera:

- La transmisividad más alta (T) del acuífero corresponde al pozo W-9 que se encuentra entre 450 y 3.188 m^2/d.
- Los pozos W-6 y W-2 presentan transmisividades muy bajas, entre 1 y 2 m^2/d, con valores intermedios para el resto de los pozos ensayados.
- Las permeabilidades presentan diferencias de hasta 3 órdenes de magnitud, entre 0,1 m/d (W-6) y 66,5 m/d (W-9), con un valor promedio (media geométrica) de 2,7 m/d.

Tabla 1-9: Parámetros hidráulicos Cuenca de Carrizal

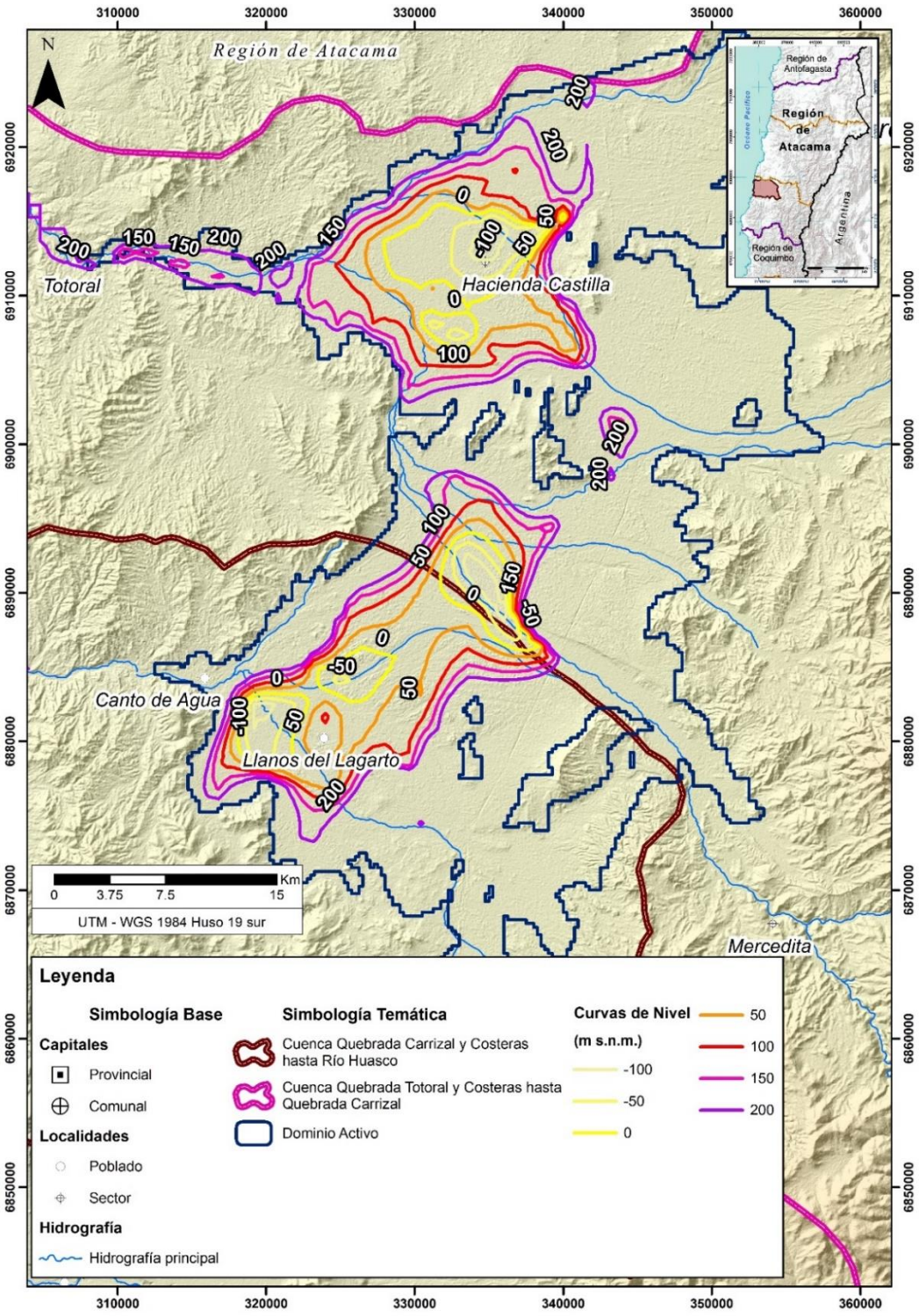
Pozo	W-1	W-2	W-3	W-4	W-6	W-9	H-1
Potencia acuífero (m)	9,0	6,07	20,77	29,16	11,90	48,00	29,16
T Rango (m^2/d)	3 - 12	1,00	119 - 515	82 - 243	1 - 2	450 - 3.188	143 - 356
T Promedio (m^2/d)	6,0	1,0	298	162	1,0	1.569	291
K Rango (m/d)	0,3 - 1,3	0,2	5,7 - 24,8	2,8 - 8,3	0,1 - 0,2	9,4 - 66,5	11,2 - 56,7
K Promedio (m/d)	0,7	0,2	14,3	5,6	0,1	32,9	22,9

Fuente: Modificado de JICA en DICTUC. 2016

Finalmente se puede concluir tanto para la cuenca de Carrizal como Totoral que la amplia variabilidad en los parámetros hidráulicos obtenidos demuestra la heterogeneidad del sistema acuífero de estas cuencas, con importantes variaciones en la conductividad hidráulica atribuibles a la presencia de zonas de mayor permeabilidad como la de paleocanales inmersos en un medio de granulometría más fina conformado por el relleno aluvial acumulado en estas cuencas.

1.2.3 Geometría

La geometría acuífera se basa en la información generada el año 2010 por el modelo desarrollado por DGA para la zona de estudio, corregido por las secciones geofísicas interpretadas hidrogeológicamente.

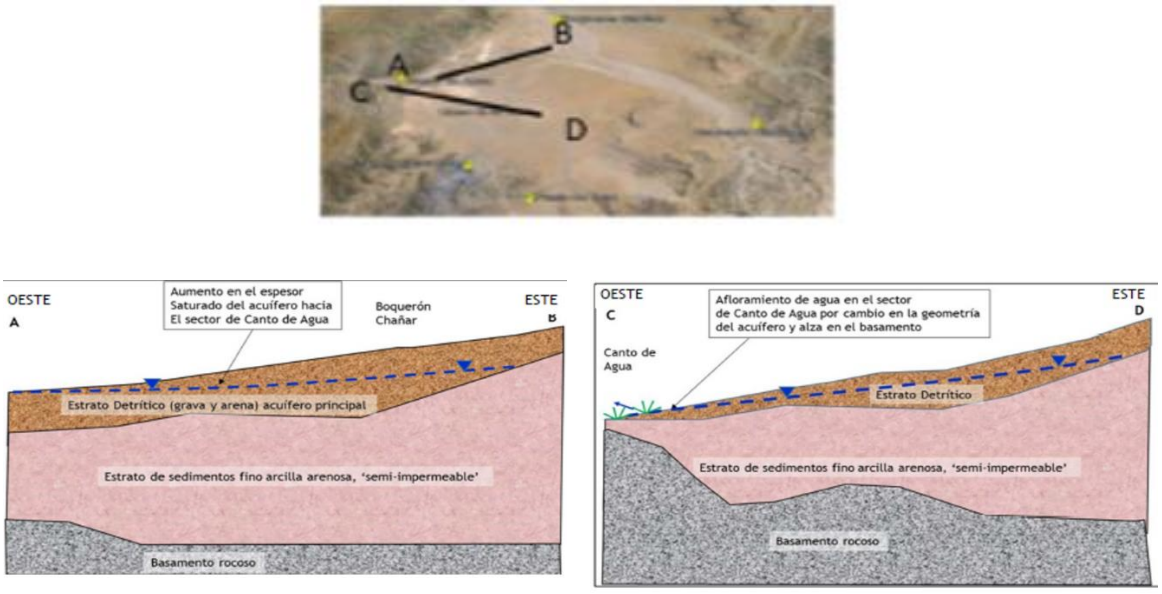


Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2010)

Figura 1-42: Profundidades de basamento hidrogeológico para el área de estudio

Para la Cuenca Quebrada Carrizal, según un estudio geofísico de Sondajes Eléctricos Verticales (SEV) realizado por DICTUC (2006) para CMP (no disponibles para este estudio) y de acuerdo a la estratigrafía de los pozos de la serie 'W' realizado por JICA (1988), VAI-CMP (2019) describe la geometría del acuífero de la cuenca Quebrada Carrizal dividiendo el acuífero en dos unidades. La primera corresponde a depósitos aluviales con una granulometría y permeabilidad variable (capas A y B) con su mayor espesor en el sector central del llano (pozos W-4 y W-9) que también registraron permeabilidades promedio de 6 y 33 m/d. En este sector el espesor saturado llegaría a 60 m. Hacia el sector de Canto de Agua el acuífero aluvial mantiene su espesor, pero hacia el noreste se observa una reducción importante o ausencia de la capa. La segunda unidad, corresponde a las capas C y D, que han sido definidas como depósitos aluviales de baja permeabilidad, de un espesor mayor a 60 m y donde solo en el pozo W-6 se ha interceptado el fondo de la unidad. Según la interpretación geofísica presentada por VAI-CMP, 2019, esta unidad puede llegar a tener un espesor de más de 100 m en el llano.

La Figura 1-43 muestra un esquema conceptual de la geometría del acuífero en el sector de Canto de Agua basado en los perfiles presentados en el informe de DICTUC.



Fuente: VAI-CMP (2019)

Figura 1-43: Perfiles esquemáticos hidrogeológicos, acuífero sector Canto de Agua

El afloramiento de agua en el sector de Canto de Agua, según VAI-CMP, 2019, se produce por las siguientes causas:

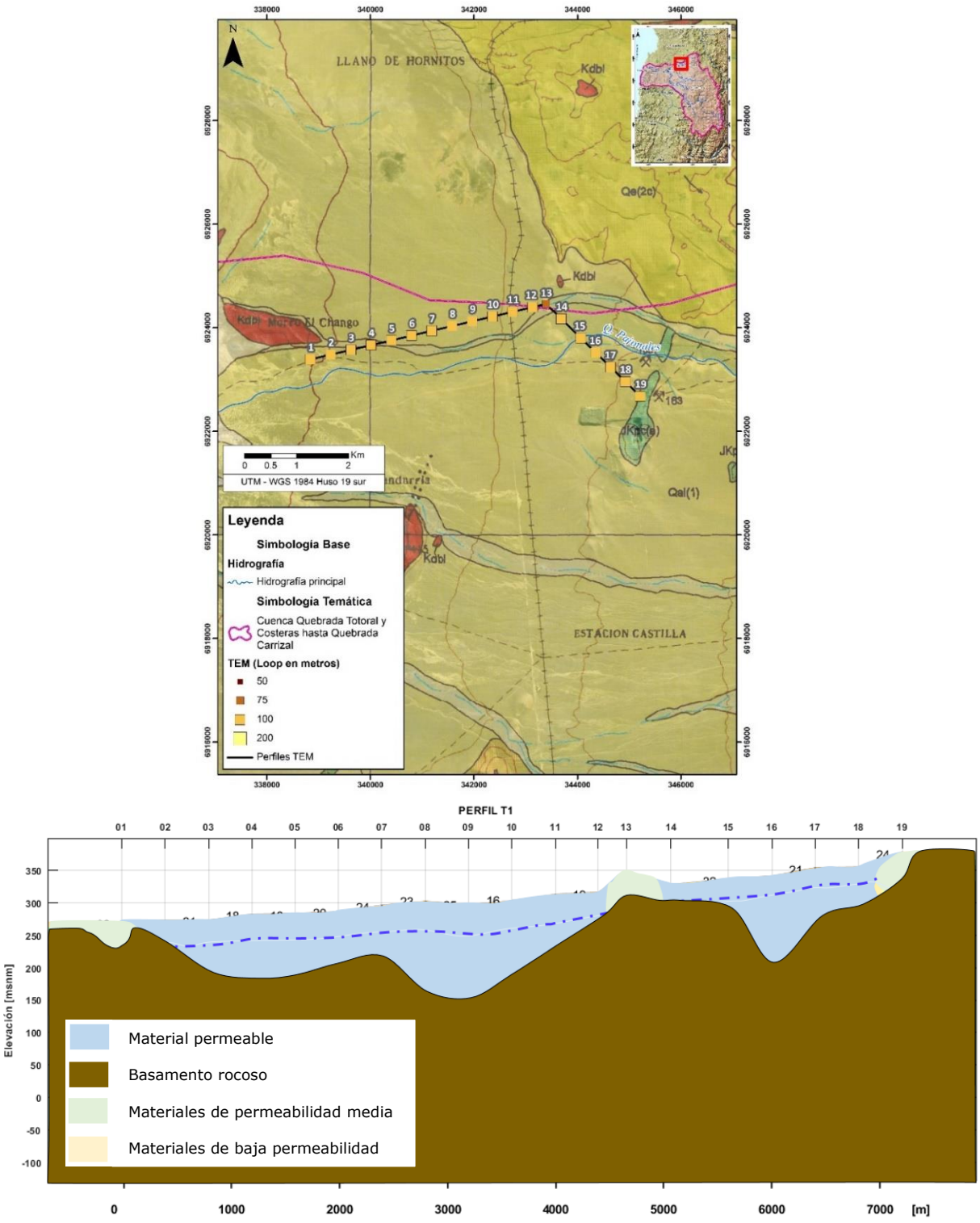
- Disminución en el espesor del acuífero y alza en el basamento rocoso.
- Angostamiento de la cuenca (reducción de la sección del flujo) en el sector de Canto de Agua donde se produce el flujo saliente principal del sector de Llano de la Jaula y Quebrada Algarrobal.

Para el sector de la cuenca de Totoral, no existe un estudio tan detallado como el presentado por VAI-CMP, 2019, para la cuenca de Carrizal. Sin embargo, se estima que presenta características muy similares a las descritas para la cuenca de Carrizal.

A partir de los antecedentes existentes, del levantamiento de niveles estáticos realizados durante el año 2021 y de acuerdo con la información geológica y estratigráfica del área de estudio, a continuación, se propone la siguiente interpretación hidrogeológica para la distribución geométrica de las unidades geoeléctricas resultantes del estudio geofísico realizado en las cuencas de quebrada Totoral y quebrada Carrizal (se presenta en la Figura 1-44 el perfil interpretado T1, mientras que los demás perfiles son presentados en el Apéndice H - Geofísica).

De esta forma, y a modo de ejemplo, se muestra el perfil geofísico PT1 en la Figura 1-44, el que incorpora una interpretación de la ubicación de la profundidad del nivel estático. La información respecto de la geología corresponde a la cartografía geológica a escala 1:100.000, publicada por SERNAGEOMIN. Los demás perfiles son presentados en el Apéndice H – Geofísica.

Adicionalmente al trabajo realizado, en el Apéndice H – Geofísica, se presenta la interpretación de la geometría acuífera a partir de los antecedentes TEM generados por Geodatos 2009 a partir de las secciones TEM SC3 a SC8.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-44: Perfil hidrogeológico interpretado PT-1 y antecedentes geológicos para su construcción

En conclusión, en base a los antecedentes geofísicos como los resultados de la construcción de pozos en el área de estudio no existen unidades confinantes en los acuíferos, tanto en Carrizal como en Totoral, la unidad acuífera (rellenos permeables) comienza desde la superficie hasta una unidad de baja a nula permeabilidad para luego llegar hasta el basamento rocoso. En tanto la interconexión de los acuífero se produce por un trasvasije desde el acuífero de Totoral al acuífero de Carrizal.

1.2.4 Volumen de Agua Almacenada en Acuífero

En base a los antecedentes geométricos antes señalados como el levantamiento de niveles piezométricos estáticos catastrado en septiembre de 2021 se puede estimar el volumen actual almacenado en la unidad acuífera Carrizal-Totoral, presentada en la Tabla 1-10. Cabe destacar que para la estimación del volumen de agua almacenada se utiliza una porosidad de 0,15 que corresponde a la porosidad promedio del acuífero, luego del proceso de calibración del modelo Modflow.

Tabla 1-10: Volumen almacenado en el acuífero

Resumen	Volumen almacenado (hm^3)	Volumen agua almacenada (hm^3), Porosidad (0,15)
Volumen Relleno Acuífero	37.393,32	
Volumen Relleno Saturado	24.675,17	3.701,28

Fuente: Elaboración propia.

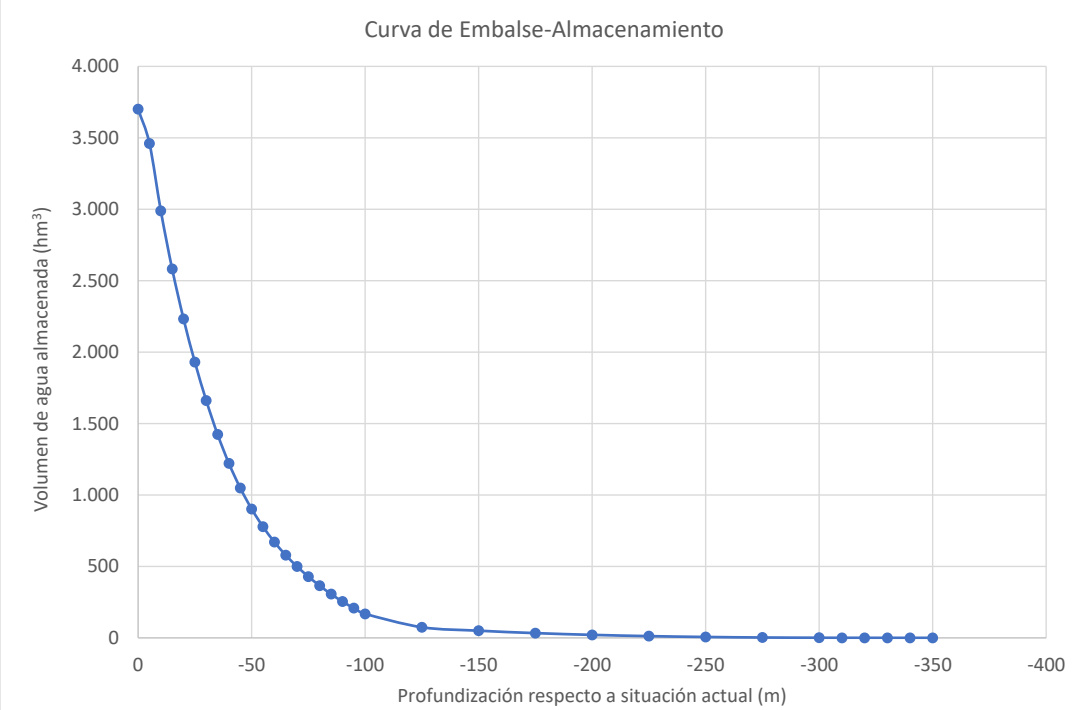
En la Tabla 1-11 se presenta la curva de almacenamiento del acuífero, teniendo como referencia los niveles piezométricos el catastro realizado en septiembre de 2021. Además, en la Figura 1-45 se presenta de manera gráfica la disminución del volumen de agua almacenada en el acuífero respecto de la profundización de los niveles estáticos.

Tabla 1-11: Volumen almacenado respecto a profundización de niveles piezométricos

Profundidad Nivel piezométrico (m)	Volumen (hm^3)	Volumen agua almacenada (hm^3), Porosidad (0,15)	Profundidad Nivel piezométrico (m)	Volumen (hm^3)	Volumen agua almacenada (hm^3), Porosidad (0,15)
0	24.675,2	3.701,3	-85	2.043,7	306,6
-5	23.071,3	3.460,7	-90	1.695,0	254,3
-10	19.926,8	2.989,0	-95	1.386,3	207,9

Profundidad Nivel piezométrico (m)	Volumen (hm^3)	Volumen agua almacenada (hm^3), Porosidad (0,15)	Profundidad Nivel piezométrico (m)	Volumen (hm^3)	Volumen agua almacenada (hm^3), Porosidad (0,15)
-15	17.215,6	2.582,3	-100	1.120,7	168,1
-20	14.888,5	2.233,3	-125	494,6	74,2
-25	12.868,9	1.930,3	-150	333,6	50,0
-30	11.078,6	1.661,8	-175	220,5	33,1
-35	9.495,7	1.424,4	-200	138,6	20,8
-40	8.140,4	1.221,1	-225	80,2	12,0
-45	6.991,5	1.048,7	-250	40,4	6,1
-50	6.016,4	902,5	-275	15,7	2,4
-55	5.187,4	778,1	-300	4,5	0,7
-60	4.475,7	671,4	-310	2,5	0,4
-65	3.863,6	579,5	-320	1,2	0,2
-70	3.330,0	499,5	-330	0,4	0,1
-75	2.857,7	428,7	-340	0,1	0,0
-80	2.431,3	364,7	-350	0	0

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-45: Curva de embalse del acuífero

1.2.5 Caracterización Hidroquímica

En el contexto del presente proyecto, se realizó un muestreo y análisis hidroquímico en diversos puntos de acceso al acuífero. Los parámetros analizados en un total de 38 muestras corresponden a los siguientes elementos:

- Parámetros Físico-Químicos: Conductividad Eléctrica, pH, Turbidez
- Formas Nitrogenadas/Fosforadas: Nitrógeno Kjeldahl, Nitrógeno Nitrato, Nitrógeno Nitrito, Nitrógeno Total.
- Cationes: Amonio, Calcio Total, Sodio Total.
- Aniones: Bicarbonatos, Cloruros, Fluoruros, Nitratos, Nitritos, Sulfatos.
- Relaciones de interés: Razón Nitrato-Nitrito
- Metales Totales: Aluminio Total, Arsénico Total, Bario Total, Berilio Total, Boro Total, Cadmio Total, Cromo Total, Hierro Total, Litio Total, Magnesio Total, Manganeso Total, Mercurio Total, Molibdeno Total, Níquel Total, Plata Total, Plomo Total, Potasio Total, Selenio Total, Vanadio Total, Zinc Total.
- Investig. Coliformes Totales y Recuento Escherichia coli.

Los análisis se comparan de acuerdo con los siguientes parámetros establecidos por la Norma Ch 409 y 1.333 de Agua Potable y Riego, respectivamente (Tabla 1-12):

Tabla 1-12: Límites normas NCh 1333 y NCh 409

Parámetro	Unidades	Límite NCh 1333 (agua de riego)	Límite NCh 409 (agua potable)
Conductividad eléctrica	µS/cm a 25°C	Tabla	
pH	±0,4%	6 - 8.5	6,5 - 8,5
Sólidos Totales Disueltos	mg/L		≤ 1500
Formas Nitrogenadas/ Fosforadas			
Cationes +			
Amonio	mg/L		1,5
Magnesio Total	mg/L	0,1	125
Cloruros	mg/L	200	400
Nitratos	mg/L	10	50
Nitritos	mg/L	1	3
Sulfatos	mg/L	250	500
Relaciones de Interés			
* RAS	-		
Sodio Porcentual	%	35	

Parámetro	Unidades	Límite NCh 1333 (agua de riego)	Límite NCh 409 (agua potable)
Metales Totales			
Aluminio Total	mg/L	5	
Arsénico Total	mg/L	0,1	0,01
Bario Total	mg/L	4	
Berilio Total	mg/L	0,1	
Boro Total	mg/L	0,75	
Cadmio Total	mg/L	0,01	0,01
Cobalto Total	mg/L	0,05	
Cobre Total	mg/L	1	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05
Hierro Total	mg/L	5	0,3
Litio Total	mg/L	2,5	
Manganeso Total	mg/L	0,2	0,1
Mercurio Total	mg/L	0,001	0,001
Molibdeno Total	mg/L	0,01	
Níquel Total	mg/L	0,2	
Plata Total	mg/L	0,2	
Plomo Total	mg/L	5	0,05
Selenio Total	mg/L	0,02	0,01
Vanadio Total	mg/L	0,1	
Zinc Total	mg/L	2	3

Fuente: Elaboración propia. a partir de NCh 409 y NCh 1.333

Las Tabla 1-14 y Tabla 1-15 muestra los resultados de análisis disponibles y resume los datos de calidad de agua entregados por AGQ. Para comparar cuales parámetros superan una o ambas normas se plantea el siguiente cuadro de color (ver Tabla 1-13).

Tabla 1-13: Colores representan sobre paso en las normas de calidad de agua

	Supera Norma de Riego
	Supera Norma Potable
	Supera Ambas

Fuente: Elaboración propia.

Para la Cuenca de Totoral se contó con 8 muestras denominadas (ver Tabla 1-14). Algunas de estas muestras superan ambas normas para Cloruros, Sulfatos, Hierro Total

y Manganeso Total. Algunas de estas muestras superan la norma potable para Arsénico Total, Hierro Total y Manganeso Total. Algunas de estas muestras superan la norma de riego para Nitratos, Boro Total y Mercurio Total. Sulfatos, Magnesio Total superan la norma de riego en todas las muestras analizadas.

Para la Cuenca de Carrizal se contó con 27 muestras denominadas (ver Tabla 1-15). Algunas de estas muestras superan ambas normas para Cloruros, Sulfatos, Nitratos, Hierro Total, Magnesio Total, Selenio Total, Manganeso Total y pH. Algunas de estas muestras superan la norma potable para Arsénico Total, Hierro Total, Selenio Total, Plomo Total y Amonio. Algunas de estas muestras superan la norma de riego para Sulfatos, Cloruros, Nitratos, Boro Total, Magnesio Total, Molibdeno Total y Vanadio Total.

Para la zona de transición entre ambas cuencas se cuenta con tres muestras denominadas: CP34, CP27 y CP28. Una de estas muestras supera la norma potable para Hierro Total. Algunas de estas muestras superan la norma de riego para Nitratos, Sulfatos, Magnesio Total y Molibdeno Total.

Tabla 1-14: Resultados análisis hidroquímicos y comparación con las normas Quebrada Totoral y límite Carrizal

Parámetros	Quebrada	Totoral	Totoral	Totoral	Totoral	Totoral	Totoral	Totoral	Totoral	C-T	C-T	C-T
	Sector	Costa	Costa	Interior	Interior	Norte	Norte	Castilla	Castilla	Compartida	Compartida	Compartida
		CP36	CP38	CP42	CP41	CP24	CP23	CP22	CP21	CP34	CP27	CP28
Físico-Químicos												
Conductividad Eléctrica	µS/cm a 25°C	2.644	3.809	1.027	1.844	2.987	4.830	1.186	1.185	1.181	602	1.185
pH		8,17	8,04	8,47	8,34	8,1	7,75	8,1	8,06	8,08	8,18	8,2
Turbidez	NTU	<0,3	44	0,54	6,99	0,51	265	<030	<0,30	1,14	<0,30	0,37
Formas Nitrogenadas/Fosforadas												
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L	0,771	<0,650	<0,650	<0,650	<0650	<0,650	<0,650	1,15	0,73	1,5	1,22
Nitrógeno Nitrato	mg/L	4,21	5,26	3,49	1,45	6,7	<0,05	7,14	7,13	3,91	<0,05	5,96
Nitrógeno Nitrito	mg/L	0,03	<0,02	<0,02	<0,02	0,08	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Nitrógeno Total	mg/L	5,01	5,26	3,49	1,45	6,78	<1,00	7,14	8,28	4,64	1,5	7,18
Cationes +	+											
* Amonio	mg/L	< 0,06	<0,06	<0,06	<0,06	0,22	0,11	<0,06	<0,06	0,06	<0,06	<0,06
Calcio Total	mg/L	154	271	175	253	207	631	146	139	120	9,18	143
Sodio Total	mg/L	148	199	60,4	129	196	300	60,9	57,8	50,9	43,8	60,9
Aniones -	-											
Bicarbonatos	mg/L HCO3	147	139	185	203	153	63,7	837	84,8	87,5	52,8	147
Cloruros	mg/L	554,0	976,0	29,7	140,0	552,0	915,0	157,0	163,0	128,0	120,0	105,0
Fluoruros	mg/L	0,55	0,43	0,3	0,52	0,97	0,61	0,23	0,27	0,19	0,21	0,21
Nitratos	mg/L	23,2	32,6	13,0	6,65	36,1	24,0	38,5	37,4	22,4	3,82	31,9
Nitritos	mg/L	<0,43	<0,43	<0,43	<0,43	0,43	<0,43	<0,43	<0,43	<0,43	<0,43	<0,43
Sulfatos	mg/L	457,0	468,0	324,0	630,0	705,0	1.891,0	267,0	283,0	323,0	49,7	369,0
Relaciones de interés												
Razón Nitrato-Nitrito		0,46	0,65	0,26	0,13	0,87	0,48	0,77	0,75	0,45	0,08	0,64
Metales Totales												
Aluminio Total	mg/L	<0,005	270	0,07	0,408	0,022	0,252	<0,005	<0005	<0,005	<0,005	0,232
Arsénico Total	mg/L	0,00359	0,01206	0,01549	0,01588	0,01264	0,05207	0,01054	0,00944	0,00657	0,0007	0,00484
Bario Total	mg/L	0,016	0,05183	0,01876	0,03052	0,02974	0,01745	0,0333	0,03252	0,02372	0,00389	0,0227
Berilio Total	mg/L	< 0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025
Boro Total	mg/L	0,434	0,461	0,291	0,815	1,430	1,390	0,353	0,338	0,268	0,205	0,421
Cadmio Total	mg/L	0,00014	0,00019	0,00027	0,00024	0,00006	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	0,0001	<0,00005
Cromo Total	mg/L	0,00052	0,00413	0,00122	0,00137	0,00115	0,00868	0,00116	0,00099	0,00115	0,00027	0,00044
Hierro Total	mg/L	0,05	4,16	0,091	0,339	0,165	33,2	0,1	0,019	0,276	1,66	0,075
Litio Total	mg/L	0,01612	0,01905	0,02871	0,06174	0,03062	0,14279	0,02541	0,02437	0,01534	0,0174	0,01633
Magnesio Total	mg/L	28,1	50,1	24,4	40,9	61,1	77,8	17,4	16,4	10,7	2,88	18,5
Manganeso Total	mg/L	0,0285	0,1698	0,0103	0,0219	0,011	2,087	0,002	<0,0005	0,0035	0,0569	0,0016
Mercurio Total	mg/L	< 0,0001	0,00011	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010

Parámetros	Quebrada	Totoral	Totoral	Totoral	Totoral	Totoral	Totoral	Totoral	Totoral	C-T	C-T	C-T
	Sector	Costa	Costa	Interior	Interior	Norte	Norte	Castilla	Castilla	Compartida	Compartida	Compartida
		CP36	CP38	CP42	CP41	CP24	CP23	CP22	CP21	CP34	CP27	CP28
Metales Totales												
Molibdeno Total	mg/L	0,02853	0,02348	0,00992	0,01669	0,03437	0,02457	0,01245	0,01234	0,03164	<0,00025	0,02242
Níquel Total	mg/L	0,0058	0,02027	<0,00025	<0,00025	0,00408	0,02269	0,00375	0,0025	0,00263	0,00103	0,00246
Plata Total	mg/L	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Plomo Total	mg/L	0,00043	0,00334	0,00101	0,00111	0,00179	0,00186	<0,00025	<0,00025	<0,00025	0,00044	<0,00025
Potasio Total	mg/L	6,41	8,71	0,69	3,88	14,1	11,4	3,85	3,74	2,92	3,75	4,64
Selenio Total	mg/L	0,00855	0,00637	0,00469	0,00481	0,00705	0,00143	0,00537	0,00484	0,00251	<0,00025	0,00375
Vanadio Total	mg/L	0,00334	0,01955	0,0119	0,00975	0,00376	0,00092	0,01498	0,01438	0,01036	<0,00025	0,00858
Zinc Total	mg/L	0,01	0,028	0,013	0,018	0,028	0,027	0,006	<0,005	0,009	0,007	<0,005
Investig Coliformes Totales	u.f.c./100 ml	<1	<1,00	<1,00	Crecimiento confluente con Coliformes Totales	Crecimiento confluente con Coliformes Totales	<1,00	8	8	<1,00	<1,00	<1,00
Recuento Escherichia coli	u.f.c./100 ml	<1	<1,00	<1,00	Crecimiento Confluente sin E. coli	Crecimiento Confluente sin E. coli	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1-15: Resultados análisis hidroquímicos y comparación con las normas Quebrada Carrizal

Parámetros	Sector	Caleta	Caleta	Canto del Agua	Canto del Agua	Canto del Agua	Canto del Agua	Canto del Agua	Canto del Agua	Canto del Agua	Canto del Agua	Canto del Agua	Canto del Agua	Canto del Agua	Canto del Agua
		CP35	CM CP35	CP16	CP12	CP32	CP31	CP17	CP18	CP15	CM CP15	CP08	CP09	CP10	CM CP10
Físico-Químicos															
Conductividad Eléctrica	µS/cm a 25°C	11.436	11.376	2.489	1.520	5.537	3.648	1.299	1.290	1.322	1.322	1.511	2.135	2.131	2.146
pH		7,89	7,91	8,19	8,37	8,18	8,21	8,06	8,14	7,99	7,99	8,19	8,36	8	8,01
Turbidez	NTU	0,48	<0,30	4,69	2,06	3,17	<0,30	<0,30	2,26	9,51	Z0,30	0,9	1,96	0,85	1,03
Formas Nitrogenadas/Fosforadas															
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L	<0,65	<0,65	0,942	<0,65	<0,65	<0,65	0,771	31	<0,65	<0,65	<0,65	<0,65	<0,65	<0650
Nitrógeno Nitrato	mg/L	5,07	4,97	3,41	0,06	0,08	2,76	3,28	3,46	3,54	4,11	2,56	<0,05	4,17	3,87
Nitrógeno Nitrito	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Nitrógeno Total	mg/L	5,07	4,97	4,35	<1,00	<1,00	276	4,05	34,5	3,54	4,11	2,56	<1,00	4,17	3,87
Cationes +	+														
* Amonio	mg/L	0,15	0,21	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	1,72	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
Calcio Total	mg/L	605	573	336	180	608	426	98,3	129	169	157	180	205	246	228
Sodio Total	mg/L	901	866	223	163	421	459	41,2	125	57,6	52,9	93,4	293	252	234
Aniones -	-														
Bicarbonatos	mg/L HCO3	107	106	147	136	203	131	100	96,1	73,4	74,9	116	139	61,4	61,1
Cloruros	mg/L	3.275	3.403	349	169,0	1.177	698	151,0	138,0	163,0	176,0	193	342	382	367
Fluoruros	mg/L	0,52	0,54	0,8	0,48	0,36	0,52	0,28	0,35	0,26	0,24	0,32	0,5	0,32	0,32
Nitratos	mg/L	86,2	119,0	13,7	2,88	28,2	12,0	19,7	13,7	20,8	20,3	12,8	2,01	15,8	15,5
Nitritos	mg/L	<0,43	<0,43	<0,43	<0,43	<0,43	<0,43	<0,43	<0,43	<043	<0,43	<0,43	<0,43	<0,43	<0,43
Sulfatos	mg/L	1.593	1.645	671,0	395,0	1.685	693	390	315	372	410	414	406	441	426
Relac. de interés															
Razón Nitrato-Nitrito		1,72	2,37	0,27	0,06	0,56	0,24	0,39	0,27	0,42	0,41	0,26	<0,04	0,32	0,31
Metales Totales															
Aluminio Total	mg/L	<0,005	<0,005	0,252	0,129	0,389	0,091	0,034	0,108	0,045	<0,005	0,027	0,088	0,021	0,019
Arsénico Total	mg/L	0,00244	0,00222	0,00871	0,00143	0,0064	0,00566	0,00685	0,00724	0,00687	0,00605	0,00839	0,0026	0,00363	0,00365
Bario Total	mg/L	0,02632	0,02571	0,01349	0,02189	0,0335	0,03182	0,0215	0,02226	0,02578	0,02248	0,0198	0,02389	0,02976	0,02805
Berilio Total	mg/L	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025	0,0005	<0,00025	<0,00025	<0,0025	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025

Parámetros	Sector	Caleta	Caleta	Canto del Agua	Canto del Agua	Canto del Agua	Canto del Agua	Canto del Agua	Canto del Agua	Canto del Agua	Canto del Agua	Canto del Agua	Canto del Agua	Canto del Agua	Canto del Agua
		CP35	CM CP35	CP16	CP12	CP32	CP31	CP17	CP18	CP15	CM CP15	CP08	CP09	CP10	CM CP10
Metales Totales															
Boro Total	mg/L	1,140	1,070	0,546	0,322	1,120	0,613	0,512	0,335	0,156	0,142	0,261	0,396	0,327	0,313
Cadmio Total	mg/L	0,00009	0,00021	0,00035	0,0003	0,00021	0,00025	0,0001	0,00021	0,00015	<0,00005	<0,00005	0,00023	0,00028	0,00026
Cromo Total	mg/L	0,00093	0,00133	0,00145	0,00105	0,00078	0,00149	0,00118	0,00103	0,00086	0,00101	0,00099	0,00114	0,00253	0,00264
Hierro Total	mg/L	0,064	0,082	0,335	0,383	0,69	0,136	0,045	0,201	0,208	0,199	0,1	0,123	0,216	0,292
Litio Total	mg/L	0,07177	0,06783	0,02597	0,02367	0,04894	0,04513	0,02506	0,01774	0,01597	0,015	0,02159	0,0248	0,02046	0,01977
Magnesio Total	mg/L	129	123	43	24,8	85,1	75,9	4,57	20	17,8	16,3	20,7	25,4	30,1	27,8
Manganeso Total	mg/L	<0,0005	0,0269	0,0145	0,0522	0,098	0,0032	<0,0005	0,0047	0,0185	0,0027	0,0038	0,0207	0,0073	0,0088
Mercurio Total	mg/L	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,05255	0,00034	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010
Molibdeno Total	mg/L	0,0468	0,04531	0,09584	0,03534	0,03463	0,00492	0,03675	0,02776	0,02615	0,02393	0,04304	0,03017	0,0138	0,01262
Níquel Total	mg/L	0,01126	0,01222	0,00239	<0,00025	0,01308	<0,00094	0,00352	<0,00025	0,00459	0,00466	0,00446	<0,00025	<0,00025	<0,00025
Plata Total	mg/L	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	11,8	0,0011	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Plomo Total	mg/L	<0,00025	0,00038	0,00157	0,00107	0,0006	0,00849	0,00179	0,00089	0,00059	<0,00025	0,00028	0,0009	0,00083	0,00083
Potasio Total	mg/L	38,1	36,3	9,83	3,64	68,1	0,01714	22	4,35	4,52	4,29	6,85	9,14	8,94	8,37
Selenio Total	mg/L	0,01107	0,01021	0,00679	0,0038	0,00457	<0,005	0,0028	0,00331	0,0026	0,00411	0,00621	0,00168	0,00928	0,00893
Vanadio Total	mg/L	0,00451	0,00444	0,01848	0,00338	0,01687		0,01618	0,0141	0,0124	0,01132	0,01047	0,00401	0,01264	0,01282
Zinc Total	mg/L	0,018	0,016	0,018	1,1	0,03		0,011	0,01	0,012	0,01	0,023	<0,005	0,097	0,031
Investig Coliformes Totales	u.f.c./100 ml	Crec. confluente con Coli. Totales	Crec. confluente con Coli. Totales	<1,00	Crec. confluente con Coli. Totales	<1,00	Cre. confluente con Coli. Totales	4	6	<1,00	<1,00	430	<1,00	<1,00	526
Recuento Escherichia coli	u.f.c./100 ml	Crec. Confluente sin E. coli	Crec. Confluente sin E. coli	<1,00	Crec. Confluente sin E. coli	<1,00	Crec. Confluente sin E. coli	4	<1,00	<1,00	<1,00	430	<1,00	<1,00	<1,00

Parámetros	Sector	Centro	Centro	Sur	Sur	Sur	Sur	Sur	Sur	Sur	Sur	Sur	Este	Este
		CP06	CP49	CP48	CP47	CP46	CP30	CP29	CP7	CP4	CP3	CP1	CP43	CP39
Físico-Químicos														
Conductividad Eléctrica	µS/cm a 25°C	3.397	5.027	1.197	2.379	1.175	4.713	6.476	5.925	2.533	1.166	1.366	753	2.557
pH		7,89	8,21	8,32	7,83	8,59	7,94	8,05	7,94	8,11	8,33	8,38	8,63	8,35
Turbidez	NTU	8,11	89,1	3,3	0,45	0,92	1,89	0,78	1,75	0,96	0,41	<0,30	1,03	0,61
Formas Nitrogenadas/Fosforadas														
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L	1,42	0,809	1,88	<0,65	0,94	<0,65	0,789	<065	<0,65	0,87	<0,65	2,03	0,85
Nitrógeno Nitrato	mg/L	<0,05	<0,05	8,89	6,09	4,54	11,2	13,3	11,1	0,19	12,7	8,93	18,1	26,9
Nitrógeno Nitrito	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,09	<0,02
Nitrógeno Total	mg/L	1,42	<1,00	10,8	6,09	5,48	11,2	14,1	11,1	<1,00	13,6	8,93	20,2	27,7
Cationes +	+													
* Amonio	mg/L	1,72	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
Calcio Total	mg/L	72,7	218	124	252	17	191	598	471	191	94,4	150	70,1	267
Sodio Total	mg/L	291	1.126	125	189	272	628	984	894	278	93,8	116	72,1	251
Aniones -	-													
Bicarbonatos	mg/L HCO3	29,6	143	144	102	200	136	174	107	160	125	145	217	190
Cloruros	mg/L	1.028	1.280	130,0	581,0	173,0	1.294	1.698	1.497	648	134	179	38,1	370
Fluoruros	mg/L	0,38	0,11	0,33	0,38	2,38	0,27	0,56	0,78	0,37	0,34	0,36	0,65	0,41
Nitratos	mg/L	23,7	24,5	37,4	24,5	18,5	105,0	66,6	59,9	2,86	48,4	34,9	69,7	109,0
Nitritos	mg/L	<0,43	<0,43	<0,43	<0,43	<0,43	<0,43	0,58	<043	<0,43	<0,43	<0,43	0,77	<0,43
Sulfatos	mg/L	1,13	495	195	160	78,8	235	631	687	97,4	210	232	45,4	513
Relac. de interés														
Razón Nitrato-Nitrito		0,47	0,49	0,75	0,49	0,37	2,09	1,53	1,2	0,06	0,97	0,7	1,65	2,18

Parámetros	Sector	Centro	Centro	Sur	Sur	Sur	Sur	Sur	Sur	Sur	Sur	Sur	Este	Este
		CP06	CP49	CP48	CP47	CP46	CP30	CP29	CP7	CP4	CP3	CP1	CP43	CP39
Metales Totales														
Aluminio Total	mg/L	0,095	3,71	0,632	0,133	0,046	0,229	0,09	0,217	0,233	0,04	0,027	0,056	0,038
Arsénico Total	mg/L	0,00064	0,00587	0,01216	0,0077	0,00898	0,00736	0,0036	0,00419	0,01174	0,0148	0,01951	0,0047	0,0224
Bario Total	mg/L	0,04897	0,12585	0,03744	0,15368	0,00401	0,03323	0,0318	0,00717	0,15209	0,02299	0,0292	0,03498	0,02805
Berilio Total	mg/L	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025
Boro Total	mg/L	0,329	16,10	0,565	0,303	1,56	0,48	1,44	1,61	0,427	0,323	0,383	0,392	1,28
Cadmio Total	mg/L	<0,00005	0,00031	0,00035	0,00027	0,00024	0,00026	0,00031	0,00031	0,00069	0,00022	0,00026	0,00028	0,00022
Cromo Total	mg/L	0,00059	0,00392	0,00206	0,00144	0,02352	0,00221	0,00126	0,00244	0,00101	0,00155	0,00127	0,00111	0,00108
Hierro Total	mg/L	5,830	6,900	0,767	0,333	0,141	0,422	0,149	0,434	0,266	0,058	0,054	0,116	0,09
Litio Total	mg/L	0,02676	0,05484	0,02263	0,0282	0,00974	0,02044	0,03714	0,01102	0,02848	0,015	0,02138	0,01661	0,03133
Magnesio Total	mg/L	33,1	27,3	29,5	55	7,27	117	180	152	51,5	25,1	35,2	21,4	69,1
Manganeso Total	mg/L	0,314	0,529	0,088	0,017	0,0039	0,0092	0,0707	0,0183	0,0986	0,0026	0,006	0,0018	0,0263
Mercurio Total	mg/L	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	0,00013	0,00021	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010
Molibdeno Total	mg/L	0,00072	0,01012	0,01037	0,01464	0,02197	0,00861	0,00916	0,03079	0,00389	0,01066	0,0134	0,07787	0,00681
Níquel Total	mg/L	0,00158	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025	0,0122	0,00469	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025	<0,00025
Plata Total	mg/L	<0,0005	0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0006	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005
Plomo Total	mg/L	0,00052	0,07744	0,00223	0,00255	0,00084	0,00115	0,00109	0,00391	0,00082	0,00081	0,00063	0,00072	0,00078
Potasio Total	mg/L	11,4	5,37	4,21	11,7	5,14	41,5	20,2	29,7	6,8	4,95	5,33	4,95	3,3
Selenio Total	mg/L	0,00242	0,00703	0,0038	0,00783	0,00565	0,001521	0,0338	0,0273	0,00187	0,00696	0,00945	0,00071	0,01496
Vanadio Total	mg/L	0,00119	0,02517	0,04067	0,02474	0,12409	0,06794	0,01537	0,04443	0,00801	0,03553	0,04375	0,03208	0,03726
Zinc Total	mg/L	0,01	0,055	<0,005	0,017	0,018	0,027	0,006	0,05	0,078	0,02	<0,005	<0,005	0,014
Investig Coliformes Totales	u.f.c./100 ml	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	14	<1,00	62	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	2	18
Recuento Escherichia coli	u.f.c./100 ml	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	37	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	2	18

Fuente: Elaboración propia.

1.2.5.1 Caracterización hidroquímica de las aguas subterráneas

Para caracterizar el tipo de aguas subterráneas en el área de las cuencas de Carrizal y Totoral durante el mes de septiembre del año 2021 se muestreó un total de treinta y ocho (38) muestras incluyendo un total de tres (3) contra muestras (ver Tabla 1-14). Las muestras fueron tomadas por personal de Con Potencial y los análisis químicos fueron realizados por el Laboratorio AGQ.

Al interior de la cuenca de Totoral se tomaron 8 muestras (ver Tabla 1-14). En la cuenca de Carrizal se tomaron 27 muestras (ver Tabla 1-15). En la zona de transición de ambas cuencas se tomaron las muestras CP34, CP27 y CP28.

Las muestras CM CP10, CM CP15 y CM CP35 corresponden a contra muestras de CP10, CP15 y CP35 las que fueron analizadas para verificación de los resultados analíticos del Laboratorio AGQ, los cuales resultaron similares a los obtenidos por sus muestras equivalentes CP10, CP15 y CP35.

Los cationes mayoritarios y analizados corresponden a Calcio Total, Magnesio Total, Potasio Total y Sodio Total. Los aniones mayoritarios y analizados corresponden a Bicarbonatos, Nitratos, Cloruros y Sulfatos.

Con el objeto de caracterizar la química de elementos mayoritarios de las aguas muestreadas, se procedió a calcular el error de balance iónico sobre la base de la siguiente fórmula considerando valores en meq/l para cada anión o catión analizado:

$$\text{Error de balance} = \frac{(\text{Suma de Aniones} - \text{Suma de Cationes})*100}{(\text{Suma de Aniones} + \text{Suma de Cationes})}$$

Las muestras con un valor menor que el 10% de error de balance resultaron ser las siguientes dieciséis (16) muestras: CP41, CP21, CP34, CP28, C16, CP12, CP18, CP15, CP08, CM CP10, CP47, CP30, CP4, CP3, CP1 y CP39.

Dado que en los informes de laboratorio se indica una incerteza variable entre +/- 8% a +/-13% de los resultados analíticos en meq/l de cada anión y catión analizado, se incluyeron aquellos resultados analíticos de aquellas muestras que presentaron un error de balance menor al 10% considerando las incertezas máximas o mínimas para la suma de aniones o cationes. Estas muestras corresponden a las siguientes doce (12) muestras: CP42, CP32, CP31, CMCP15, CP09, CP10, CP49, CP48, CP46, CP29, CP7 y CP43.

Finalmente, las muestras descartadas para su caracterización respecto del tipo de aguas son las que presentaron un error de balance iónico mayor o un error de balance iónico incluyendo la incerteza de los aniones o cationes, mayor al 10%. Estas muestras resultaron ser las siguientes diez (10): CP36, CP38, CP24, CP23, CP22, CP27, CP35, CM CP35, CP17 y CP06.

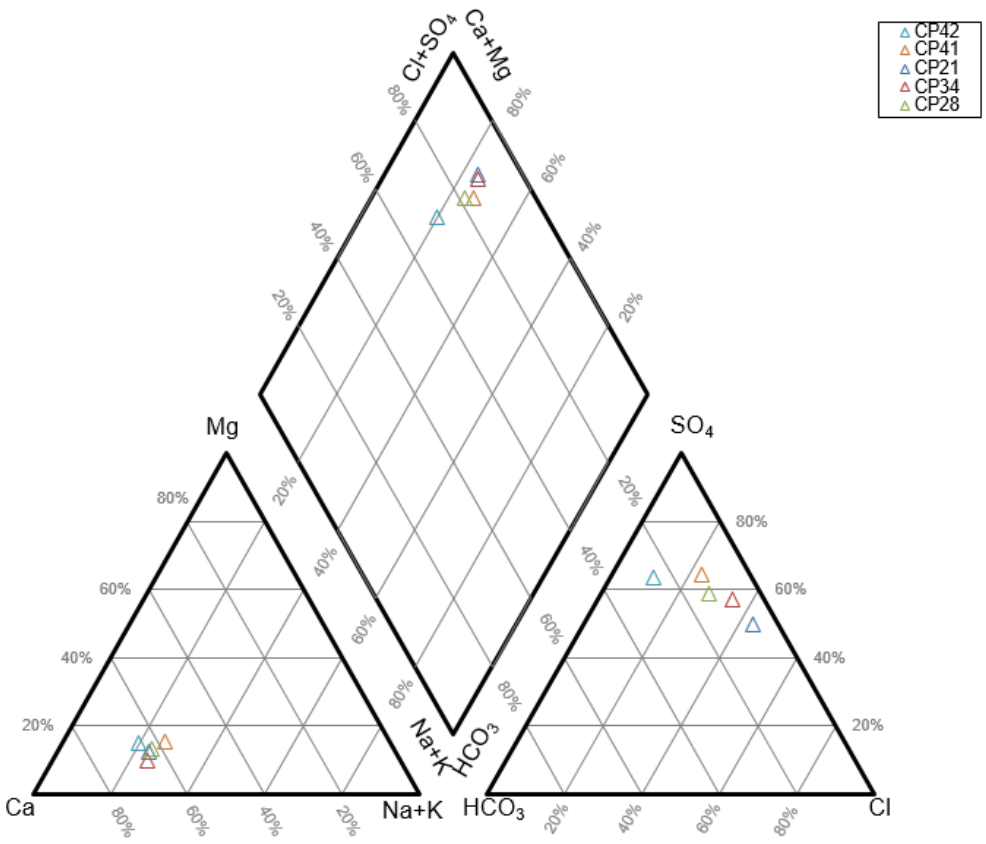
Considerando lo anterior, los análisis realizados para las muestras válidas (CP41, CP21, CP34, CP28, C16, CP12, CP18, CP15, CP08, CM CP10, CP47, CP30, CP4, CP3, CP1, CP39, y CP42, CP32, CP31, CMCP15, CP09, CP10, CP49, CP48, CP46, CP29, CP7, CP43) permiten caracterizar la química de los aniones y cationes mayores representativos para ambas cuencas a partir de los diagramas de Piper y Stiff, y que se presentan más adelante.

Por tanto, las muestras disponibles para caracterizar el tipo de aguas en la Cuenca de Totoral son CP42, CP41 y CP21.Para la zona de transición entre ambas cuencas son CP34 y CP28. Para la cuenca de Carrizal las muestras validadas corresponden a las siguientes: CP16, CP12, CP32, CP31, CP18, CP15, CP08, CP09, CP10, CP49, CP48, CP47, CP46, CP30, CP29, CP7, CP4, CP3, CP1, CP43 y CP39, sin considerar las contra muestras CM CP15 y CM CP10.

De acuerdo con el diagrama de Piper las muestras correspondientes a la cuenca de Totoral y sector transicional son predominantemente Sulfatadas Cálcicas (Figura 1-46). Una presentación de los diagramas de Stiff permite diferenciar las muestras tomadas en la parte alta de la cuenca Totoral, en quebrada Seca (CP-41 y CP-42) de aquellas en la zona intermedia entre cuencas Totoral-Carrizal (CP-28 y CP-24) y de aquellas cercanas a la quebrada Cachiyuyo (CP-21). Si bien todas estas muestras son del tipo Sulfatada Cálcica, las de la parte alta de la cuenca (CP-41 y CP-42) presentan un mayor contenido de total de sólidos disueltos levemente mayor que aquel de las de la parte baja de la cuenca y hacia aguas abajo, en las muestras CP-21 y CP-34, el contenido en meq/l de cloruro aumenta, aunque sigue siendo menor que el del sulfato (Figura 1-47).

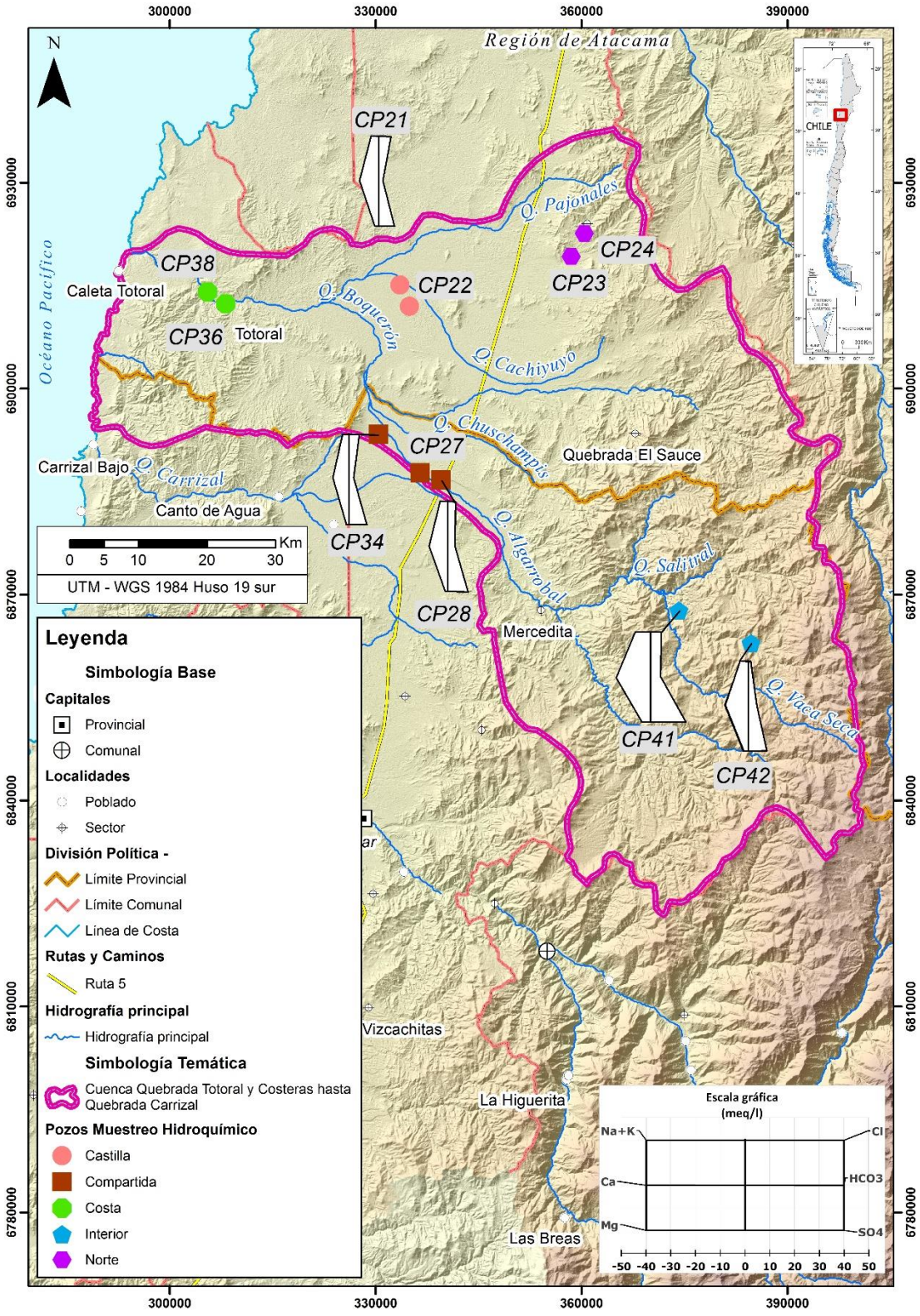
Para la cuenca de Carrizal de acuerdo con el diagrama de Piper las aguas subterráneas son Sulfatadas-Cloruradas y Cálcico-Sódicas (Figura 1-48). Una presentación de los diagramas de Stiff permite diferenciar las muestras tomadas en la parte alta de la cuenca de Carrizal (quebrada Agua Amarga y Llanos de Lagarto), del tramo Llanos de Lagarto-Canto de Agua y de aquellas tomadas en el extremo sur de la cuenca Carrizal, en torno al sector de Chacritas (Figura 1-49).

- Las muestras de la parte alta de la cuenca, en torno a la quebrada Agua Amarga (CP39 y CP43) son Sulfatadas-Coloruradas Cálcica (CP-39) y Bicarbonatada-Cálcica (CP-43), teniendo esta última prácticamente tres veces menos sólidos disueltos que la primera. La muestra CP-49 tomada en el centro de la cuenca de Carrizal es predominantemente Clorurada Sódica y bastante mineralizada con más de 3000 mg/l de TSD.
- Los resultados analíticos de estas muestras señalan una clara variación espacial en el grado de mineralización, observándose un aumento en el sentido de la dirección del flujo subterráneo El mayor grado de mineralización se observa en la muestra CP-16, CP-10, CP-09, CP-31 y CP-32 que son del tipo Clorurada-Sulfatada Cálcica/Sódica. El menor grado de mineralización se observa en las muestras CP-18, CP-15, CP-12 y CP-08 del tipo Sulfatada/Clorurada-Cálcica/Sódica.
- El mayor grado de mineralización y similitud de los diagramas de Stiff entre las muestras CP-16, CP-10 y CP-09 ubicadas hacia aguas arriba de las muestras CP-32 y CP-31, permiten inferir una mayor influencia en ellas (CP-32 y CP-31) de los aportes de las muestras CP-16, CP-10 y CP-09.
- Los resultados analíticos de las muestras tomadas hacia la zona sur de la cuenca Carrizal, en torno al sector de Chacritas, muestran una variación espacial en el grado de mineralización siendo menor en las muestras CP-01, CP-48, CP-03, CP-46 que son cloruradas/sulfatadas-cálcicas/sódicas. Los mayores grados de mineralización corresponden a las muestras CP-04, CP-47, CP-07 que son Cloruradas-Sódicas Cálcicas y en las muestras CP-29, CP-30 que son claramente Cloruradas-Sódicas.



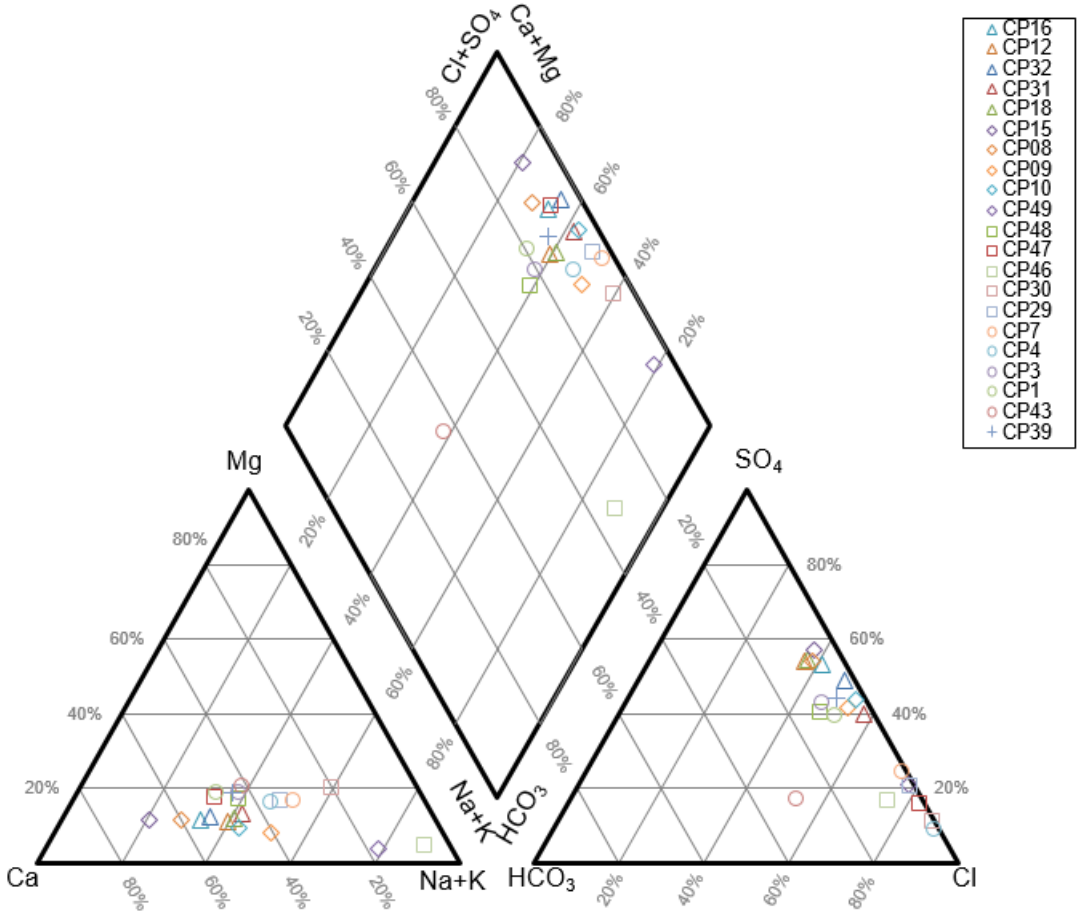
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-46: Diagrama de Piper para la Cuenca de Totoral y (C-T) Compartida



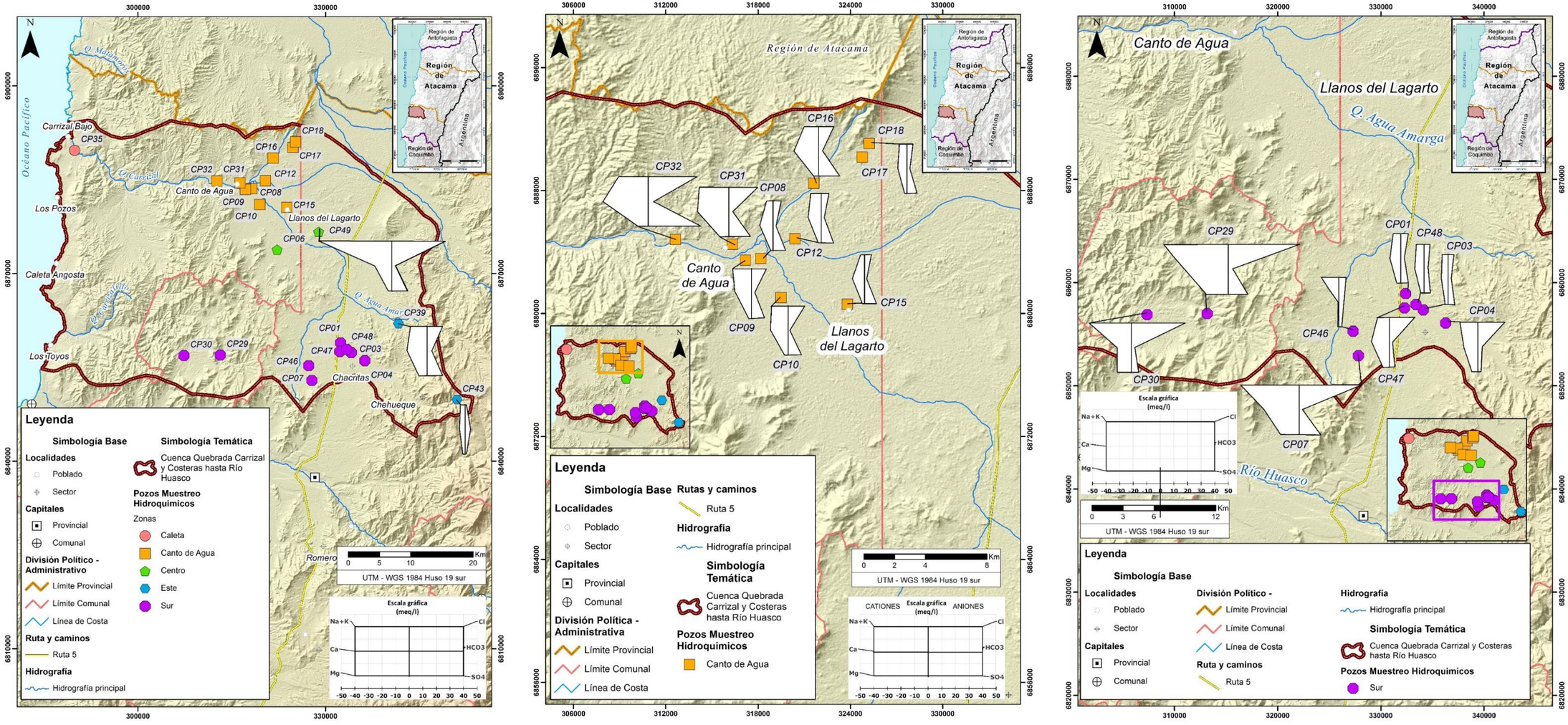
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-47: Diagramas de Stiff para la Cuenca de Totoral y C-T Compartida



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-48: Diagrama de Piper para la Cuenca de Carrizal



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-49: Diagramas de Stiff para la Cuenca de Carriza

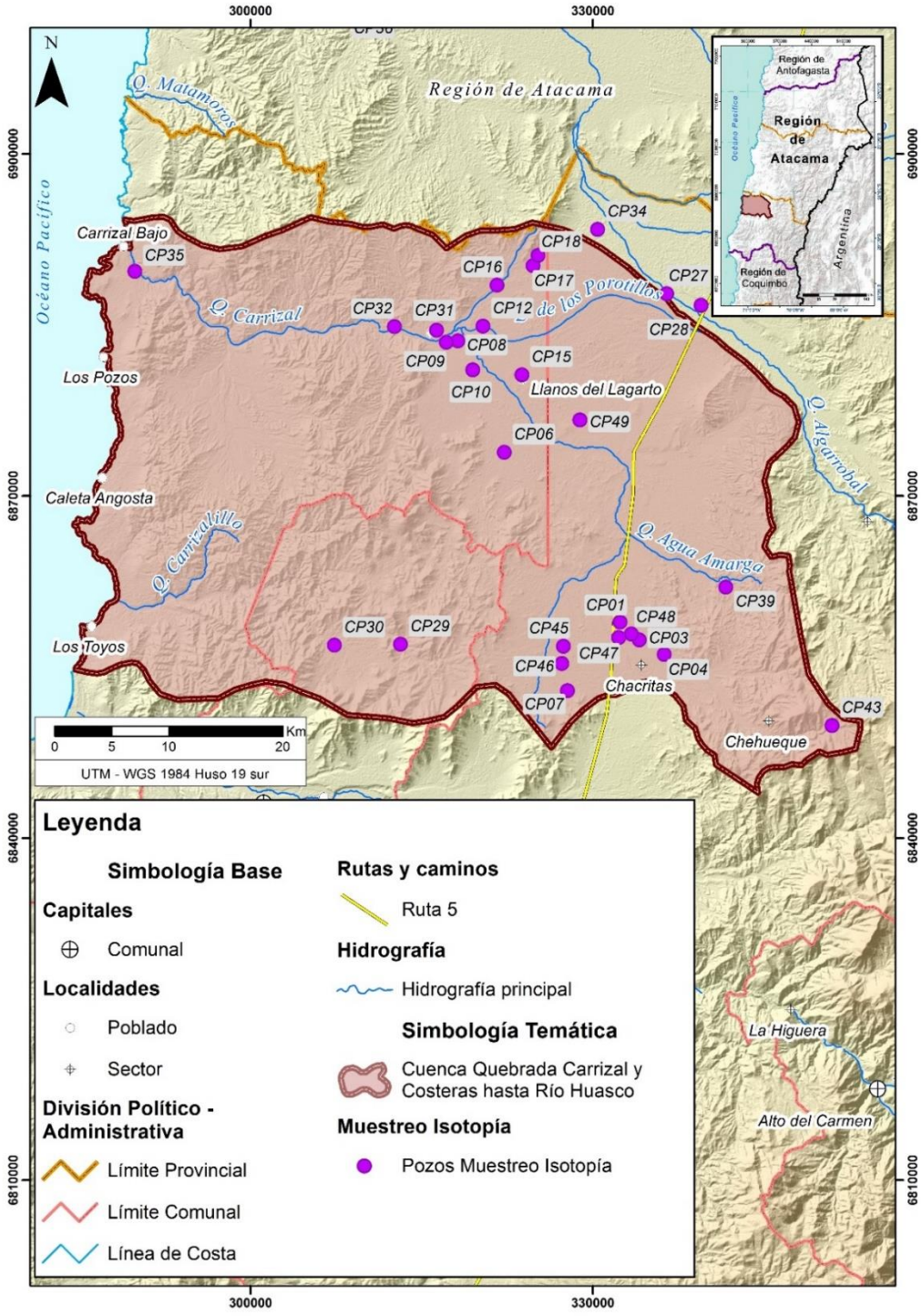
1.2.5.2 Análisis de Isótopos

En el contexto de este estudio se tomaron un total de 36 muestras para análisis de isótopos estables. Estas muestras fueron analizadas en los Laboratorios de la Universidad de Arizona (ver Tabla 1-16). La Figura 1-51 muestra la ubicación de estas muestras.

Tabla 1-16: Isótopos estables en muestras de aguas subterráneas Cuencas Carrizal y Totoral

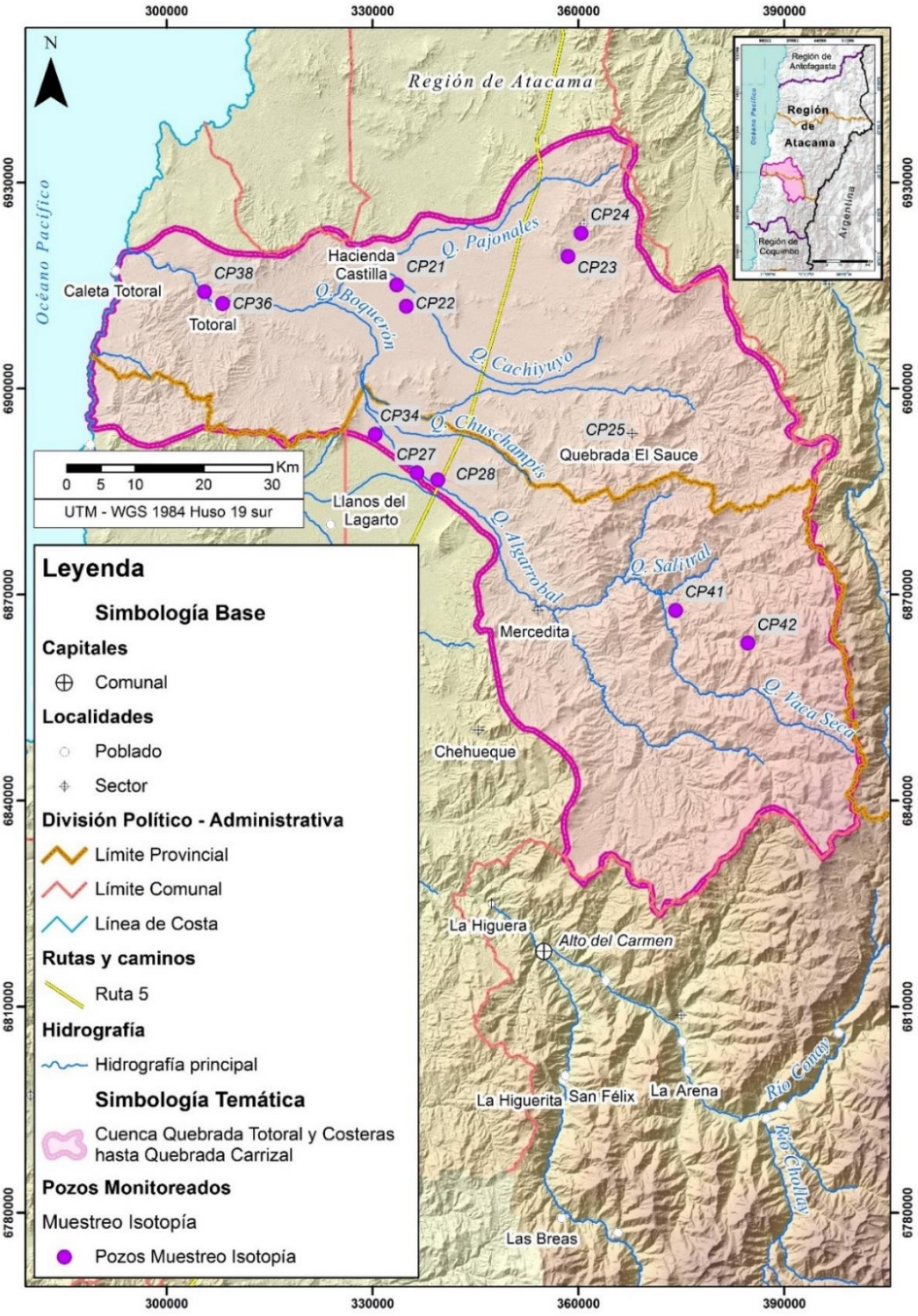
Cuenca	Subcuenca	δ18O	δ D	ID-Con Potencial	ID-Lab
Carrizal	Carrizal-Alto	-6,375682	-45,835846	CP01	IE113-01
Carrizal	Carrizal-Alto	-6,326186	-46,773958	CP03	IE113-03
Carrizal	Carrizal-Alto	-2,514932	-24,795311	CP04	IE113-04
Carrizal	Carrizal-Alto	-4,423688	-37,012078	CP07	IE113-07
Carrizal	Carrizal-Alto	-4,681708	-36,547048	CP39	IE113-39
Carrizal	Carrizal-Alto	-6,591019	-52,203637	CP43	IE113-43
Carrizal	Carrizal-Alto	-4,71982	-39,022537	CP45	IE113-45
Carrizal	Carrizal-Alto	-5,65641	-42,732908	CP46	IE113-46
Carrizal	Carrizal-Alto	-5,507782	-40,828253	CP47	IE113-47
Carrizal	Carrizal-Alto	-6,370915	-46,001921	CP48	IE113-48
Carrizal	Carrizal-Medio	-5,42374	-39,750712	CP06	IE113-06
Carrizal	Carrizal-Medio	-6,83334	-54,734926	CP08	IE113-08
Carrizal	Carrizal-Medio	-6,827763	-57,031695	CP09	IE113-09
Carrizal	Carrizal-Medio	-7,717325	-60,911941	CP10	IE113-10
Carrizal	Carrizal-Medio	-7,219291	-58,72194	CP12	IE113-12
Carrizal	Carrizal-Medio	-7,596997	-60,213877	CP15	IE113-15
Carrizal	Carrizal-Medio	-5,89	-50,577783	CP16	IE113-16
Carrizal	Carrizal-Medio	-7,621171	-59,247721	CP17	IE113-17
Carrizal	Carrizal-Medio	-7,447107	-59,338737	CP18	IE113-18
Carrizal	Carrizal-Medio	-7,207707	-58,428088	CP31	IE113-31
Carrizal	Carrizal-Medio	-5,683967	-49,614897	CP32	IE113-32
Carrizal	Carrizal-Medio	-3,131298	-35,9821	CP49	IE113-49
Carrizal	Carrizal-Medio-Sur	-4,988204	-37,14194	CP29	IE113-29
Carrizal	Carrizal-Medio-Sur	-5,458892	-37,786835	CP30	IE113-30
Carrizal	Carrizal-Bajo	-5,130612	-36,682233	CP35	IE113-35
Totoral	Totoral-Alto Norte	-5,394088	-44,741524	CP23	IE113-23
Totoral	Totoral-Alto Norte	-6,206305	-46,783056	CP24	IE113-24
Totoral	Totoral-Alto Sur	-7,307903	-65,767924	CP41	IE113-41
Totoral	Totoral-Alto Sur	-8,022131	-70,32417	CP42	IE113-42
Totoral	Totoral-Medio-Q.Algarrobal	-7,752991	-59,793755	CP27	IE113-27
Totoral	Totoral-Medio-Q.Algarrobal	-7,710378	-61,986382	CP28	IE113-28
Totoral	Totoral-Medio-Q.Algarrobal	-7,868667	-62,903794	CP34	IE113-34
Totoral	Totoral-Medio-Q.Cachillullo	-6,450713	-52,895107	CP21	IE113-21
Totoral	Totoral-Medio-Q.Cachillullo	-6,306614	-51,65393	CP22	IE113-22
Totoral	Totoral-Bajo	-6,431175	-53,269904	CP36	IE113-36
Totoral	Totoral-Bajo	-5,83853	-49,338891	CP38	IE113-38

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-50: Ubicación de las muestras analizadas por isótopos estables Cuenca Carrizal

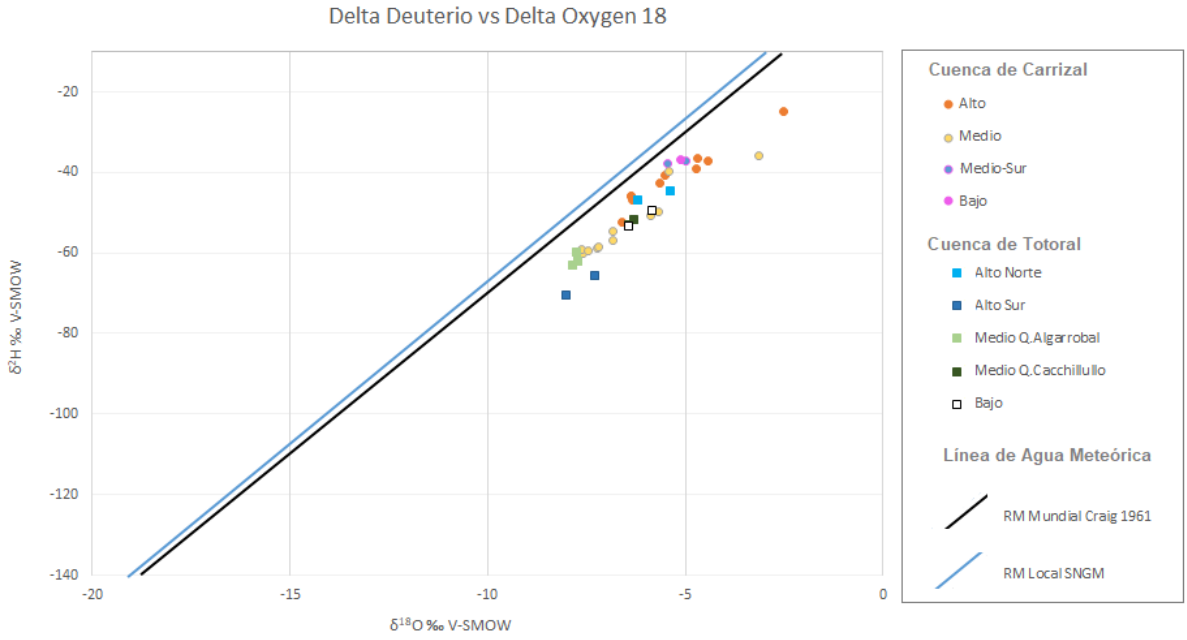


Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-51: Ubicación de las muestras analizadas por isótopos estables Cuencas Totoral

La Figura 1-52 muestra una gráfica de estos resultados comparándola con la recta de Aguas Meteóricas de Craig (1961) y de los trabajos de SERNAGEOMIN en la cuenca de Copiapó. De esta gráfica se deduce que las muestras de aguas subterráneas correspondientes a las cuencas de Quebrada Carrizal y Totoral muestran un claro origen meteórico, señalando diferentes zonas o elevaciones en la recarga de las aguas subterráneas. En general los valores más negativos se corresponden con las zonas medias-bajas de las cuencas y los más cercanos a cero a las partes altas de las cuencas de Carrizal y Totoral. En particular, la recarga del acuífero se produce a una mayor cota en la cuenca Totoral respecto a la cuenca Carrizal.

El desplazamiento hacia la derecha de la recta meteórica de los valores isotópicos de las muestras de agua subterránea de ambas cuencas demuestra efectos de evaporación en la zona vadosa durante el proceso de recarga de las aguas subterráneas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-52: Deuterio vs Oxígeno 18 de muestras de aguas subterráneas de las cuencas de Carrizal y Totoral.

1.2.6 Aproximación de tasas de recarga

La revisión bibliográfica entrega rangos de recarga entre 200 a 400 l/s, los que se usaron como antecedente base para definir la recarga en este proyecto.

Específicamente, DGA (2010) utiliza tres metodologías de cálculo de recarga: Curva Número, donde obtiene un valor de recarga de 304 l/s; Blaney-Criddle, con una recarga de 61,8 l/s y Balance Hídrico simplificado que entrega 192,2 l/s, donde concluyen que el método más representativo de la zona de estudio es la Curva Número. Los informes técnicos DGA (2018b) y DGA (2019b), usados para decretar como zonas de restricción del SHAC Totoral Bajo y Prohibición el SHAC de Totoral Alto, aplican metodología de cálculo enfocadas en el coeficiente de infiltración, con un valor de 3,75% para la zona (DGA, 2007) y una recarga final de 375 l/s.

Posteriormente, y al aplicar la metodología al periodo histórico extendido, se determinó una recarga promedio de 100 l/s en la cuenca de Carrizal y de 237 l/s para la cuenca de Totoral. Se hace notar que los valores finales se ajustaron de modo que en la modelación se lograran mejores ajustes entre lo generado sintéticamente y lo modelado, tal como se muestra en el acápite 4.1.

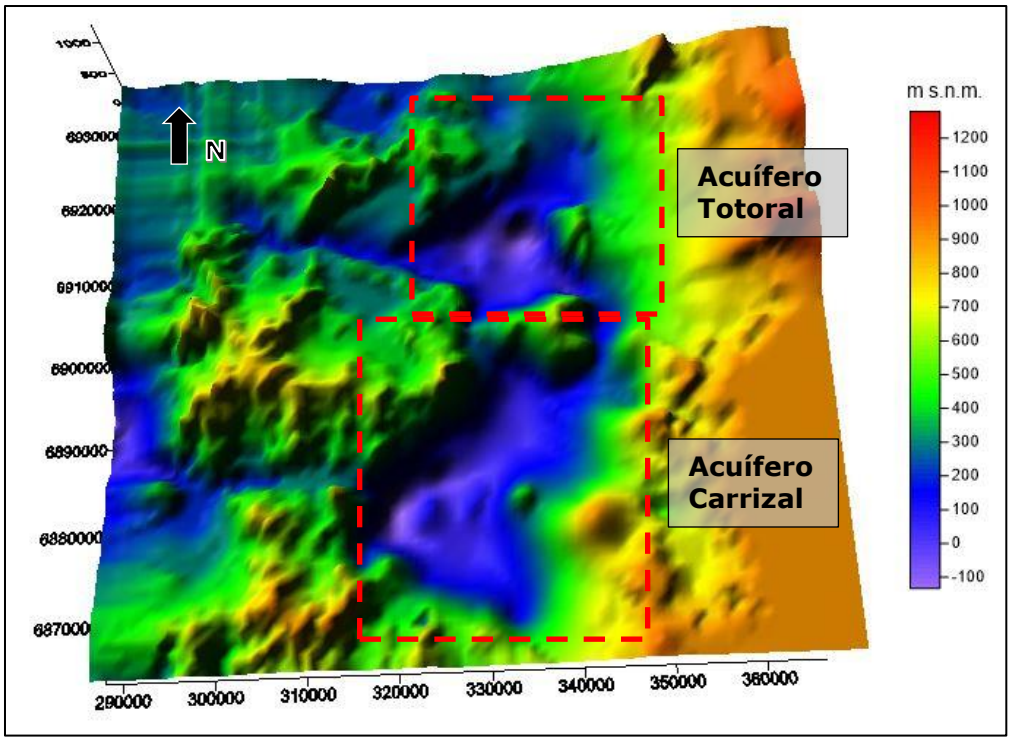
1.2.7 Modelo 3D del acuífero estudiado

Mediante la interpretación de los antecedentes y resultados geofísicos sumado a los antecedentes estratigráficos de pozos profundos y geología en el área de Estudio, se pudo determinar la geometría del basamento rocoso, de igual forma se trabajó en la generación de las otras capas presentadas en la Figura 1-54. La Figura 1-53 presenta una representación tridimensional de la elevación de la superficie del basamento rocoso integrada con un modelo de elevación digital (tipo DEM) para la representación de las cumbres colindantes. Cabe destacar que se truncó la elevación para las grandes cumbres, con la finalidad de representar de mejor manera la geometría del acuífero.

Con esta información sumada a la generación del resto de las capas será posible la construcción del modelo subterráneo.

Por otra parte, el proceso de la información fue realizado únicamente con el software ArcGIS, en el cual se generaron interpolaciones a partir de los antecedentes geofísicos de este estudio como la información recabada de estudios anteriores, además se integró información de geología y antecedentes estratigráficos de pozos. Como resultado se generaron SHAPES de nubes de punto, los que fueron utilizados para la modelación subterránea, y grillas DEM las que fueron utilizadas para la representación gráfica de los distintos mapas presentados en el informe. La utilización del software SURFER fue solo

para representar las capas generadas en 3D, permitiendo de esta manera una lectura rápida de la geometría espacial del acuífero.

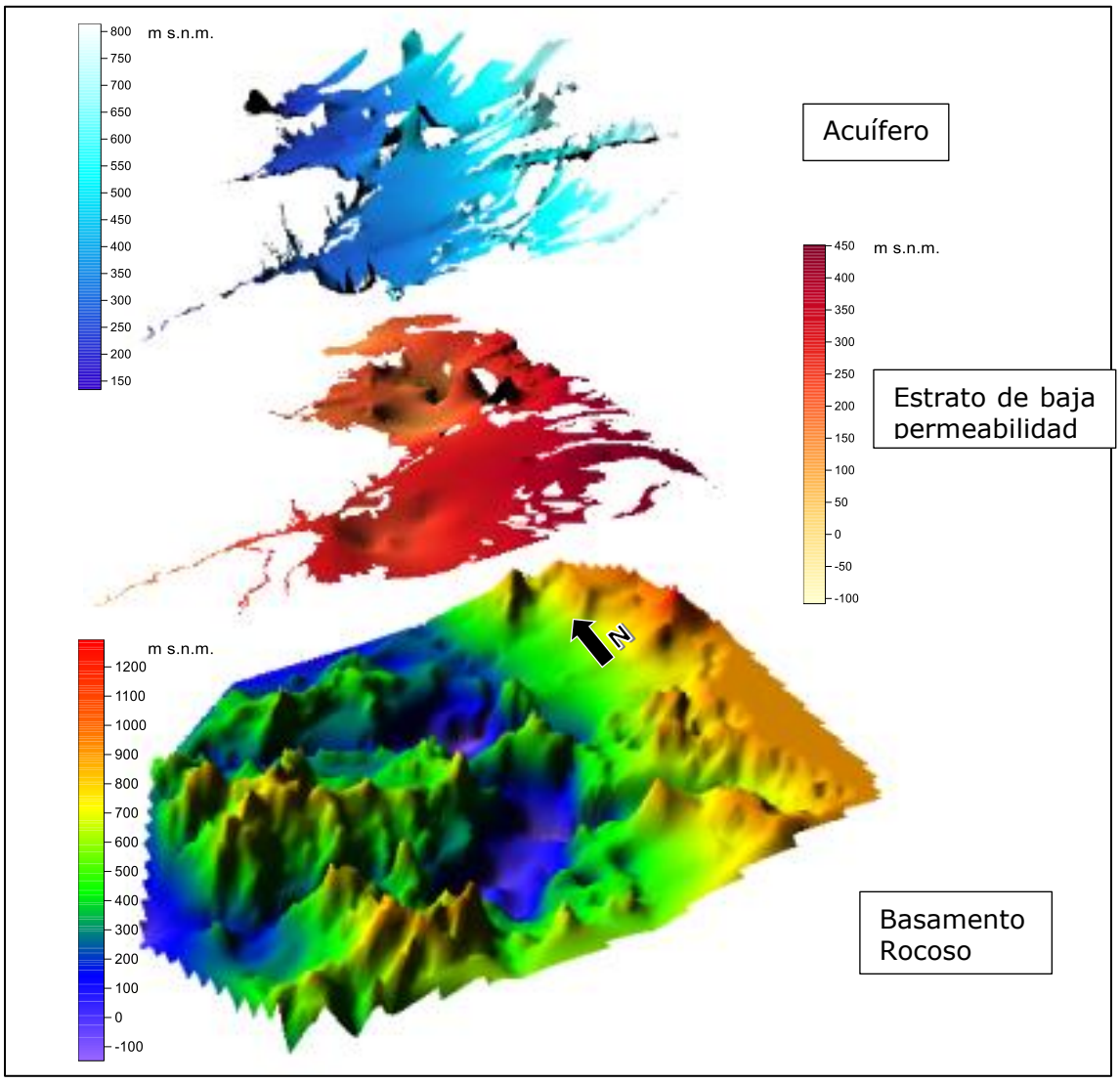


Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-53: Elevación de la capa de basamento rocoso

En la Figura 1-54 se puede observar que el modelo de capas fue agrupado en tres capas (estratos identificados por medio de sondajes profundos, información de cartas geológicas, ensayos geofísicos).

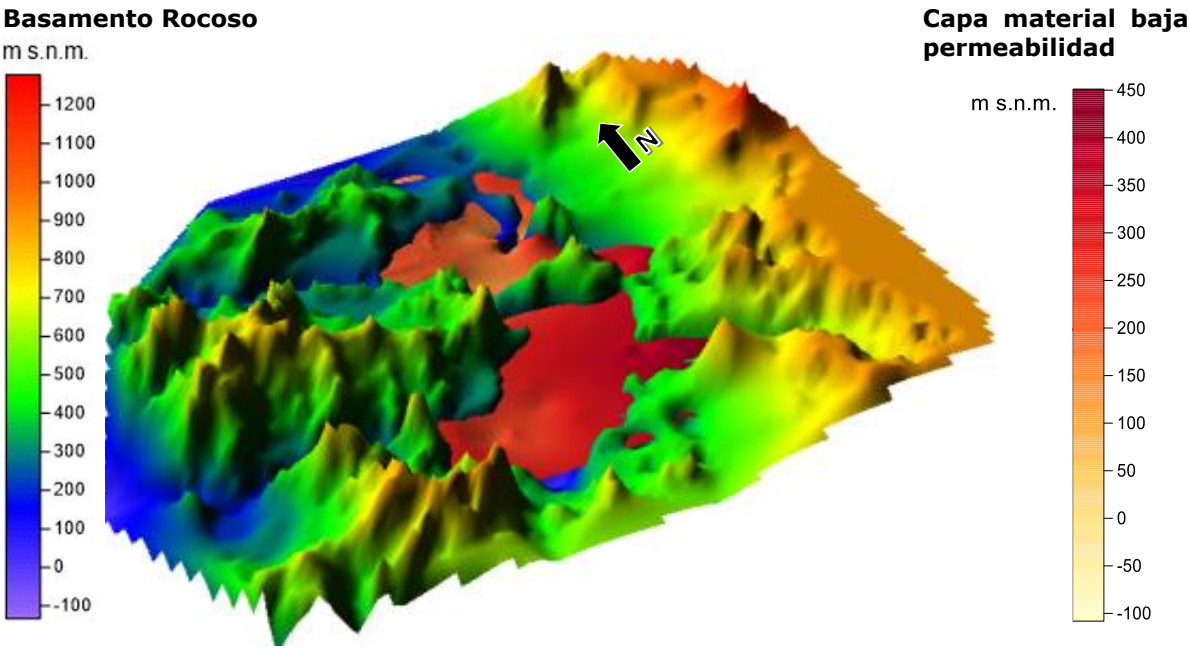
- Estrato conductor (asociado a un acuífero de alta permeabilidad)
- Estrato de bajas permeabilidades (asociado a resistencias que indicarían la presencia de arcillas limos de baja permeabilidad)
- Basamento rocoso (Con altas resistividades)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-54: Modelo de Capas, representación gráfica en 3D

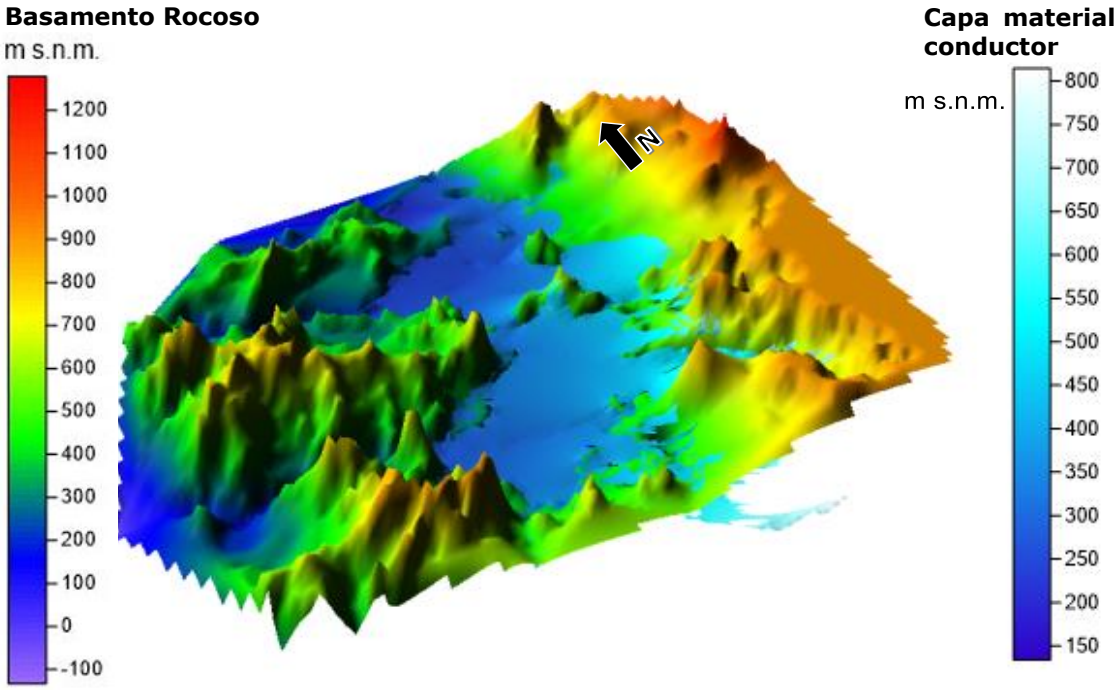
La Figura 1-55 presenta la capa del basamento rocoso integrada con la información de la capa del material de baja a nula permeabilidad, lo que para efectos prácticos vendría siendo el Bottom del modelo hidrogeológico.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-55: Representación gráfica de Basamento rocoso con capa de material se baja permeabilidad

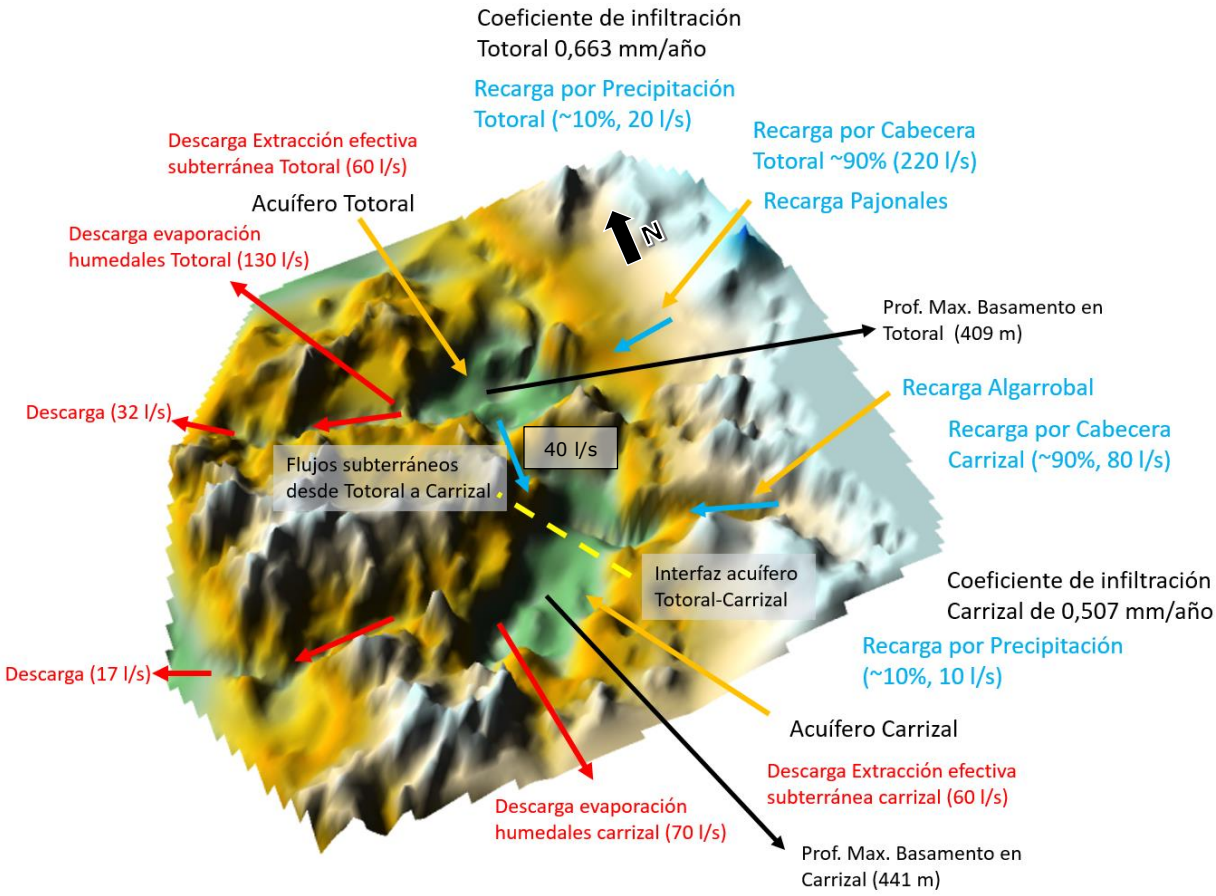
La última capa corresponde al ajuste de un DEM ALOS PALSAR que cuenta con una resolución de 12,5 m, en base a los antecedentes geofísicos y geológicos del área de estudio se determina que el acuífero comienza en superficie (materiales asociados a un estrato conductor). Este DEM fue ajustado a los pozos georreferenciados en el catastro de la campaña 2021 por Con Potencial Consultores, mediante GPS geodésico estático, como también a las estaciones gravimétricas que fueron georreferenciadas del mismo modo (ver Figura 1-56).



Fuente: Elaboración propia.

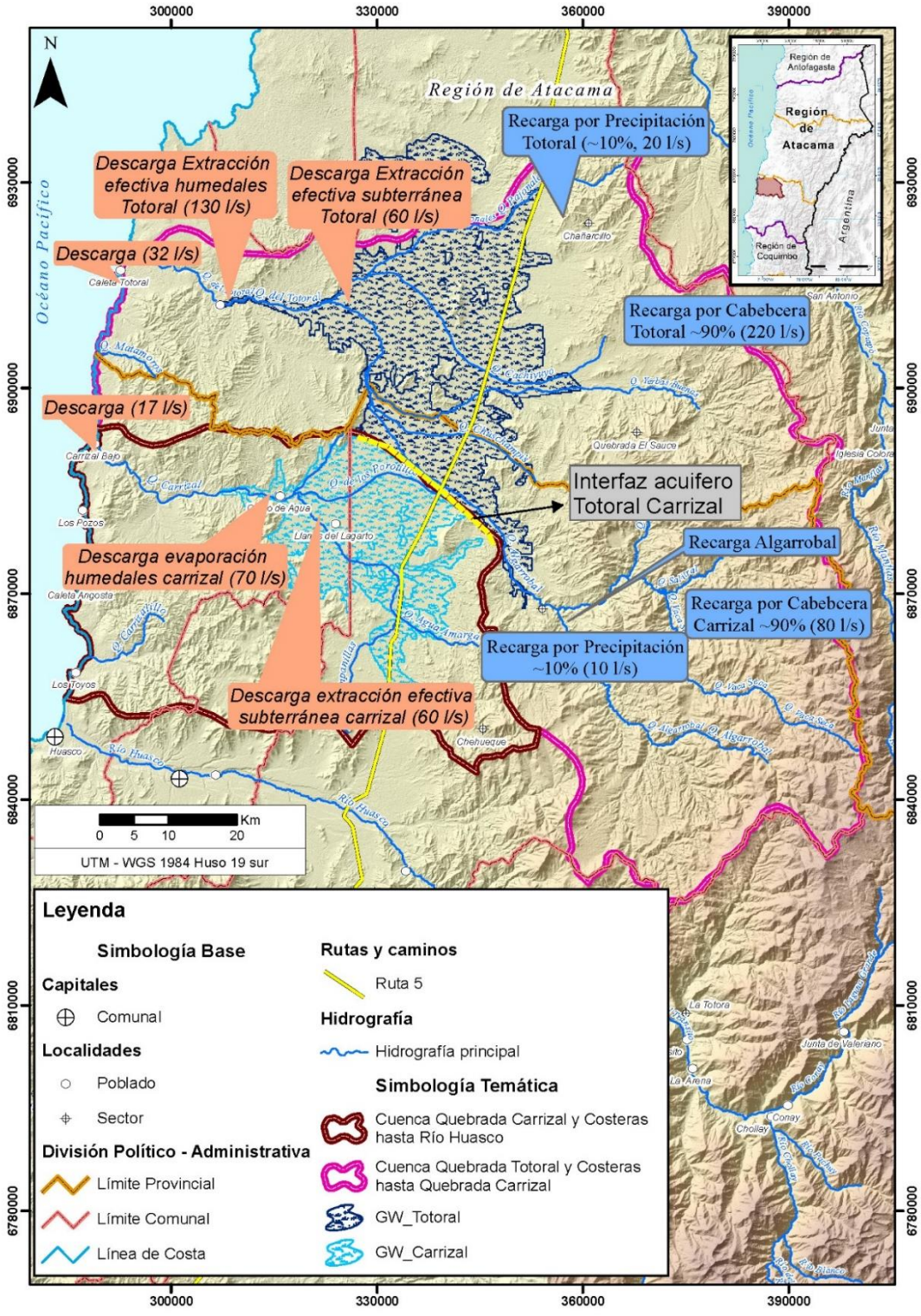
Figura 1-56: Representación gráfica de Basamento rocoso con capa de material conductor (acuífero)

En la Figura 1-57 se presenta finalmente el modelo conceptual 3D, cabe destacar que los resultados como las condiciones de borde presentados corresponden a los resultados del modelo numérico que se presentará en los próximos acápites. Esta figura contiene información de zonas de recarga y descargas, límite entre acuíferos, profundidades máximas del basamento rocoso, tasas de infiltración y evaporación, y descargas por extracciones efectivas del acuífero. Se presenta además toda la información utilizada para la generación del modelo de capas en la Figura 1-59. Adicionalmente, se presenta en la Figura 1-58 un mapa modelo conceptual del acuífero.



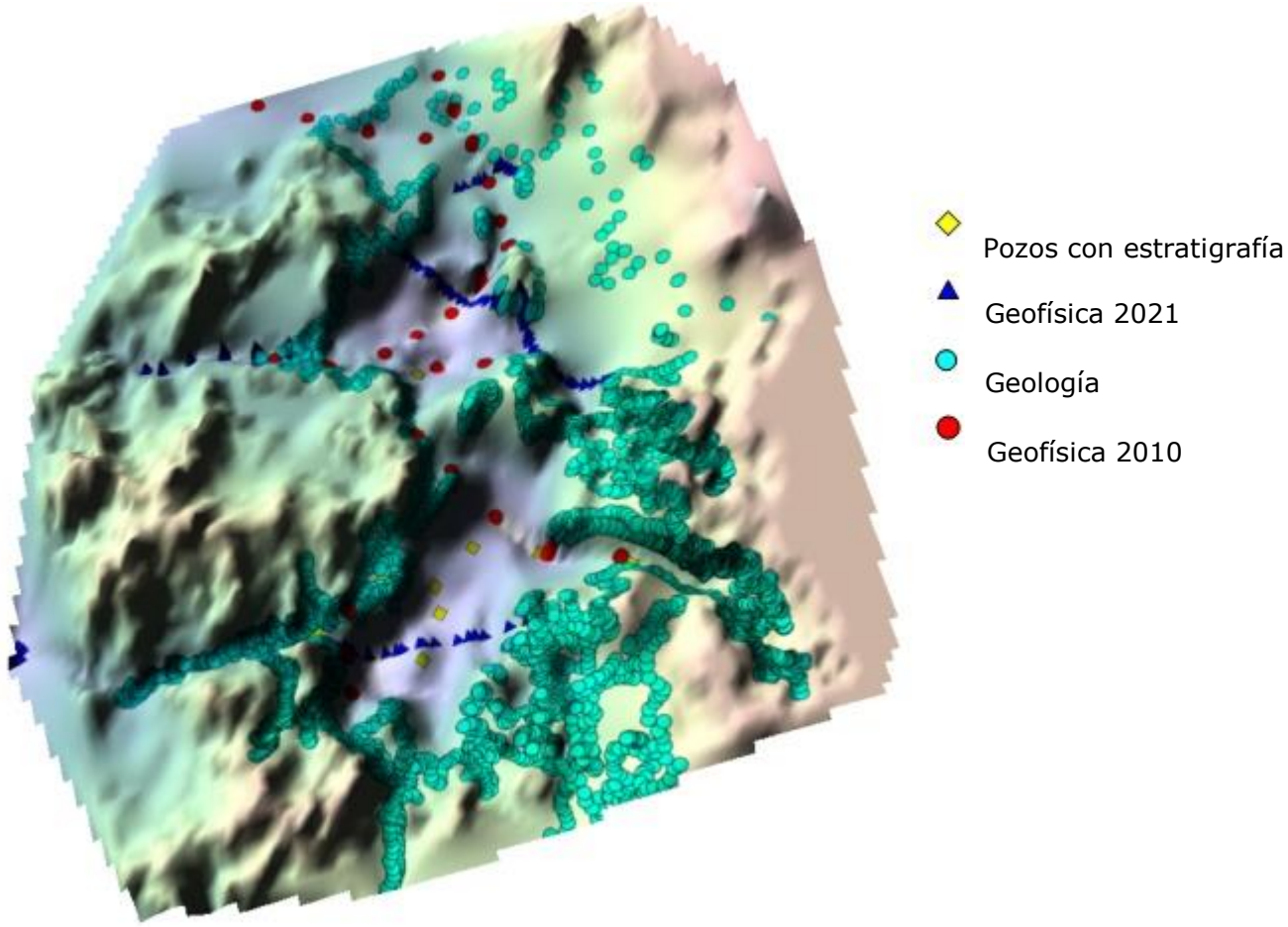
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-57: Modelo Conceptual 3D



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-58: Mapa modelo Conceptual



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-59: Información utilizada para la construcción del modelo de capas

1.3 Análisis Modelo Numérico Existente

El modelo numérico hidrogeológico recibido es parte del estudio "Análisis y Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos de los Acuíferos Costeros Ubicados entre los Ríos Salado y Huasco, III Región De Atacama", DGA (2010). Utilizando el programa Visual Modflow, se elabora un modelo de flujo subterráneo para la zona comprendida por las cuencas de las Quebradas Totoral y Carrizal. La implementación del modelo considera 2 etapas: la elaboración de un modelo en régimen permanente, donde se representan las condiciones actuales de la cuenca en estudio mediante el proceso de calibración del

modelo, y la implementación de un modelo en régimen impermanente, que utiliza como condición inicial los resultados del modelo estacionario, y representa la evolución histórica del sistema en los últimos 20 años. El horizonte de modelación implementado, por lo tanto, abarca el período entre enero de 1989 y marzo de 2009, es decir, 7.395 días en total.

1.3.1 Plataforma, Motor y Solver

El modelo en régimen permanente se realizó en la plataforma Visual MODFLOW, con el motor MODFLOW2000 y el *solver* WHS, con un *RClose (Residual Criterion)* y *HClose (Head Change Criterion)* de 0,01 m y un *Damping Factor* de 0,15. El modelo en régimen transiente se realizó en la misma plataforma y motor, pero se utilizó el *solver* SAMG *(Algebraic Multigrid Methods for Systems)* con un *BClose (Budget closure criterion)* de 0,01 m.

1.3.2 Límites y Geometría

El dominio del modelo corresponde a las cuencas de las quebradas Totoral y Carrizal. El dominio de modelación tiene una extensión de 51 km en la dirección este-oeste y 80 km en la dirección norte-sur, cubriendo una superficie de 4.080 km^2. Los límites del modelo en coordenadas UTM son:

- Norte: 6.930.000 m
- Sur: 6.850.000 m
- Este: 359.000 m
- Oeste: 308.000 m

1.3.3 Discretización del Dominio

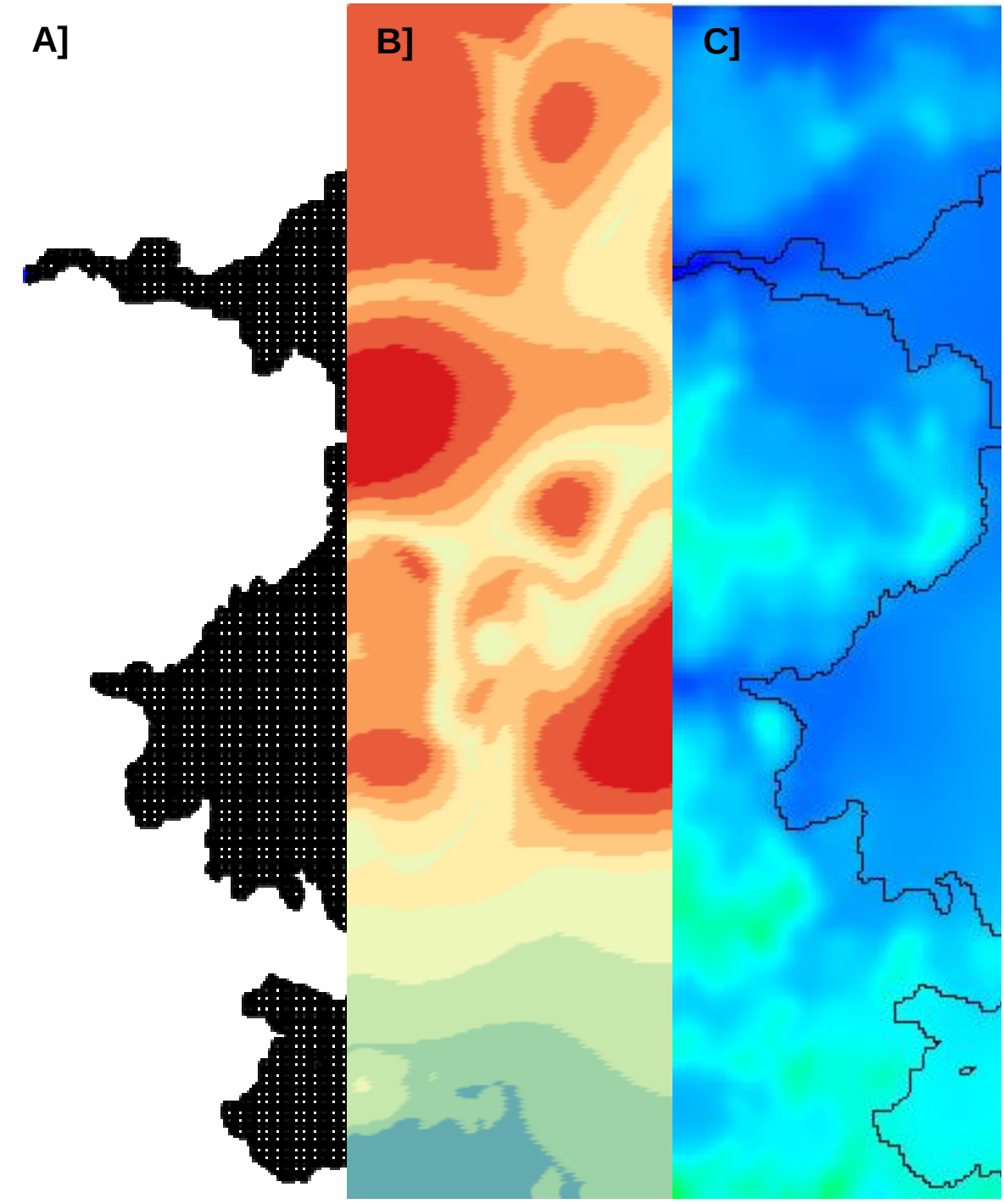
Se realiza un mallado regular de 250 x 250 m, lo que resulta en 320 filas y 204 columnas, se impone un estrato en la vertical, por lo tanto, el modelo posee un total de 65.280 celdas.

La superficie de terreno del modelo se obtuvo a partir de la topografía basada en información referente a cartas IGM 1:50.000. Esta información permitió obtener curvas de nivel cada 25 m de elevación.

Para definir el basamento rocoso se utilizó principalmente la información obtenida a partir del estudio Geofísico realizado para este estudio, complementada con datos obtenidos de planos de construcción de pozos. En los sectores en los cuales no se

contaba con esta información se utilizó una superficie de basamento que facilitara la convergencia del modelo, se impuso una profundidad mínima de basamento rocoso de 90 m.

En la Figura 1-60 A], se muestra el dominio del modelo, con la malla regular de 250 x 250 en el dominio activo del modelo. En la Figura B] se muestra la topografía del basamento del modelo (*BOTTOM*), en donde las mayores profundidades corresponden a los colores rojos mientras que las mayores cotas a los colores azules. Finalmente, en la Figura C], se presenta la topografía superficial del modelo (*TOP*), en este caso, las cotas altas se presentan de color rojo y las bajas de color azul.



Fuente: DGA (2010) y Elaboración propia

Figura 1-60: Dominio mallado, topografía del fondo y topografía de la superficie del modelo numérico

1.3.4 Atributos Temporales

En régimen Permanente se impuso un periodo de estrés con paso de tiempo de largo 3.650 días. En el régimen transiente se tienen 108 periodos de estrés del orden de los 180 días, de 10 pasos de tiempo cada uno con un multiplicador de 1.2. Esto suma un total de 7.395 días.

1.3.5 Condiciones de Borde

A continuación, se presenta un resumen de las condiciones de borde impuestas en el modelo subterráneo.

1.3.5.1 Condición de recarga

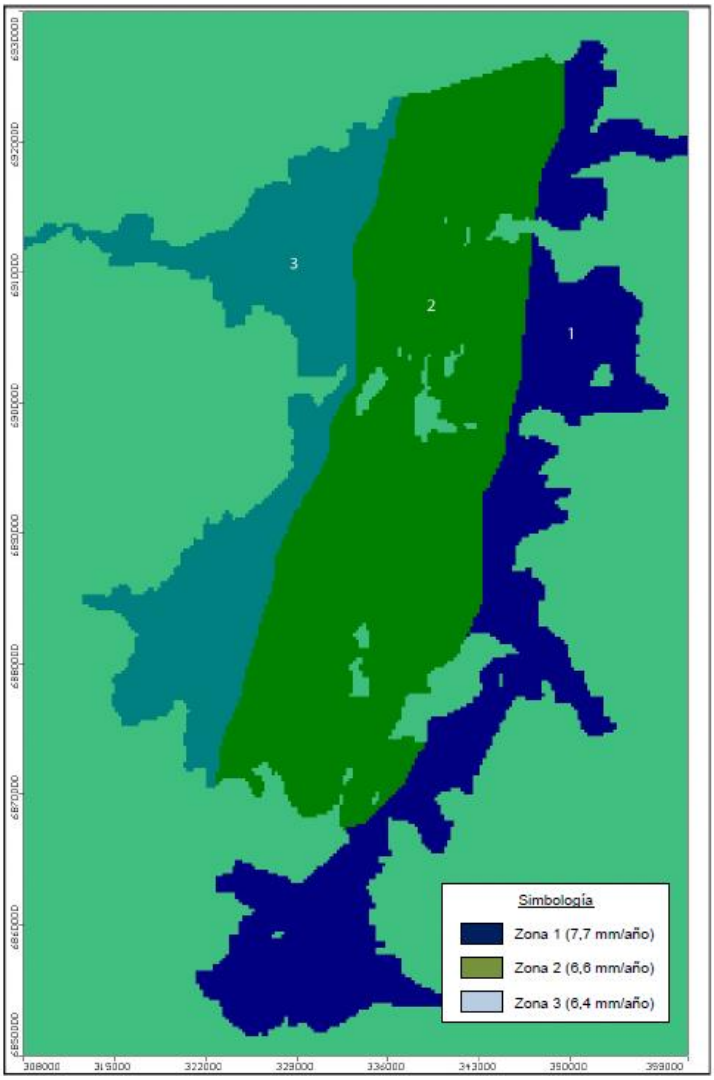
Se realizó una estimación de la recarga producto de las precipitaciones en la zona. Se generó una serie de recarga para 40 años, esta se realizó utilizando la siguiente metodología:

- Generar una estadística pluviométrica que abarque un período de 40 años, mediante técnicas de relleno y correlación de la estadística disponible
- Establecer perfiles de distribución de la precipitación en función de la altura en las cuencas en estudio. Dicho perfil debe cubrir toda la zona de interés dentro de ambas cuencas (es decir, la zona correspondiente al relleno, donde se ubican las formaciones acuíferas).
- Con dicho perfil, se estimó la recarga que reciben las formaciones acuíferas asociadas a cada subcuenca. Se obtuvo una serie de valores a escala mensual, que abarcan los 40 años definidos para la serie observada y sintetizada de las lluvias. El procedimiento utilizado para este cálculo está basado conceptualmente en diversos métodos, como el método del *Soil Conservation Service* (SCS) para infiltración o de la Curva Número (CN), el modelo de Turc, Blanney-Criddle, entre otros, resultando el más representativo de la zona en estudio, el de la Curva Número o SCS.

Se obtuvo una serie mensual de recargas para 40 años, para cada subcuenca involucrada, y distribuida a través de la cuenca en estudio en franjas definidas cada 200 m de elevación del terreno.

A. REGIMEN PERMANENTE

Para el modelo en régimen permanente, la recarga del sistema se determinó a partir de las series de recargas mensuales obtenidas para cada subcuenca identificada, cuyo procedimiento se explicó anteriormente. Para calcular la recarga utilizada en el modelo, se utilizaron las series de las subcuencas de Totoral y Carrizal, las cuales se distribuyeron en tres franjas utilizando como criterio la elevación de terreno. En la Figura 1-61, se muestra las zonas de recarga delimitadas en la zona activa del modelo y se presentan los valores para dicha recarga en régimen permanente.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-61: Zonas de recarga del modelo numérico

B. REGIMEN IMPERMANENTE

Para este caso, se mantiene la distribución espacial de las zonas de recarga, pero en lugar de imponer un valor de la recarga por zona, se ingresa una serie de tiempo de recargas. Estos valores provienen de las series mensuales de recarga obtenidas mediante el método SCS, a partir de la serie de precipitaciones mensuales de la cuenca, utilizando la metodología antes descrita.

1.3.5.2 Condición de Río y de Dren

No presenta condiciones de tipo *River* o *Drain.*

1.3.5.3 Condición de altura constante

El modelo posee dos puntos de salida de flujo correspondientes a las quebradas Totoral (147,8 m s.n.m.) y Carrizal (222,5 m s.n.m.). En ambos sectores se estableció como condición de borde, el nivel constante correspondiente al nivel estático del pozo más cercano a estos puntos.

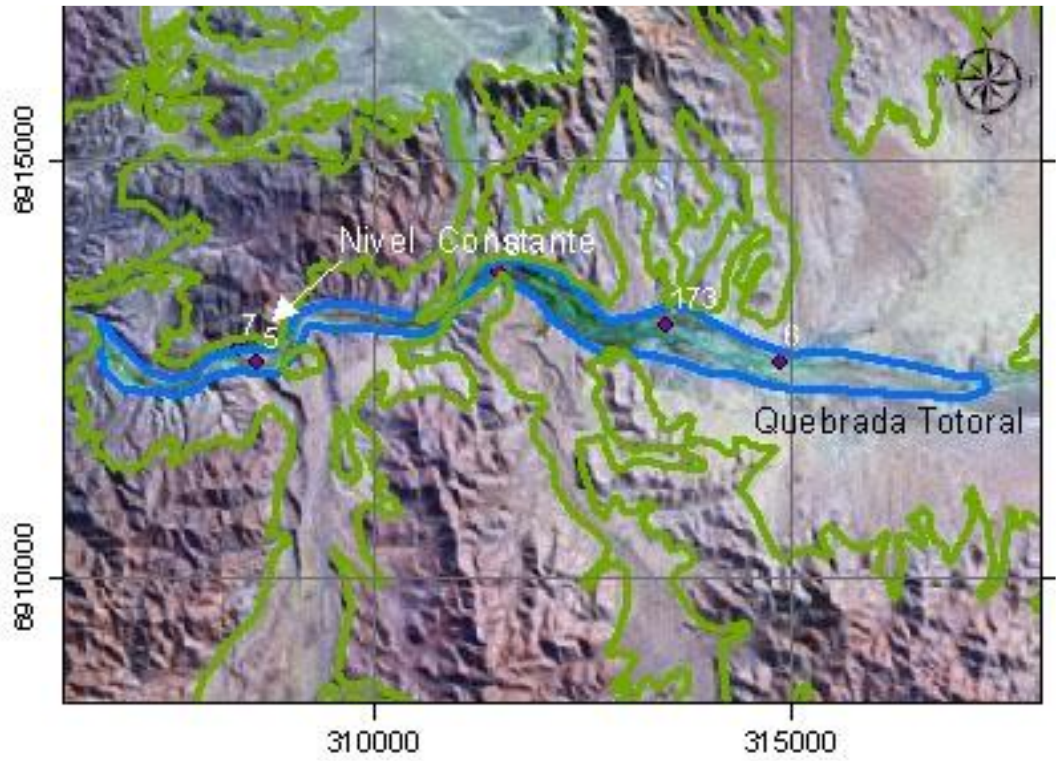
Estas condiciones fueron incluidas tanto en el modelo en régimen permanente, como en régimen transiente.

1.3.5.4 Condición de evapotranspiración

En el área de estudio se han identificado dos zonas en las cuales existe evaporación y/o evapotranspiración, que corresponden a los sectores de angostamiento de las quebradas mencionadas. Son zonas donde el nivel freático se aproxima a la superficie e incluso aflora el agua generando una abundante vegetación como el caso de quebrada Totoral.

Para estos sectores se ha utilizado una tasa de evaporación de 1.430 mm/año, obtenida a partir de la información hidrometeorológica de la zona. Se impone una profundidad de extinción de 5 m y el decaimiento lineal por tramos queda con la configuración por default 12,5% de ET al 50% de la profundidad de extinción.

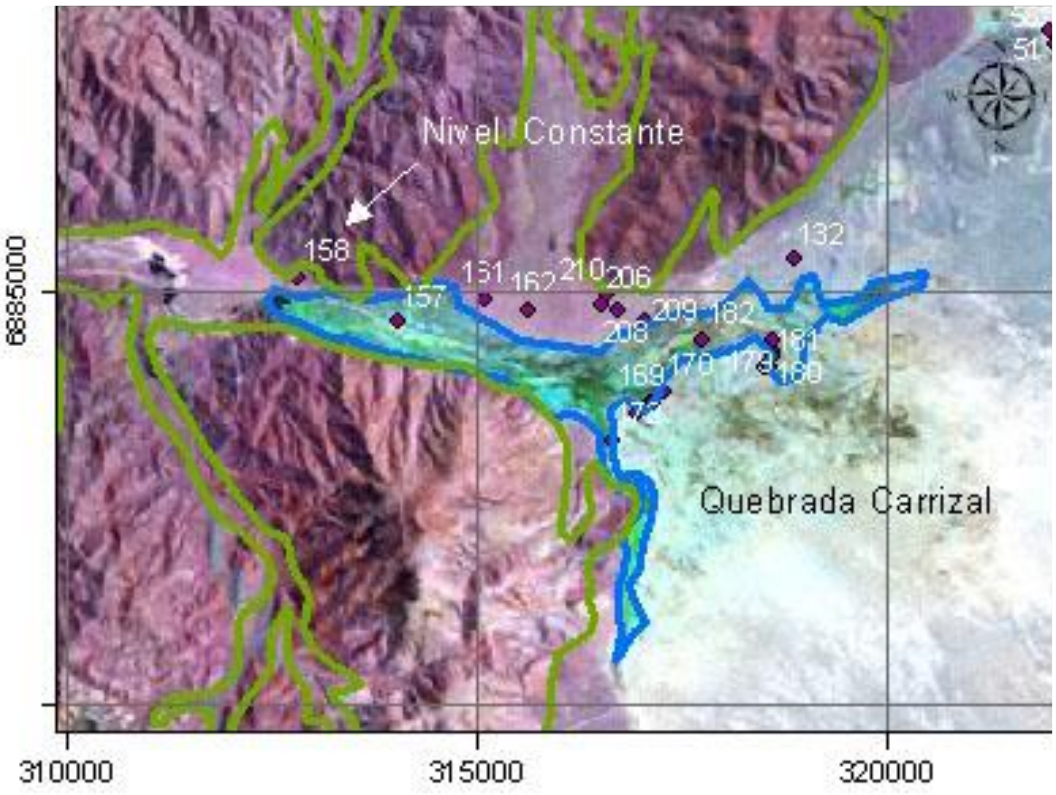
En la Figura 1-62 se muestra delimitada por la línea de color azul, la zona de evaporación y evapotranspiración en el sector de angostamiento de la Quebrada Totoral.



Fuente: DGA (2010)

Figura 1-62: Zonas de evaporación Quebrada Totoral

En la Figura 1-63, se muestra delimitada también por la línea de color azul, la zona de evaporación y evapotranspiración en el sector de angostamiento de la Quebrada Carrizal. En ambas figuras se indica la ubicación de la condición de altura constante impuesta en el angostamiento. Ambas figuras se encuentran georreferenciadas en el datum Provisional Sudamericano 1956 H19s.

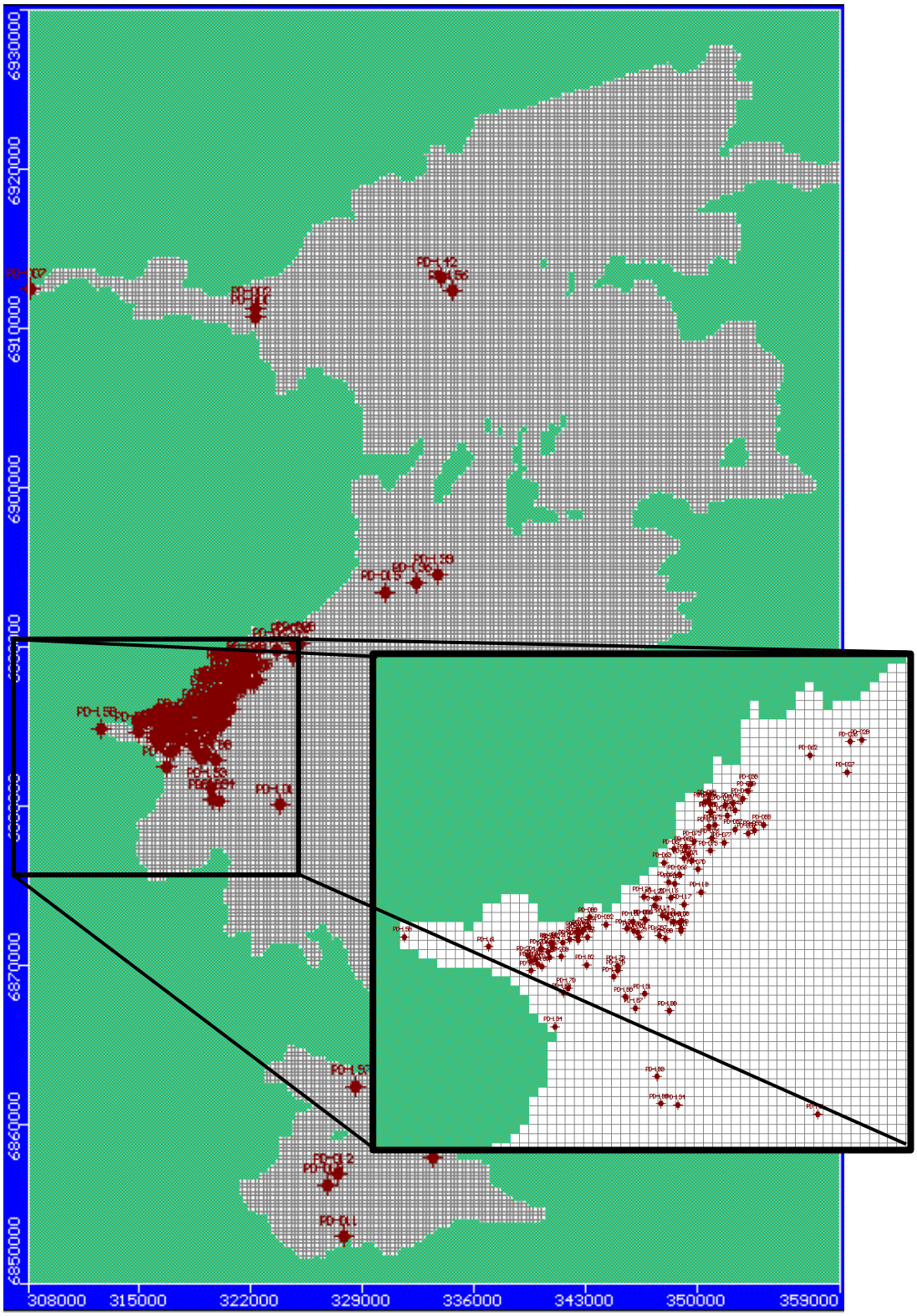


Fuente: DGA (2010)

Figura 1-63: Zonas de evaporación Quebrada Carrizal

1.3.5.5 Caudales de extracción

Para el régimen permanente, se asume régimen natural, por lo tanto, no existen pozos de extracción en el modelo. Para el régimen transiente en tanto, se impuso extracciones acordes a los antecedentes recopilados en el catastro y las encuestas realizadas en marzo de 2009. Se crearon 115 pozos de extracción, que representan pozos, norias y zanjas. Se impuso una regla estacional de operación para diferenciar invierno y verano, el factor para el consumo en invierno va entre 0 y 1 y en promedio es 0,35. El caudal de extracción de verano corresponde a un total de 120,4 l/s con un promedio de 1 l/s por pozo, mientras que en invierno el caudal total asciende a 65 l/s promediando 0,57 l/s por pozo. En la Figura 1-64, se muestran los pozos de extracción en el modelo Modflow.

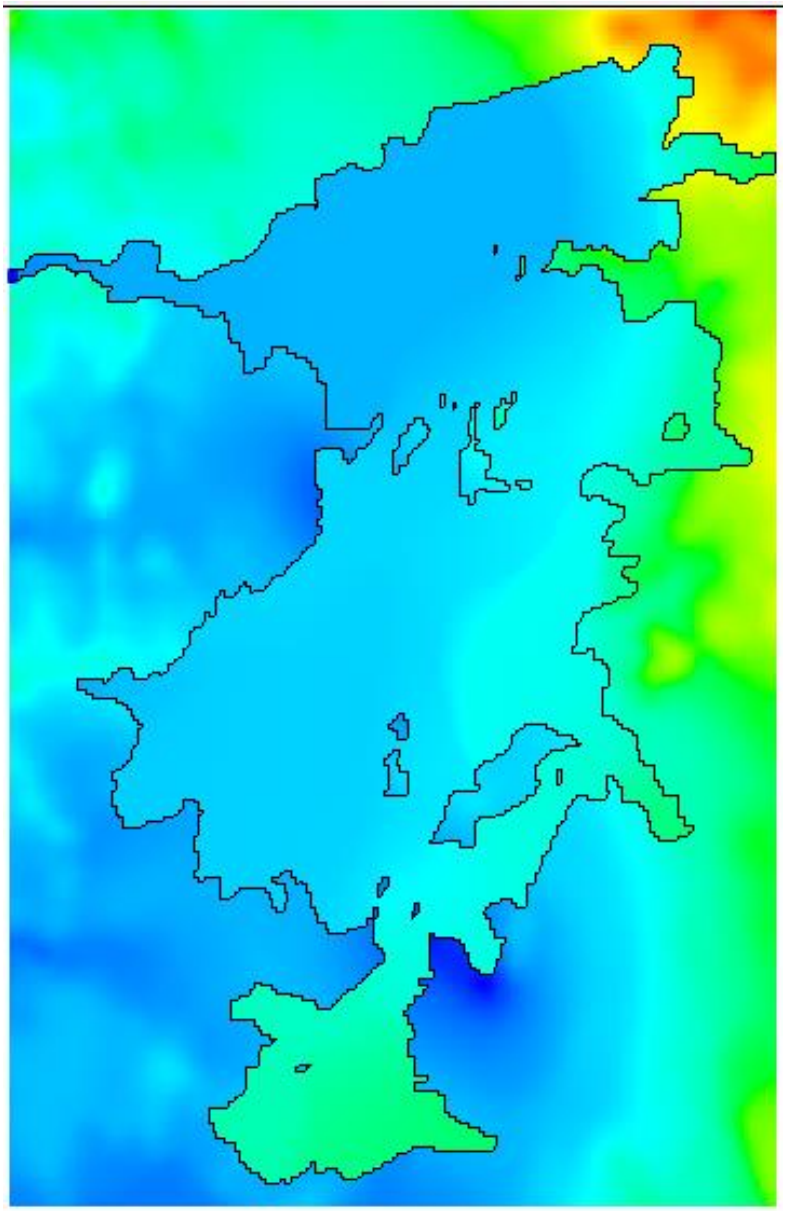


Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-64: Pozos de extracción modelo subterráneo

1.3.5.6 Condición Inicial

Para el régimen permanente se impone condición inicial el nivel freático igual al *TOP* del modelo, mientras que para régimen transiente se impone como condición el resultado final del modelo en régimen permanente como condición inicial. En la Figura 1-65 se presenta la condición inicial para el modelo en régimen transiente, en color rojo las cotas altas y en azul las bajas.



Fuente: Elaboración propia.

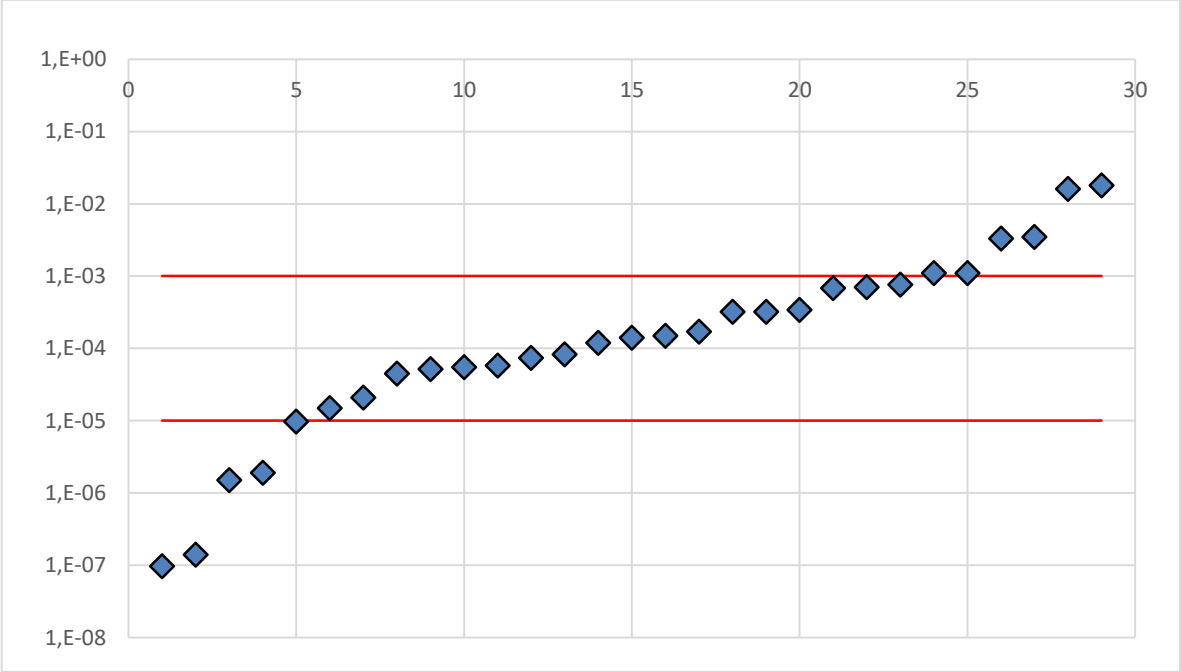
Figura 1-65: Condición inicial en régimen transiente

1.3.6 Parámetros hidrogeológicos

1.3.6.1 Conductividad hidráulica

Los valores de las permeabilidades asociadas a la zona de modelación se obtuvieron a partir de pruebas de gasto constante recopiladas de los expedientes e información relacionada con los pozos de la zona.

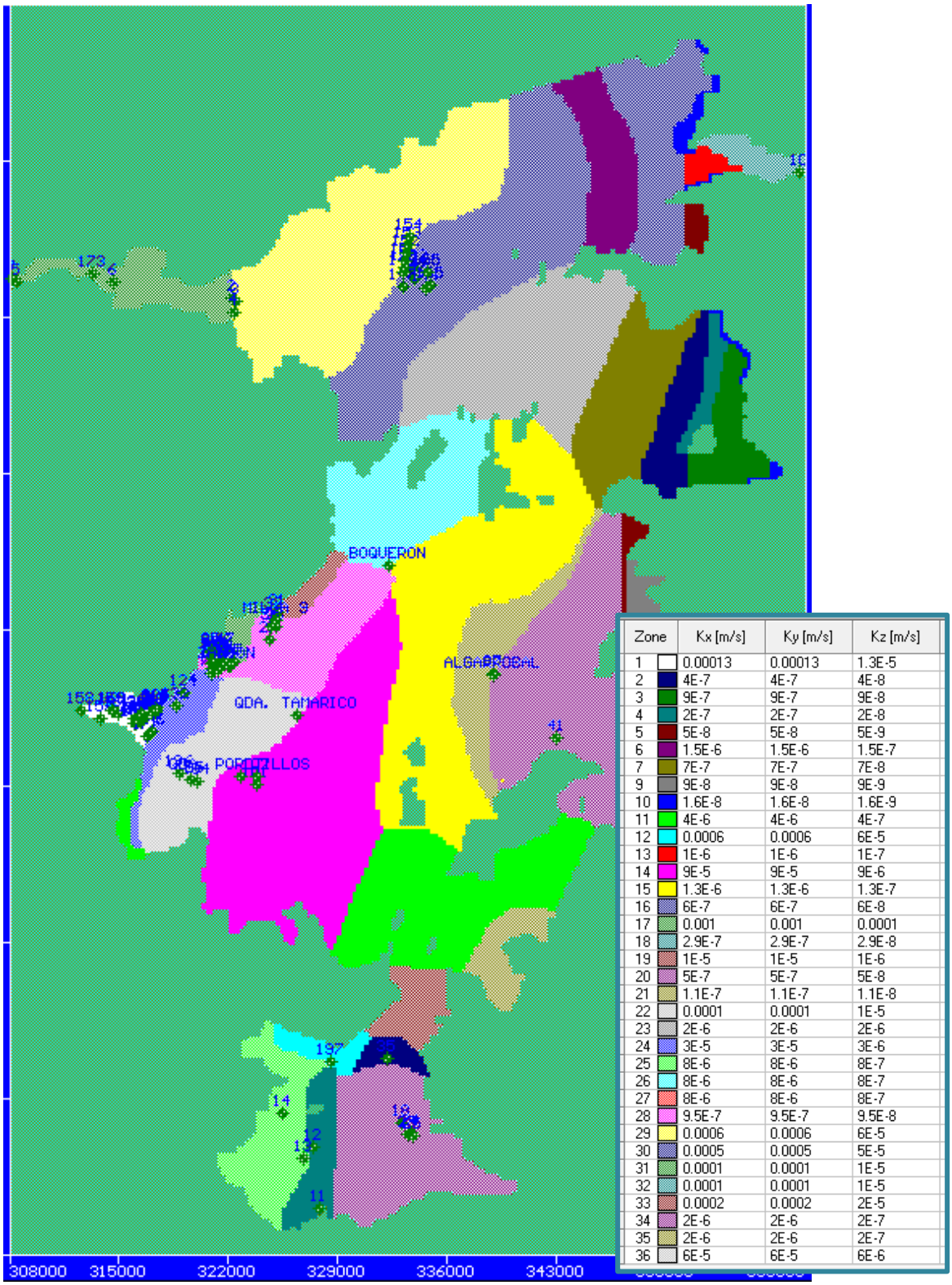
Los valores oscilan entre 10^{-2} y 10^{-8} m/s, de las más de 30 pruebas sistematizadas, 10 de ellas entregan valores del orden de 10^{-4} m/s y 7 de ellas 10^{-5} m/s. En la Figura *1-66*, se presenta gráfico con todos los valores de la conductividad hidráulica recopilados de las pruebas de bombeo. Se observa que los valores se encuentran concentrados entre 10^{-4} y 10^{-5} m/s, la mediana es 1,4 x 10^{-4} m/s y el promedio 1,62x10^{-3} m/s.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-66: Resumen de valores de conductividad hidráulica

En la Figura 1-67, se presenta la distribución espacial de los valores de conductividad hidráulica impuesta en el modelo en régimen permanente.



Zone	Kx [m/s]	Ky [m/s]	Kz [m/s]
1	0.00013	0.00013	1.3E-5
2	4E-7	4E-7	4E-8
3	9E-7	9E-7	9E-8
4	2E-7	2E-7	2E-8
5	5E-8	5E-8	5E-9
6	1.5E-6	1.5E-6	1.5E-7
7	7E-7	7E-7	7E-8
9	9E-8	9E-8	9E-9
10	1.6E-8	1.6E-8	1.6E-9
11	4E-6	4E-6	4E-7
12	0.0006	0.0006	6E-5
13	1E-6	1E-6	1E-7
14	9E-5	9E-5	9E-6
15	1.3E-6	1.3E-6	1.3E-7
16	6E-7	6E-7	6E-8
17	0.001	0.001	0.0001
18	2.9E-7	2.9E-7	2.9E-8
19	1E-5	1E-5	1E-6
20	5E-7	5E-7	5E-8
21	1.1E-7	1.1E-7	1.1E-8
22	0.0001	0.0001	1E-5
23	2E-6	2E-6	2E-6
24	3E-5	3E-5	3E-6
25	8E-6	8E-6	8E-7
26	8E-6	8E-6	8E-7
27	8E-6	8E-6	8E-7
28	9.5E-7	9.5E-7	9.5E-8
29	0.0006	0.0006	6E-5
30	0.0005	0.0005	5E-5
31	0.0001	0.0001	1E-5
32	0.0001	0.0001	1E-5
33	0.0002	0.0002	2E-5
34	2E-6	2E-6	2E-7
35	2E-6	2E-6	2E-7
36	6E-5	6E-5	6E-6

Fuente: DGA (2010)

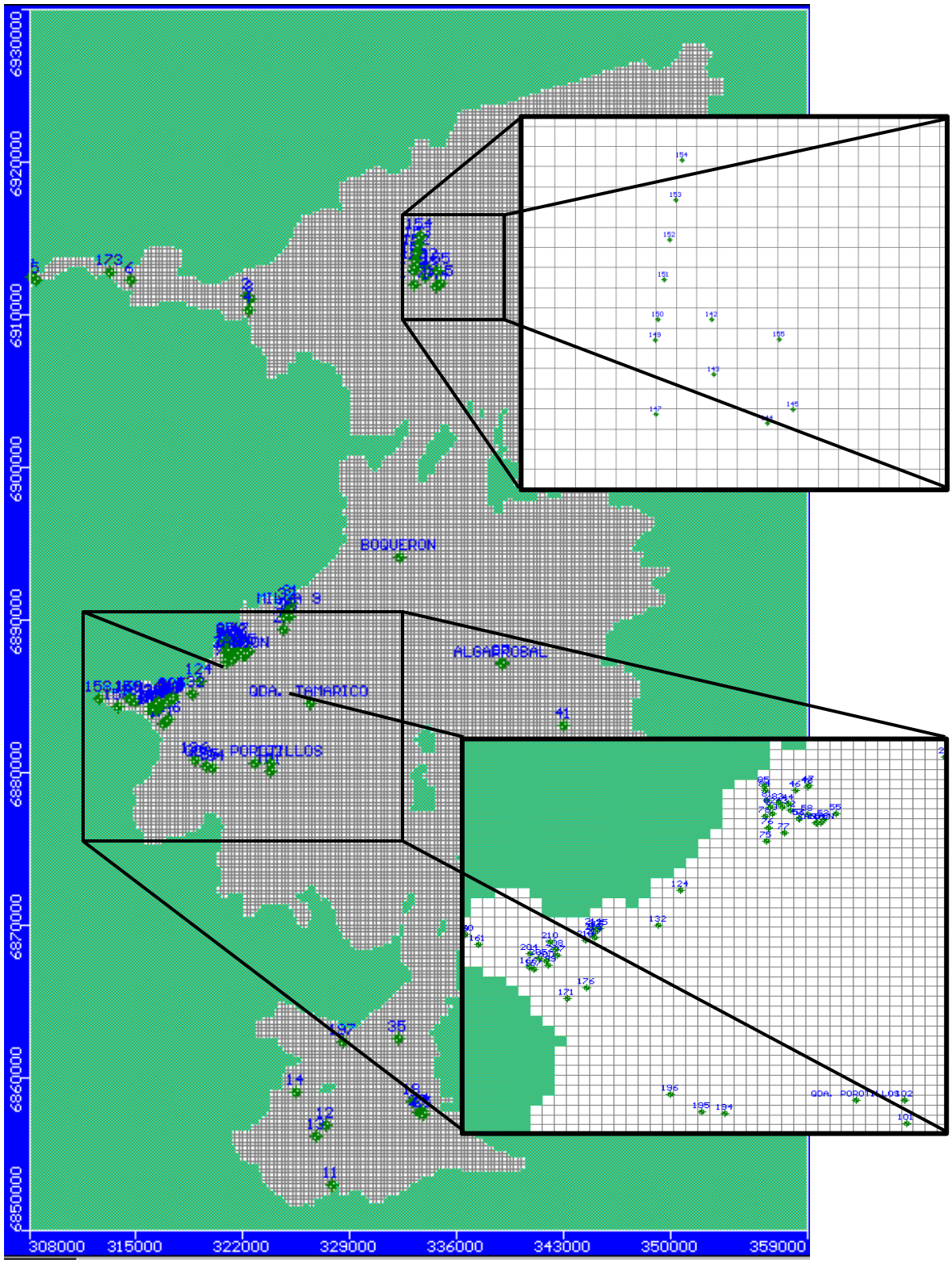
Figura 1-67: Distribución de zonas de conductividad

1.3.6.2 Almacenamiento

La limitada información hidrogeológica en la zona de modelación, y en particular, de parámetros de almacenamiento, obligó a adoptar valores típicos de rendimiento específico (Sy) para acuíferos no confinados, para ser incorporados al modelo, y considerando su eventual variación en el proceso de calibración. Se considera un rango típico para materiales no consolidados medios a finos, de 5 % a 25%.

1.3.7 Pozos de Observación

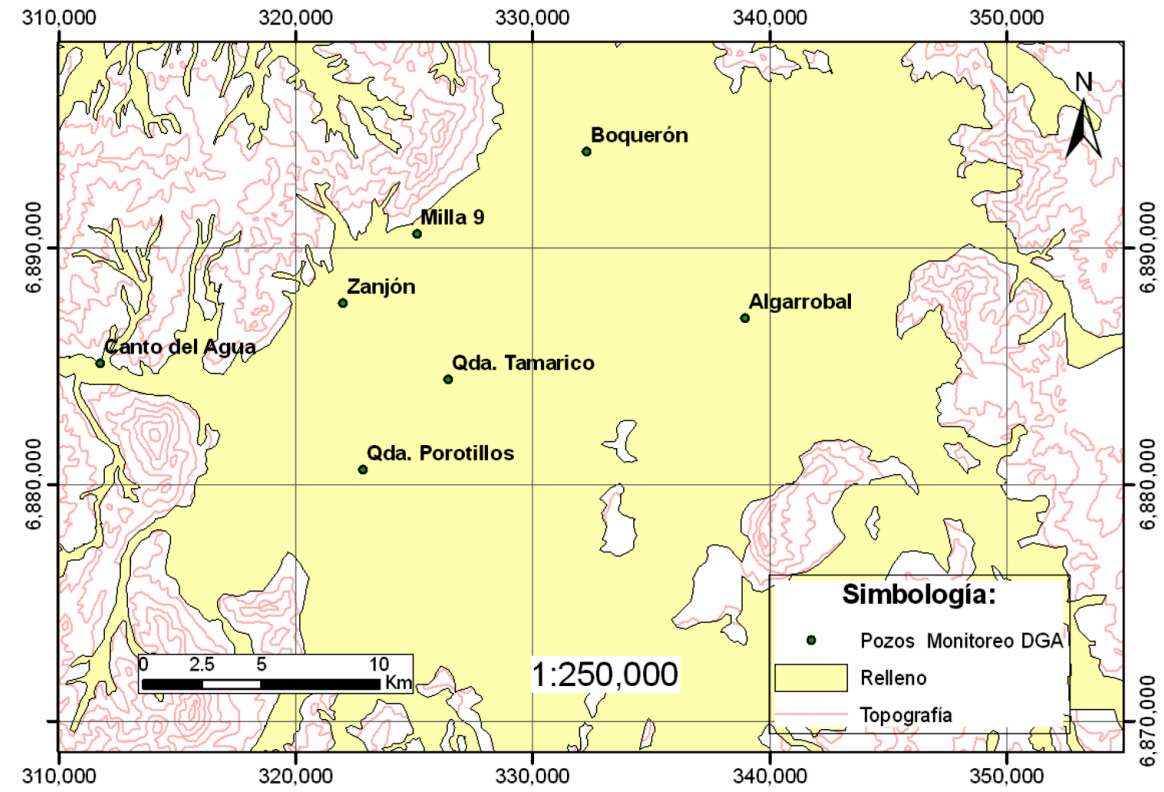
En la Figura *1-68*, se muestra los pozos de observación ingresados al modelo, con un total de 107 correspondientes al catastro realizado y 7 de propiedad de DGA. Para el régimen permanente se utiliza la totalidad de los pozos disponibles para la calibración.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-68: Pozos de observación ingresados al modelo Modflow

Para el caso de la calibración en régimen transiente, es necesario tener mediciones de niveles a lo largo del tiempo, por lo que se utilizan los datos recopilados de la DGA. No obstante, tal como se observa en la Figura 1-69, que muestra la ubicación de los pozos de monitoreo de la DGA, estos se encuentran concentrados en la parte central del modelo, quedando un importante vacío de información para el resto de la cuenca.



Fuente: DGA (2010)

Figura 1-69: Ubicación de pozos de monitoreo DGA

1.3.8 Resultados de Calibración

Se realiza una calibración para régimen permanente, en la que se ajustan los valores de conductividad hidráulica y dado los resultados, se realiza un ajuste de los valores de las recargas producto de las precipitaciones. Además, se realiza una calibración en régimen transiente de los valores del coeficiente de almacenamiento Sy.

1.3.8.1 Régimen Permanente

La calibración en régimen permanente consistió en ajustar los valores de la conductividad hidráulica, dentro del rango definido en el modelo conceptual para obtener los niveles obtenidos en la campaña de monitoreo y catastro de 2009. Como el modelo quedó con los niveles simulados por debajo de los observados de forma general, se calibró el valor de la recarga.

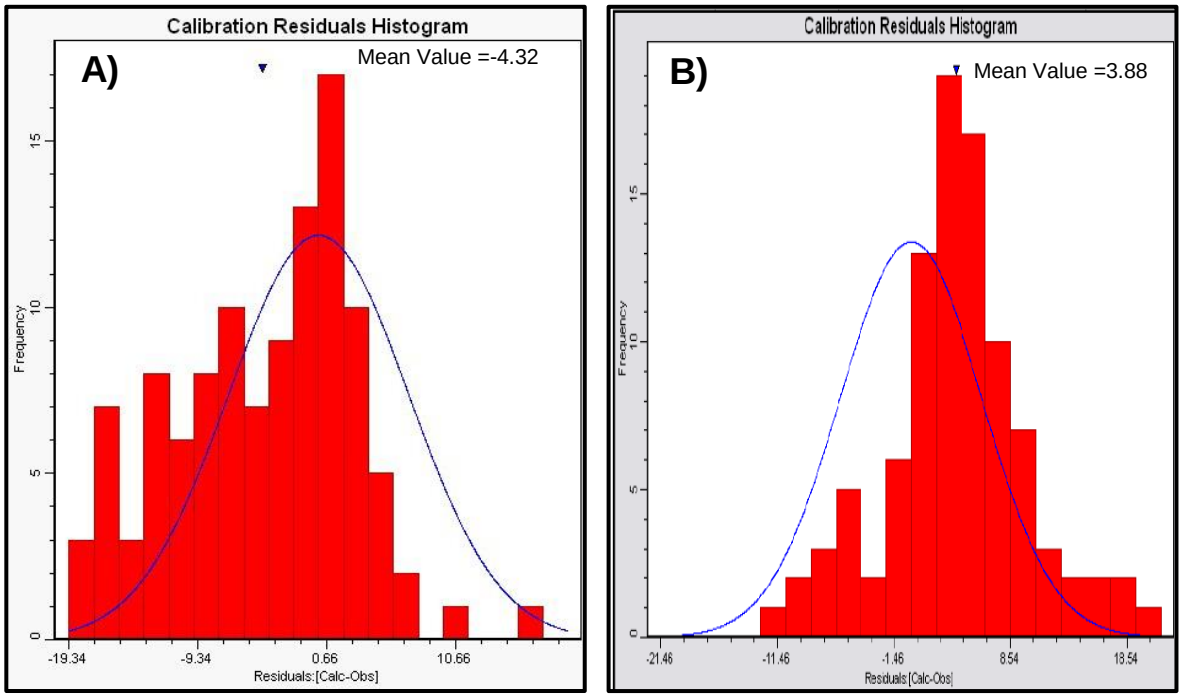
Para calibrar la recarga se calcularon las recargas máximas y mínimas con el método de la curva número (SCS), se analizaron los resultados del modelo para los tres casos, infiriendo que los residuales centrados en cero se lograrían en el intervalo de recarga media a recarga máxima. En la Tabla 1-17, se presenta un cuadro resumen con los valores máximos, medios y mínimos para las tres zonas delimitadas sobre la superficie del modelo con distintos valores para la recarga.

Tabla 1-17: Resumen de valores de recarga en zonas sobre el modelo

Zona	Recarga mínima (mm/año)	Recarga media (mm/año)	Recarga máxima (mm/año)
2	6,4	7,7	9,7
3	5,5	6,6	8,3
4	5,3	6,4	8,1

Fuente: DGA (2010)

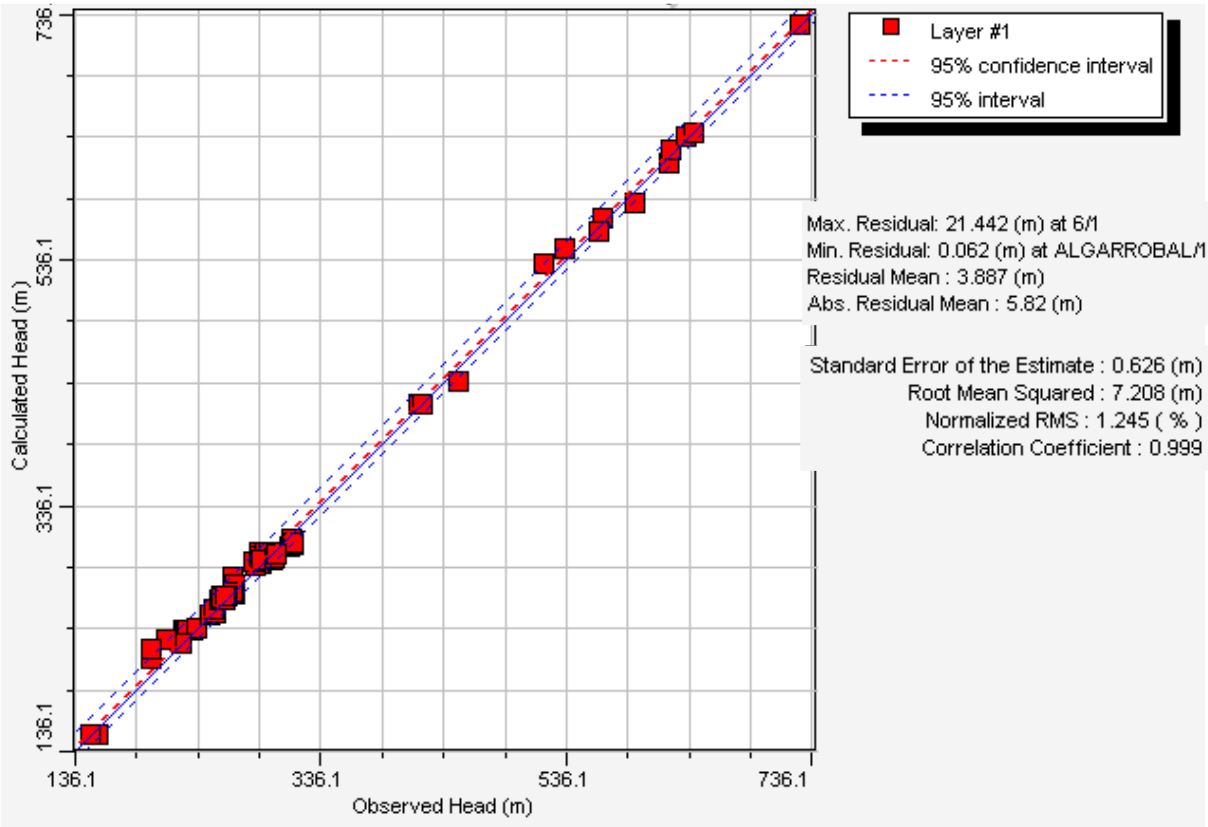
En la Figura 1-70 se presentan los histogramas de calibración, la Figura A) corresponde a los resultados del modelo con los valores de la conductividad hidráulica ajustados, se observa que la distribución de los datos no se ajusta de buena forma a una distribución normal y el valor medio es menor que -4 m (no se encuentra centrada en cero). En la Figura B) se muestra el resultado de los residuos del modelo luego de calibrar la recarga entre el intervalo de recarga media y recarga máxima, ya que la recarga máxima entrega residuos centrados en valores positivos, por lo que dentro de ese intervalo se podría obtener residuos centrados cerca de cero. En este caso, la distribución de los residuos si se ajusta a una curva normal y se logra un valor positivo y más cercano a cero del promedio de los residuos.



Fuente: DGA (2010)

Figura 1-70: Histogramas de calibración

En la Figura 1-71 se muestra resultado de la calibración, si bien el RMSE normalizado es de 1,25% y cumple los criterios de la "Guía para uso de modelos de aguas Subterráneas en el SEIA", SEIA (2012), el error medio absoluto (MAE) es de 5,82 m y el error cuadrático medio (RMSE) de 7,21 m.

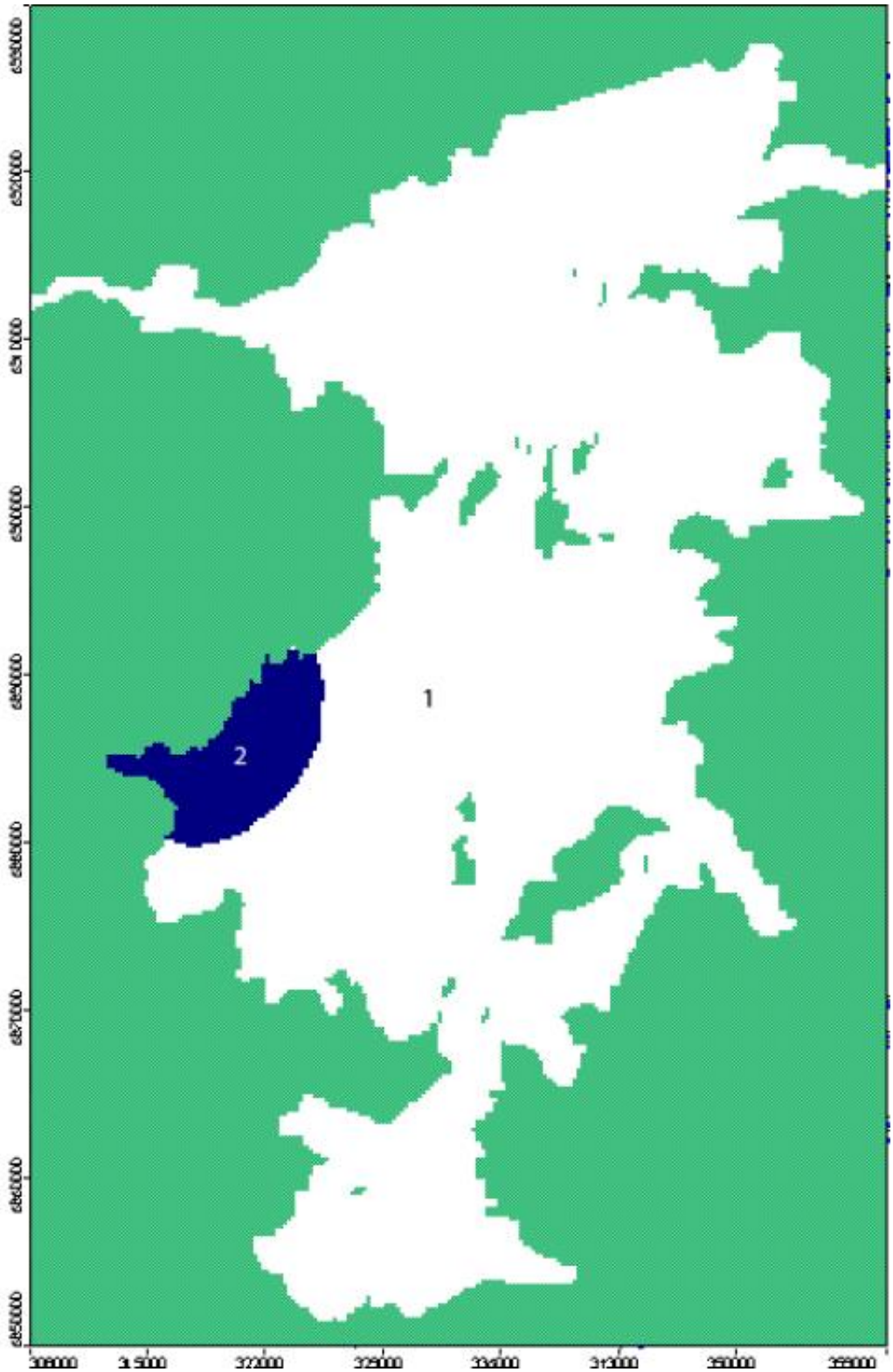


Fuente: DGA (2010)

Figura 1-71: Niveles observados contra simulados, régimen permanente

1.3.8.2 Régimen Impermanente

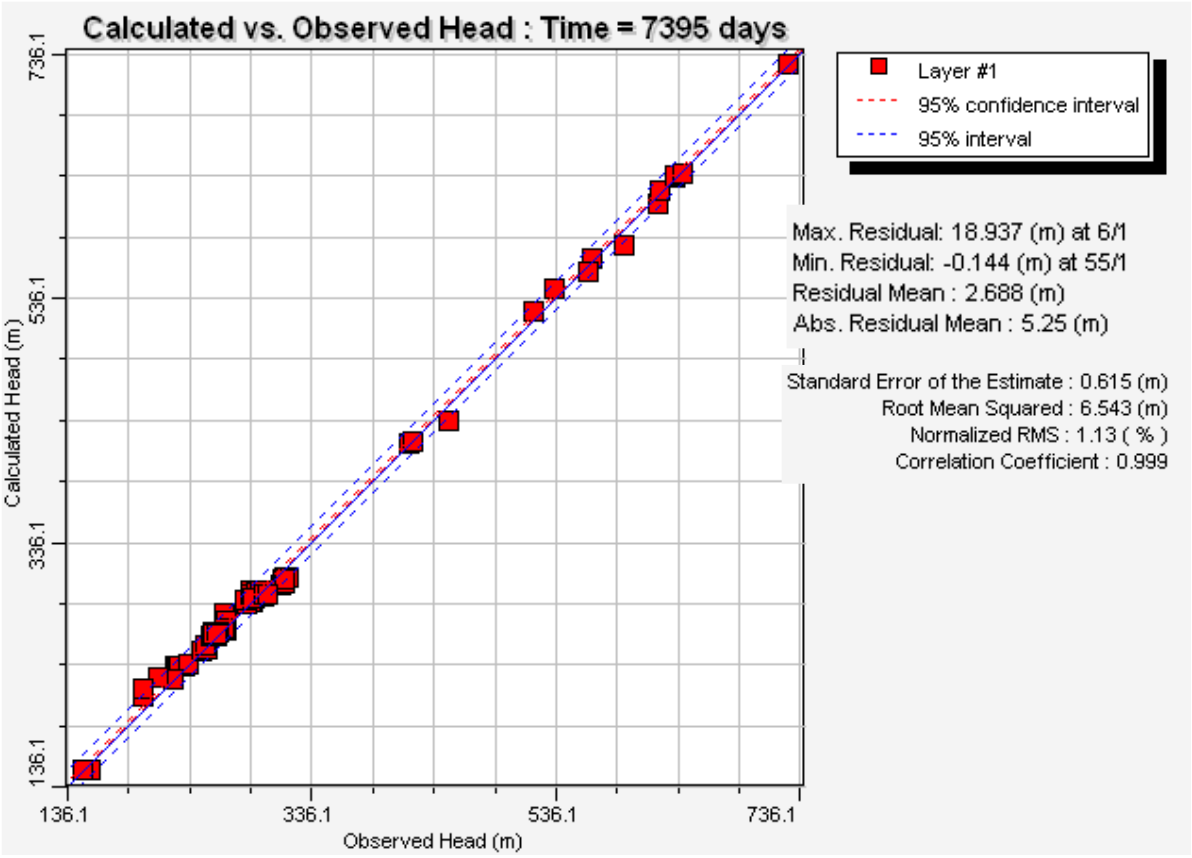
El periodo de modelación de 7.395 días se dividió en 108 periodos de estrés, de largo variable entre mensual (30 días) y trimensual (92 días). La condición inicial corresponde a la distribución de niveles obtenida como resultado de la modelación en régimen permanente. Para calibrar el modelo, se realizó el ajuste del rendimiento específico Sy, ya que se modeló un acuífero de una capa no confinado. Como resultado de la calibración se obtienen 2 zonas de rendimiento específico, tal como se observa en la Figura 1-72, para la zona 1 de color blanco se impuso un valor de 12%, mientras que a la zona 2 de color azul se impuso un 25%.



Fuente: DGA (2010)

Figura 1-72: Distribución espacial del rendimiento específico Sy

La Figura 1-73 presenta el gráfico de niveles observados y modelados para el régimen transiente, en este caso se presenta el tiempo t=7.395 días, en lugar de presentar la gráfica para todos los tiempos. Tal como se muestra, el MAE es de 5,25 m y el RMSE de 6,54. El RMSE normalizado se reduce al incluir los valores puntuales para el año 2009, ya que aumenta la diferencia entre la cota mínima y la máxima. Recordar también, que solo hay registros de niveles a lo largo del tiempo en la zona central del modelo, correspondiente a la cuenca de Carrizal.



Fuente: DGA (2010)

Figura 1-73: Niveles observados vs simulados, régimen transiente

1.4 Modificaciones y Actualización Modelo Subterráneo para Acople

Se construye un modelo en la plataforma Visual MODFLOW, en el que se implementan las modificaciones propuestas al modelo conceptual. A continuación, se presentan las modificaciones realizadas en este nuevo modelo, el que será transformado a su estado nativo a través de la plataforma *ModelMuse* para luego ser acoplado con el modelo superficial.

1.4.1 Plataforma, Motor y Solver

El modelo en régimen permanente se realizó en la plataforma Visual MODFLOW, con el motor MODFLOW2000 y el *solver* WHS, con un *RClose (Residual Criterion)* y *HClose (Head Change Criterion)* de 0,001 m y un Damping Factor de 0,95. El modelo traspasado a estado nativo se realizó en la plataforma *ModelMuse,* con la plataforma MODFLOW NWT y se utilizó el *solver* NWT en su configuración *complex*.

1.4.2 Límites y Geometría

El dominio del modelo corresponde a las cuencas de las quebradas Totoral y Carrizal. El dominio de modelación tiene una extensión de 53 km en la dirección este-oeste y 82 km en la dirección norte-sur, cubriendo una superficie de 4.080 km^2. Los límites del modelo en coordenadas UTM son:

- Norte: 6.854.620 m
- Sur: 6.772.220 m
- Este: 359.570 m
- Oeste: 306.370 m

Con los datos de los estudios anteriores, sumado a los estudios geofísicos obtenidos en el presente estudio, se propone una nueva delimitación del contacto roca – relleno, lo que se traduce en un nuevo polígono del dominio activo. Tal como lo muestran los datos presentados, los límites del modelo difieren a los del modelo recibido.

1.4.3 Discretización del Dominio

Se realiza un mallado regular de 200 x 200 m, lo que resulta en 412 filas y 366 columnas, se impone un estrato en la vertical, por lo tanto, el modelo posee un total de 109.592 celdas de las cuales 37.107 se encuentran activas. Se evaluó utilizar el máximo de celdas de Visual MODFLOW para trabajar con celdas de 166 m

de lado, pero se prefirió trabajar con múltiplos de 100 para simplificar el acople y otros cálculos. Por motivos de interpolación de la superficie, el modelo numérico difiere en algunos metros del modelo de elevación digital, se advierten algunos problemas en la topografía del sector poniente la que se corrige con datos medidos con un GPS RTK, datos tomados en campaña de monitoreo de niveles. La geometría del modelo se corrige linealmente por tramos.

La superficie de terreno del modelo se obtuvo a partir de la topografía basada en un modelo de elevación digital DEM, de resolución del orden de 30 m (Alos Palsar), este modelo se bajó de resolución a 100 x 100 m para cargar la topografía al modelo.

Para definir el basamento rocoso se utilizó el modelo hidrogeológico construido a partir de la información obtenida del estudio Geofísico realizado para el estudio DGA (2010), complementada con datos obtenidos de planos de construcción de pozos y con los estudios realizado para el presente estudio. En los sectores en los cuales se contaba con escasa información, se impuso una profundidad mínima de basamento rocoso de 30 m.

1.4.4 Atributos Temporales

Para el modelo en visual MODFLOW, el paso de tiempo es de 365 días con un periodo de estrés para simular el equilibrio en el régimen permanente. Para el caso del modelo en estado nativo, se configuró para un paso de tiempo de 30 días con un periodo de estrés y en régimen transiente.

1.4.5 Condiciones de Borde

1.4.5.1 Condición de recarga

En este caso conceptualmente las recargas ocurren en las laderas e ingresan como flujo lateral en un 90% y el 10% restante entra como infiltración de la precipitación, por lo tanto, esta tasa de infiltración es mucho menor que en el modelo recibido, mientras que la entrada lateral se simula con pozos de inyección. En la Figura 1-74 se presenta la distribución espacial de las zonas de recarga por precipitación. Se utilizó un coeficiente de infiltración de 0,507 y 0,663 mm/año (un orden de magnitud menor que el modelo recibido) en color azul y verde respectivamente.

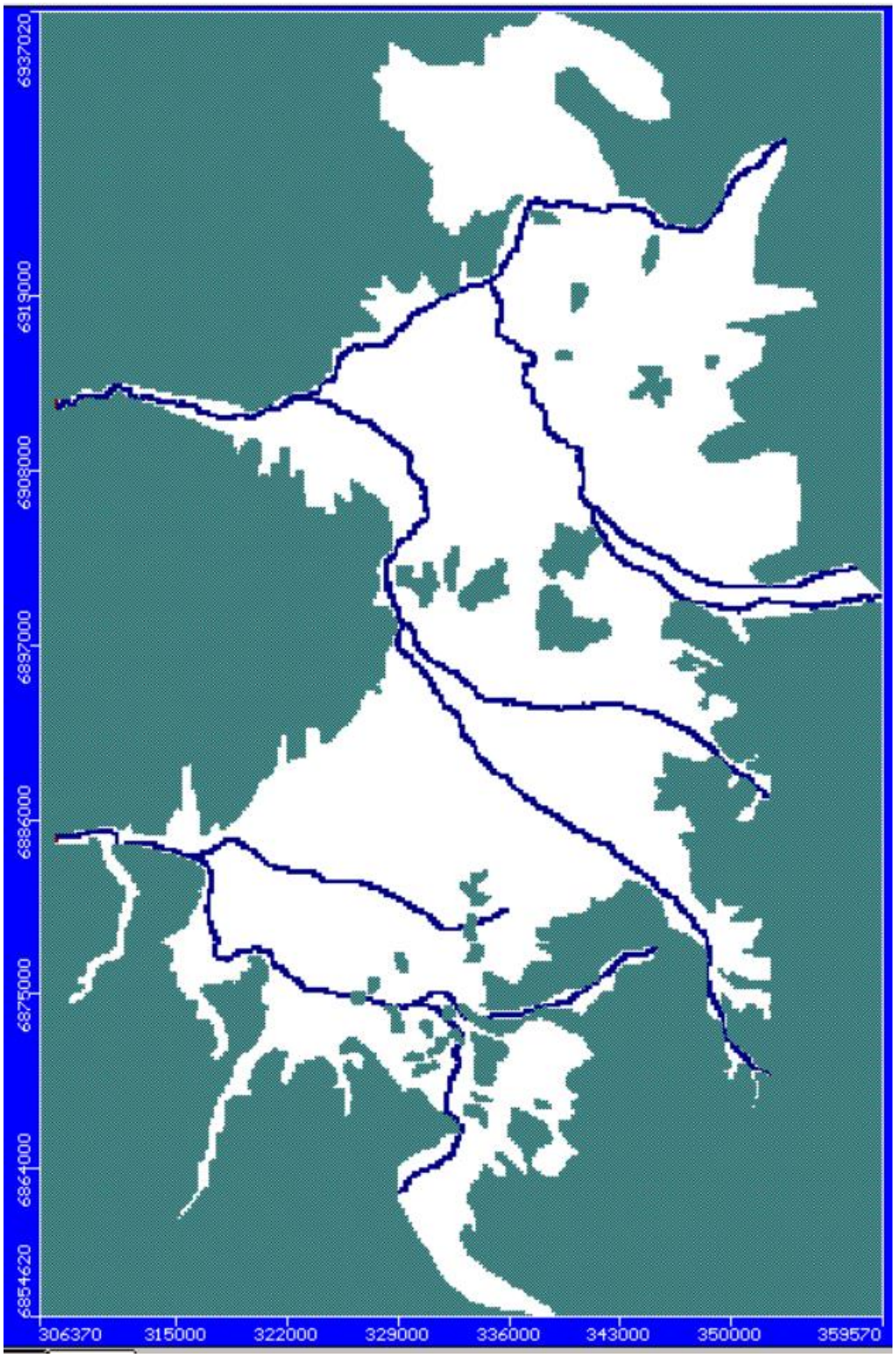
1.4.5.2 Condición de Río y Dren

Para el modelo en Visual Modflow no se utiliza la condición *River* ni *Drain*, pero para el caso del modelo en estado Nativo se introduce el cauce definido para el modelo superficial utilizando herramientas SIG. Se le asigna una conductancia baja (0,01 m^2/día), ya que los cauces se encuentran secos. En la Figura 1-75 se presenta la distribución espacial de las 1.721 celdas tipo river.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-74: Zonas de recarga del modelo numérico



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-75: Celdas tipo *River* en modelo numérico

1.4.5.3 Condición de Altura constante

A la "salida" del modelo se imponen condiciones de alturas constantes en los angostamientos en el sector correspondientes a las quebradas Totoral (150 m s.n.m.) y Carrizal (210 m s.n.m.).

1.4.5.4 Condición de evapotranspiración

En el área de estudio se han identificado dos zonas en las cuales existe evaporación y/o evapotranspiración, que corresponden a los sectores de angostamiento de las quebradas mencionadas. Son zonas donde el nivel freático se aproxima a la superficie e incluso aflora el agua generando una abundante vegetación como el caso de quebrada Totoral.

Para estos sectores se ha utilizado una tasa de evaporación de 1.650 mm/año, obtenida a partir de la información hidrometeorológica de la zona (DGA 2010). Se impone una profundidad de extinción de 2,7 m y el decaimiento lineal por tramos queda con la configuración por default 12,5% de ET al 50% de la profundidad de extinción.

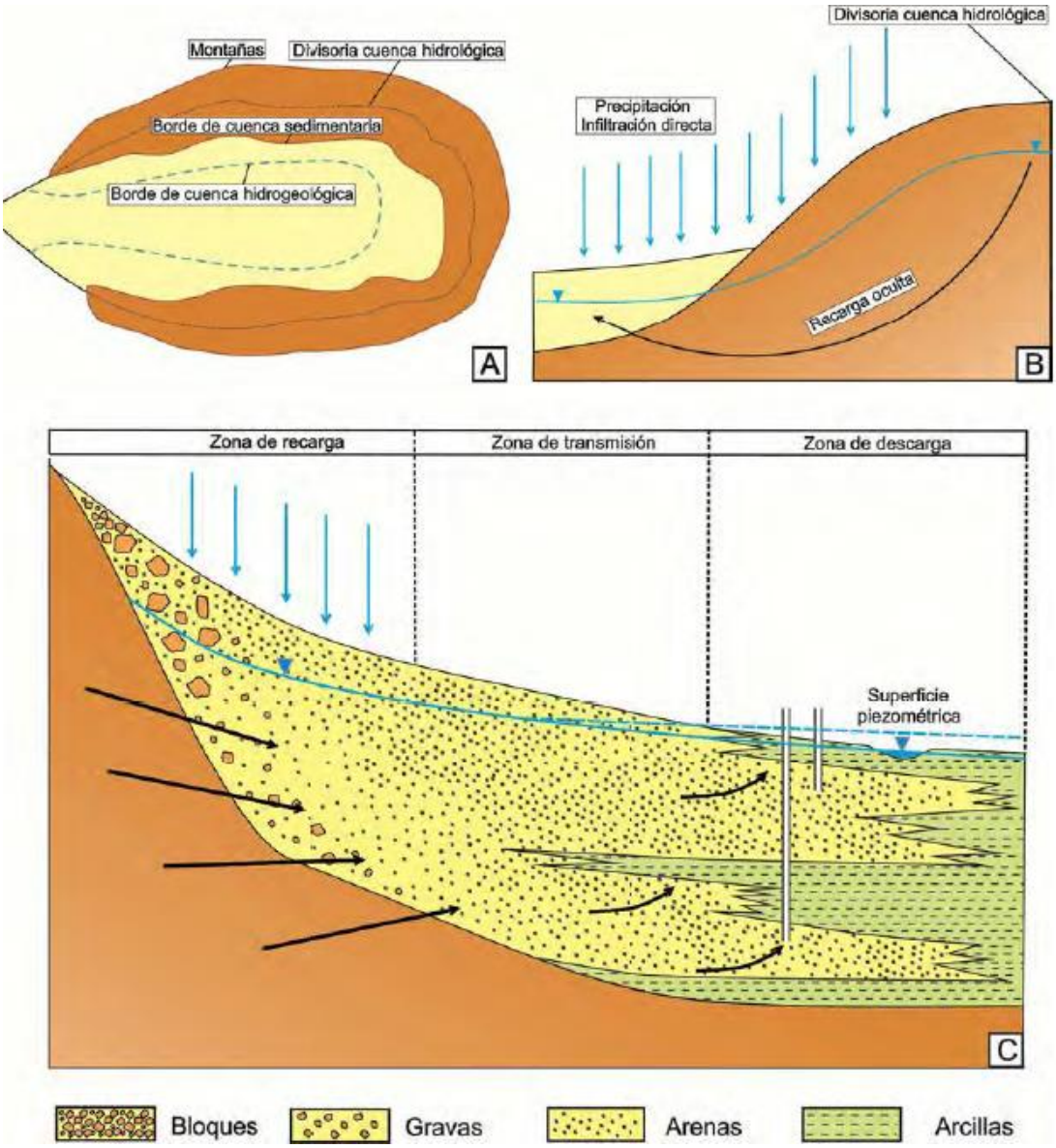
Estos valores son menores que las zonas de salares como el Salar Bellavista, Salar Pintados y Salar de Atacama en donde se presentan valores superiores a 1.650 mm/año (4,6 a 5 mm/día), por lo que se tiene una cota superior lo que complementa los datos hidrometeorológicos sistematizados en DGA (2010).

1.4.5.5 Caudales de extracción

No se ingresan caudales de extracción, ya que el modelo se calibra en régimen natural. Luego los caudales de bombeo se ingresan en el modelo acoplado.

1.4.5.6 Caudales de inyección

Con respecto a la recarga, para el modelo acoplado se realiza a través de elementos topológicos de acuíferos de ladera, implementando el modelo conceptual de recarga que se muestra en la Figura 1-76. Esto se ejecuta mediante pozos de inyección, los que introducen los aportes correspondientes a las áreas aportantes aguas arriba del modelo subterráneo.



Fuente: *Groundwater Recharge*, modificado de De Ridder, (1970)

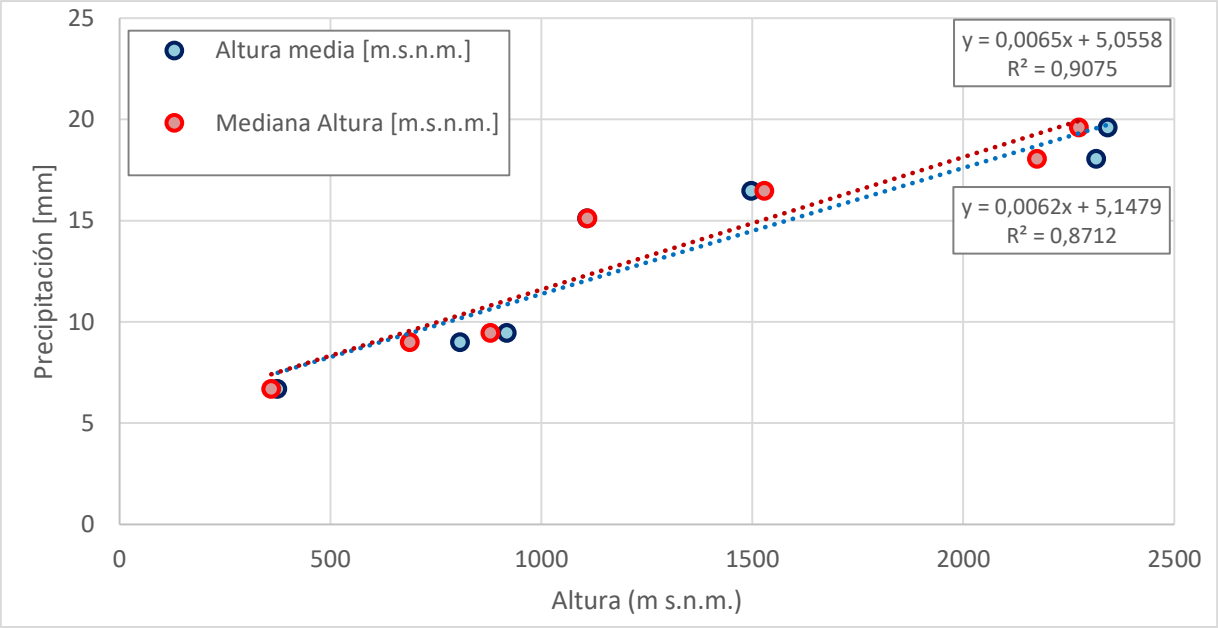
Figura 1-76: Principios de recarga de agua subterránea en cuencas asociadas a frentes montañosos

Para el modelo en régimen permanente se asume un aporte del 10% del caudal total precipitado en las cuencas de aguas arriba al modelo subterráneo, para esto se caracteriza la precipitación en función de la mediana de la altura de la cuenca y de la altura media de la misma tal como se muestra en la Tabla 1-18 y la Figura 1-77.

Tabla 1-18: Resumen de caracterización de precipitación y altura de subcuencas aportantes aguas arriba del modelo subterráneo

Quebrada	Altura media (m s.n.m.)	Mediana Altura (m s.n.m.)	Area (Km^2)	Pp media (mm)	Q Total (l/s)
Tamarico	808	689	620,2	9	177,0
Algarrobal alto	2.316	2.175	1.014,7	18,06	581,1
Salitral-Vaca Seca	2.343	2.275	1.109,6	19,6	689,6
Boqueron Alto	1.109	1.110	434,7	15,11	208,3
Yerbas Buenas	1.498	1.529	769,2	16,47	401,7
Cachillullo	919	880	791,3	9,45	237,1
Pajonales	375	360	398,1	6,68	84,3

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

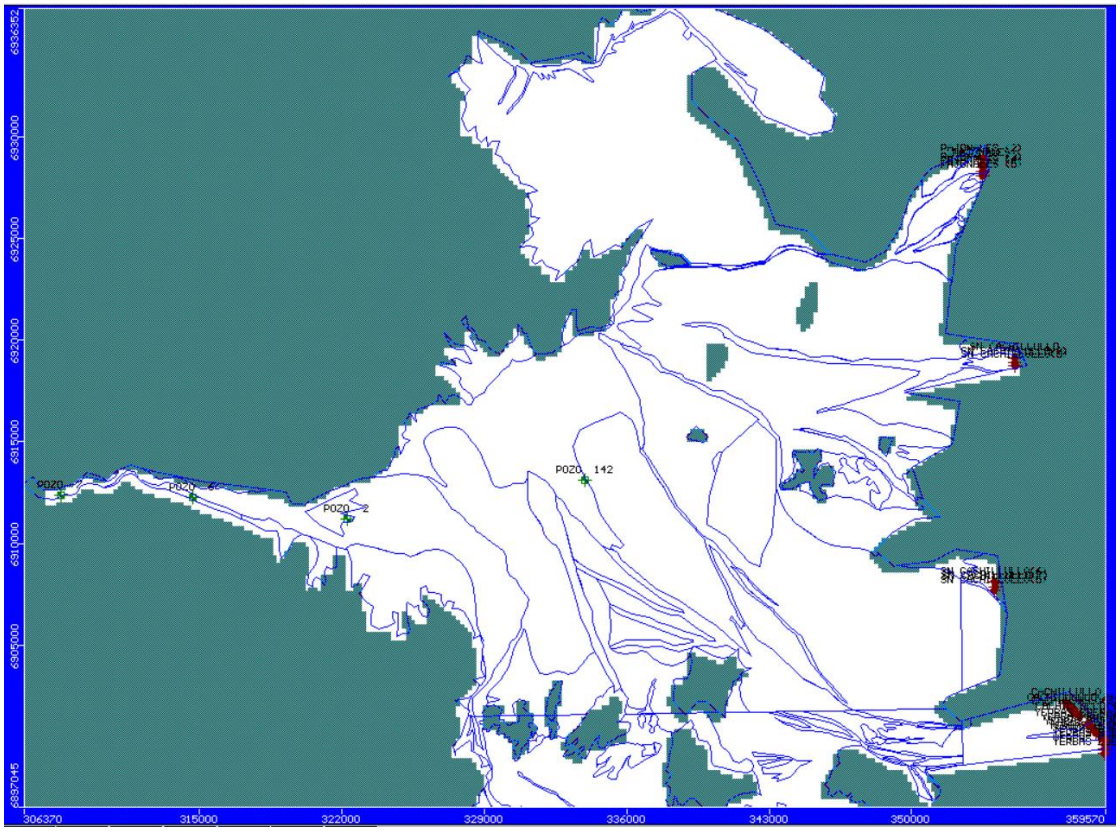
Figura 1-77: Comportamiento de la precipitación media y la altura

Para cada quebrada aportante en el modelo se implementó el número de pozos que muestra la Tabla 1-19. Para el régimen permanente en particular, se impuso los caudales presentados en la tabla, mientras que para el régimen transiente, los caudales dependen de la precipitación correspondiente a cada paso de tiempo. Los pozos de inyección implementados se presentan en la Figura 1-78 y Figura 1-79, correspondientes a los puntos rojos en los bordes del dominio de modelación.

Tabla 1-19: Resumen pozos de inyección de aportes laterales y caudales calculados e impuestos en modelo régimen permanente

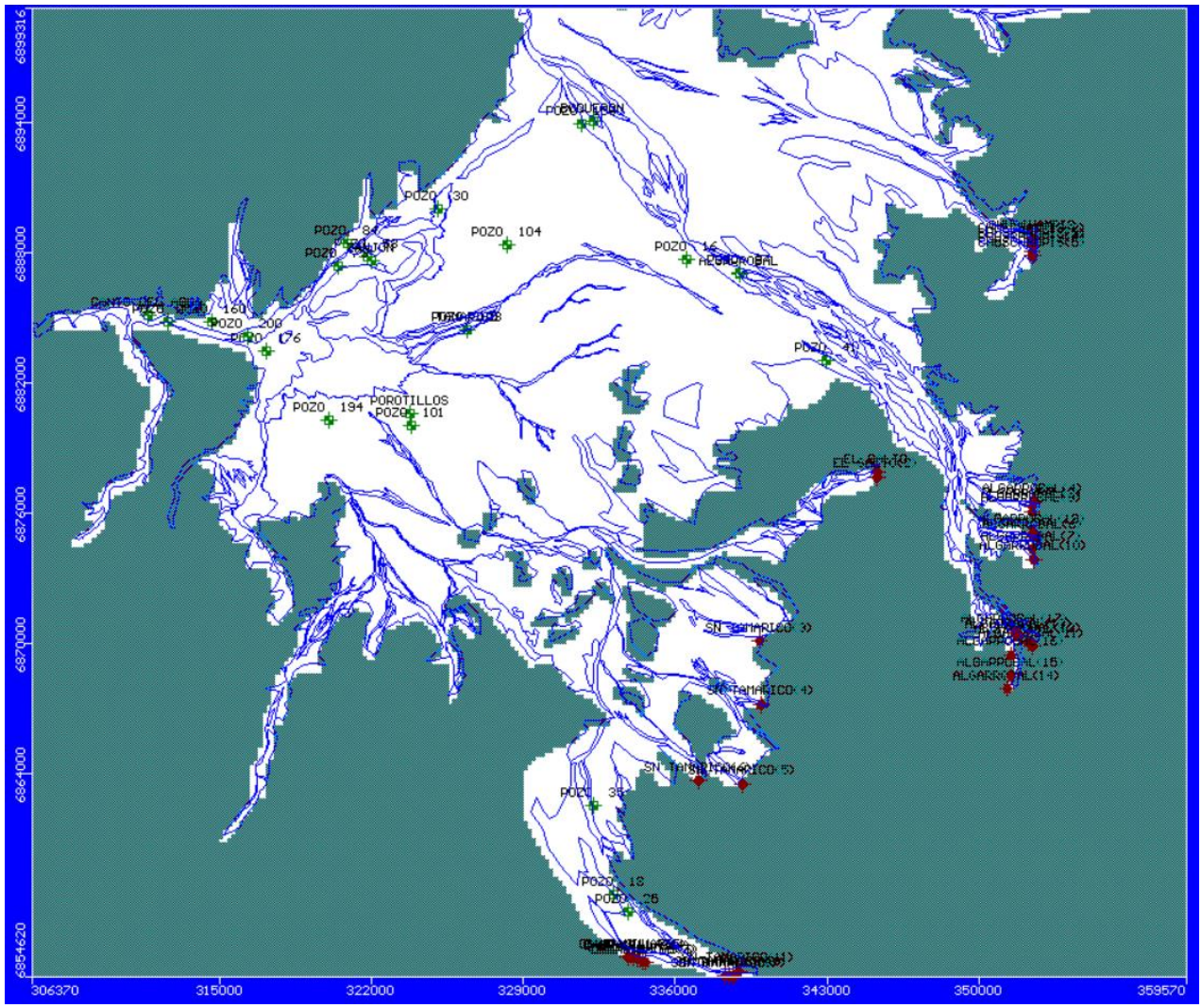
Quebrada aportante	Número de pozos (-)	Caudal calculado (l/s)	Caudal calculado unitario (l/s/pozo)	Caudal impuesto unitario (l/s/pozo)	Caudal total impuesto (l/s)
Pajonales	5	2,8	0,56	0,56	2,80
S/N Cachillullo	6	8,3	1,38	0,60	3,60
Cachillullo	4	8,3	2,07	2,07	8,28
Yerbas Buenas	8	34,9	4,37	4,30	34,40
Chuschampis	5	11,5	2,29	2,00	10,00
Algarrobal	14	121,7	8,69	7,00	98,00
El Salto	2	1,3	0,66	0,65	1,30
S/N Tamarico	8	9,6	1,19	1,00	8,00
Campanillas	5	5,3	1,06	1,70	8,50

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-78: Pozos de observación y pozos de inyección recarga desde laderas, sector norte



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-79: Pozos de observación y pozos de inyección recarga desde laderas, sector sur

1.4.5.7 Condición inicial

La condición inicial corresponde a los niveles igual al "*TOP*" del modelo, conforme se avanza en este y su proceso de calibración, la condición inicial corresponde a un archivo de extensión .HDS con la última solución del modelo.

1.4.6 Parámetros hidrogeológicos

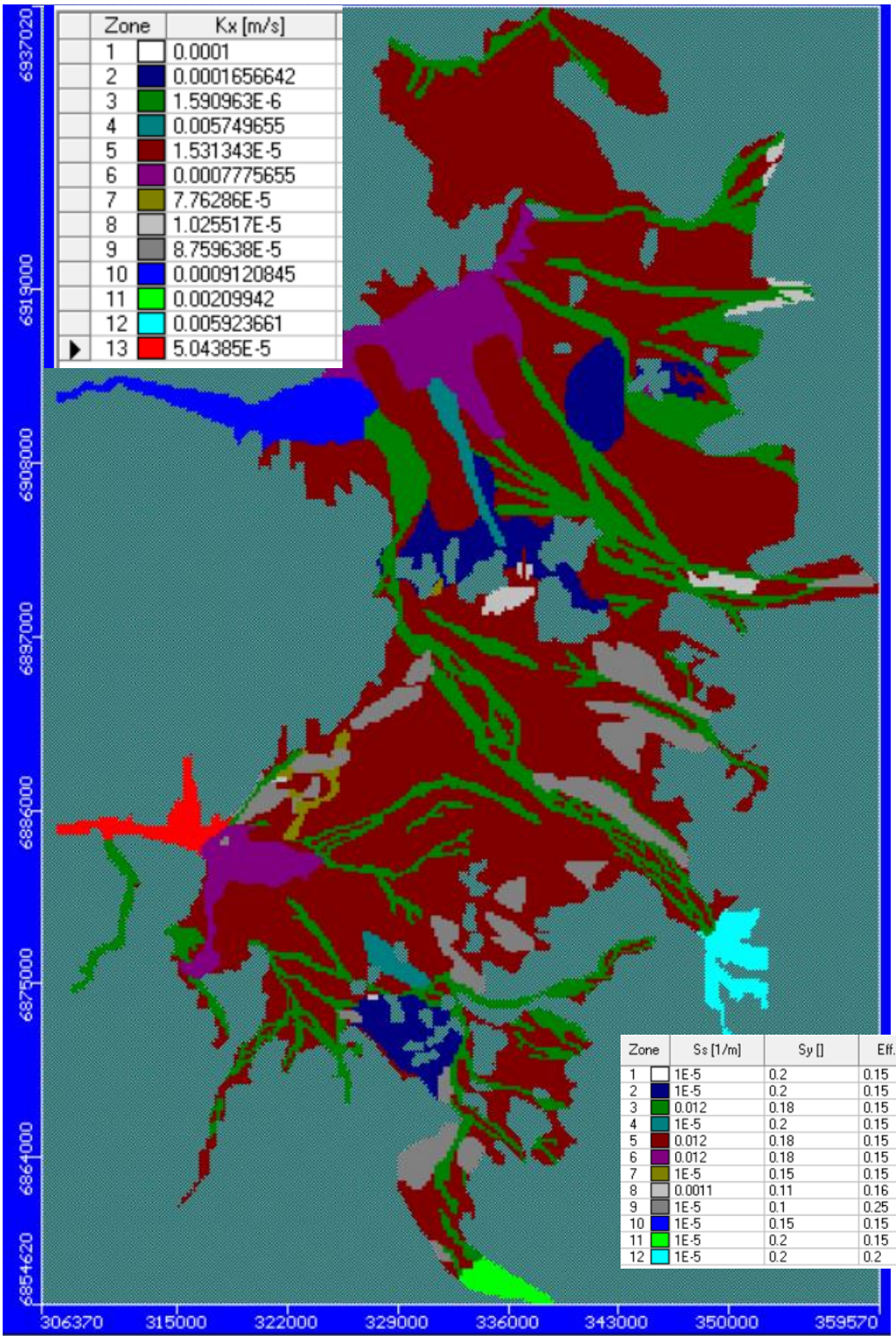
Se presentan los parámetros elásticos impuestos al modelo hidrogeológico.

1.4.6.1 Conductividad hidráulica

Se zonifican las conductividades según los mapas y cartas geológicas disponibles para el sector. En el proceso de calibración se modifican los valores iniciales dentro de los rangos propuestos en el modelo conceptual. En la Figura 1-80 se observa la distribución espacial de la conductividad hidráulica

1.4.6.2 Almacenamiento

Se utilizan las mismas zonas de conductividad para distribuir el almacenamiento en el espacio, esto fundamentado en que existe una correlación entre la conductividad y el coeficiente de almacenamiento, esto se encuentra asociado al tipo de formación geológica y a la porosidad del medio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-80: Distribución espacial de la conductividad hidráulica (K) y almacenamiento específico (Sy)

1.4.7 Pozos de Observación

Se utiliza un total de 29 pozos de observación, detallados en la Tabla 1-20, los que corresponden a los catastros realizados en DGA (2010). Dentro de los 29 pozos utilizados, 6 corresponden a pozos de monitoreo DGA. Los pozos de observación se presentan en color verde en la Figura 1-78 y Figura 1-79.

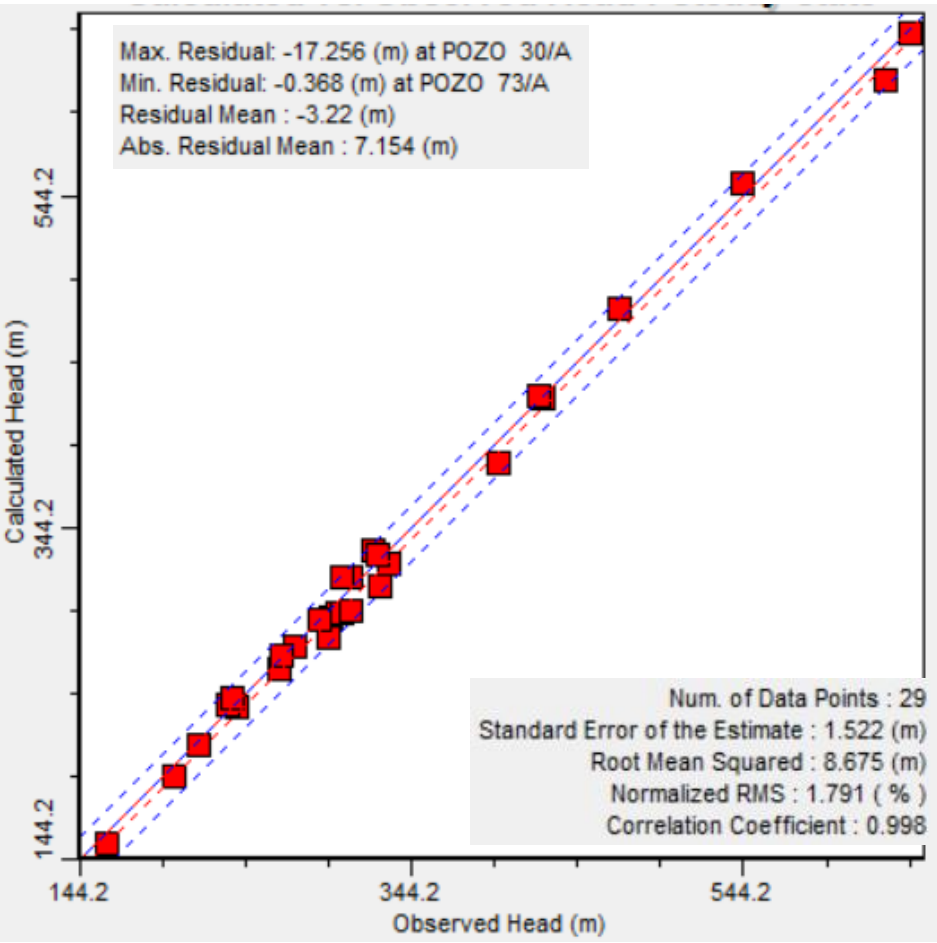
Tabla 1-20: Resumen de ubicación de pozos de observación.

N°	Nombre	Este (UTM WGS84 H19)	Norte (UTM WGS84 H19)
1	ALGARROBAL	338.965	6.887.012
2	BOQUERON	332.266	6.894.074
3	CANTO DEL AGUA	311.720	6.885.112
4	POROTILLOS	323.817	6.880.618
5	POZO 101	323.855	6.880.033
6	POZO 103	326.441	6.884.453
7	POZO 104	328.264	6.888.410
8	POZO 138	331.675	6.893.966
9	POZO 142	333.933	6.913.107
10	POZO 158	312.628	6.884.831
11	POZO 16	336.527	6.887.712
12	POZO 160	314.638	6.884.810
13	POZO 176	317.173	6.883.475
14	POZO 18	333.144	6.858.446
15	POZO 194	320.060	6.880.284
16	POZO 2	322.262	6.911.204
17	POZO 200	316.338	6.884.132
18	POZO 25	333.845	6.857.626
19	POZO 30	325.089	6.890.060
20	POZO 35	332.211	6.862.564
21	POZO 41	342.967	6.883.086
22	POZO 58	321.806	6.887.855
23	POZO 6	314.677	6.912.241
24	POZO 7	308.188	6.912.381
25	POZO 73	320.504	6.887.434
26	POZO 84	320.915	6.888.464
27	POZO 87	338.981	6.887.114
28	TAMARICO	326.441	6.884.455
29	ZANJON	321.999	6.887.645

Fuente: Elaboración propia.

1.4.8 Resultados de Calibración

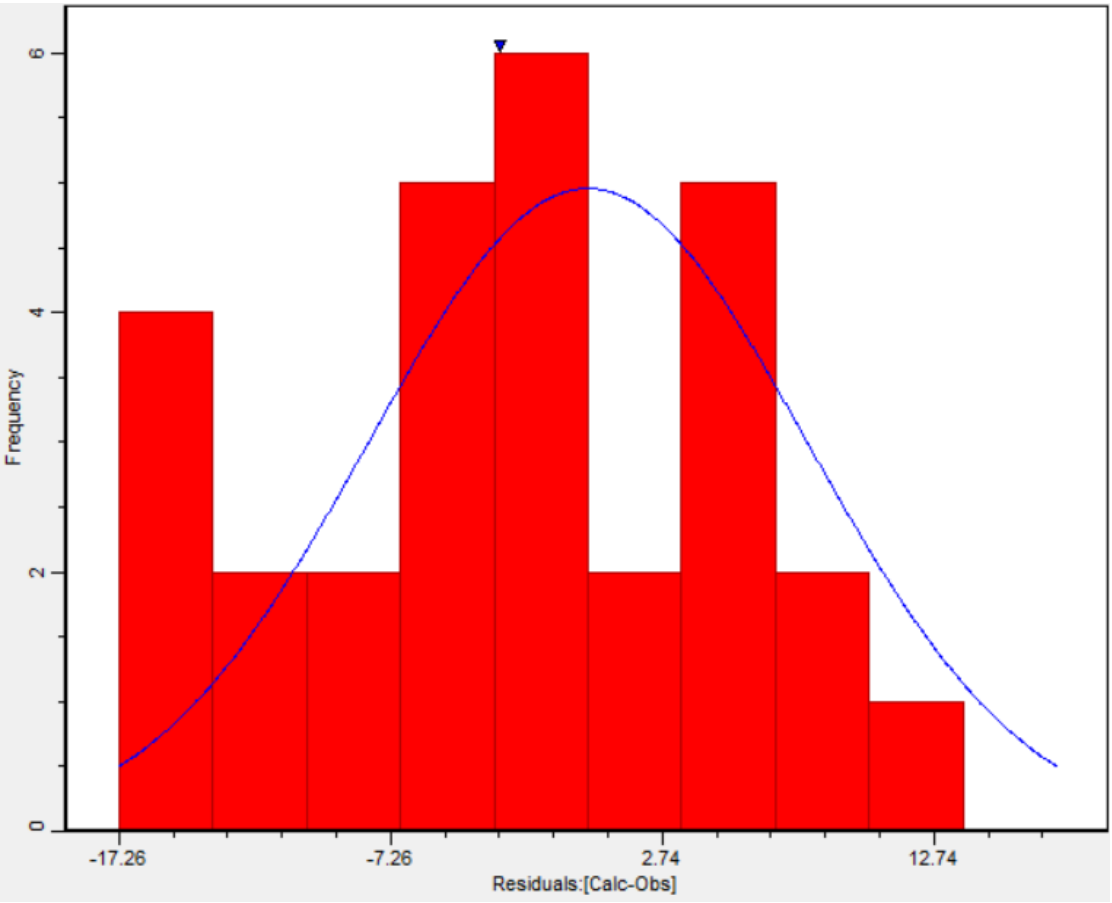
Se presentan los resultados de la calibración del nuevo modelo numérico hidrogeológico. Se realiza una calibración para régimen permanente, en la que se ajustan los valores de conductividad hidráulica. En la Figura 1-81, se presentan los estadígrafos de calibración y un gráfico de los niveles observados versus los simulados. En la Figura se observa que el Error cuadrático Medio normalizado (*Normalized RMS*) es menor al 5% que recomienda la "Guía para el uso de modelos de aguas subterráneas" del SEIA (2012).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-81: Niveles simulados contra observados y estadígrafos de calibración

En la figura se observa también que el error medio es de -3,2 m y el error absoluto (MAE) es del orden de los 7,2 m. En la Figura 1-82 se presenta el histograma de residuos, el que se encuentra centrado en -3,2 y no se ajusta del todo a la distribución normal.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-82: Histograma de residuos (niveles simulados - observados)

2 MODELO SUPERFICIAL

La modelación hidrológica del presente estudio pretende alcanzar una herramienta que permita visualizar la dinámica de los flujos superficiales y subterráneos en las cuencas Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal.

A pesar de presentar estudios diferenciados para la cuenca Quebrada Carrizal y para la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, el modelo hidrológico superficial – subterráneo asociado a estas cuencas es generado en conjunto debido a que el único cuerpo acuífero de relevancia es transversal a estas cuencas, y por lo tanto, es imposible independizar los efectos que generan las acciones de un territorio sobre el otro. Esta interacción hidrogeológica entre las cuencas es identificada en el estudio DGA (2010), utilizado como insumo básico para la construcción del modelo MODFLOW.

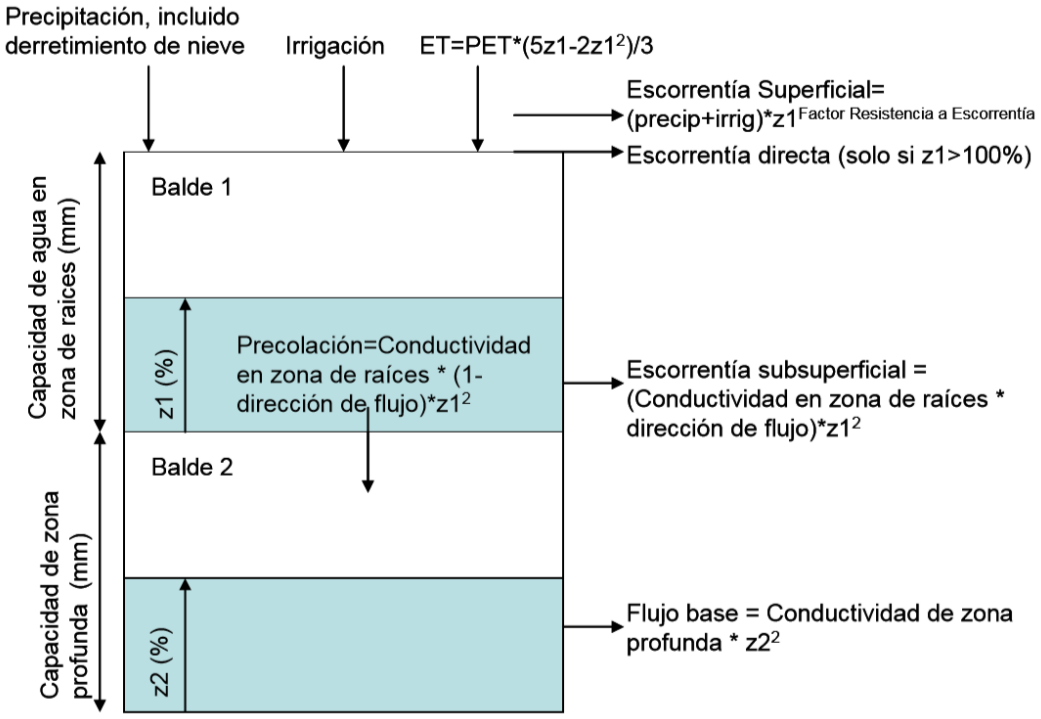
2.1 Plataforma WEAP

El modelo WEAP (*Water Evaluation and Planning*) desarrollado por el SEI (*Stockholm Environment Institute*) es una herramienta de modelación para la planificación y distribución de recursos hídricos que puede ser aplicada a diferentes escalas, desde pequeñas zonas de captación hasta extensas cuencas. WEAP explícitamente incluye demandas de agua con prioridades asociadas y usa escenarios para evaluar diferentes esquemas de distribución del recurso. WEAP incluye un modelo hidrológico, así como varios módulos que permiten integrar WEAP con el modelo de agua subterránea MODFLOW y con el modelo de calidad del agua QUAL2K. WEAP también ha sido utilizado en conjunción con modelos socio-económicos. En el caso de acoplar con modelos subterráneos, el estanque inferior (Balde 2 en Figura 2-1) asociado al almacenamiento más profundo es remplazado por el modelo subterráneo.

Esta herramienta ha sido ampliamente utilizada en Chile, para diferentes aplicaciones y zonas geográficas del país. Una de las razones principales de la elección de esta plataforma de modelación se asocia a su módulo de simulación hidrológica, el cual es adecuado para regímenes pluviales, pluvio-nivales y nivales. Adicionalmente, la última versión de WEAP incluye un módulo para el estudio de masas glaciares.

WEAP es un modelo semi-distribuido en el cual el área de la cuenca puede ser distribuida en tantas subcuencas como sea necesario de acuerdo con los objetivos del análisis, tal que todas las propiedades representadas son espacialmente homogéneas dentro de cada subcuenca. Esta ventaja permite elegir entre una distribución basada en subcuencas, Unidades Hidrológicas (UH) y/o bandas de elevación, lo que se traduce en flexibilidad para

establecer la conceptualización idónea (y diferente) para cada zona de estudio. Cualquiera sea la distribución espacial seleccionada, en cada unidad se deben considerar aspectos como: topografía, uso y cobertura del suelo, distritos agroclimáticos, línea de nieves y el número de orden de los ríos. Adicionalmente, es posible distribuir las variables meteorológicas por diversos métodos y dependiendo de la información disponible, por ejemplo, estimando gradientes de variación de la temperatura y la precipitación, cuando no se cuenta con estaciones en diferentes elevaciones de una cuenca.



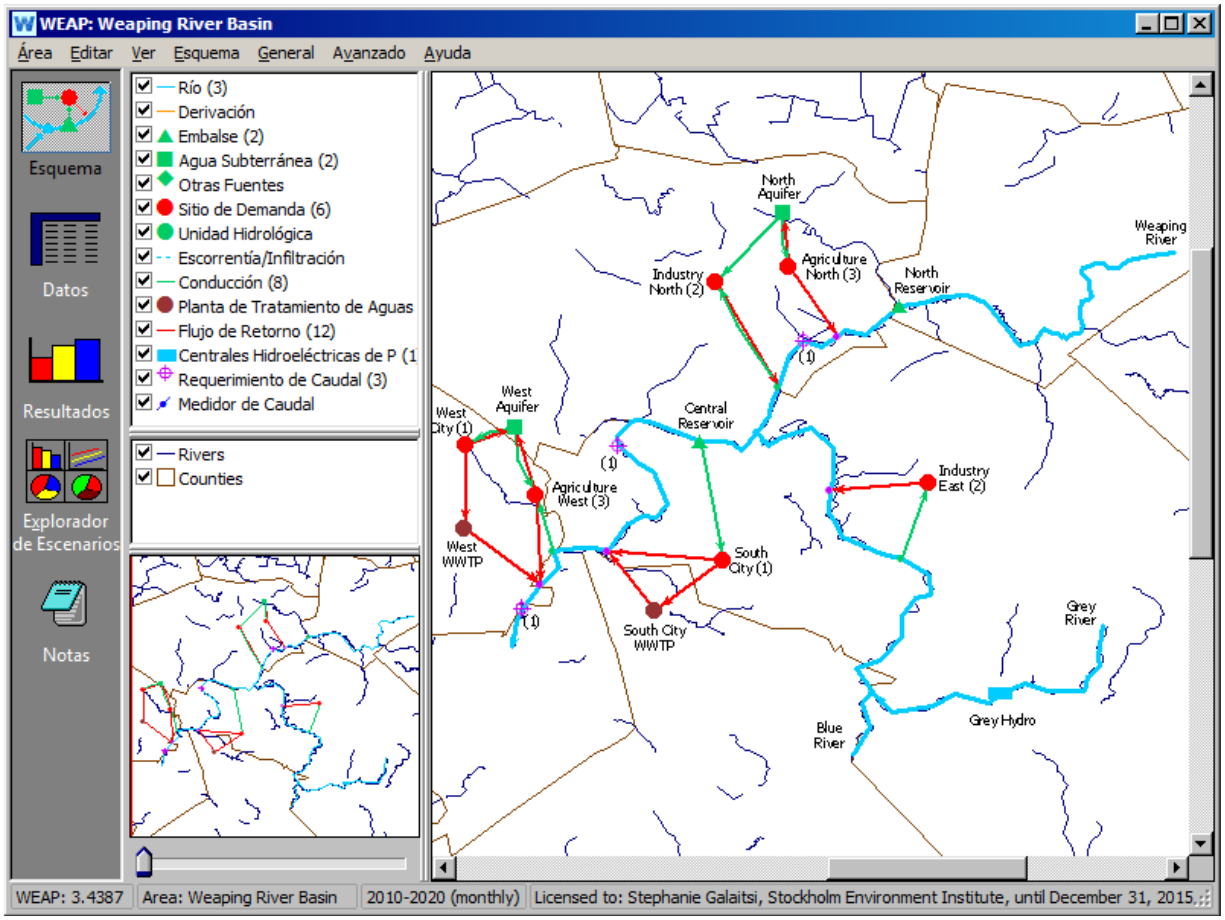
Fuente: Centro de Cambio Global – Universidad Católica de Chile, SEI (2009)

Figura 2-1: Esquema de dos baldes modelo WEAP

2.2 Estructura del modelo

WEAP consta de cinco vistas principales, las que son mostradas en la Figura 2-2 junto con los elementos disponibles el programa. Estas vistas se enumeran a continuación:

- Esquema
- Datos
- Resultados
- Explorador de escenarios
- Notas



Fuente: SEI (2017).

Figura 2-2: Interfaz gráfica y elementos WEAP

2.3 Horizonte y discretización temporal

El modelo inicia en enero de 1987 y termina en diciembre de 2019, en concordancia con la disponibilidad de datos de forzantes meteorológicas, detalladas en la sección 2.4. Se utilizan los tres primeros años (1987 – 1989) como periodo de calentamiento (*spin – up*), por lo que los resultados se presentan para el periodo 1990 – 2019.

El paso de tiempo utilizado para el modelo hidrológico superficial corresponde a la unidad de mes.

2.4 Actualización hidrometeorológica

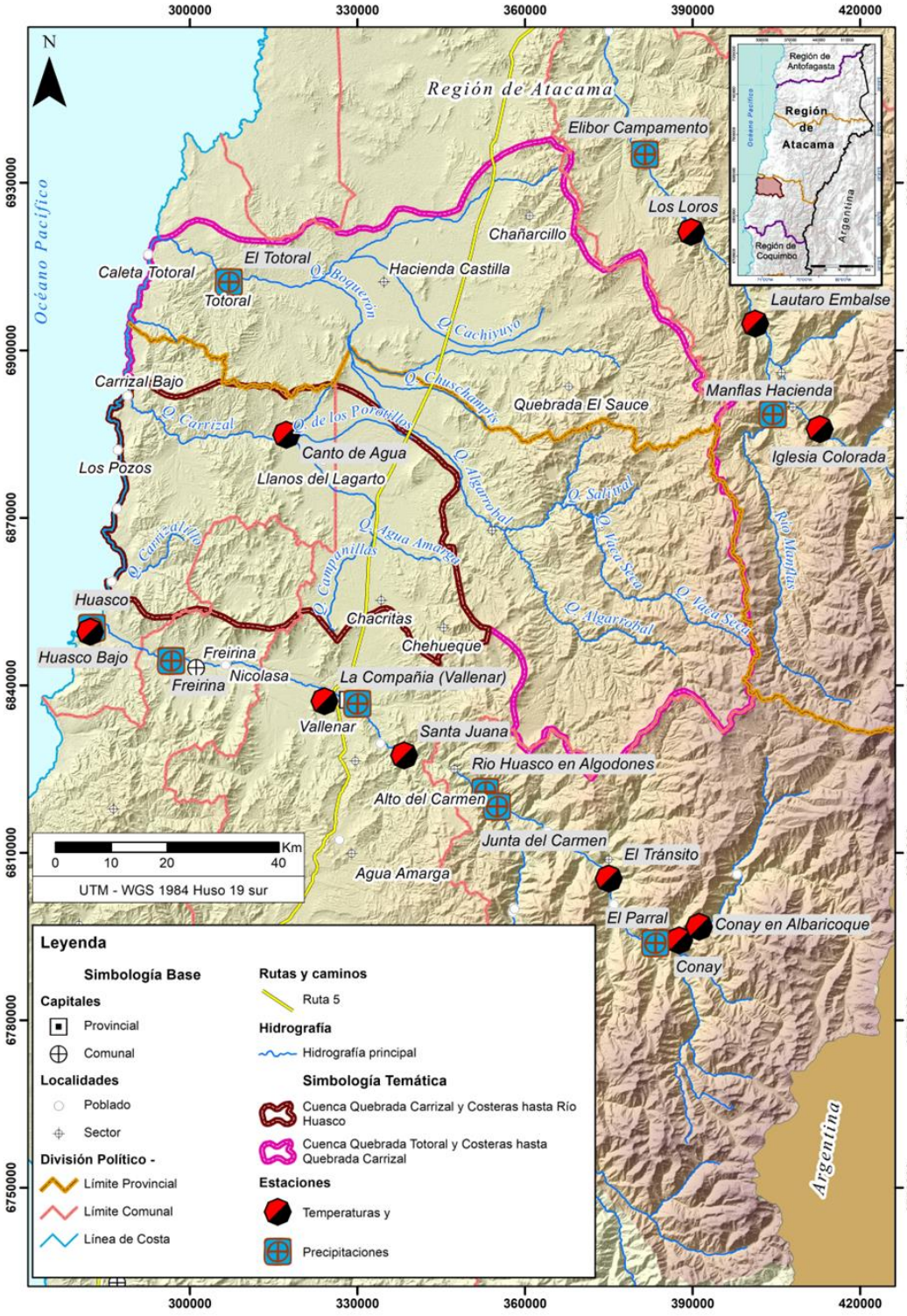
Para evaluar los productos meteorológicos con los que forzará el modelo, disponibles desde el producto grillado de CR2MET, se utilizan criterios de eficiencia de ajuste con respecto a los datos de nivel mensual registrados por estaciones meteorológicas. El detalle de las estaciones con registro pluviométrico y de temperaturas superior a diez años se muestra

en la Tabla 2-1 y Figura 2-3. Se destaca que las estaciones seleccionadas para el análisis son mayormente externas a las cuencas en estudio, ya que las únicas dentro del dominio son El Totoral y Canto de Agua, sin embargo, son las más cercanas a las cuencas y se ubican hasta 40 km fuera del límite del área de estudio.

Tabla 2-1: Estaciones meteorológicas utilizadas para calcular métricas de bondad de ajuste de productos grillados CR2MET

Código BNA	Nombre estación	UTM E (m)	UTM N (m)	Cota (m s.n.m.)	Registro
03414002-2	Iglesia Colorada	412.757	6.885.854	1.550	P y T
03421004-7	Manflas Hacienda	404.368	6.888.488	1.410	P
03430006-2	Lautaro Embalse	401.234	6.904.740	1.110	P y T
03430007-0	Los Loros	389.736	6.921.171	940	P y T
03431004-1	Elibor Campamento	381.452	6.935.071	750	P
03604001-7	El Totoral	306.985	6.912.196	150	P
03701001-4	Canto de Agua	317.260	6.884.821	330	P y T
03802005-6	Conay	387.596	6.794.272	1.450	P y T
03802006-4	Conay en Albaricoque	391.179	6.796.708	1.600	P y T
03804005-7	El Parral	383.316	6.793.760	1.400	P
03804007-3	Junta del Carmen	354.993	6.818.252	770	P
03806002-3	El Tránsito	374.982	6.805.335	1.100	P y T
03820001-1	Rio Huasco en Algodones	352.888	6.820.881	750	P
03820004-6	Santa Juana	338.376	6.827.375	560	P y T
03823003-4	Vallenar DGA	329.988	6.836.664	420	P
03823004-2	La compañía (Vallenar)	324.124	6.837.098	430	P y T
03825004-3	Freirina	296.671	6.844.341	100	P
03826002-2	Huasco	282.496	6.849.014	15	P
03826003-0	Huasco Bajo	282.150	6.849.535	50	P y T

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA.

Figura 2-3: Ubicación de estaciones meteorológicas utilizadas para evaluación de versiones de productos grillados CR2MET

2.4.1 Elección del producto grillado

En base a los siete criterios de bondad de ajuste definidos en el acápite 2.4.4.1 del Anexo F, se comparan los productos grillados desarrollados por la plataforma CR2MET. La Tabla 2-2 y Tabla 2-3 muestran los resultados de estos estadígrafos para la precipitación en las versiones 1.4.2 y 2.0.

Tabla 2-2: Estadígrafos de ajuste de precipitación a escala mensual entre registro de estaciones DGA y producto CR2MET v1.4.2

Nombre estación	NSE	KGE	PBIAS	R^2	MAE	ME	rSD
Iglesia Colorada	0,89	0,81	-14,2	0,90	1,44	-0,62	0,88
Manflas Hacienda	0,97	0,95	-4,3	0,97	0,51	-0,18	0,99
Lautaro Embalse	0,89	0,92	-3,4	0,89	0,69	-0,12	0,96
Los Loros	0,84	0,84	-9,3	0,84	0,59	-0,28	0,89
Elibor Campamento	0,65	0,78	-4,2	0,66	0,97	-0,10	0,89
El Totoral	0,61	0,32	-50,5	0,69	1,30	-1,18	0,58
Canto de Agua	0,80	0,66	-19,8	0,84	0,96	-0,52	0,73
Conay	0,84	0,90	-0,6	0,84	2,03	-0,04	0,95
Conay en Albaricoque	0,48	0,72	6,9	0,62	2,22	0,39	1,17
El Parral	0,81	0,87	-1,5	0,81	1,89	-0,08	0,91
Junta del Carmen	0,98	0,88	10,1	0,99	0,66	0,45	1,07
El Tránsito	0,89	0,85	3,5	0,90	1,47	0,14	0,86
Rio Huasco en Algodones	0,53	0,64	27,6	0,62	1,73	0,73	1,08
Santa Juana	0,99	0,99	0,5	0,99	0,48	0,02	0,99
Vallenar DGA	0,91	0,68	20,5	0,98	1,04	0,72	1,24
La compañía (Vallenar)	0,96	0,97	-1,0	0,97	0,86	-0,03	1,02
Freirina	0,91	0,86	-7,7	0,91	1,10	-0,25	0,89
Huasco	0,79	0,69	-21,0	0,80	2,22	-0,86	0,80
Huasco Bajo	0,71	0,43	-39,9	0,81	1,62	-1,11	0,61

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-3: Estadígrafos de ajuste de precipitación a escala mensual entre registro de estaciones DGA y producto CR2MET v2.0

Nombre estación	NSE	KGE	PBIAS	R^2	MAE	ME	rSD
Iglesia Colorada	0,69	0,43	55,6	0,76	3,89	2,45	1,06
Manflas Hacienda	0,65	0,35	61,8	0,76	3,65	2,54	1,15
Lautaro Embalse	0,50	0,12	83,7	0,71	3,69	2,89	1,23
Los Loros	0,51	0,22	74,3	0,64	3,14	2,15	1,11
Elibor Campamento	0,53	0,37	59,1	0,62	2,42	1,35	1,05
El Totoral	0,82	0,63	36,0	0,84	1,53	0,82	1,03
Canto De Agua	0,78	0,72	24,1	0,78	1,68	0,64	0,91
Conay	0,82	0,75	21,2	0,82	4,52	1,55	0,89
Conay En Albaricoque	0,63	0,33	62,6	0,79	4,52	3,43	1,20

Nombre estación	NSE	KGE	PBIAS	R^2	MAE	ME	rSD
El Parral	0,81	0,58	40,7	0,84	3,63	2,25	1,03
Junta del Carmen	0,79	0,60	39,1	0,81	3,23	1,76	0,99
El Tránsito	0,77	0,56	43,1	0,8	2,89	1,68	1,02
Rio Huasco En Algodones	0,23	-0,21	112,9	0,66	3,06	2,62	1,40
Santa Juana	0,81	0,75	22,9	0,83	2,51	1,02	1,01
Vallenar DGA	0,80	0,68	28,3	0,85	2,10	0,97	1,11
La compañía (Vallenar)	0,90	0,92	6,1	0,90	1,55	0,21	1,00
Freirina	0,80	0,63	32,5	0,86	1,90	1,07	1,16
Huasco	0,84	0,85	12,7	0,85	2,21	0,52	1,03
Huasco Bajo	0,85	0,74	24,6	0,86	1,50	0,74	1,05

Fuente: Elaboración propia.

De manera similar, la Tabla 2-4 y Tabla 2-5 reporta los valores de bondad de ajuste para la temperatura en las versiones 1.3 y 2.0 del producto CR2MET, respectivamente.

Tabla 2-4: Estadígrafos de ajuste de temperatura a escala mensual entre registro de estaciones DGA y producto CR2MET v1.3

Nombre estación	NSE	KGE	PBIAS	R^2	MAE	ME	rSD
Iglesia Colorada	0,87	0,95	-2,9	0,92	0,73	-0,55	0,98
Lautaro Embalse	0,60	0,80	-6,1	0,95	1,22	-1,20	1,19
Los Loros	0,94	0,97	-1,3	0,95	0,37	-0,24	0,99
Canto De Agua	0,94	0,94	-3,1	0,97	0,59	-0,51	1,04
Conay	0,64	0,89	-7,7	0,87	1,55	-1,46	0,95
Conay En Albaricoque	0,84	0,91	1,4	0,86	0,83	0,24	1,05
El Tránsito	0,92	0,85	-1,6	0,96	0,60	-0,29	1,15
Santa Juana	0,76	0,78	-5,8	0,98	1,05	-1,04	1,21
La compañía (Vallenar)	0,93	0,83	3,0	0,99	0,63	0,48	1,17
Huasco Bajo	0,65	0,83	4,8	0,76	1,25	0,72	1,10

Fuente: Elaboración propia.

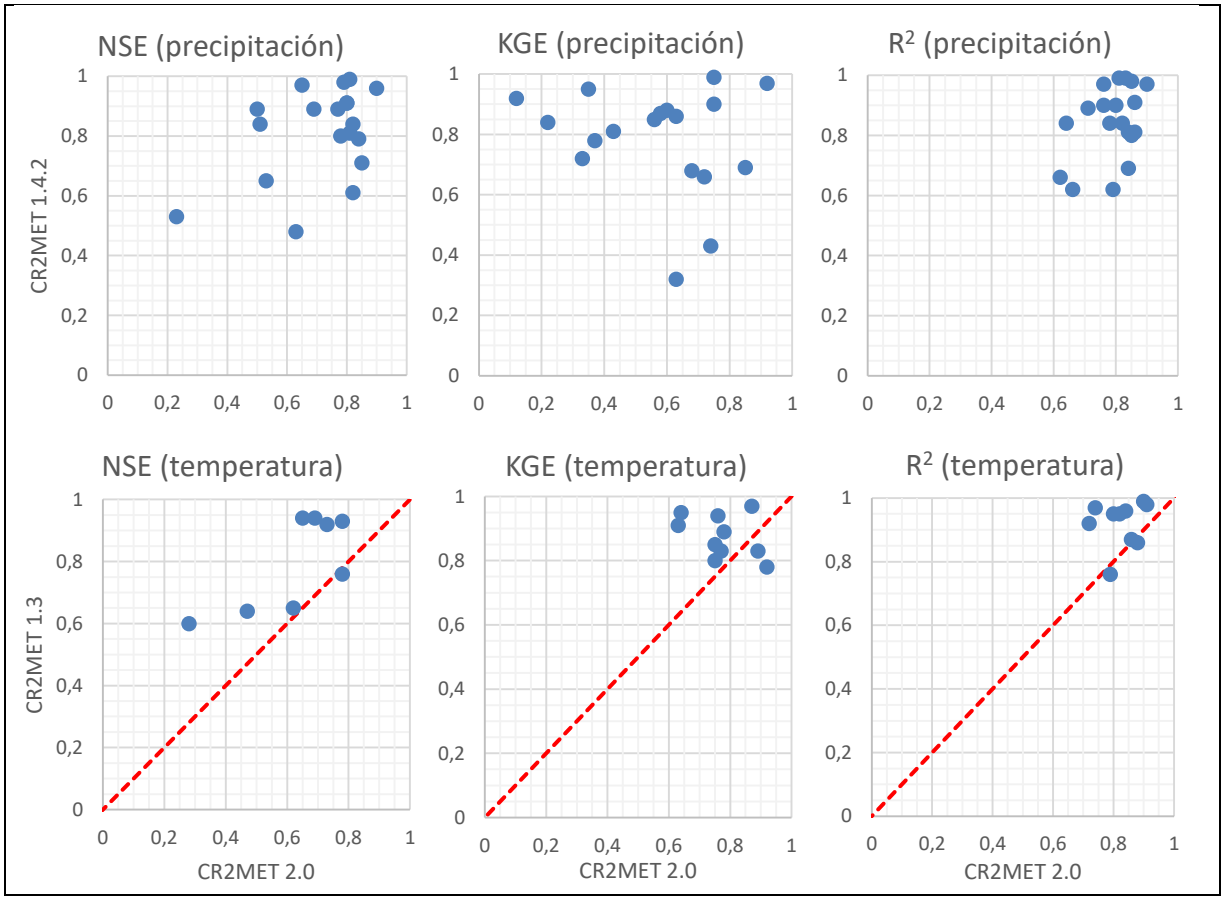
Tabla 2-5: Estadígrafos de ajuste de temperatura a escala mensual entre registro de estaciones DGA y producto CR2MET v2.0

Nombre estación	NSE	KGE	PBIAS	R^2	MAE	ME	rSD
Iglesia Colorada	-2,45	0,64	-23,1	0,72	4,37	-4,37	1,23
Lautaro Embalse	0,28	0,75	-7,3	0,8	1,59	-1,45	1,21
Los Loros	0,65	0,87	-5,9	0,82	1,22	-1,08	0,93
Canto De Agua	0,69	0,76	-4,0	0,74	1,32	-0,66	0,80
Conay	0,47	0,78	-9,0	0,86	1,88	-1,71	1,18
Conay En Albaricoque	-0,41	0,63	-16,4	0,88	2,90	-2,87	1,33
El Tránsito	0,73	0,75	1,3	0,84	1,07	0,23	1,23
Santa Juana	0,78	0,92	-5,0	0,91	1,00	-0,89	1,03
La compañía (Vallenar)	0,78	0,89	6,3	0,9	1,07	0,99	0,93

Nombre estación	NSE	KGE	PBIAS	R^2	MAE	ME	rSD
Huasco Bajo	0,62	0,77	7,7	0,79	1,34	1,15	0,81

Fuente: Elaboración propia.

La información de las tablas precedentes indica que el producto grillado CR2MET versión 1.3 (temperatura) 1.4.2 (precipitación) representa adecuadamente ambas variables meteorológicas de la zona y es superior a las versiones 2.0. Esto se puede apreciar gráficamente para los criterios NSE, KGE y R^2 en la Figura 2-4, donde los puntos por sobre la línea segmentada roja indican que las forzantes meteorológicas de las versiones 1.3 y 1.4.2 se ajustan mejor al registro de temperatura y precipitación de alguna estación en específico, mientras que los puntos bajo la línea segmentada indican lo contrario.

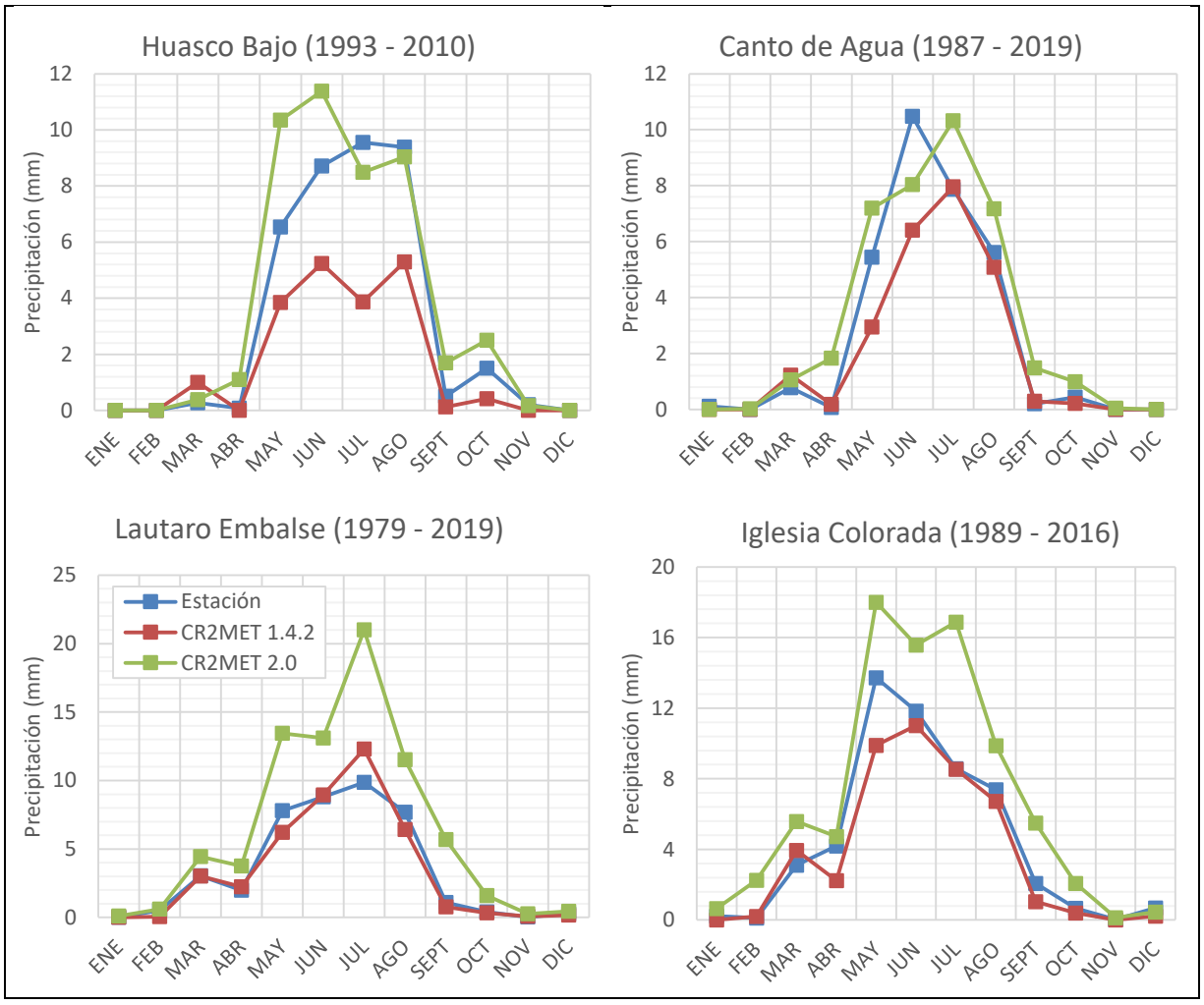


Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-4: Diagramas de dispersión de valores de criterios de bondad de ajuste

Adicionalmente, se presenta en la Figura 2-5 la comparación entre el ajuste de las precipitaciones medias mensuales históricas entre las estaciones meteorológicas consideradas como representativas de sector bajo (Huasco Bajo; 50 m s.n.m.), medio

(Canto de Agua; 330 m s.n.m.) y alto (Lautaro Embalse; 1.110 m s.n.m. – Iglesia Colorada; 1.550 m s.n.m.) de las cuencas Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA.

Figura 2-5: Comparación de ajuste de precipitaciones medias mensuales históricas entre productos CR2MET versión 1.4.2 y 2.0

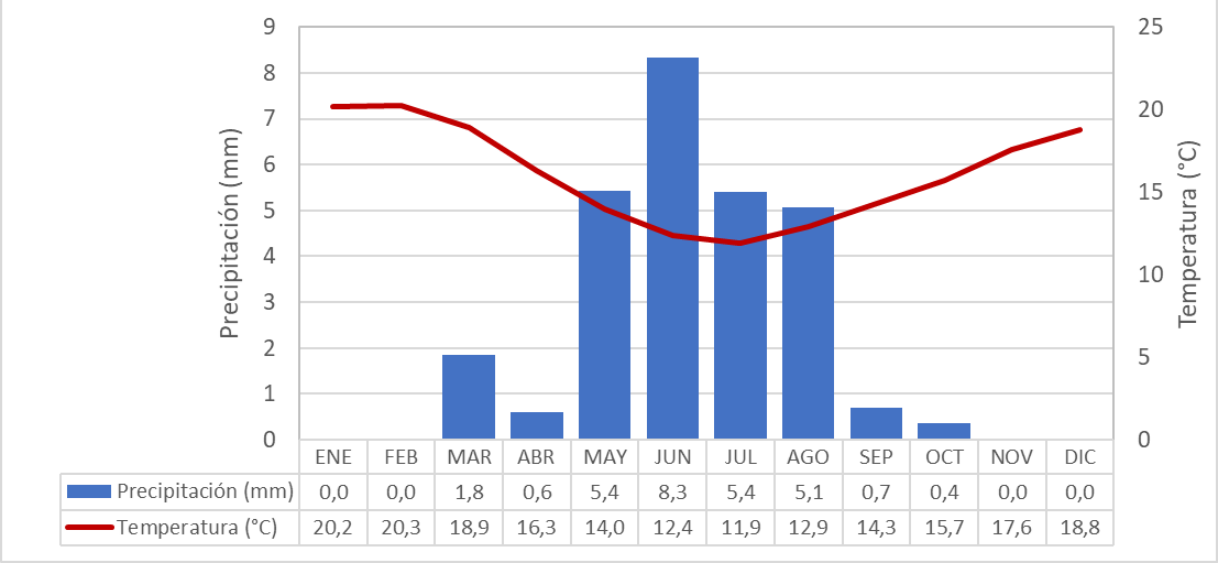
La Figura 2-5 muestra que la versión 2.0 representa mejor el sector bajo de las cuencas, mientras que la versión 1.4.2 se ajusta mejor para la zona media y alta. En consecuencia, se utilizan las forzantes meteorológicas de precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento generadas por DGA (2018a), las que corresponden a la versión 1.4.2 para precipitación y versión 1.3 para temperatura media.

2.4.2 Forzantes meteorológicas

La elección del producto grillado generado por DGA (2018a) tiene como limitante abarcar sólo hasta el 2016, por lo que es necesario extender este periodo en la ventana temporal 2017 – 2019 en base a la versión 2.0.

Considerando que en general, CR2MET versión 2.0 tiende a sobreestimar las precipitaciones y subestimar la temperatura media con respecto a los datos registrados por estaciones meteorológicas (ME en Tabla 2-2 hasta Tabla 2-5), es necesario corregir los valores del producto sobre el área de estudio en el periodo 2017 – 2019 a través de la metodología de corrección de sesgo (*Bias correction method*; Räty et al., 2014) para la precipitación y método "delta" (*Delta change method* o *Change factor*; Hawkings et al., 2013) para temperatura, según lo detallado en el Anexo F acápite 2.4.8.

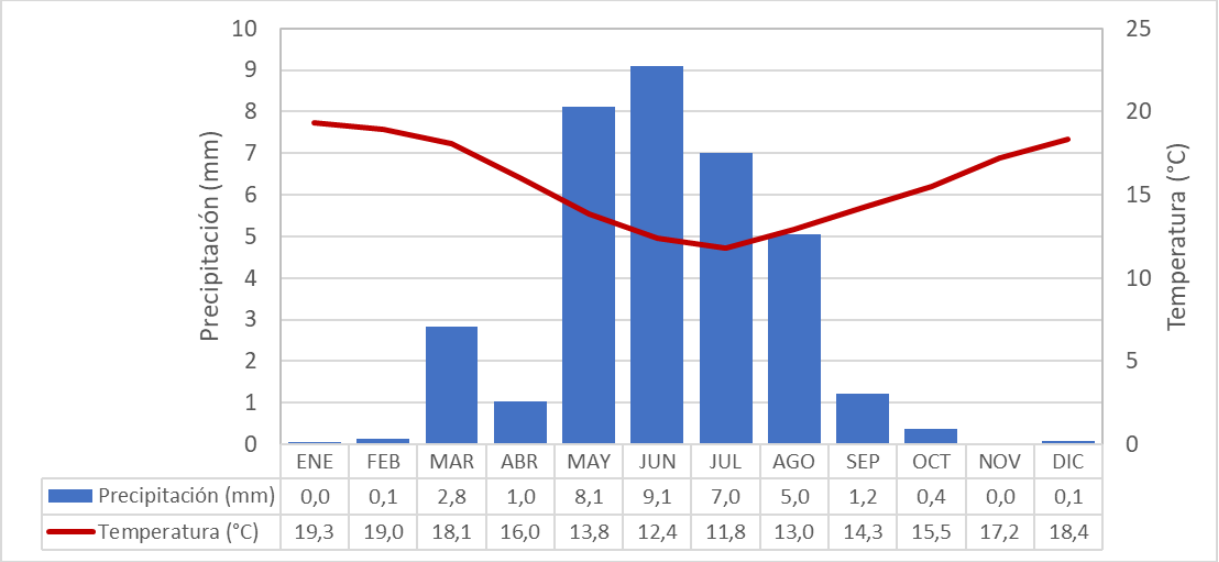
A continuación, se presentan en la Figura 2-6 y Figura 2-7 los climogramas de las forzantes meteorológicas empleadas en el modelo de simulación en las cuencas Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, respectivamente.



	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Precipitación (mm)	0,0	0,0	1,8	0,6	5,4	8,3	5,4	5,1	0,7	0,4	0,0	0,0
Temperatura (°C)	20,2	20,3	18,9	16,3	14,0	12,4	11,9	12,9	14,3	15,7	17,6	18,8

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a, 2019a).

Figura 2-6: Diagrama ombrotérmico de forzantes meteorológicas utilizadas en la cuenca Quebrada de Carrizal



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a, 2019a).

Figura 2-7: Diagrama ombrotérmico de forzantes meteorológicas utilizadas en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal

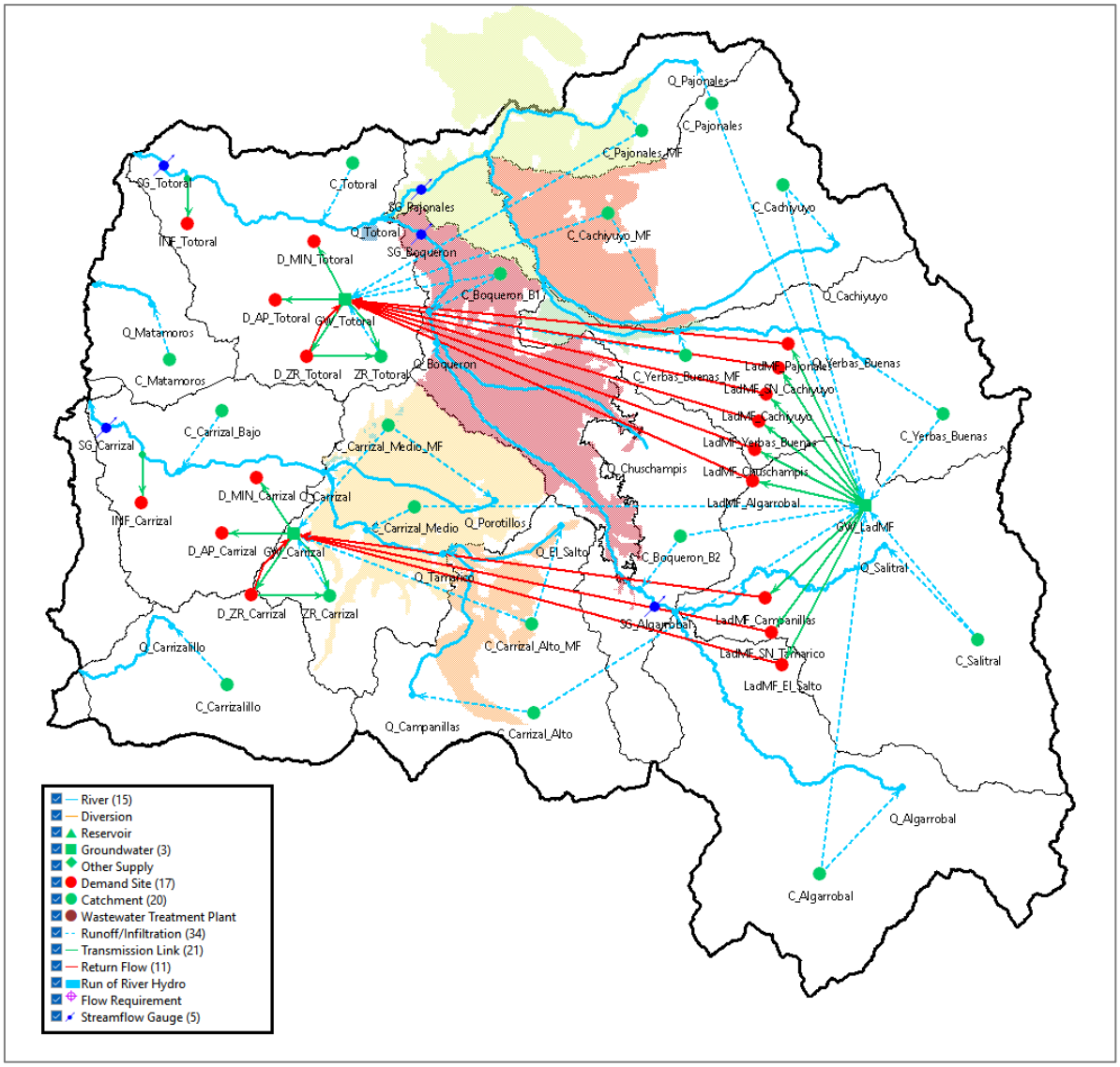
2.5 Conceptualización del área a modelar

El modelo topológico WEAP consiste en un set de nodos y links con distintas propiedades que simulan el funcionamiento completo de una cuenca. En total, existen nueve tipos de elementos nodo y cinco tipos de enlace, sin embargo, el modelo de gestión de recursos hídricos utiliza sólo cinco tipos de elementos nodo y cuatro de enlace. La Tabla 2-6 muestra los 146 elementos que componen el modelo WEAP del proyecto, separados por tipo y la Figura 2-8 la vista esquemática completa.

Tabla 2-6: Elementos esquemáticos del modelo WEAP

Ícono	Elemento WEAP	Tipo	Cantidad
	Río (*River*)	Enlace	15
	Agua Subterránea (*Groundwater*)	Nodo	3
	Sitio de Demanda (*Demand Site*)	Nodo	19
	Unidad Hidrológica (*Catchment*)	Nodo	24
	Escorrentía/Infiltración (*Runoff/Infiltration*)	Enlace	40
	Conducción (*Transmission Link*)	Enlace	27
	Flujo de Retorno (*Return Flow*)	Enlace	13
	Medidor de Caudal (*Streamflow Gauge*)	Nodo	5

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-8: Modelo WEAP – MODFLOW de las cuencas Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal

El modelo conceptual de las cuencas Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal utiliza como base subcuencas para definir a las Unidades Hidrológicas (UH) o *Catchment*. En estos elementos se presentan caudales asociados a escorrentía superficial, flujo subsuperficial y flujo base, además de almacenamiento de humedad en el suelo. Estos nodos requieren de información de uso de suelo, parámetros hidrogeológicos, entre otros.

2.5.1 Dominio de modelación

El dominio de modelación utilizado corresponde a las cuencas Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, descritas en el capítulo 2 del informe principal.

2.5.2 Flujos de Cabecera

Comúnmente, se definen a los diversos aportes naturales de cuencas intermedias, laterales y de cabecera como un flujo base de cabecera (*headflow*) impuesto a través de caudales generados de forma externa al modelo. Sin embargo, se decide cambiar la metodología de modelación para estas cuencas, agregando UH que modelen hidrológicamente estos aportes, con el fin de que las subcuencas y sus flujos queden autocontenidos en WEAP y no sea necesario imponer condiciones de borde de flujo externas.

2.5.3 Unidades Hidrológicas (UH)

Las subcuencas son representadas utilizando nodos de tipo Unidad Hidrológica (*Catchment*). Es en estos nodos donde se producen los fenómenos de generación de escorrentía a través del balance de dos estanques. Los fenómenos de precipitación, evapotranspiración, percolación, infiltración, escorrentía y almacenamiento de agua ocurren en este tipo de elementos. Además, existe la opción de considerar las áreas de estos nodos como irrigadas, sin embargo, esto es solo utilizado para las zonas de riego, las cuales se detallan en la sección 2.5.8 más adelante. En estos nodos, se deben ingresar las forzantes climáticas (precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento), además de parámetros que deben ser calibrados.

Se puede elegir entre cinco métodos para simular los procesos de las UH. Estos métodos incluyen:

i) Escorrentía de lluvia, Rainfall-Runoff (enfoque de coeficiente simplificado)

ii) Solo demandas de riego (enfoque de coeficiente simplificado)

iii) Escorrentía de lluvia, Rainfall-Runoff (enfoque en la humedad de suelo)

iv) MABIA (FAO 56, doble coeficiente Kc)

v) Crecimiento de plantas o PGM (enfoque en stress por agua y temperatura)

En concordancia con el nivel de detalle de la modelación en el área de estudio, se establece que el método de la humedad del suelo es el más apto para conceptualizarla adecuadamente, ya que es más complejo y representa a las UH con dos capas de suelo. En

la capa superior del suelo, simula la evapotranspiración considerando la lluvia y el riego en tierras agrícolas y no agrícolas, la escorrentía y el interflujo poco profundo y los cambios en la humedad del suelo. Este método permite caracterizar el uso de la tierra y/o los impactos del tipo de suelo en estos procesos. El enrutamiento del flujo base al río y los cambios de humedad del suelo se simulan en la capa inferior del suelo. En consecuencia, el método de la humedad del suelo requiere una parametrización más extensa del suelo y el clima para simular estos procesos.

La conceptualización inicial utiliza 3 UH, delimitadas en principio a nivel de las subcuencas definidas en DGA (2014) que se basa en la clasificación efectuada por el Instituto Geográfico Militar (1984) y el método de jerarquización de Strahler (1957), las cuales se muestran en la Tabla 2-7 y la sección 2.1.4 del informe principal.

Tabla 2-7: Unidades Hidrológicas iniciales en modelo WEAP

Subcuenca WEAP	Nombre subcuenca DGA	Código BNA
HRU_Q_Totoral	Quebrada Totoral	0360
HRU_Costeras	Costeras entre Quebradas Totoral y Carrizal	0361
HRU_Q_Carrizal	Quebradas Carrizal y Carrizalillo	0370

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2014).

Para evaluar si es adecuado el uso de las subcuencas definidas en DGA (2014), estas deben homogeneizar el comportamiento hidrológico y representar adecuadamente el gradiente de precipitaciones dominante dentro de las cuencas Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal. En consecuencia, se define como una Unidad Hidrológica representativa de una subcuenca si:

- (1) La desviación estándar (σ) de la precipitación en la subcuenca es menor o igual que una fracción de la precipitación media de la misma subcuenca.

$$\sigma(subcuenca) \leq k * \overline{Pp}(subcuenca)$$

- (2) La desviación estándar (σ) de la precipitación en la subcuenca es menor o igual que una fracción de la precipitación media de la cuenca que la contiene (cuenca Quebrada Carrizal o cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal).

$$\sigma(subcuenca) \leq k * \overline{Pp}(cuenca)$$

El valor del factor k utilizado en las expresiones anteriores equivale a un 15% para las UH asociadas a la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal y a un 20% para las de la cuenca Quebrada Carrizal.

Estas medidas estadísticas se calculan en base a información de los productos SIG de precipitación generada en DGA (2018a, 2019a) y detallados en el acápite 2.4 más atrás. En caso de que no se cumpla alguna de estas condiciones, corresponde una mayor desagregación espacial establecida con bandas de elevación y/o nuevas subsubcuencas. A continuación, se presentan en la Tabla 2-8 los valores de estos estadígrafos.

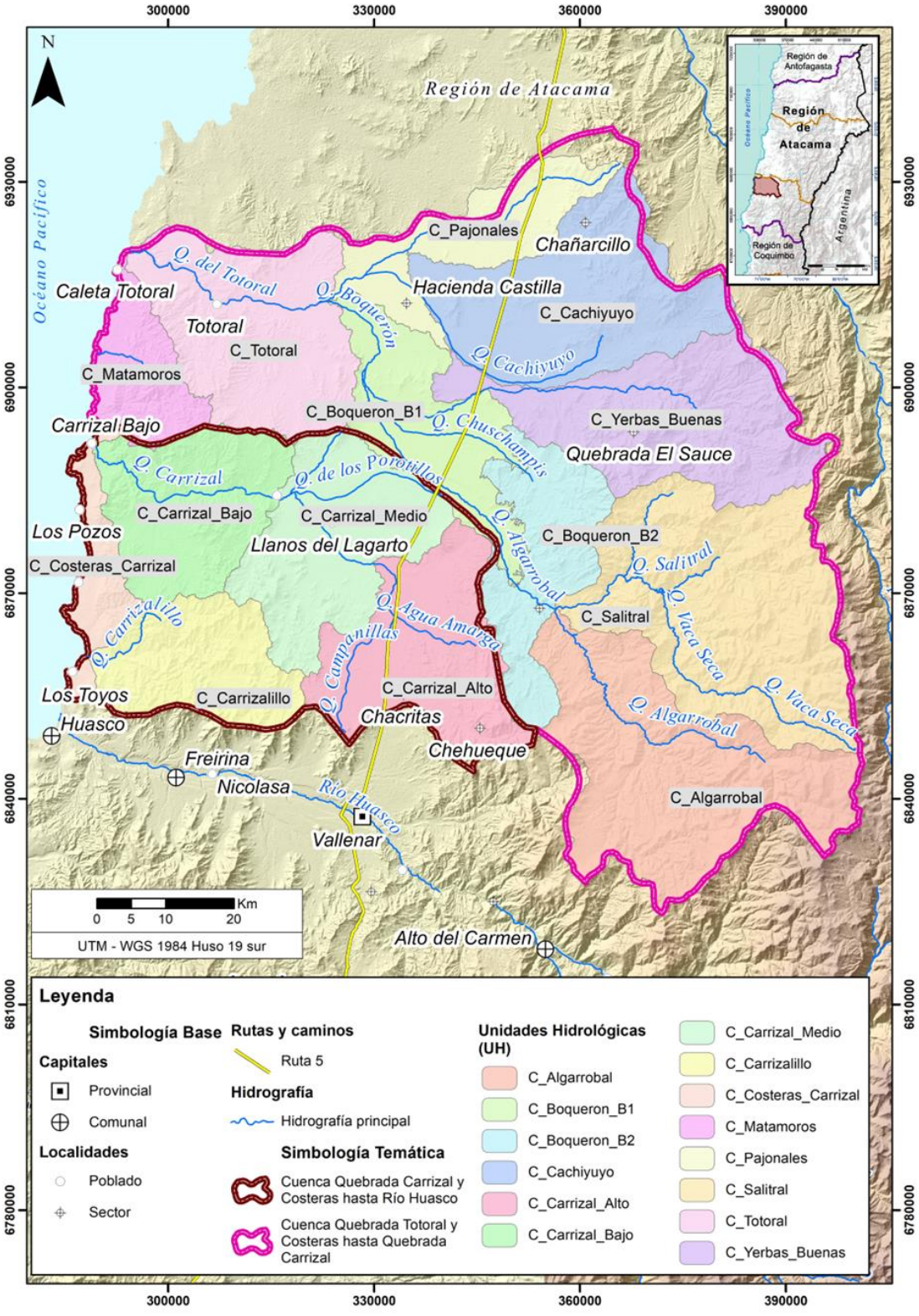
Tabla 2-8: Parámetros estadísticos de precipitación aplicados a las subcuencas definidas por DGA (2014)

Subcuenca WEAP	Promedio (mm)	Desviación estándar (mm)	$k * \overline{Pp}$ (mm)	Cumple (condición)
Cuenca PEGH	37,7	15,6	5,7	-
C_Totoral	41,2	16,5	6,2	No
C_Costeras	16,7	3,2	2,5	Sí (2)
C_Carrizal	32,0	9,9	6,4	No

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a).

Se concluye que las subcuencas Quebrada Totoral (0360) y Quebradas Carrizal y Carrizalillo (0370) no son aptas para ser consideradas como una UH dentro del modelo, por lo que se generan nuevas subcuencas con objetivo de cumplir la condición de homogeneidad requerida.

Para la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, finalmente se conceptualizan nueve UH, mientras que para la cuenca Quebradas Carrizal y Carrizalillo, se utilizan cinco UH, las que se muestran en la Figura 2-9.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-9: Unidades Hidrológicas adoptadas en modelo WEAP

El detalle del cumplimiento de la condición de homogeneidad se presenta en la Tabla 2-9 y Tabla 2-10.

Tabla 2-9: Parámetros estadísticos de precipitaciones aplicadas a UH modificadas en cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal

Subcuenca WEAP	Promedio (mm)	Desviación estándar (mm)	0,15*$\overline{Pp}$ (mm)	Cumple (condición)
Cuenca	40,2	-	6,0	-
C_Pajonales	23,1	4,9	3,5	Sí (2)
C_Cachiyuyo	31,8	5,0	4,8	Sí (2)
C_Yerbas_Buenas	41,9	6,1	6,3	Sí (1)
C_Salitral	55,9	6,7	8,4	Sí (1)
C_Algarrobal	60,6	6,2	9,1	Sí (1)
C_Boqueron_B1	26,5	5,2	4,0	Sí (2)
C_Boqueron_B2	44,1	6,2	6,6	Sí (1)
C_Totoral	16,6	2,8	2,5	Sí (2)
C_Matamoros	16,7	3,2	2,5	Sí (2)

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018, 2019a).

Tabla 2-10: Parámetros estadísticos de precipitaciones aplicadas a UH modificadas en cuenca Quebrada de Carrizal

Subcuenca WEAP	Promedio (mm)	Desviación estándar (mm)	0,2*$\overline{Pp}$ (mm)	Cumple (condición)
Cuenca	32,0	-	6,4	-
C_Carrizal_Alto	44,5	7,9	8,9	Sí (1)
C_Carrizal_Medio	30,4	4,6	6,1	Sí (1 y 2)
C_Carrizal_Bajo	21,9	3,2	4,4	Sí (1 y 2)
C_Carrizalillo	34,6	5,8	6,9	Sí (1 y 2)
C_Costeras_Carrizal	21,5	2,0	4,3	Sí (1 y 2)

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a, 2019a).

Finalmente, para las subcuencas recién definidas que están ubicadas parcialmente sobre el dominio de modelación acoplado, correspondientes a: C_Pajonales, C_Cachiyuyo, C_Yerbas_Buenas, C_Totoral, C_Carrizal_Alto, C_Carrizal_Medio y C_Carrizal_Bajo, se dividen en dos nuevas subcuencas. Los sectores ubicados fuera del dominio de acople WEAP – MODFLOW continúan con el nombre inicial, mientras que las ubicadas sobre el acuífero modelado con MODFLOW se les agrega el sufijo "_MF", quedando con 20 subcuencas finales representadas como UH.

2.5.3.1 Estrategia de ajuste de parámetros

Generalmente se busca ajustar los caudales máximos y caudales base. Por ejemplo, si se busca aumentar la respuesta de caudales máximo, se debe ajustar la escorrentía superficial, la cual es directamente afectada por el Factor de Resistencia a la Escorrentía (*Runoff Resistance Factor*, RRF) y la Conductividad de la Zona de Raíces (*Root Zone Conductivity*, RZC), los cuales afectan la reactividad de los UH. Por otro lado, si se quiere afectar los caudales base se debe ajustar la Dirección Preferencial del Flujo (*Preferred Flow Direction*, PFD) y la Conductividad Profunda (*Deep Conductivity*, DC). Se destaca que la relación entre los diferentes términos es no lineal y por lo tanto al afectar un término, se afectan los otros de forma indirecta. Por ejemplo, DC puede ser incrementado, aumentando la conductividad, y por tanto la descarga de los perfiles profundos, y el consecuente aumento en los caudales base. Por otro lado, si se aumenta la Capacidad de Agua de Suelo (*Soil Water Capacity*, SWC), se logra un mayor flujo sub-superficial, y por tanto un aumento de los caudales máximos. Finalmente, para el parámetro de Capacidad de Agua Profunda (*Deep Water Capacity*, DWC), regula la transmisión de los flujos a los caudales base (Centro de Cambio Global, 2009).

De esta forma, dependiendo del elemento del caudal que se requiera mejorar, se debe ajustar el o los parámetros correspondientes.

2.5.3.2 Parámetros de Uso de Suelo

A continuación, se describen los parámetros de Uso de Suelo asociados a las UH junto con los valores que permitieron una calibración satisfactoria del modelo hidrológico integrado.

i) Área

El Área de las UH utilizadas en el modelo y su relación con las subcuencas definidas por DGA se presenta en la Tabla 2-11.

Tabla 2-11: Área de Unidades Hidrológicas

Cuenca	UH WEAP	Valor (km^2)
Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal	C_Pajonales	176
	C_Pajonales_MF	222
	C_Cachiyuyo	559
	C_Cachiyuyo_MF	233
	C_Yerbas_Buenas	716
	C_Yerbas_Buenas_MF	53
	C_Salitral	1.110
	C_Algarrobal	1.015

Cuenca	UH WEAP	Valor (km²)
Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal	C_Boqueron_B1	477
	C_Boqueron_B2	435
	C_Totoral	687
	C_Totoral_MF	46
	C_Matamoros	259
Quebrada Carrizal	C_Carrizal_Alto	487
	C_Carrizal_Alto_MF	133
	C_Carrizal_Medio	246
	C_Carrizal_Medio_MF	385
	C_Carrizal_Bajo	512
	C_Carrizal_Bajo_MF	24
	C_Carrizalillo	426

Fuente: Elaboración propia.

ii) Coeficiente de Cultivo

Este parámetro representa el coeficiente de evaporación al interior de la Unidad hidrológica y no de los cultivos o zonas agrícolas. Se presenta en la Tabla 2-12 el valor del Coeficiente de Cultivo (Kc) de las UH.

Tabla 2-12: Valores del parámetro Coeficiente de Cultivo en UH

Cuenca	UH WEAP	Valor (-)
Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal	C_Pajonales	1,10
	C_Pajonales_MF	1,15
	C_Cachiyuyo	1,10
	C_Cachiyuyo_MF	1,15
	C_Yerbas_Buenas	1,10
	C_Yerbas_Buenas_MF	1,15
	C_Salitral	1,10
	C_Algarrobal	1,10
	C_Boqueron_B1	1,15
	C_Boqueron_B2	1,10
	C_Totoral	1,30
	C_Totoral_MF	1,30
	C_Matamoros	1,30
Quebrada Carrizal	C_Carrizal_Alto	1,10
	C_Carrizal_Alto_MF	1,15
	C_Carrizal_Medio	1,15
	C_Carrizal_Medio_MF	1,15
	C_Carrizal_Bajo	1,30
	C_Carrizal_Bajo_MF	1,30
	C_Carrizalillo	1,30

Fuente: Elaboración propia.

Los valores del Coeficiente de Cultivo se asignaron en función del ajuste entre la evapotranspiración potencial de las UH reportada en DGA (2018a), la que oscila entre 1.843 y 2.030 mm/año y la determinada por el modelo de simulación, ubicada entre 1.840 y 2.067 mm/año.

iii) Capacidad de Agua del Suelo

Este parámetro representa la capacidad efectiva de retención del agua de la capa superior del suelo (parte superior del "balde"). Se presenta en la Tabla 2-13 el valor de la Capacidad de Agua del Suelo (*Soil Water Capacity*, SWC) de las UH.

Tabla 2-13: Valores del parámetro Capacidad de Agua del Suelo en UH

Cuenca	UH WEAP	Valor (mm)
Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal	C_Pajonales	800
	C_Pajonales_MF	1.200
	C_Cachiyuyo	800
	C_Cachiyuyo_MF	1.200
	C_Yerbas_Buenas	800
	C_Yerbas_Buenas_MF	1.200
	C_Salitral	800
	C_Algarrobal	800
	C_Boqueron_B1	1.200
	C_Boqueron_B2	800
	C_Totoral	800
	C_Totoral_MF	1.200
	C_Matamoros	800
Quebrada Carrizal	C_Carrizal_Alto	800
	C_Carrizal_Alto_MF	1.200
	C_Carrizal_Medio	800
	C_Carrizal_Medio_MF	1.200
	C_Carrizal_Bajo	800
	C_Carrizal_Bajo_MF	1.200
	C_Carrizalillo	800

Fuente: Elaboración propia.

iv) Capacidad de Agua Profunda

Este parámetro representa la profundidad de la inferior del suelo (fondo del "balde"). Este valor es ignorado si el elemento presenta una conexión a un nodo de Aguas Subterráneas.

El valor de Capacidad de Agua Profunda (*Deep Water Capacity*, DWC) de las UH se mantiene en el valor por defecto, correspondiente a 1000 mm.

v) Factor de Resistencia a la Escorrentía

Este parámetro es usado para controlar la respuesta de la escorrentía superficial. Relacionado a factores como índice de área foliar y pendiente del suelo. La escorrentía tenderá a decrecer con los valores más altos de este parámetro.

Se presenta en la Tabla 2-14 el valor del Factor de Resistencia a la Escorrentía (*Runoff Resistance Factor*, RRF) de las UH.

Tabla 2-14: Valores del parámetro Factor de Resistencia a la Escorrentía en UH

Cuenca	UH WEAP	Valor (-)
Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal	C_Pajonales	1,80
	C_Pajonales_MF	1,80
	C_Cachiyuyo	1,80
	C_Cachiyuyo_MF	1,80
	C_Yerbas_Buenas	1,80
	C_Yerbas_Buenas_MF	1,80
	C_Salitral	1,00
	C_Algarrobal	1,00
	C_Boqueron_B1	1,50
	C_Boqueron_B2	1,00
	C_Totoral	1,50
	C_Totoral_MF	1,50
	C_Matamoros	1,50
Quebrada Carrizal	C_Carrizal_Alto	1,78
	C_Carrizal_Alto_MF	1,78
	C_Carrizal_Medio	1,78
	C_Carrizal_Medio_MF	1,78
	C_Carrizal_Bajo	1,78
	C_Carrizal_Bajo_MF	1,78
	C_Carrizalillo	1,78

Fuente: Elaboración propia.

vi) Conductividad de Zona Radicular

Este parámetro representa la tasa de conductividad hidráulica a saturación plena que será fraccionado de acuerdo con la dirección preferida de flujo, entre Interflujo y flujo hacia las capas inferiores del suelo.

Se presenta en la Tabla 2-15 el valor de la Conductividad de Zona Radicular (*Root Zone Conductivity*, RZC) de las UH.

Tabla 2-15: Valores del parámetro Conductividad de Zona Radicular en UH

Cuenca	UH WEAP	Valor (mm/mes)
Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal	C_Pajonales	180
	C_Pajonales_MF	200
	C_Cachiyuyo	180
	C_Cachiyuyo_MF	200
	C_Yerbas_Buenas	180
	C_Yerbas_Buenas_MF	200
	C_Salitral	200
	C_Algarrobal	200
	C_Boqueron_B1	200
	C_Boqueron_B2	180
	C_Totoral	40
	C_Totoral_MF	200
	C_Matamoros	40
Quebrada Carrizal	C_Carrizal_Alto	180
	C_Carrizal_Alto_MF	200
	C_Carrizal_Medio	180
	C_Carrizal_Medio_MF	200
	C_Carrizal_Bajo	40
	C_Carrizal_Bajo_MF	200
	C_Carrizalillo	40

Fuente: Elaboración propia.

vii) Conductividad Profunda

Este parámetro representa la tasa de conductividad hidráulica de la capa profunda a saturación total, el cual controla la transmisión del flujo base. El flujo base incrementa a medida que este parámetro aumenta.

El valor de la Conductividad Profunda (*Deep Conductivity*, DC) de las UH se mantiene en el valor por defecto, correspondiente a 20 mm/mes.

viii) Dirección Preferencial de Flujo

Este parámetro determina la partición del caudal de salida de la capa de la zona de raíces (parte superior del "balde") entre interflujo y caudal de la capa más baja del suelo (fondo del "balde"). Un valor de este parámetro igual a 1 equivale a un flujo 100% horizontal, mientras que un valor de 0 conlleva a un flujo 100% vertical.

El valor de la Dirección Preferencial del Flujo (*Preferred Flow Direction*, PFD) de las UH se mantiene en el valor por defecto, correspondiente a 0,15.

ix) Z1

Este parámetro fija el valor de la humedad de la capa superior del suelo al comienzo de la simulación. El valor de Z1 (*Initial Z1*) de las UH se establece en un 5%.

x) Z2

Este parámetro fija el valor de la humedad de la capa profunda de suelo al comienzo de la simulación. El valor de Z2 (Initial Z2) de las UH se establece en un 5%.

2.5.3.3 Forzantes meteorológicas y parámetros de Clima

A continuación, se describen las forzantes meteorológicas y los parámetros de Clima asociados a las UH junto con los valores que permitieron una calibración satisfactoria del modelo hidrológico integrado.

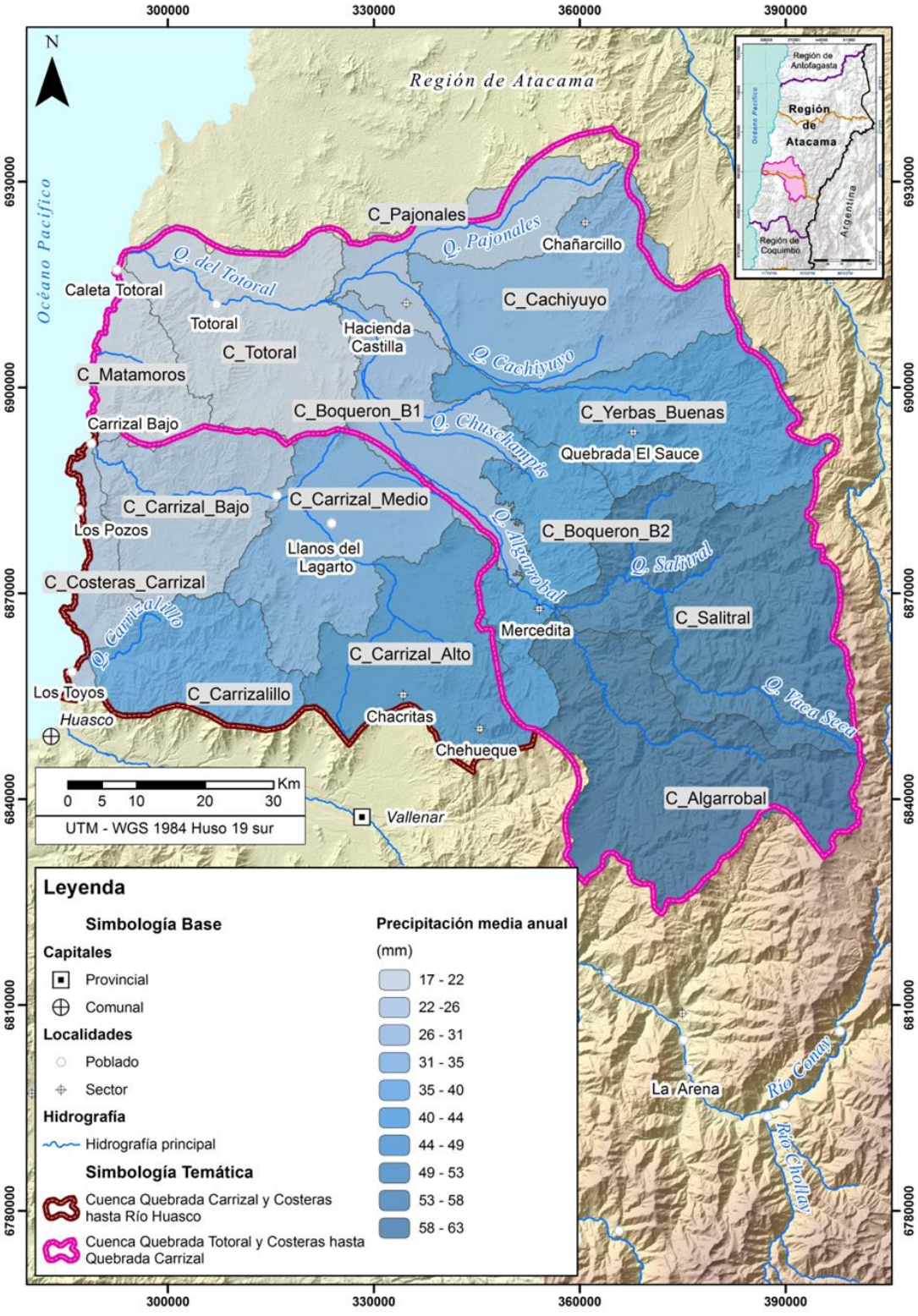
i) Precipitación

Esta forzante meteorológica se define como la serie de tiempo de precipitación mensual. Se presenta Tabla 2-16 y Figura 2-10 el valor de Precipitación (*Precipitation*) media anual de UH del modelo.

Tabla 2-16: Precipitación media anual de las UH

Cuenca	UH WEAP	Valor (mm/año)
Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal	C_Pajonales	22,7
	C_Pajonales_MF	22,7
	C_Cachiyuyo	31,1
	C_Cachiyuyo_MF	31,1
	C_Yerbas_Buenas	42,2
	C_Yerbas_Buenas_MF	42,2
	C_Salitral	57,3
	C_Algarrobal	62,4
	C_Boqueron_B1	26,4
	C_Boqueron_B2	43,9
	C_Totoral	17,1
	C_Totoral_MF	17,1
	C_Matamoros	18,0
Quebrada Carrizal	C_Carrizal_Alto	45,1
	C_Carrizal_Alto_MF	45,1
	C_Carrizal_Medio	31,0
	C_Carrizal_Medio_MF	31,0
	C_Carrizal_Bajo	24,1
	C_Carrizal_Bajo_MF	24,1
	C_Carrizalillo	36,3

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a, 2019a).



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a, 2019a).

Figura 2-10: Precipitación media anual en las UH

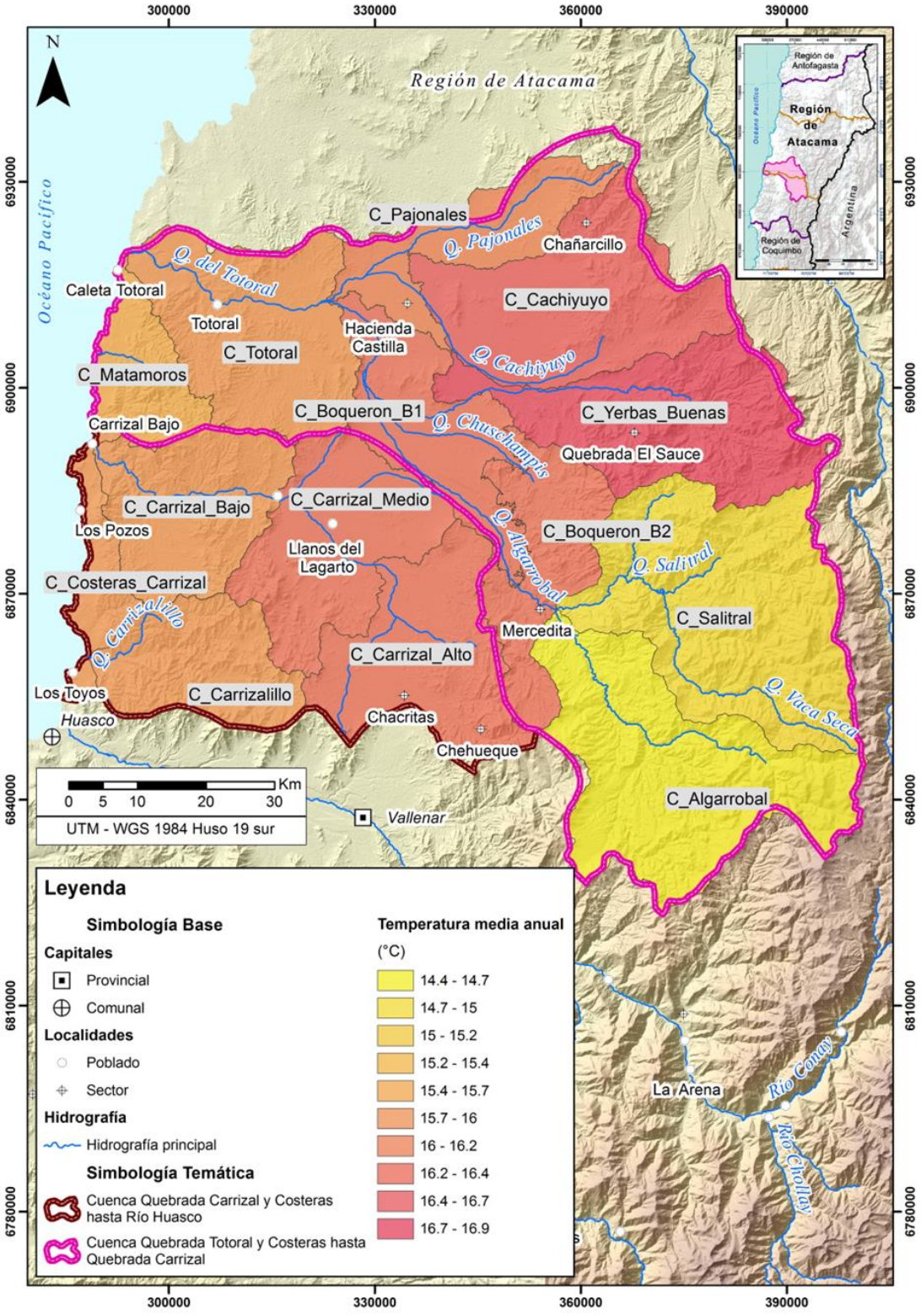
ii) Temperatura

Esta forzante meteorológica se define como la media ponderada entre temperatura máxima y mínima. Se presenta en la Tabla 2-17 y Figura 2-11 el valor de la temperatura media mensual aplicada en las UH del modelo

Tabla 2-17: Temperatura media mensual de las UH

Cuenca	UH WEAP	Valor (°C)
Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal	C_Pajonales	16,1
	C_Pajonales_MF	16,1
	C_Cachiyuyo	16,6
	C_Cachiyuyo_MF	16,6
	C_Yerbas_Buenas	16,9
	C_Yerbas_Buenas_MF	16,9
	C_Salitral	14,7
	C_Algarrobal	14,4
	C_Boqueron_B1	16,3
	C_Boqueron_B2	16,4
	C_Totoral	15,9
	C_Totoral_MF	15,9
	C_Matamoros	15,5
Quebrada Carrizal	C_Carrizal_Alto	16,4
	C_Carrizal_Alto_MF	16,4
	C_Carrizal_Medio	16,2
	C_Carrizal_Medio_MF	16,2
	C_Carrizal_Bajo	15,9
	C_Carrizal_Bajo_MF	15,9
	C_Carrizalillo	15,8

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a, 2019a).



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a, 2019a).

Figura 2-11: Temperatura media mensual en las UH

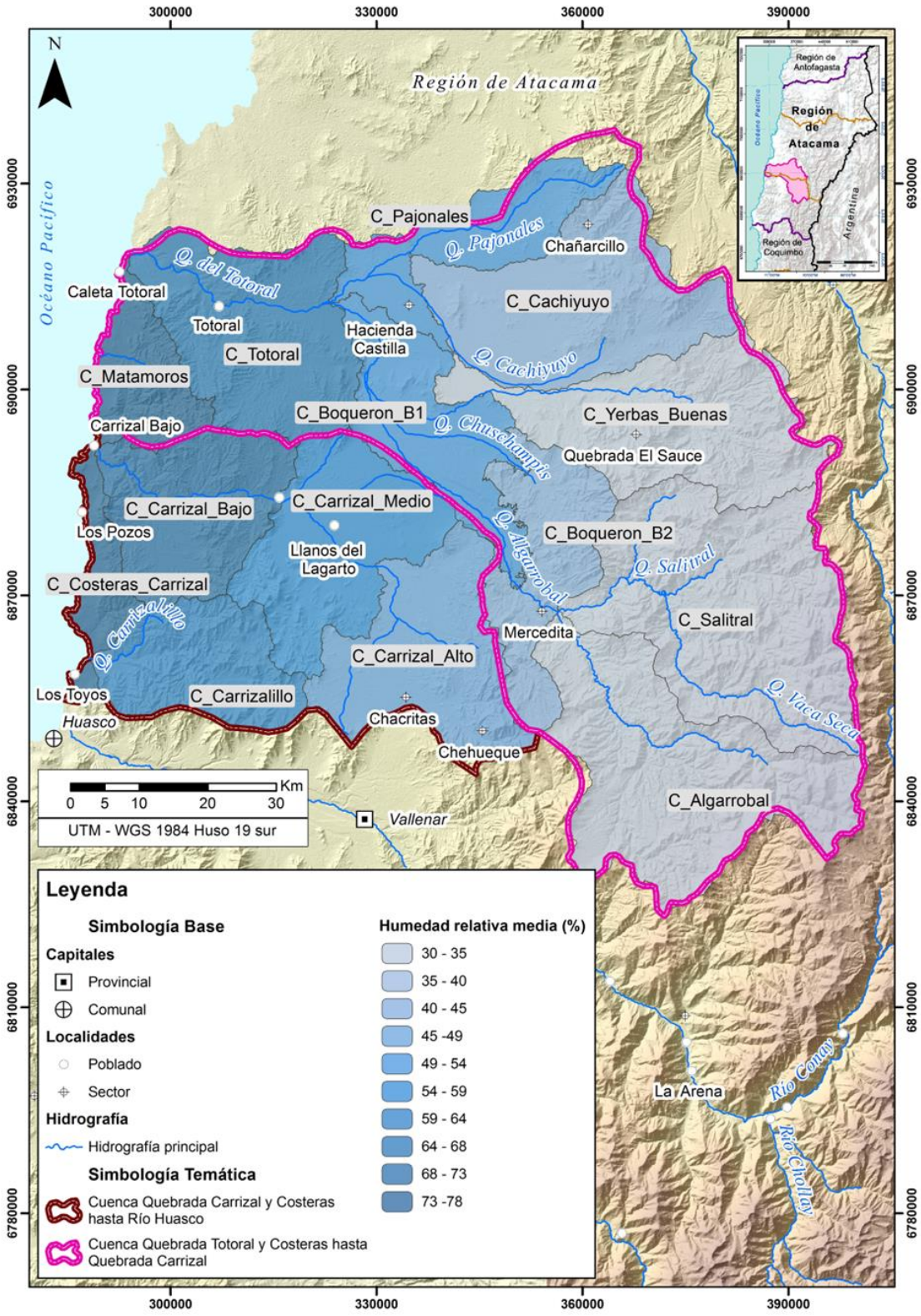
iii) Humedad

Esta forzante meteorológica se define como la humedad media relativa mensual. Se presenta en la Tabla 2-18 y Figura 2-12 el valor de la Humedad (*Humidity*) media aplicada en las UH del modelo, según los antecedentes presentado en DGA (2018a).

Tabla 2-18: Humedad relativa media en las UH

Cuenca	UH WEAP	Valor (%)
Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal	C_Pajonales	53,6
	C_Pajonales_MF	53,6
	C_Cachiyuyo	43,2
	C_Cachiyuyo_MF	43,2
	C_Yerbas_Buenas	34,5
	C_Yerbas_Buenas_MF	34,5
	C_Salitral	30,4
	C_Algarrobal	33,0
	C_Boqueron_B1	51,0
	C_Boqueron_B2	40,1
	C_Totoral	64,5
	C_Totoral_MF	64,5
	C_Matamoros	73,9
Quebrada Carrizal	C_Carrizal_Alto	46,8
	C_Carrizal_Alto_MF	46,8
	C_Carrizal_Medio	56,5
	C_Carrizal_Medio_MF	56,5
	C_Carrizal_Bajo	68,5
	C_Carrizal_Bajo_MF	68,5
	C_Carrizalillo	62,2

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a).



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a).

Figura 2-12: Humedad relativa media de las UH

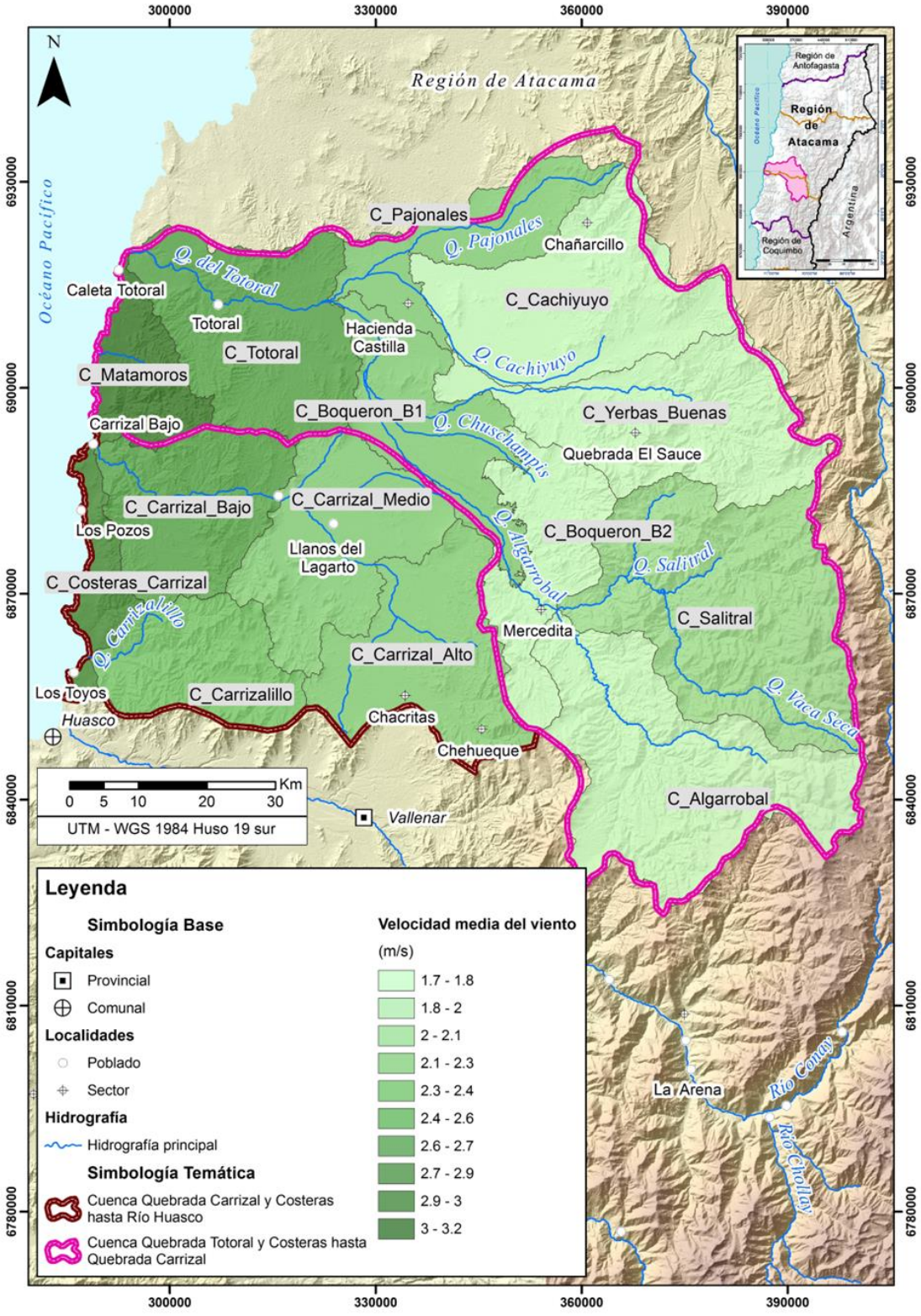
iv) Viento

Esta forzante meteorológica se define como la velocidad media del viento mensual. Se presenta Tabla 2-19 y Figura 2-13 el valor del Viento (*Wind*) medio aplicada en las UH del modelo, según los antecedentes presentado en DGA (2018a).

Tabla 2-19: Velocidad media del viento en las UH

Cuenca	UH WEAP	Valor (m/s)
Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal	C_Pajonales	2,2
	C_Pajonales_MF	2,2
	C_Cachiyuyo	1,8
	C_Cachiyuyo_MF	1,8
	C_Yerbas_Buenas	1,7
	C_Yerbas_Buenas_MF	1,7
	C_Salitral	2,0
	C_Algarrobal	1,7
	C_Boqueron_B1	2,2
	C_Boqueron_B2	1,7
	C_Totoral	2,6
	C_Totoral_MF	2,6
	C_Matamoros	3,2
Quebrada Carrizal	C_Carrizal_Alto	2,2
	C_Carrizal_Alto_MF	2,2
	C_Carrizal_Medio	2,2
	C_Carrizal_Medio_MF	2,2
	C_Carrizal_Bajo	2,7
	C_Carrizal_Bajo_MF	2,7
	C_Carrizalillo	2,3

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a).



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a).

Figura 2-13: Velocidad media del viento en las UH

v) Latitud

Este parámetro se define como la latitud en grados. El valor de Latitud se completa automáticamente si la UH se crea en el modo de delineación de cuencas. Se presenta en la Tabla 2-20 el valor de Latitud (*Latitude*) de las UH del modelo.

Tabla 2-20: Latitud de Unidades Hidrológicas

Cuenca	UH WEAP	Valor (°)
Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal	C_Pajonales	-27,82
	C_Pajonales_MF	-27,82
	C_Cachiyuyo	-27,90
	C_Cachiyuyo_MF	-27,90
	C_Yerbas_Buenas	-28,06
	C_Yerbas_Buenas_MF	-28,06
	C_Salitral	-28,31
	C_Algarrobal	-28,52
	C_Boqueron_B1	-28,06
	C_Boqueron_B2	-28,24
	C_Totoral	-27,94
	C_Totoral_MF	-27,94
	C_Matamoros	-27,99
Quebrada Carrizal	C_Carrizal_Alto	-28,37
	C_Carrizal_Alto_MF	-28,37
	C_Carrizal_Medio	-28,22
	C_Carrizal_Medio_MF	-28,22
	C_Carrizal_Bajo	-28,17
	C_Carrizal_Bajo_MF	-28,17
	C_Carrizalillo	-28,36

Fuente: Elaboración propia.

vi) Punto de Congelación

El valor del Punto de Congelación (*Freezing Point*) de las UH se mantiene en el valor defecto, correspondiente a -5 °C. Este parámetro representa al umbral de temperatura para la formación de agua sólida por acumulación de nieve. La modificación de este valor tiene por objetivo corregir potenciales sesgos de la información meteorológica, así como también representar procesos físicos que tienen relación con la modificación del punto de congelamiento del agua, debido a condiciones ambientales de humedad u otros.

vii) Punto de Fusión

El valor del Punto de Fusión (*Melting Point*) de las UH se mantiene en el valor defecto, correspondiente a 5 °C. Este parámetro representa al umbral de temperatura para el derretimiento de nieve en agua líquida. La modificación de este valor tiene por objetivo corregir potenciales sesgos de la información meteorológica, así como también representar procesos físicos que tienen relación con la modificación del punto de fusión del agua, debido a condiciones ambientales de humedad u otros.

viii) Límite Inferior del Albedo

El valor del Límite Inferior del Albedo (*Albedo Lower Bound*) de las UH se mantiene en el valor por defecto, correspondiente a 0,15. Este parámetro fija el valor del albedo para usar si no hay cubierta de nieve. Sólo se use si la variable Datos de Albedo está en blanco.

ix) Límite Superior del Albedo

El valor del Límite Superior del Albedo (*Albedo Upper Bound*) de las UH se mantiene en el valor por defecto, correspondiente a 0,25. Este parámetro fija el valor del albedo para usar si hay cubierta de nieve mayor a:

$$10 \text{ mm} * \text{número de días en un lapso de tiempo}$$

Límite superior del albedo sólo se usa si la variable Datos de Albedo está en blanco.

x) Datos de Albedo

El valor de Datos de Albedo (*Albedo*) de las UH se deja en blanco. WEAP calculará el albedo como una función lineal de la acumulación de nieve, entre el Límite Inferior del Albedo y el Límite Superior del Albedo.

xi) Nieve Inicial

El valor de datos de la Nieve Inicial (*Initial Snow*) de las UH se mantiene en el valor por defecto, correspondiente a 0 mm. Este parámetro establece el valor inicial de acumulación de nieve al comienzo del primer mes.

xii) Medidor de Acumulación de Nieve

El valor del Medidor de Acumulación de Nieve (*Snow Accumulation Gauge*) de las UH se mantiene en el valor por defecto, correspondiente a 0 mm. Este parámetro corresponde a datos históricos de la acumulación de nieve para usar durante la calibración. Medido como la profundidad equivalente de agua deshielada.

2.5.4 Agua Subterránea

Los acuíferos son representados en WEAP por los nodos Agua Subterránea (*Groundwater*), los cuales se caracterizan por tener una capacidad de almacenamiento, un volumen inicial y por sus interacciones con los demás elementos.

Los nodos de Agua Subterránea pueden tener interacciones de entrada como una recarga superficial fluvial y/o por precipitaciones, infiltración desde captaciones, devoluciones de Sitios de Demanda y Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales, interacciones de flujo subterráneo, entre otros. A su vez, este nodo puede servir como fuente de suministro a sitios de demanda o flujo subterráneo desde un acuífero hacia otro acuífero.

Para modelar las interacciones de los nodos de Agua Subterránea con el resto de los elementos en WEAP existen dos opciones:

i) Simular en WEAP de una manera simplificada el Agua Subterránea y sus interacciones,
ii) Vincular un modelo MODFLOW a WEAP.

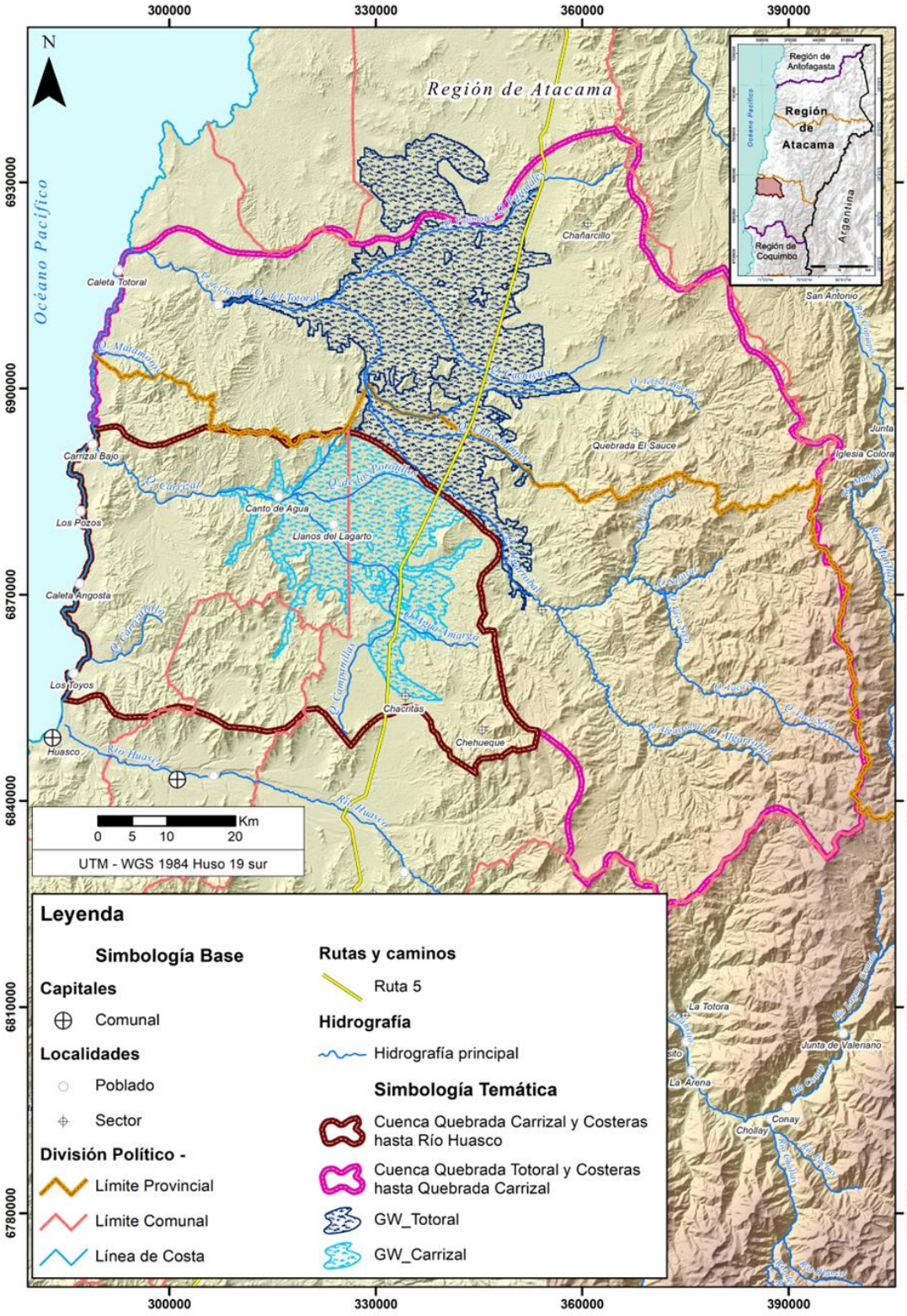
En el caso del modelo de gestión aplicada en la zona de estudio, se emplea una vinculación WEAP – MODLFOW para el acuífero definido inicialmente en DGA (2010) y modificado según se señala en el acápite 1.4 más atrás Se denomina como "GW_Carrizal" al acuífero ubicado en la cuenca Quebrada Carrizal y "GW_Totoral" al sector ubicado en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, según muestra la Figura 2-14 y Tabla 2-21.

Tabla 2-21: Acuíferos considerados en modelo WEAP

Nodo WEAP	Área superficial (km^2)	Capacidad de Almacenamiento estimada (hm^3)
GW_Totoral	4.017,6	7.122
GW_Carrizal	149,1	3.318

Fuente: Elaboración propia.

Cabe señalar que para las UH que tengan conexiones hacia elementos Agua Subterránea, la zona profunda (balde 2; Figura 2-1) es reemplazada por el nodo de Agua Subterránea. De esta manera, los flujos de escorrentías superficial, directa y subsuperficial, son dirigidos a los elementos Río, mientras que en los casos de unidades hidrológicas con conexiones a elementos Agua Subterránea, el flujo de percolación se dirige directamente a estos últimos, sin existir la zona profunda (balde 2).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-14: Nodos de Agua Subterránea vinculados en WEAP – MODFLOW

En modelos que cuenten con acople WEAP-MODFLOW, como es el caso del modelo desarrollado en este estudio, la comunicación entre ambas plataformas se realiza a través de los elementos Agua Subterránea, mediante una correspondencia entre las celdas del modelo MODFLOW con los elementos "Agua Subterránea" considerados en el modelo WEAP.

Se emplea también un nodo de Agua Subterránea simplificado para los sectores acuíferos de cabecera que aportan flujo subterráneo a los nodos vinculados, el que se denomina "GW_LadMF".

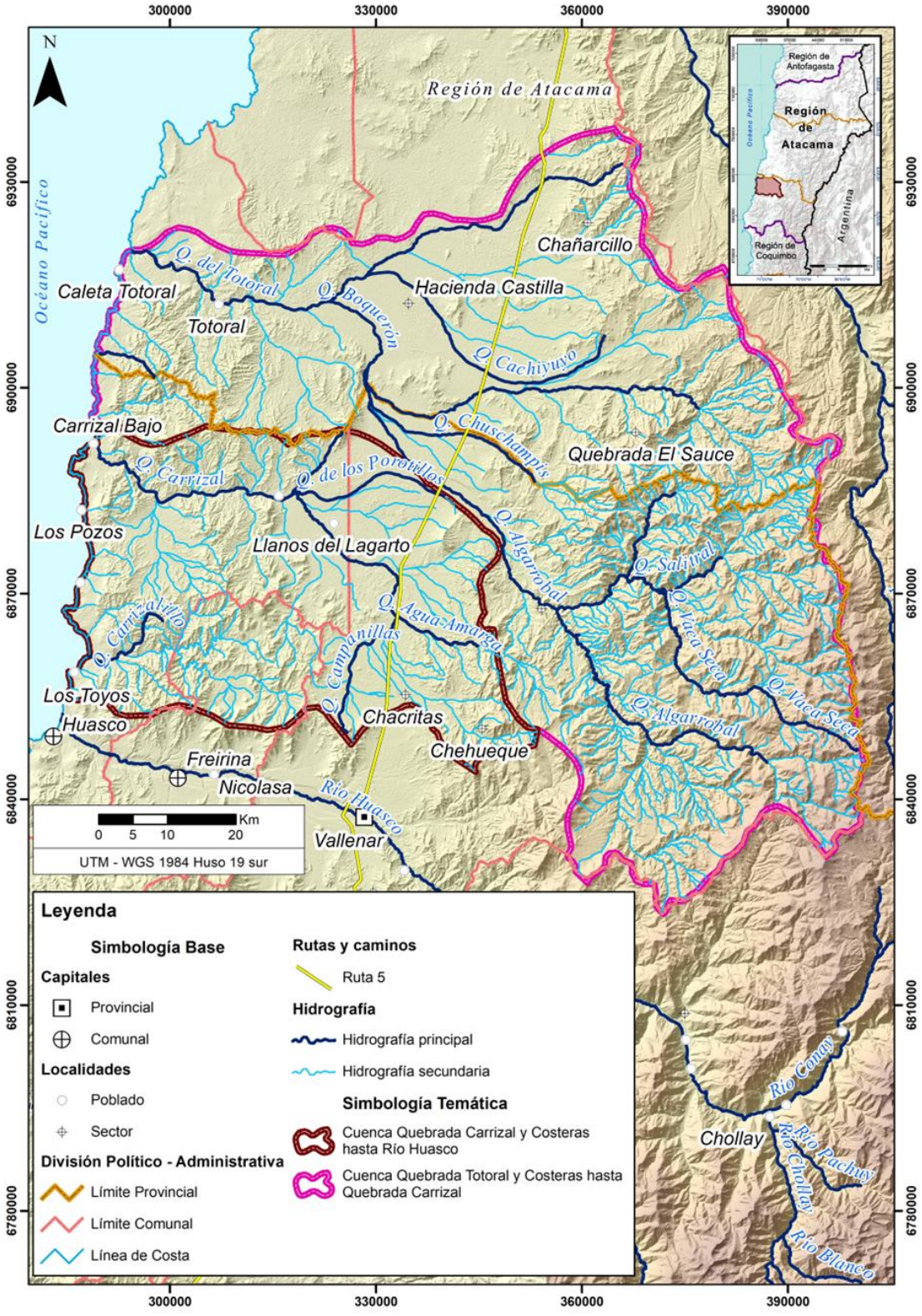
2.5.5 Ríos

Se emplean 14 elementos Río (*River*) para definir a quebradas de interés por las que transita agua en algunos periodos del año. Estas corresponden a las Quebradas: Algarrobal, Salitral, Yerbas Buenas, Cachiyuyo, Chuschampis, Boquerón, Pajonales, Totoral, Matamoros, Carrizal y Carrizalillo. El detalle de las Quebradas y las UH donde se ubican se muestra en la Tabla 2-22 y Figura 2-15.

Tabla 2-22: Quebradas modeladas como elemento Río

Cuenca	Río	Nombre WEAP	Unidad Hidrológica
Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal	Quebrada Algarrobal	Q_Algarrobal	C_Algarrobal
			C_Boqueron_B2
			C_Boqueron_B1
	Quebrada Salitral	Q_Salitral	C_Salitral
	Quebrada Yerbas Buenas	Q_Yerbas_Buenas	C_Yerbas_Buenas
	Quebrada Cachiyuyo	Q_Cachiyuyo	C_Cachiyuyo
	Quebrada Pajonales	Q_Pajonales	C_Pajonales
	Quebrada Boquerón	Q_Boqueron	C_Boqueron_B1
	Quebrada Totoral	Q_Totoral	C_Totoral
	Quebrada Matamoros	Q_Matamoros	C_Matamoros
Quebrada Carrizal	Quebrada El Salto	Q_El_Salto	C_Carrizal_Alto
	Quebrada Campanillas	Q_Campanillas	
	Quebrada Tamarico	Q_Tamarico	C_Carrizal_Medio
	Quebrada Porotillos	Q_Porotillos	
	Quebrada Carrizal	Q_Carrizal	C_Carrizal_Bajo
	Quebrada Carrizalillo	Q_Carrizalillo	C_Carrizalillo

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-15: Hidrografía conceptualizada como elementos Río en WEAP

2.5.6 Escorrentía/Infiltración

Los enlaces de Escorrentía/Infiltración (*Runoff/Infiltration*) transportan la escorrentía y la infiltración de las cuencas a ríos, embalses y nodos de Aguas Subterránea. La escorrentía e infiltración de la cuenca es agua de precipitación, nieve y hielo derretido, irrigación y almacenamiento de humedad del suelo que no se consume por evapotranspiración o pérdidas por aumento de humedad del suelo. Estos enlaces también pueden vincular un nodo de Agua Subterránea a otro, para modelar el flujo subterráneo.

2.5.7 Sitio de Demandas

Un Sitio de Demanda (*Demand Site*) se define como un conjunto de usuarios de agua que comparten un sistema de distribución físico. Pueden estar todos dentro de una región definida o compartir un punto de suministro de extracción importante. A cada demanda agregada se le debe asignar una prioridad, ya que WEAP usa esta variable para definir el orden de abastecimiento de estas, en relación con todas las demás demandas del sistema. En el caso del modelo en construcción, se les asigna la misma prioridad de satisfacción a todas las demandas (1).

Un Sitio de Demanda debe estar acompañado de la representación del sistema de suministro. Se deben agregar Derivaciones, Conducciones y Flujos de Retorno según corresponda.

2.5.7.1 Demandas subterráneas

Se emplean como demandas subterráneas todos los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) concedidos del Catastro Público de Aguas (CPA) donde la naturaleza del agua es subterránea. Estas demandas tienen como uso del agua actividades como: riego, industria, minería y agua potable y poseen un caudal de derecho de extracción (constante) o extracciones dinámicas registradas por posibles monitoreos de extracciones efectivas subterráneos.

En el caso de los Sistemas de Saneamiento Rural (SSR), estos son considerados conforme a la información de ubicación, datación, beneficiarios y su proyección expuesta en la sección 2.4.2 del informe principal.

El detalle de las Demandas subterráneas para la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal se muestra en la Tabla 2-23, mientras que para la cuenca Quebrada Carrizal se detalla en la Tabla 2-24. La magnitud y distribución espacial de estos DAA se presenta en la Figura 2-16.

Tabla 2-23: Detalle de las demandas subterráneas implementadas como Sitio de Demanda en modelo WEAP en periodo de calibración (1990 – 2019) para la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal

Código de expediente	Nombre solicitante	Fecha resolución	Uso de agua*	Derecho (l/s)	Norte (m)	Este (m)	Datum
ND-0302-306	Domingo Guggiana Guggiana	05-11-1998	Riego	21,0	6.913.031	313.520	56
ND-0303-1158	Oscar Antonio Moreno Gálvez	15-11-2017	Industrial	0,36	6.893.355	330.443	84
ND-0302-1235	Comité de A.P.R. Totoral	31-07-2009	Agua Potable	1,5	6.912.714	308.395	56
UA-0303-805780	Compañía de Acero del Pacifico S.A.	25-03-1980	Minería	3,6	6.893.800	332.500	84
UA-0303-809301	Compañía de Acero del Pacifico S.A.	25-03-1980	Minería	3,4	6.894.300	333.600	84
UA-0302-20	Compañía Minera Río Huasco	04-02-1981	Bebida/Huso Dom	0,6	6.917.700	343.400	84
UA-0303-1	Fernando Eugenio Seguel Retornano	20-03-1991	Industrial	5,5	6.885.600	338.600	84
UA-0303-1	Fernando Eugenio Seguel Retornano	20-03-1991	Industrial	4,0	6.885.600	338.600	84
ND-0302-432	Sociedad Agrícola e Inversiones Agrogenesis Ltda.	06-06-2002	Riego	60,0	6.911.088	322.421	56
ND-0302-432	Sociedad Agrícola E Inversiones Agrogenesis Ltda.	06-06-2002	Riego	70,0	6.911.586	322.446	56
ND-0303-464	SOQUIMICH	04-11-1999	Minería	2,1	6.887.089	339.815	56
ND-0302-758	Rodrigo Javier Moreno Prohens	19-05-2006	Riego	32,0	6.910.682	322.616	56
ND-0302-758	Rodrigo Javier Moreno Prohens	19-05-2006	Riego	47,0	6.911.310	322.685	56
ND-0302-834	Sociedad Agrícola Río Escondido Ltda.	27-01-2010	Riego	15,0	6.914.676	381.135	56
ND-0302-834	Sociedad Agrícola Río Escondido Ltda.	27-01-2010	Riego	6,0	6.914.770	381.090	56
ND-0302-834	Sociedad Agrícola Río Escondido Ltda.	27-01-2010	Riego	3,5	6.914.976	380.924	56
UA-0302-809180	Cesar Sumar Pacha	02-07-1963	Riego	340,0	6.914.500	333.200	84
UA-0302-805829	Compañía Minera Río Huasco	10-09-1980	Minería	1,2	6.922.800	360.400	84
UA-0302-805830	Compañía Minera Rio Huasco	10-09-1980	Minería	0,6	6.922.800	360.400	84
UA-0302-805831	Compañía Minera Rio Huasco	10-09-1980	Minería	0,6	6.922.900	360.500	84
UA-0302-805832	Compañía Minera Rio Huasco	10-09-1980	Minería	0,6	6.922.800	360.400	84
ND-0303-1158	Oscar Antonio Moreno Gálvez	15-11-2017	Industrial	1,8	6.893.355	330.443	84

Uso de Agua destacado en color rojo indica que fuentes no presentan información en aquel campo, por lo que se asigna un uso estimado en función de las características del DAA.

Fuente: Elaboración propia con antecedentes CPA y DGA (2018b)

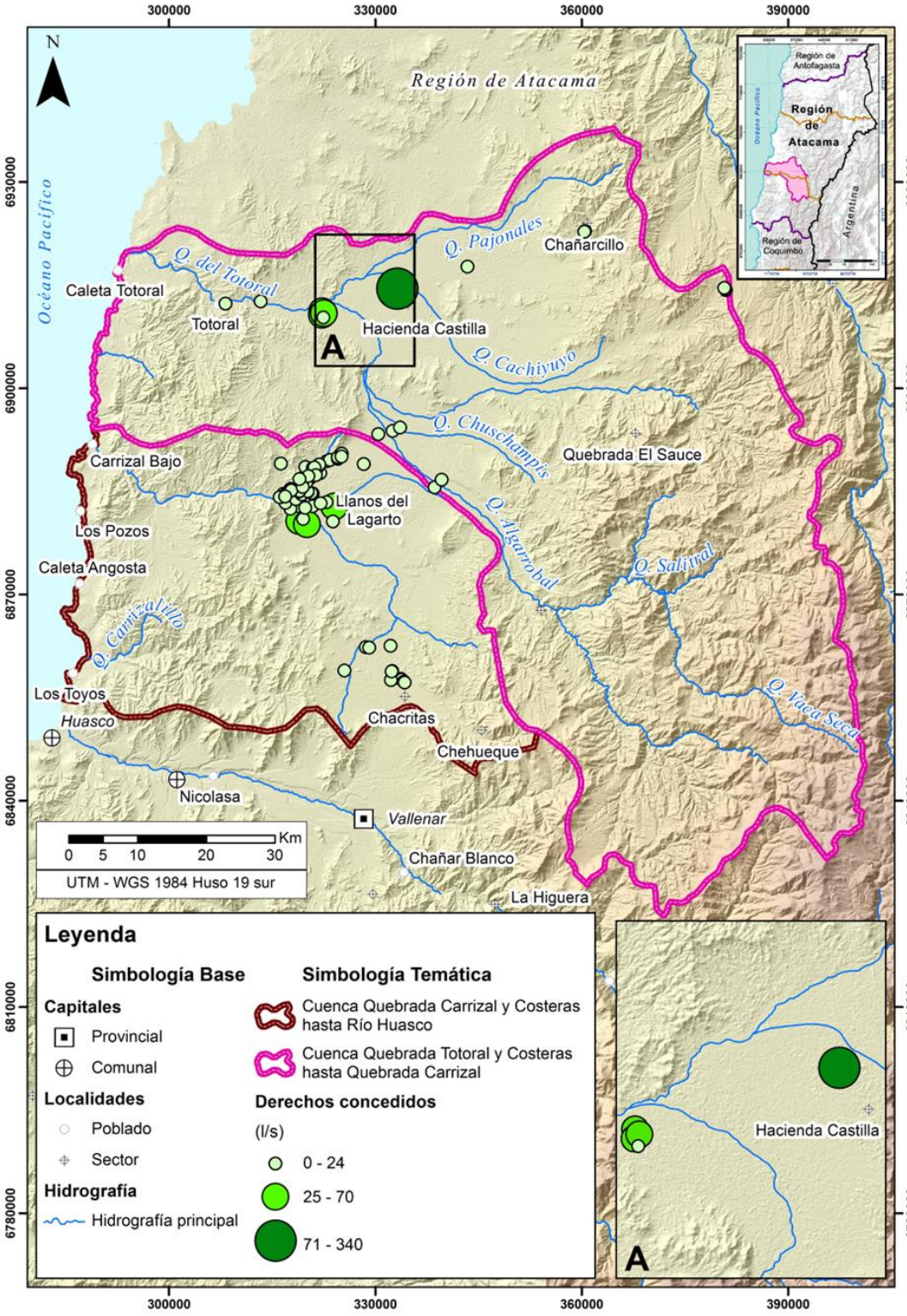
Tabla 2-24: Detalle de las demandas subterráneas implementadas como Sitio de Demanda en modelo WEAP en periodo de calibración (1990 – 2019) para la cuenca Quebrada Carrizal

Código de expediente	Nombre solicitante	Uso de agua	Fecha resolución	Caudal otorgado (l/s)	Norte (m)	Este (m)	Datum
ND-0303-34	LUIS RODILLO BARCELO	Riego	08-03-1990	12,00	6.889.000	328.300	84
ND-0303-234	MARCOS GLEISER PORTUGUEIS	Riego	09-10-1992	5,10	6.885.140	320.870	84
ND-0303-234	MARCOS GLEISER PORTUGUEIS	Riego	09-10-1992	5,90	6.883.210	321.060	84
ND-0303-234	MARCOS GLEISER PORTUGUEIS	Riego	09-10-1992	7,00	6.885.060	321.085	84
ND-0303-234	MARCOS GLEISER PORTUGUEIS	Riego	09-10-1992	3,00	6.883.634	322.217	84
ND-0303-234	MARCOS GLEISER PORTUGUEIS	Riego	09-10-1992	5,90	6.883.806	323.091	84
ND-0303-401	MARTIN ALEJANDRO VITALI GUYOT	Riego	25-01-1996	8,00	6.888.040	322.170	84
ND-0303-416	JUAN ANTONIO CASTRO PEREZ	Riego	08-04-1997	6,00	6.885.167	317.531	84
ND-0303-465	SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A.	Minería	25-10-1999	30,00	6.883.200	324.224	84
ND-0303-536	CORPORACION DE REHABILITACION SOCIAL (CO	Riego	16-04-2001	20,00	6.880.998	324.003	84
ND-0303-663	ALBERTO TRANSITO VILLEGAS VALLADARES	Riego	16-10-2003	2,50	6.884.597	316.790	84
ND-0303-662	TEODORO DEL ROSARIO CAMPILLAY MONTAÑA	Riego	08-09-2003	3,00	6.884.557	316.670	84
ND-0303-779	EMPRESA DE INVERSIONES SERGIO HUDSON Y C	Riego	07-04-2005	42,00	6.880.621	320.260	84
ND-0303-781	SERGIO EDUARDO HUDSON PEREZ	Riego	18-03-2005	66,00	6.881.091	319.125	84
ND-0303-850	CARLOS ENRIQUE JEREZ CABALLERO	Riego	21-04-2014	2,00	6.881.386	319.692	56
ND-0303-912	DANISA DEL CARMEN GUZMAN ARAYA	Riego	11-07-2012	0,80	6.888.563	321.146	56
ND-0303-930	FRANCISCO VERGARA CASTRO	Riego	21-04-2014	0,45	6.890.060	325.089	84
ND-0303-931	FRANCISCO VERGARA CASTRO	Riego	21-04-2014	0,69	6.890.489	325.122	84
ND-0303-913	IVAR IVAN CORTEZ ALTAMIRANO	Riego	11-07-2012	0,70	6.888.932	320.024	56
ND-0303-916	ARNALDO DEL CAMPO ARIAS	Riego	21-04-2014	2,00	6.885.040	318.020	56
ND-0303-941	EMINO SEGUNDO TORRES GODOY	Riego	11-07-2012	1,20	6.885.425	319.156	56
ND-0303-991	GOTZ Y BETANCUORT LTDA.	Riego	21-04-2014	0,50	6.885.269	317.563	56
ND-0303-992	ORLANDO ABRAHAM JOFRE JOFRE	Riego	21-04-2014	2,00	6.883.811	317.380	56
ND-0303-1028	CARLOS ARTURO VIGORENA VALLEJOS	Riego	21-04-2014	1,41	6.884.537	316.295	56
ND-0303-1023	EDUARDO SEGUNDO GUZMAN ARAYA	Riego	21-04-2014	0,64	6.888.801	321.118	56
ND-0303-1022	ROBERTO ALEJANDRO ARAYA TALAMILLA	Riego	08-11-2017	0,51	6.889.300	322.023	56
ND-0303-1335	ARNOLDO ERNESTO ORDENES SALINAS	Riego	21-04-2014	0,33	6.885.536	317.979	56
ND-0303-1336	MIRIAM DEL ROSARIO CORTES PIÑONES	Riego	21-04-2014	0,90	6.885.715	317.854	56
ND-0303-1326	JOHANNA JACQUELINE MADRIGAL FRITIS	Riego	04-10-2016	1,90	6.885.075	317.572	56
ND-0303-1322	JORGE YAÑEZ GONZALEZ	Riego	21-04-2014	2,00	6.884.435	317.794	56
ND-0303-1323	JORGE YAÑEZ GONZALEZ	Riego	25-04-2014	2,00	6.884.433	317.765	56
ND-0303-1318	RICARDO BERNARDINO CHEPILLO FLORES	Riego	21-04-2014	1,76	6.884.260	318.638	56
ND-0303-1319	RICARDO BERNARDINO CHEPILLO FLORES	Riego	21-04-2014	2,00	6.884.399	318.617	56
ND-0303-1353	CESAR AIME FUENTES	Riego	21-04-2014	1,43	6.883.000	320.000	56
ND-0303-1356	GUSTAVO AMBROSIO GALLARDO GODOY	Riego	10-03-2015	0,12	6.887.170	319.174	56
ND-0303-1355	JORGE ALBERTO AIME BRAVO	Riego	21-04-2014	2,00	6.883.416	318.436	56
ND-0303-1360	JORGE ALBERTO AIME BRAVO	Riego	21-04-2014	2,00	6.883.292	319.565	56
ND-0303-1361	JORGE ALBERTO AIME BRAVO	Riego	21-04-2014	2,00	6.883.224	319.095	56
ND-0303-1354	LUZ MARIA AIME BRAVO	Riego	21-04-2014	2,00	6.882.843	317.823	56

Código de expediente	Nombre solicitante	Uso de agua	Fecha resolución	Caudal otorgado (l/s)	Norte (m)	Este (m)	Datum
ND-0303-1383	DIGNO EMERITO ARAYA ROSAS	Riego	21-04-2014	0,80	6.890.136	324.726	56
ND-0303-1384	INES ROJAS	Riego	21-04-2014	2,00	6.887.255	320.649	56
ND-0303-1379	JAVIER ANDRES GUERRA MARCO	Riego	21-04-2014	1,50	6.884.932	319.490	56
ND-0303-1380	ORIEL VALENZUELA REINUABA	Riego	21-04-2014	1,30	6.885.393	320.344	56
ND-0303-935	ALEJANDRA IRENE VALENZUELA MALUENDA	Riego	11-07-2012	0,35	6.887.740	321.521	56
ND-0303-934	DIGNO EMERITO ARAYA ROSAS	Riego	11-07-2012	1,4	6.890.472	324.981	56
ND-0303-936	HORACIO DE LOS REYES VICENCIO JUAREZ	Riego	27-09-2011	1,5	6.885.027	316.808	56
ND-0303-939	JOSE MIRANDA PIZARRO	Riego	21-04-2014	0,33	6.884.640	317.078	56
ND-0303-933	JUAN ANTONIO RODRIGUEZ	Riego	28-09-2011	1,8	6.884.899	316.860	56
ND-0303-938	JUAN RIVERA VALDES	Riego	28-09-2011	2,0	6.883.700	317.108	56
ND-0303-940	RAUL DEL CARMEN ALVAREZ		27-09-2011	0,33	6.886.028	319.616	56
ND-0303-937	ZULEMA DELMIRA MENA	Riego	27-09-2011	0,14	6.887.621	320.460	56
ND-0303-979	ALBERTINA DEL CARMEN MORALES SALAZAR	Riego	10-03-2015	2,0	6.889.774	323.141	56
ND-0303-988	MARIANELLA DEL CARME ANDRADE LUNA	Riego	28-09-2011	1,7	6.889.968	323.567	56
ND-0303-989	ORIEL VALENZUELA REINUABA	Riego	11-07-2012	1,6	6.885.314	320.333	56
ND-0303-990	ROBERTO MISAEL PEREZ SAAVEDRA	Riego	27-09-2011	2,0	6.884.555	316.394	56
ND-0303-1020	MARIA ANGELICA VELIZ CRUZ	Riego	28-09-2011	1,4	6.885.101	317.318	56
ND-0303-1021	MARIA ANGELICA VELIZ CRUZ	Riego	11-07-2012	1,6	6.885.035	317.126	56
ND-0303-1025	MIRIAM LUZ PEREZ CEURA	Riego	27-09-2011	0,8	6.889.433	316.453	56
ND-0303-1026	TERESA TRUJILLO ARAYA	Riego	07-07-2015	0,8	6.890.808	325.159	56
ND-0303-1024	TIBURCIO ESCOBAR	Riego	20-06-2014	2,0	6.885.398	318.877	56
ND-0303-1320	ANDRES GERARDO ALFARO ARAYA	Riego	11-07-2012	0,5	6.888.850	321.341	56
ND-0303-1325	GUILLERMO DEL CARMEN CHACANA	Riego	27-09-2011	2,0	6.885.291	319.159	56
ND-0303-1330	JOSELYN VICTORIA ALFARO ARAYA	Riego	27-09-2011	1,7	6.888.879	321.531	56
ND-0303-1329	NELLY IRENE ARAYA GUERRA	Riego	27-09-2011	0,8	6.890.350	324.725	56
ND-0303-1327	PAUL JOHN VICENCIO BARRIOS	Riego	27-09-2011	2,0	6.888.824	321.750	56
ND-0303-1324	SILVIA PATRICIA RAMIREZ MORALES	Riego	27-09-2011	1,5	6.885.328	319.053	56
ND-0303-1321	YAZMIN VILUVINA GUZMAN ARAYA	Riego	27-09-2011	1,2	6.888.487	321.361	56
ND-0303-1352	CECILIA MARIA GUZMAN ARAYA	Riego	27-09-2011	1,0	6.888.380	321.178	56
ND-0303-1357	JAVIER REINALDO SANCHEZ PALMA	Riego	27-09-2011	1,1	6.886.625	320.153	56
ND-0303-918	COMPAÑIA MINERA DEL PACIFICO S.A.	Minería	16-08-1983	5,00	6.862.656	329.291	84
ND-0303-33	ABRAHAM HUMBERTO ARAYA OCAMPO	Riego	04-11-1988	3,50	6.857.720	334.330	84
ND-0303-403	AGRICOLA CHACRITAS S.A.	Riego	05-06-1997	4,30	6.858.112	333.916	84
ND-0303-403	AGRICOLA CHACRITAS S.A.	Riego	05-06-1997	3,80	6.858.005	334.027	84
ND-0303-404	COMERCIAL PUERTO VIEJO S.A.	Riego	01-04-1997	3,50	6.857.580	334.448	84
ND-0303-414	COMPAÑIA MINERA DEL PACIFICO S.A.	Minería	11-12-1996	15,00	6.862.737	328.786	84
ND-0303-452	LEOPOLDO TELLO GUZMAN	Riego	22-09-2000	0,80	6.857.937	332.476	84
ND-0303-688	OSVALDO ANTONIO DIAZ COBIAN	Riego	14-10-2005	0,11	6.859.329	325.698	84
ND-0303-863	OMAR VICENTE LOPEZ SERRAZINA	Riego	21-04-2014	0,10	6.862.906	332.409	84
ND-0303-1148	JUAN ANTONIO ROJAS NAVARRO	Riego	21-04-2014	0,60	6.859.204	332.557	56
ND-0303-1149	JUAN ANTONIO ROJAS NAVARRO	Riego	21-04-2014	1,30	6.859.267	332.611	56

Datum destacado en color rojo indica que fuentes no presentan información en aquel campo, por lo que se asigna uno estimado en función de la proyección de más frecuente uso.

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2009, 2018c) y CPA.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes CPA

Figura 2-16: DAA subterráneos otorgados en las cuencas Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal

En el caso de las cuencas Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, actualmente no existen registros de extracciones efectivas para el periodo de calibración (1990 – 2019) y para los efectos de determinar los caudales de extracción neta impuestos para la calibración del modelo y los escenarios de simulación, se considera los usos previsibles de los derechos de aprovechamiento.

El uso previsible de derechos refleja la naturaleza de la explotación de aguas subterráneas, que hace que las captaciones sean empleadas sólo en forma temporal y de ese modo, la extracción media de largo plazo desde el acuífero sea sustancialmente menor que la explotación máxima autorizada como derecho de aprovechamiento.

En efecto, para una actividad cualquiera, como por ejemplo la actividad agrícola, los pozos se utilizan algunos meses en el año y difícilmente se explotan por más de 8 horas diarias, debido a los requerimientos hídricos del cultivo o plantación; inclusive, en algunos casos las aguas subterráneas se emplean como complemento de recursos superficiales solamente en períodos de déficit y como suplemento al riego superficial. Un análisis similar aplica a cualquier otra actividad económica que utilice agua entre sus procesos productivos, incluyendo el uso doméstico el cual presenta demandas variables a lo largo del año.

El uso previsible permite determinar en forma real el nivel de extracción del agua y comparar directamente este caudal con el caudal sustentable de explotar en el largo plazo.

Los usos previsibles consideran en primer lugar que los derechos solicitados se piden para ser usados de alguna manera. En consecuencia, para los estudios técnicos DGA requiere hacer hipótesis de su uso. La hipótesis inicial es que la captación de aguas subterráneas se usará según la naturaleza del peticionario original (Empresa Sanitaria → Agua Potable (AP); Empresa Minera → Minería (M); Agricultor → Riego (R); entre otros). Según la naturaleza del peticionario original existen coeficientes técnicos, dados por los estudios específicos, información proveniente de organismos técnicos o la experiencia. Para este estudio los usos previsibles se determinan por tipo de actividad de acuerdo con la Tabla 2-25.

Tabla 2-25: Factores de uso de agua consideradas en el estudio

Uso del agua	Factor de uso
Agua potable	0,75
Riego	0,20
Industrial	0,30
Minero	0,75

Fuente: DARH (2005)

2.5.7.2 Demandas superficiales

Se emplean como demandas superficiales todos los derechos concedidos del CPA donde la naturaleza del agua es superficial. Cada una de ellas posee un caudal de derecho de extracción (constante) o extracciones dinámicas registradas por posibles monitoreos de extracciones efectivas subterráneos, aunque en este caso se aplicaran los caudales otorgados por derecho. El detalle de las demandas superficiales para la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal se muestra en la Tabla 2-26.

Tabla 2-26: Detalle de las demandas superficiales implementadas como Sitio de Demanda en modelo WEAP en periodo de calibración (1990 – 2019) para la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal

Código de expediente	Nombre solicitante	Fecha resolución	Derecho (l/s)	Norte (m)	Este (m)
ND-0302-667	PEDRO ALQUINTA AVILA	19-06-2003	0,5	6.892.975	361.475

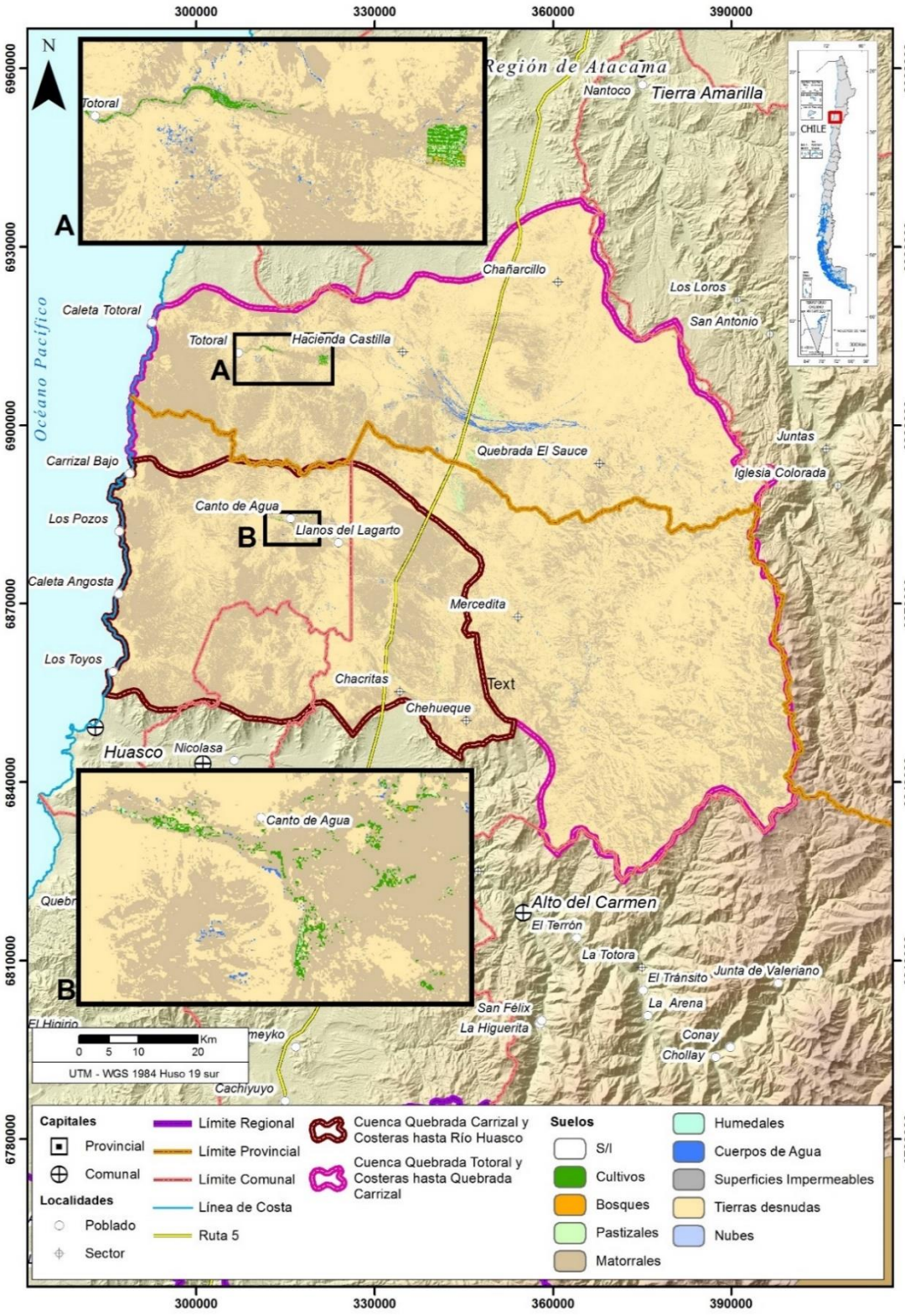
Fuente: Elaboración propia con antecedentes CPA.

En el caso de la cuenca Quebrada Carrizal, no existen DAA superficiales otorgados.

2.5.8 Zonas agrícolas

Dentro de las múltiples actividades que presenta la región, destacan dos rubros en particular: la minería y la agricultura. Respecto de la agricultura, a partir de fines de la década de los ochenta aumentó la producción, principalmente enfocada hacia el rubro de la agroexportación. No obstante, el uso agrícola se refiere principalmente al valle de Copiapó, que se encuentra fuera de la zona de interés.

La definición espacial de las zonas agrícolas se obtiene mediante el producto cartográfico de *Land Cover* de Chile continental para el año 2014, desarrollado por el Laboratorio de Geomática y Ecología del Paisaje (GEP) y la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza de la Universidad de Chile siguiendo la metodología detallada por Zhao et al. (2016) que consideró datos completos para todo el país, además de una serie de mapas de la dinámica estacional de las coberturas vegetales. Estos mapas fueron sometidos a un proceso de validación a través de una base de datos independiente. Mayor profundidad del producto se puede consultar en Hernández et al. (2016). La Figura 2-17 muestra la distribución espacial de las coberturas de suelo definidas como cultivos según el producto *Land Cover*.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes *Land Cover* 2014

Figura 2-17: Distribución espacial de cobertura de suelo cultivo

2.5.8.1 Superficies agrícolas

Se emplea la información de superficies de agrícolas de riego generada por el estudio DGA (2017a), donde se usa como base de cálculo las planillas del VII Censo Agropecuario y Forestal del año (INE, 2007), en que se identifica para cada distrito censal, la superficie de diferentes grupos de cultivos, catalogados según indica la Tabla 2-27.

Tabla 2-27: Información de cultivos recopilada del VII Censo Agrícola y Forestal

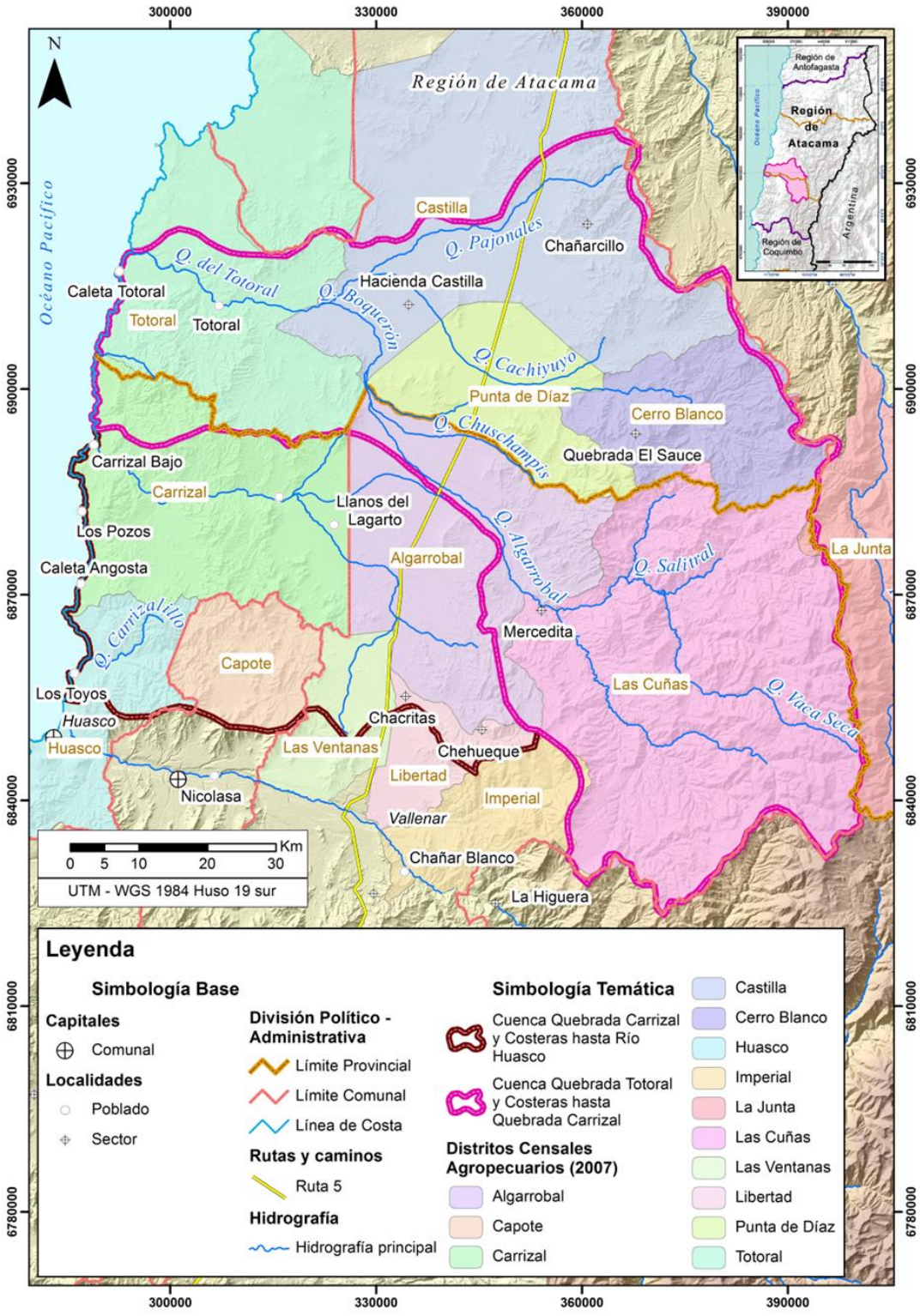
ID	Grupo de cultivo	Tipología de producción (unidad)
CER	(1) Cereales, Leguminosas, Tubérculos y Cultivos Industriales, y (2) Forrajeras Anuales	Riego (ha) / Secano (ha)
FOP	(3) Forrajeras Permanentes	Riego (ha) / Secano (ha)
HOR	(4) Hortalizas, (5) Flores, y (6) Semilleros	Aire libre (ha) / Invernadero (m^2) / No regadas (ha)
VIÑ	(7) Viñas, y (8) Parronales	Riego (ha) / Secano (ha)
FRU	(9) Frutales	En formación (ha) / En producción (ha) / No regadas (ha)

Fuente: DGA (2017a).

Para las cuencas Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, las áreas agrícolas totales para cada cuenca corresponden, en primera instancia, a las superficies de producción de los distritos censales en donde se identifican cultivos como cobertura de suelo. Para obtener aquel producto, es necesario agregar la información de cultivos de la Figura 2-17 con la ubicación de los distritos censales que componen a las cuencas en estudio, mostrados en la Figura 2-18.

Por lo tanto, se determina el área agrícola de riego total para la cuenca Quebrada Carrizal corresponde a la identificada en el distrito censal de Carrizal; mientras que para la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal esta área se compone de la integración de los distritos Castilla y Totoral.

Para cada Zona Agrícola de las cuencas, se determina la evolución de las superficies cultivadas dentro del periodo de modelación. Se dispuso como antecedente básico de información de superficies y tipos de cultivo el estudio DGA (2017a) que estimó las superficies para los años 2015, 2020, 2030 y 2040 y el VII Censo Agropecuario (INE, 2007) e información de superficies de riego total de acuerdo a los Censos Agropecuarios de los años 1997 y 1976. El detalle de las superficies agrícolas de riego censadas para las cuencas se presenta en la Figura 2-18.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes IDE.

Figura 2-18: Distritos censales ubicados dentro de las cuencas Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal

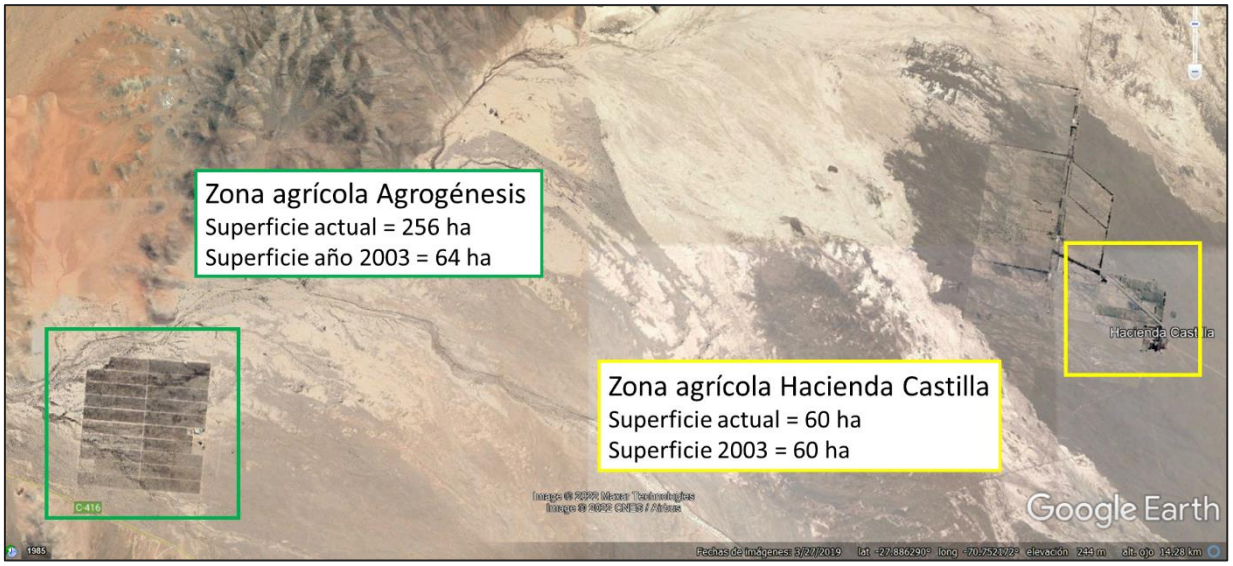
Tabla 2-28: Superficies agrícolas de riego (ha) para distintos grupos de cultivo en cuencas Quebrada de Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal

Cuenca	Distrito	Nombre WEAP	ID Cultivo	1976	1997	2007	2020
Quebrada de Carrizal	Carrizal (0330402)	ZR_Carrizal	CER	0,0	0,0	0,5	0,5
			FOP	8,1	7,8	4,4	4,0
			HOR	-	3,0	2,1	0,8
			VIÑ	4,1	3,3	0,0	2,4
			FRU	18,1	82,6	80,0	89,5
			Total	**30,3**	**96,7**	**87,0**	**96,8**
Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal	Castilla (0310113)	-	CER	0,0	0,0	0,1	0,1
			FOP	0,0	0,0	1,5	1,6
			HOR	-	1,0	0,2	0,0
			VIÑ	0,0	0,0	0,0	0,0
			FRU	3,4	15,3	36,0	18,5
			Total	**3,4**	**16,3**	**37,8**	**20,2**
	Totoral (0310122)	ZR_Totoral	CER	18,3	2,1	0,0	0,0
			FOP	0,1	0,1	0,1	0,1
			HOR	-	2,1	1,7	0,4
			VIÑ	0,0	0,0	0,0	0,0
			FRU	2,1	9,7	11,7	6,7
			Total	**20,5**	**14,0**	**13,5**	**7,2**

Fuente: Elaboración propia con antecedentes INE (1976, 1997, 2007) y DGA (2017a).

Adicionalmente, se verificó a través de imágenes satelitales que la estadística presentada en la Tabla 2-28 estuviese acorde a lo observado. Las conclusiones de esta validación revelaron que las superficies agrícolas de riego en los distritos de Carrizal y Totoral son representativas del territorio, por lo que son las utilizadas en el modelo. Con objetivo de representar de mejor forma la situación agrícola en los años donde no se dispone de información, estas superficies agrícolas de riego son interpoladas linealmente.

Para el distrito de Castilla, las imágenes satelitales actuales muestran una superficie de 256 ha en la zona agrícola perteneciente a Agrogénesis, lo cual concuerda con lo informado por la misma empresa privada en una reunión, mientras que al año 2003 su superficie era de 64 ha y en 2002 nula. En el caso de Hacienda Castilla, en la actualidad posee 60 ha, mientras que al año 2002 (último año disponible) se mantiene con la misma superficie, por lo que se asume este valor como constante en la modelación. La Figura 2-19 muestra la ubicación de las zonas agrícolas de riego recién detalladas.



Fuente: Google Earth

Figura 2-19: Superficies agrícolas de riego catastradas a través de imágenes satelitales en el distrito censal de Castilla

En consecuencia, es necesario ajustar y complementar la información entregada por los censos y reportada en DGA (2017a). Los resultados de este ajuste de superficies agrícolas de riego son presentados en la Tabla 2-29, las que finalmente son las utilizadas por el modelo para representar al distrito de Castilla. Se destaca que toda la superficie agregada corresponde al grupo Frutales (FRU), ya que el cultivo más común en la zona corresponde al olivo, lo cual fue garantizado por la empresa Agrogénesis.

Tabla 2-29: Superficies agrícolas de riego del distrito censal de Castilla rectificadas a través de imágenes satelitales

Nombre WEAP	ID Cultivo	1976	1997	2007	2020
ZR_Agrogenesis	CER	0,0	0,0	0,0	0,0
	FOP	0,0	0,0	0,0	0,0
	HOR	0,0	0,0	0,0	0,0
	VIÑ	0,0	0,0	0,0	0,0
	FRU	0,0	0,0	256,0	256,0
	Total	**0,0**	**0,0**	**256,0**	**256,0**
ZR_HCastilla	CER	0,0	0,0	0,1	0,1
	FOP	0,0	0,0	1,5	1,4
	HOR	-	1,0	0,2	0,1
	VIÑ	0,0	0,0	0,0	0,0
	FRU	60,0	59,0	58,2	58,4
	Total	**60,0**	**60,0**	**60,0**	**60,0**

Fuente: Elaboración propia

2.5.8.2 Método para determinar la demanda

Al igual que las UH, las Zonas Agrícolas son representadas utilizando nodos de tipo Unidad Hidrológica (*Catchment*), aunque en este caso se consideran como irrigadas. En estos nodos, se deben ingresar las forzantes climáticas y parámetros que deben ser calibrados.

Se utiliza el método Escorrentía de lluvia (*Rainfall – Runoff*; método del coeficiente simplificado). Este procedimiento permite que el modelo hidrológico cuantifique la demanda bruta de riego que necesita cada cultivo, y en consecuencia la tasa efectiva de riego. Requiere como dato de entrada el Área por tipo de cultivo, Evapotranspiración de referencia, Precipitación efectiva y Eficiencia del método de aplicación de riego, los cuales se presentan en los acápites siguientes.

En el caso de la Zona Agrícola de Agrogénesis (ZR_Agrogenesis), se tiene también una estimación de la cantidad real de recurso hídrico que tienen disponible (83 l/s cómo máximo) y por ende, la tasa efectiva de riego de aquel sector.

2.5.8.3 Evapotranspiración de referencia (ET_0)

La ET_0 corresponde a la pérdida de agua por evaporación y transpiración desde un cultivo de referencia (pasto) en producción y sin déficit de agua en el suelo. Es un parámetro relacionado con el clima y entrega una referencia sobre los aportes hídricos requeridos por la planta, ya sea a través de la precipitación o por riego complementario.

Para definir los valores de ET_0, se utiliza como referencia el ráster de evapotranspiración de referencia elaborado por AGRIMED (2015), el cual tiene cobertura para todo Chile. Este fue elaborado según el método de Penman-Monteith, en base a datos recopilados del período 1980 – 2010, obteniendo una cartografía climática de alta resolución espacial (1 x 1 km). De esta forma, se calcula la ET_0 mensual sobre las subcuencas de la Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, la que se muestra en la Tabla 2-30.

Tabla 2-30: Evapotranspiración de referencia (mm) en subcuencas del territorio

Código BNA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
0360	194	163	155	128	110	95	98	108	123	152	170	192	1690
0361	156	131	122	95	77	63	65	74	90	116	135	154	1277
0370	178	148	139	108	89	72	75	85	103	132	153	175	1457

Fuente: AGRIMED (2015).

2.5.8.4 Coeficiente de cultivo (Kc)

Cada tipo de cultivo posee un coeficiente único e independiente de su método de riego llamado coeficiente cultivo (Kc) que relaciona las necesidades diarias de agua con la evapotranspiración potencial. Generalmente, éstos son similares para especies de un mismo grupo, debido a la similitud de la altura de los cultivos, área foliar, grado de cobertura del suelo y manejo del agua (FAO, 2006). DGA (2017a) calcula para cada región un valor de Kc por grupo de cultivo identificado en el análisis de superficies agrícolas. Los valores de estos coeficientes para la región de Atacama se presentan en la Tabla 2-31.

Tabla 2-31: Coeficientes de cultivo por grupo de cultivo para la región de Atacama

Grupo	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CER	0,63	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,46	0,65	1,10	1,16	0,94
FOP	0,95	0,95	0,95	0,95	0,90	0,00	0,00	0,40	0,40	0,70	0,80	0,85
HOR	0,11	0,06	0,13	0,13	0,30	0,52	0,69	0,83	0,85	0,54	0,48	0,17
VIÑ	0,55	0,40	0,35	0,00	0,00	0,00	0,35	0,45	0,60	0,70	0,70	0,65
FRU	0,45	0,11	0,11	0,10	0,10	0,33	0,46	0,59	0,74	0,74	0,67	0,60

Fuente: DGA (2017a).

2.5.8.5 Precipitación efectiva

La precipitación efectiva (P_{ef}) corresponde a la lluvia y el rocío que puede ser captada por las raíces de la planta y contribuir a su crecimiento. Depende de múltiples factores como pueden ser la intensidad de la precipitación o la aridez del clima, y también de otros como la inclinación del terreno, contenido en humedad del suelo o velocidad de infiltración.

En la obtención de la precipitación efectiva se utilizó la metodología de Blanney y Criddle modificada por Merlet (1986). Ésta relaciona la precipitación efectiva (P_{ef}) con la precipitación media mensual (P_{mm}) por medio de una curva representada mediante la expresión siguiente:

$$P_{ef} = -0{,}0015\, {P_{mm}}^2 + 0{,}9981\, P_{mm} - 4{,}4574$$

La P_{mm} sobre las subcuencas del área de estudio se obtuvo a partir de la metodología de actualización de forzantes meteorológicas detallada en el acápite 2.4 más atrás, mientras que la P_{ef} calculada sobre el área agrícola de riego en las cuencas Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal son mostradas en la Tabla 2-32 y Tabla 2-33, respectivamente.

Tabla 2-32: P_{ef} (mm) sobre el área agrícola de riego de la cuenca Quebrada Carrizal

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1990	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8
1991	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	64,1	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	67,5
1992	0,0	0,0	15,9	0,0	13,5	13,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,4
1993	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1994	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1995	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1996	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1997	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,7	0,0	62,2	0,0	0,0	0,0	0,0	98,8
1998	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9
1999	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2000	0,0	0,0	0,0	0,0	9,3	26,5	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	41,4
2001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9
2002	0,0	0,0	0,0	0,0	23,5	4,0	13,7	24,4	0,0	0,0	0,0	0,0	65,6
2003	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2004	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,9
2005	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	12,7
2006	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2007	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2009	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2010	0,0	0,0	0,0	0,0	27,7	0,0	0,0	0,0	6,4	0,0	0,0	0,0	34,1
2011	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	22,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,4
2012	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2013	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4
2014	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	4,7
2015	0,0	0,0	24,5	0,0	0,0	0,0	17,7	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	64,2
2016	0,0	0,0	0,0	0,0	19,7	10,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,2
2017	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2018	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2019	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018, 2019a).

Tabla 2-33: P_{ef} (mm) sobre el área agrícola de riego de la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1990	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1991	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	55,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	55,8
1992	0,0	0,0	9,1	0,0	6,9	3,5	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	23,1
1993	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1994	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1995	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1996	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1997	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,3	0,0	17,9	0,0	0,0	0,0	0,0	41,3
1998	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1999	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2000	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9	9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,4
2001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9
2002	0,0	0,0	0,0	0,0	12,8	5,0	8,5	21,2	0,0	0,0	0,0	0,0	47,5
2003	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2004	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0
2005	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2006	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2007	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2009	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2010	0,0	0,0	0,0	0,0	12,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,2
2011	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,6	14,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	24,9
2012	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2013	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2014	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2
2015	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	0,0	8,6	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	19,6
2016	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,8
2017	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2018	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2019	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a, 2019a).

2.5.8.6 Eficiencia de aplicación de riego

La eficiencia de riego de los cultivos es la correspondiente a nivel intrapredial, esto es, a nivel de potrero. La eficiencia varía según el método de riego empleado (tecnificado o tradicional, y a su vez por tipología: goteo, aspersión, surco, tendido, etc.). DGA (2017a) le asigna a cada uno de estos métodos un determinado coeficiente de eficiencia. Las eficiencias de aplicación de riego de referencia en el presente estudio corresponden a las aplicadas en los proyectos postulantes a la Ley Nº18.450 de Fomento al Riego, que se presentan en la Tabla 2-34.

Para adaptar estos valores a las categorías de riego establecidas en el VII Censo, las eficiencias consideradas en el modelo de gestión se clasifican según muestra la Tabla 2-35.

Tabla 2-34: Eficiencia de riego según método de aplicación

Método de riego	Eficiencia de aplicación
Tendido	30%
Surcos	45%
Bordes	50-60%
Pretiles	60%
Tazas	65%
Borboteo	70%
Aspersión	75%
Microjet	85%
Microaspersión	85%
Goteo	90%

Fuente: CNR (2015).

Tabla 2-35: Eficiencia de riego según método de aplicación considerado en modelo

Método de riego	Eficiencia de aplicación
Tendido	30%
Surcos	45%
Otro tradicional	60%
Aspersión	75%
Carrete o pivote	75%
Microaspersión y Microjet	86%
Goteo o cinta	90%

Fuente: DGA (2017a).

En la cuenca Quebrada Carrizal la mayoría de la superficie agrícola de riego se ubica en el distrito censal de Carrizal, comuna de Huasco, por lo que se adopta la eficiencia del método de riego de aquel distrito, igual a un 76%. Similar a lo anterior, en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal se aplica la eficiencia del método de riego correspondiente al distrito censal de Castilla, comuna de Copiapó, igual a un 64%.

2.5.9 Derivación

Los enlaces de Derivación (*Diversion*) desvían el agua de un río hacia un canal o tubería denominada Derivación. Este elemento en sí mismo es como un Río. No se emplea en el modelo.

2.5.10 Conducción

Los enlaces de Conducción (*Transmission Link*) suministran agua de las aguas superficiales (nodos de Reservorios y nodos de extracción), Aguas Subterráneas y Otros Suministros

para satisfacer la demanda final en los Sitios de Demanda. Además, los enlaces de transmisión pueden llevar las aguas residuales de los Sitios de Demanda y las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales a otros Sitios de Demanda para su reutilización.

2.5.11 Flujo de Retorno

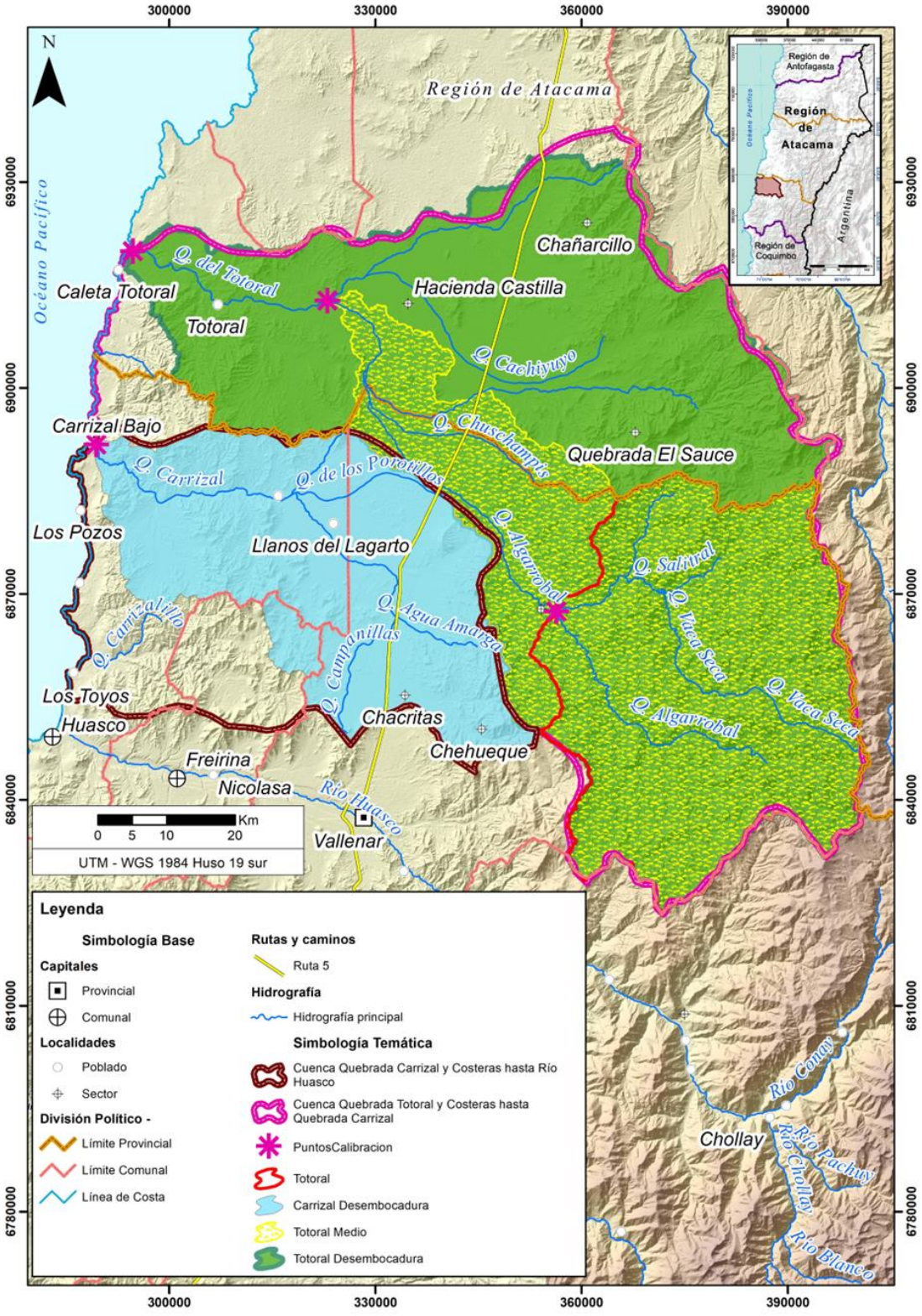
El nodo Flujo de Retorno (*Return Flow*) representa el retorno de Sitios de Demanda, Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales o cualquier otro tipo de nodo. Se emplean dentro del modelo para conectar a los Sitios de Demanda que representan áreas agrícolas con la fuente de agua superficial y el acuífero respectivo al que el agua regresa como interflujo y percolación profunda luego de ser irrigado. Para el resto de los Sitios de Demanda, asociados a un uso previsible de agua como: Industrial, Minero, Agua Potable, entre otros; no se emplea un Flujo de Retorno porque se define que el porcentaje de uso del agua es de 100%.

2.5.12 Medidor de Caudal

El nodo Medidor de Caudal (*Streamflow Gauge*) representa puntos donde se han adquirido mediciones de caudales reales y se pueden utilizar como puntos de comparación con los caudales simulados del río o canales.

En las cuencas Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal no existen series de flujo superficial asociadas a estaciones fluviométricas, por lo que es necesario emplear series de caudal sintéticas para calibrar los caudales superficiales. En consecuencia, se trabaja y procesa la información de escorrentía producto de la precipitación en exceso generada por el estudio DGA (2018a).

La Figura 2-20 muestra los cuatro puntos seleccionados para realizar la calibración superficial sintética del modelo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-20: Puntos de calibración superficial sintética definidos

En la cuenca Quebrada Carrizal se escoge un punto en la desembocadura, representativo del flujo acumulado en la cuenca; mientras que para la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal se utilizan tres puntos, representativos del sector Alto, Medio y la desembocadura de la cuenca.

2.5.13 Requerimiento de Flujo

El nodo Requerimiento de Flujo (*Flow Requirement*) define el flujo interno mínimo requerido en un punto de un Río o desviación para cumplir con los requisitos de calidad del agua, peces y vida silvestre, navegación, recreación, aguas abajo u otros. No se emplea en el modelo ya que no existen condiciones de este tipo sobre las Quebradas.

2.5.14 Otros Suministros

El nodo Otros Suministros (*Other Supply*) representa suministros que no tienen capacidad de almacenamiento. Los ejemplos incluyen arroyos u otros ríos no conectados, transferencias entre cuencas u otras importaciones y plantas desalinizadoras. Dado que estas fuentes no tienen almacenamiento remanente, el suministro no utilizado de un mes no se puede almacenar para el uso del próximo mes. No se emplea en el modelo ya que no existen condiciones de este tipo dentro de la cuenca.

2.5.15 Reservorios

El nodo Reservorios (*Reservoir*) representa a los embalses u obras de regulación en un río. Un nodo de este tipo puede liberar agua directamente a los sitios de demanda o para su uso aguas abajo, y puede usarse para simular la generación de energía hidroeléctrica. No se emplea en el modelo ya que no existen elementos de este tipo dentro del área de estudio.

2.5.16 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

El nodo Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (*Wasterwater Treatment Plant*) recibe agua de Sitios de Demanda, eliminan los contaminantes y luego devuelven el efluente tratado a uno o más sitios de demanda, nodos fluviales o fuentes de suministro locales. No se emplea en el modelo ya que no existen elementos de este tipo dentro del área de estudio.

2.5.17 Centrales Hidroeléctricas de Pasada

El nodo Centrales Hidroeléctricas de Pasada (*Run of River Hydro*) define los puntos en los que se genera energía hidroeléctrica con base en diferentes caudales. No se emplea en el modelo ya que no existen elementos de este tipo dentro del área de estudio.

3 CONSTRUCCIÓN DE MODELO ACOPLADO SUPERFICIAL SUBTERRÁNEO

Con el modelo superficial WEAP y los archivos nativos MODFLOW mencionados anteriormente, se procede a modelar la hidrología de la cuenca en el modo enlace paso a paso MODFLOW utilizando los archivos Linkage mediante el uso de LinkKitchen (BGR, 2012). En este modo de simulación, se pueden integrar los flujos superficiales con los subterráneos mientras se corren los dos modelos numéricos a pesar de que estos tengan distinto enfoque (WEAP semi-distribuido, mientras que MODFLOW distribuido). Este modo de simular presenta la evolución de los flujos subterráneos considerando la interacción entre los distintos ríos y acuíferos (u otros elementos). Este modo necesita como input capas con información espacial topográfica, de parámetros elásticos de los acuíferos, entre otras, para de esta manera, considerar de forma correcta los elementos superficiales como condiciones de borde del modelo de aguas subterráneas.

Se proceder a calibrar el modelo acoplado utilizando al menos, 30 años de registros de caudales y pozos de monitoreo, para de este modo hacer un análisis de la diferencia entre los valores simulados y observados utilizando estadígrafos de ajuste. De no existir la información suficiente, se calibrará con los datos disponibles, además de detallar en el mismo informe de modelación los datos que a futuro deben ser medidos y recopilados para darle una mayor robustez al modelo. Una vez calibrados el modelo acoplado, se procede a generar los escenarios de simulación requeridos por DGA.

3.1 Generación de archivos MODFLOW nativos

De acuerdo con lo estipulado en la metodología del presente estudio, la generación de los archivos MODFLOW en forma nativa para el modelo acoplado, considera la generación de los siguientes archivos aplicados a las cuencas Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal. Los archivos nativos se crearon abriendo y modificando el modelo en el Software libre Model Muse, con el apoyo de script escritos en lenguaje python.

- **MODFLOW Name (.nam):** corresponde al archivo motor, este se ingresa al modelo WEAP y especifica los nombres del resto de los paquetes que se incorporan en el modelo.
- **MODFLOW Discretization (.dis):** contiene la información de discretización en el modelo de las cuencas Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal. Indica que el modelo contiene 227 filas, 200 columnas y 3 capas; además entrega los tamaños de las celdas y la discretización temporal de 4 intervalos en caso de que existan. Señala que las unidades de longitud y de tiempo

con las que se lleva a cabo el cálculo en MODFLOW son metros y días, de las que se derivan las unidades utilizadas en el resto de los paquetes.

- **MODFLOW Basic (.bas):** contiene la grilla con la posición de celdas activas, inactivas (1 y 0 respectivamente) y de carga especificada o constante. Indica los valores que adoptan las celdas inactivas (-999) y de la condición inicial.
- **MODFLOW Well (.wel):** el paquete Well permite al acople realizar el enlace entre nodos de demanda y pozos de bombeo, siendo usado de base para la generación del mismo archivo en cada paso de tiempo. La información de bombeos la contiene WEAP, y este genera los respectivos archivos para cada paso de tiempo.
- **MODFLOW River (.riv):** indica las celdas que pertenecen a la condición de borde río, contiene la ubicación de la celda (capa, fila y columna), el valor del fondo del río y la conductancia. La altura de carga del río es entregada por WEAP para cada paso de tiempo distinto a la inicial.
- **MODFLOW Recharge (.rch):** el paquete RECH entrega los valores de recarga superficial que se ingresa al modelo subterráneo, indica la ubicación de las celdas con esta característica, luego sus valores son generados por WEAP para cada paso de tiempo.
- **MODFLOW Upstream Weighting (.upw):** paquete compatible con el solver NWT, especifica propiedades que controlan el flujo entre celdas. En particular, entrega los valores de coeficientes de almacenamiento y de conductividad hidráulica. Indica que el valor asignado a celdas secas en este caso -888.
- **MODFLOW Time-Variant Specified-Head (.chd):** simula las condiciones de carga conocida, en este caso, el modelo no posee este tipo de condiciones.
- **MODFLOW Newton Solver (.nwt):** contiene los parámetros utilizados por el solver asociado al motor de cálculo MODFLOW-NWT.
- **MODFLOW Output Control Option (.oc):** entrega información del modelo subterráneo acerca de las salidas en cada paso de tiempo. Para este modelo, se configura este paquete para que entregue información al final de cada periodo de stress acerca de la carga en cada celda y los flujos celda a celda.
- **MODFLOW Evapotranspiration (.EVT):** Este archivo contiene la información de la cota de superficie para cada celda, el valor de la evapotranspiración máxima y la profundidad de extinción del fenómeno.

El acople WEAP-MODFLOW hace uso de los valores entregados por los archivos/paquetes MODFLOW Basic, Upstream Weighting, Time-Variant Specified-Head, Newton Solver, drain y Output Control Option durante toda la modelación, manteniendo sus valores constantes.

Los archivos MODFLOW River y Recharge entregan los parámetros de río y recarga superficial. En conjunto con el archivo MODFLOW Well y Discretization, los archivos anteriores son sobre escritos por el acople en cada paso de tiempo con los nuevos valores calculados de cotas de río, recarga superficial y extracciones mediante pozos.

3.2 Generación de archivos de enlace y vinculación de elementos WEAP y MODFLOW

Para el proceso de acople entre WEAP y MODFLOW, se genera un archivo de enlace para el modelo acoplado de las cuencas Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, con las características indicadas en la Tabla 3-1, donde se resume el proceso de acople para su posterior descripción.

Tabla 3-1: Descripción de elementos antes y después de vinculación

Elementos	Preacople	Postacople
Shapefile	No se emplea Shapefile de enlace	Se crea un shapefile de enlace con todas las celdas del modelo subterráneo. Información espacial en WGS84.
Nodos Acuíferos	Modelados especificando flujos	Modelados de forma acoplada con MODFLOW NWT. Esto mejora la representación de afloramientos, infiltraciones, bombeos y recarga
Nodo Catchment	Nodos para generación de escorrentía y de riego.	Los nodos de riego, en la zona acoplada, son considerados para la recarga y son distribuidos de acuerdo con la información espacial disponible y supuestos.
Nodos de demanda	Demanda concentrada y agregada por cada zona acuífera	En la zona acoplada, se eliminan todos los nodos de demanda subterránea y se reemplazan por aquellos del modelo subterráneo. Se agregan todos los pozos de extracción subterránea de la base de datos oficial. Se mantienen las prioridades de cada elemento.
Ríos	Ríos sin interacción	Los ríos están acoplados, lo que mejora y modela los afloramientos, infiltraciones y caudales

Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que no todos los elementos WEAP se vinculan directamente a MODFLOW mediante el archivo de enlace. En los siguientes puntos se indican los elementos vinculados.

3.2.1 Aguas subterráneas

El modelo subterráneo se acopla en todo su dominio con el modelo superficial, no obstante, este cubre parcialmente al acuífero de la cuenca. El sector subterráneo que se encuentra acoplado corresponde al acuífero establecido según lo indicado en la sección 1. La Tabla

3-2 muestra los nodos de Agua Subterránea acoplados, junto con el número de celdas activas asociadas a cada uno y el área total que poseen.

Tabla 3-2: Acuíferos y celdas activas en enlace WEAP – MODFLOW

Acuífero	Número de celdas	Área total (km²)
GW_Totoral	30.016	1.200,6
GW_Carrizal	15.284	611,3

Fuente: Elaboración propia.

Existe un nodo de Agua Subterránea (*Groundwater*) sin vinculación, denominado "GW_ladMF", que funciona como un componente operacional que permite representar las recargas de ladera sobre el acuífero vinculado con MODFLOW.

3.2.2 Sitios de Demanda

Los Sitios de Demanda se ingresan según lo indicado en la Tabla 2-23 y Tabla 2-24, sin embargo, no necesariamente se considera que se extrae lo otorgado según derecho de agua, sino que se trabaja con información adicional, tal como en el caso de pozos con monitoreo de extracciones efectivas públicas, pozos sujetos a planes de alerta temprana (PAT); o pozos donde se puede inferir que extraen sólo lo necesario para satisfacer requerimientos específicos, tal como los orientados a suplir las necesidades de las zonas agrícolas de riego. Esto con el fin de no sobreestimar las extracciones subterráneas antrópicas y mejorar la calibración del sistema subterráneo.

3.2.3 Unidades Hidrológicas

En el modelo WEAP, existen dos tipos de UH. Las primeras están enfocadas en la generación de escorrentía y las segundas en representar zonas agrícolas de riego. En el modelo acoplado, ambas están incorporadas en el archivo espacial (*shapefile*) de enlace. Esto genera áreas de UH como se muestra en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3: Unidades Hidrológicas asignadas en enlace WEAP – MODFLOW

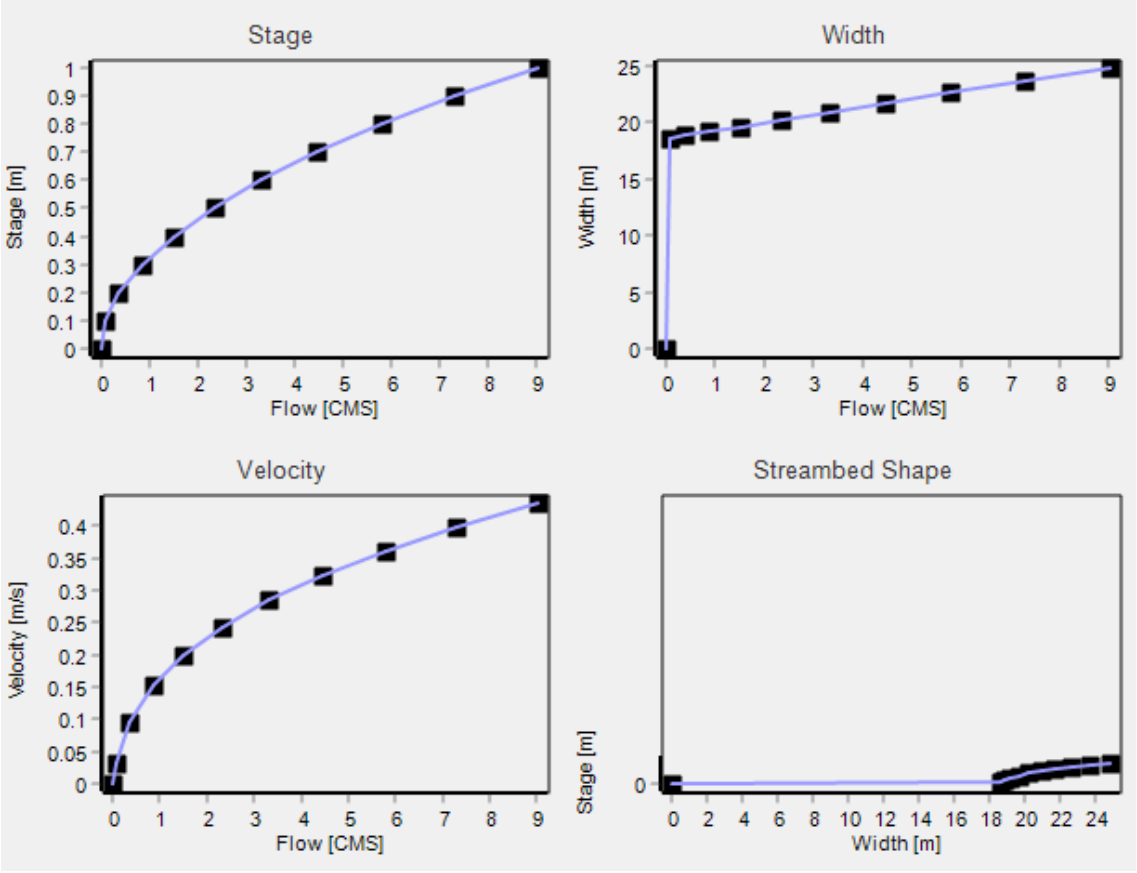
Unidad Hidrológica	Número de celdas	Área Total (km²)	Acuífero al que infiltra
C_Pajonales_MF	9.351	374,0	GW_Totoral
C_Cachiyuyo_MF	5.466	218,6	GW_Totoral
C_Yerbas_Buenas_MF	1.247	49,9	GW_Totoral
C_Boqueron_B1	10.150	406,0	GW_Totoral
C_Totoral_MF	1.101	44,0	GW_Totoral
C_Carrizal_Alto_MF	3.067	122,7	GW_Carrizal
C_Carrizal_Medio_MF	9.169	366,8	GW_Carrizal
C_Carrizal_Bajo_MF	606	24,2	GW_Carrizal

Unidad Hidrológica	Número de celdas	Área Total (km²)	Acuífero al que infiltra
ZR_Agrogenesis	84	3,4	GW_Totoral
ZR_HCastilla	28	1,1	GW_Totoral
ZR_Totoral	4	0,2	GW_Totoral
ZR_Carrizal	67	2,7	GW_Carrizal

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4 Ríos

Para el proceso de enlace de elementos Río es necesario establecer curvas de descarga que representen las condiciones hidráulicas de las quebradas. Se usan las curvas de descarga propuestas por LinkKitchen (BGR, 2012), con el fin de representar de manera eficiente la interacción del sistema en su conjunto. La curva de referencia utilizada para todos los ríos de las cuencas Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal es mostrada en la Figura 3-1 y detallada en la Tabla 3-4.



Fuente: LinkKitchen (BGR, 2012).

Figura 3-1: Curvas Caudal-Profundidad-Ancho-Velocidad de elementos Río

Tabla 3-4: Valores sugeridos para curvas de descarga en los elementos Río

Caudal (m^3/s)	Profundidad (m)	Ancho (m)	Velocidad (m/s)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,06	0,10	18,61	0,03
0,36	0,20	18,85	0,10
0,86	0,30	19,19	0,15
1,51	0,40	19,65	0,20
2,33	0,50	20,23	0,24
3,31	0,60	20,92	0,28
4,46	0,70	21,73	0,32
5,78	0,80	22,66	0,36
7,30	0,90	23,70	0,40
9,02	1,00	24,85	0,44

Fuente: Elaboración propia con antecedentes LinkKitchen (BGR, 2012).

3.2.5 Otros elementos de interés

En el caso de los afloramientos y de la infiltración del río al acuífero, MODFLOW interactúa con el modelo superficial, generando estos fenómenos de forma automática a lo largo del modelo. MODFLOW responde a los requerimientos de WEAP y viceversa, por lo que cuando corresponda, se generan estas interacciones.

4 CALIBRACIÓN Y RESULTADOS DEL MODELO ACOPLADO

El proceso de calibración del modelo acoplado superficial y subterráneo de las cuencas Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal consistió en ajustar los parámetros de asociados a los flujos superficiales, subterráneos, y aquellos que se interrelacionan; reproduciendo como resultado de la modelación matemática, los flujos en puntos de control fluviométrico, niveles medidos en pozos, y flujos subterráneos estimados, desde una perspectiva global en el sistema hidrogeológico. Este es sin duda, un modelo integrado complejo, con un apartado hidrogeológico que abarca el acuífero de los sectores de Totoral Alto y Carrizal, lo que ha representado un desafío numérico muy importante.

Los principales parámetros modificados en el proceso de calibración fueron los de generación de escorrentía de las cuencas de cabecera, para regular la cantidad de agua que se comunicaba entre el sistema superficial y el subterráneo, ya que de forma independiente presentan una simulación adecuada en general.

4.1 Calibración de flujos superficiales

Dada la visión en conjunto de este ajuste, en el caso de los flujos superficiales, se recalca que la calibración se compone tanto de un cálculo de indicadores de eficiencia como gráficos que permiten dar cuenta de una visión completa del comportamiento del sistema. De esta manera, con las modificaciones mencionadas se verificaron medidas de desempeño del modelo acoplado utilizando las medidas de bondad de ajuste en los puntos de calibración superficial del modelo definidos en el acápite 2.5.12 más atrás.

En términos generales, se verificaron las medidas de desempeño del modelo acoplado, obteniéndose en la Tabla 4-1 el resumen de indicadores en los puntos de control considerados en el proceso de calibración. El detalle matemático de los indicadores se puede revisar en el acápite 2.4.4.1 del Anexo F.

Tabla 4-1: Estadígrafos de calibración para periodo histórico

Sector	ID	Punto	KGE	NSE	R^2	PBIAS	ME
Quebrada Carrizal							
Bajo	4	Carrizal Desembocadura	0,64	0,24	0,47	4,7	0,00
Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal							
Alto	1	Totoral Alto	0,75	0,50	0,59	-7,1	-0,01
Medio	2	Totoral Medio	0,73	0,47	0,60	4,2	0,01
Bajo	3	Totoral Desembocadura	0,75	0,49	0,59	-4,7	-0,01

Fuente: Elaboración propia

Un desafío de los modelos hidrológicos es representar adecuadamente todas las fases con el mismo conjunto de parámetros del modelo (Madsen, 2000). Para lograr una reproducción satisfactoria de los procesos hidrológicos, los modelos deben calibrarse a las condiciones de las cuencas de estudio. Generalmente, los parámetros del modelo se calibran para características específicas del flujo medido en la cuenca. Los parámetros más adecuados se seleccionan con un análisis de sensibilidad (Griensven et al., 2006) o en la experiencia del usuario, respectivamente. El siguiente paso es la calibración de los parámetros seleccionados con la siguiente evaluación de los resultados del modelo mediante la inspección visual del ajuste del hidrograma y la aplicación de métricas de evaluación (por ejemplo, Moriasi et al, 2007; Tabla 4-2)

Tabla 4-2: Calificación de rendimiento general de modelos recomendada para estadísticas de periodo de tiempo mensual

Clasificación de rendimiento	NSE	PBIAS (%)	
		Caudal	Sedimentos
Muy Bueno	$0{,}75 < \text{NSE} \leq 1{,}00$	$\text{PBIAS} < \pm 10$	$\text{PBIAS} < \pm 15$
Bueno	$0{,}65 < \text{NSE} \leq 0{,}75$	$\pm 10 \leq \text{PBIAS} < +15$	$\pm 15 \leq \text{PBIAS} < +30$
Satisfactorio	$0{,}50 < \text{NSE} \leq 0{,}65$	$\pm 15 \leq \text{PBIAS} < +25$	$\pm 30 \leq \text{PBIAS} < +55$
No satisfactorio	$\text{NSE} \leq 0{,}50$	$\text{PBIAS} \geq \pm 25$	$\text{PBIAS} \geq \pm 55$

Fuente: Adaptado desde Moriasi et al. (2007)

La eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE; Nash y Sutcliffe, 1970), que se utiliza a menudo para evaluar resultados de simulación en hidrología, es sensible a las diferencias en las medias y varianzas observadas y simuladas. Sin embargo, esta medida de desempeño es más sensible a valores extremos (Legates y McCabe, 1999) y tiende a ignorar posibles desviaciones en períodos de flujo bajo, ya que no es muy sensible a sobreestimaciones y subestimaciones sistemáticas del modelo (Krause et al., 2005). NSE = 0 indica que las simulaciones tienen el mismo poder explicativo que la media de las observaciones; y NSE <0 indica que el modelo tiene menor capacidad predictiva que la media de las observaciones.

En el caso de las cuencas Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, esta se clasifica como una cuenca hiperárida. Destaca por sus constantes y bajos flujos la mayoría del año, a veces con eventos extremos de precipitaciones que provocan crecidas y desbordes en las quebradas. Estas condiciones implican que el criterio NSE no es idóneo para los maceptar o rechazar el modelo hidrológico.

En consecuencia, la calibración del modelo es enfocada principalmente en lograr ajustes satisfactorios de KGE, ya que está métrica combina tres componentes de la eficiencia de

Nash-Sutcliffe (NSE) de los errores del modelo (es decir, correlación, sesgo, razón de varianzas o coeficientes de variación) de una manera más equilibrada. Esta métrica se ha utilizado ampliamente para calibración y evaluación de modelos hidrológicos en los últimos años, ya que está en línea con el paradigma de usar múltiples objetivos para la calibración del modelo, con el objetivo de prevenir un sobreajuste de parámetros del modelo a un aspecto particular de las series de datos (Lindström 1997, Gupta et al. 1998). Tener en cuenta múltiples objetivos puede reducir las incertidumbres de la simulación y proporciona predicciones más confiables dado que los objetivos individuales no están correlacionados (Efstratiadis y Koutsoyiannis 2010).

Entendiendo el uso tradicional de NSE, heredar el mismo umbral de rendimientos y sus implicancias hacia el KGE parece ser algo natural, sin embargo, este razonamiento no es del todo correcto. Lo homologación entre valores de KGE y NSE no es directa, sin embargo, valores de KGE mayores o iguales a 0,3 son considerados como Satisfactorios y menores a 0,3 como No Satisfactorios (Knoben et al., 2019). También se considera como métrica de mayor importancia a PBIAS, ya que en cuencas donde los caudales dominantes son los bajos, es de especial importancia ajustarse correctamente al volumen medio de flujo pasante. Valores de esta métrica menores a 25% son satisfactorios; menores al 15% son buenos y menores al 10% son Muy buenos.

Como se aprecia, la calidad de los ajustes es similar a lo largo del modelo, sin embargo, todos los puntos de calibración superficial entregan resultados Satisfactorios para KGE (>0,3) y Muy buenos para PBIAS (< 10%).

4.2 Calibración de niveles subterráneos

En la componente subterránea se observa una buena calidad en los ajustes del periodo 1990-2019; con un MAE y RMSE normalizado inferior a 5% (3,8% y 4,5%, respectivamente), acorde con los criterios de cierre recomendados por la Guía de Modelación Subterránea (SEA, 2012). Así también, en el acápite 4.3.2 más adelante, se observan las tendencias de niveles de la modelación ajustadas a los valores observados. El resumen de estadígrafos se presenta en la Tabla 4-3

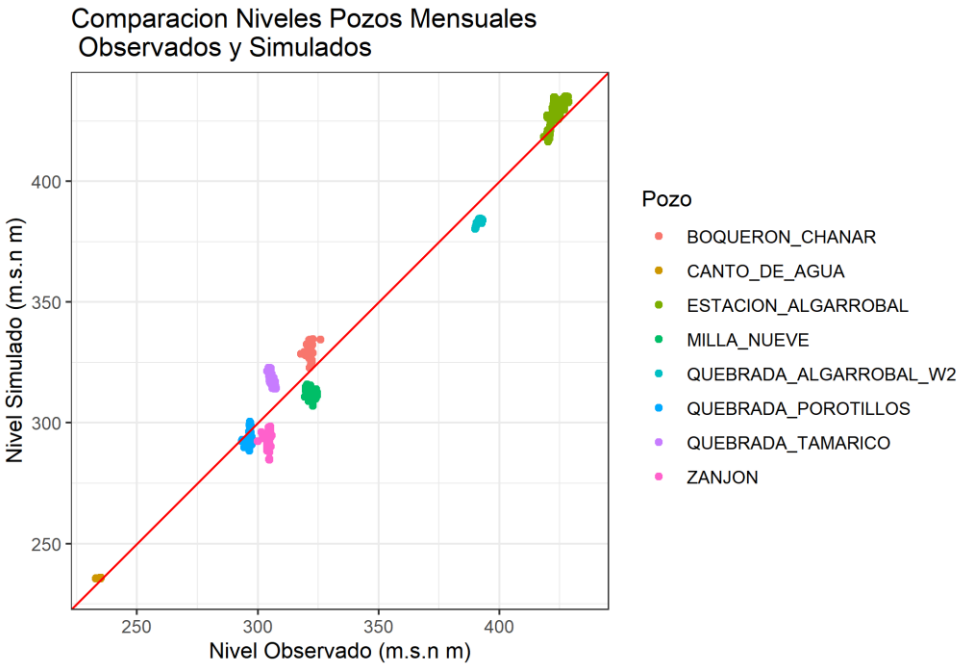
La calibración de los niveles de agua subterránea se basó en la calibración integral del modelo acoplado, basado en las tasas de recargas provenientes desde aguas arriba, los valores del almacenamiento especifico y los valores de la conductividad hidráulica. Dichos valores venían "pre-calibrados", ya que se realizó una calibración en régimen permanente utilizando la herramienta de estimación de parámetros PEST. El ajuste de los niveles calibrados se muestra en la Figura 4-1. Como se puede observar, los ajustes obtenidos son

satisfactorios e incluso reproducen las condiciones originales del modelo hidrogeológico base.

Tabla 4-3: Estadígrafos de calibración del sistema subterráneo

Estadígrafo	Valor
Coeficiente de determinación – R^2	0,97
Error medio – ME (m)	-0,64
Error Absoluto Medio – MAE (m)	7,44
MAE Normalizado (%)	3,8
Máximo Residual absoluto (m)	18,41
Mínimo Residual absoluto	-16,19
RMSE (m)	8,86
RMSE Normalizado	4,5

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia.

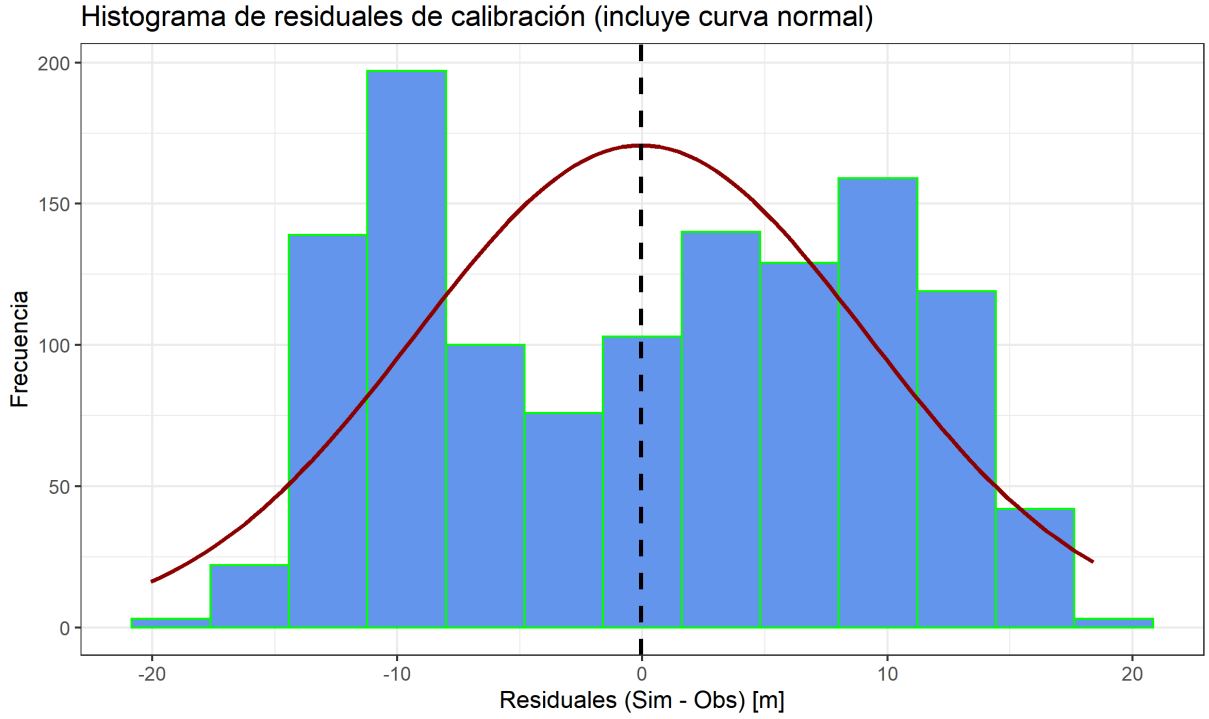
Figura 4-1: Diagrama de dispersión de niveles freáticos observados y simulados

Para el modelo acoplado, 3 de los 8 pozos de observación tienen una calibración insatisfactoria, estos corresponden a Quebrada Tamarico (MAE = 13,2 m), Milla Nueve (MAE = 11,3 m) y Zanjon (MAE = 11,1 m). Dichos pozos se encuentran en la subcuenca de Carrizal en el sector nororiente al angostamiento. Dicho sector cuenta con cierta incertidumbre en la topografía, la definición de la geología y existe poca claridad de la influencia de pozos de bombeo que puedan afectar dichos niveles. Por lo que una de las

brechas es caracterizar mejor los sectores de desembocadura para las variables mencionadas.

Si se realiza el ejercicio de calcular los estadígrafos sin los pozos mencionados se tienen los siguientes valores, error medio absoluto (MAE) de 3,4 metros, el error medio de 0,6 metros y el RMSE Normalizado de 1,6%.

Se presenta en la Figura 4-6 el histograma de residuales, es decir, la distribución de frecuencia del valor de la diferencia entre los niveles simulados menos los niveles observados. De la figura se desprende que los valores se encuentran centrados casi en cero, pero que el comportamiento se asemeja a la superposición de 3 distribuciones normales, una centrada en -12, otra centrada en 5 y finalmente en la esquina de los positivos una centrada en 12. Esto se atribuye al error constante de los pozos anteriormente mencionados, en donde Zanjón y Milla Nueve aportan valores negativos y Quebrada Tamarico los valores positivos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-2: Histograma de residuales en pozos utilizados para calibrar

4.3 Resultados de modelo de simulación

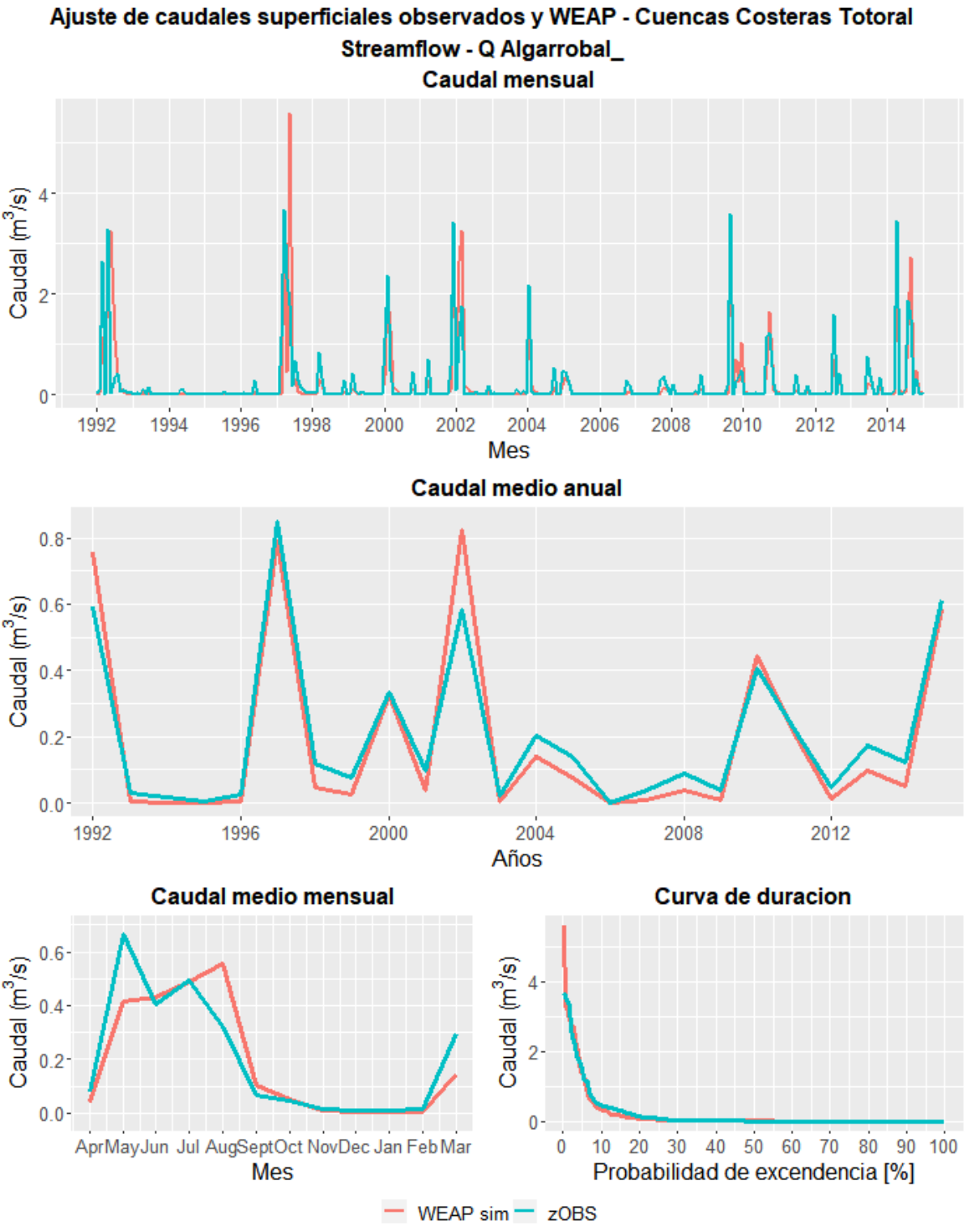
Los resultados del modelo de simulación WEAP-MODFLOW en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal se presentan en los siguientes acápites.

4.3.1 Flujos superficiales en puntos de control

Los resultados del proceso de calibración se resumen en estadígrafos de calibración como en resultados gráficos. A continuación, se analizan los puntos de control que fueron parte del acople en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, las que se muestran desde la Figura 4-3 hasta la Figura 4-5.

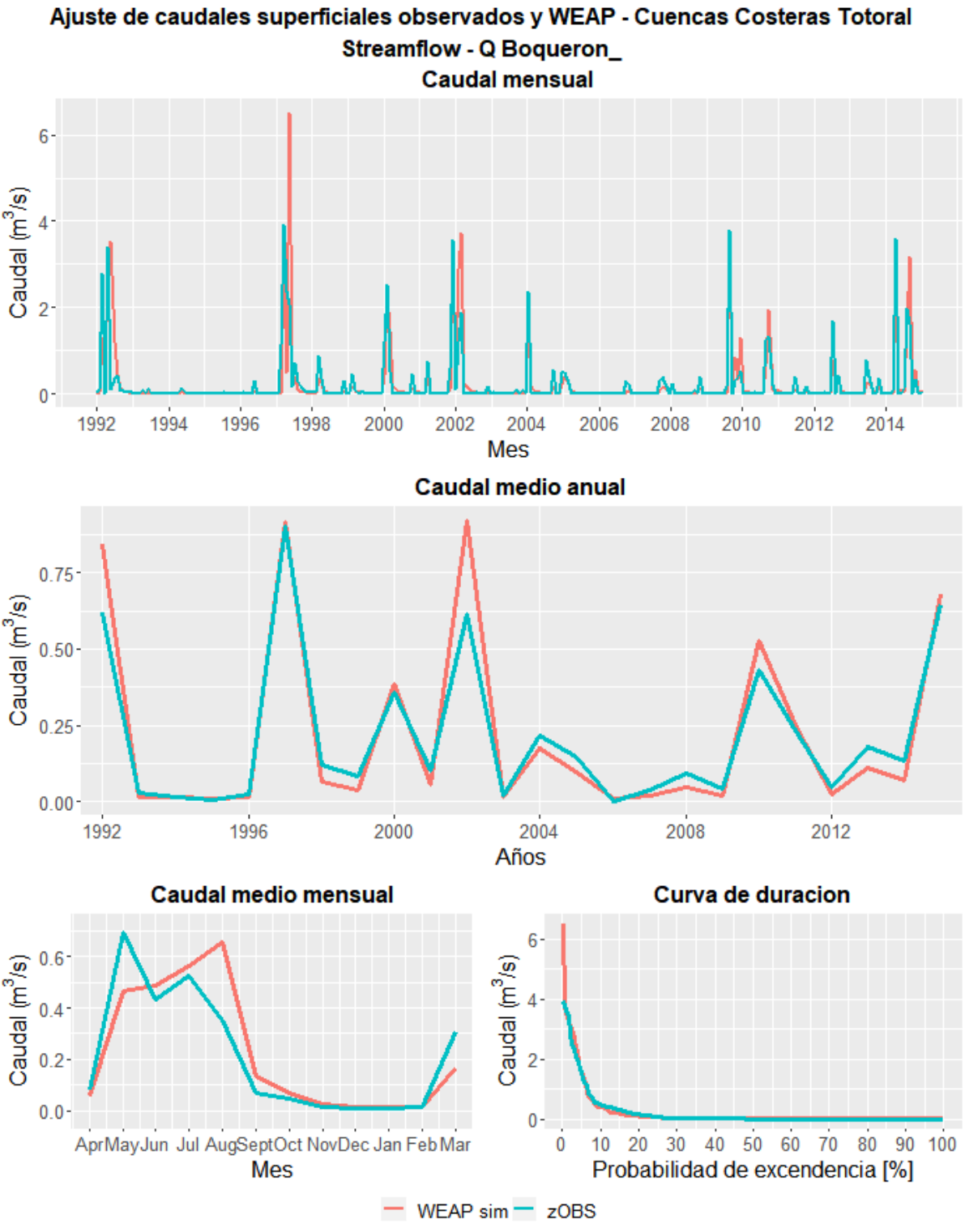
Como muestra la Tabla 4-1 la calidad de los ajustes es variada a lo largo del modelo. En la zona alta, el punto de control Totoral Alto (Figura 4-3) constituye la oferta hídrica de la mayor parte del sistema. De ahí la importancia de que en dicho punto de control se esté representando adecuadamente el flujo pasante. El caudal se modela satisfactoriamente en el tiempo para la agregación temporal de caudal anual, sin embargo, existe un sesgo positivo en la representación de los caudales en el mes de agosto y un sesgo negativo en el mes de mayo. Se debe notar que la estacionalidad del régimen está acorde a lo registrado y que la curva de duración de caudales simulados presenta una gran similitud a la real.

El ajuste alcanzado en la zona alta de la cuenca Quebrada Totoral es Satisfactorio según el índice KGE, con una subestimación cercana al 7% (PBIAS).



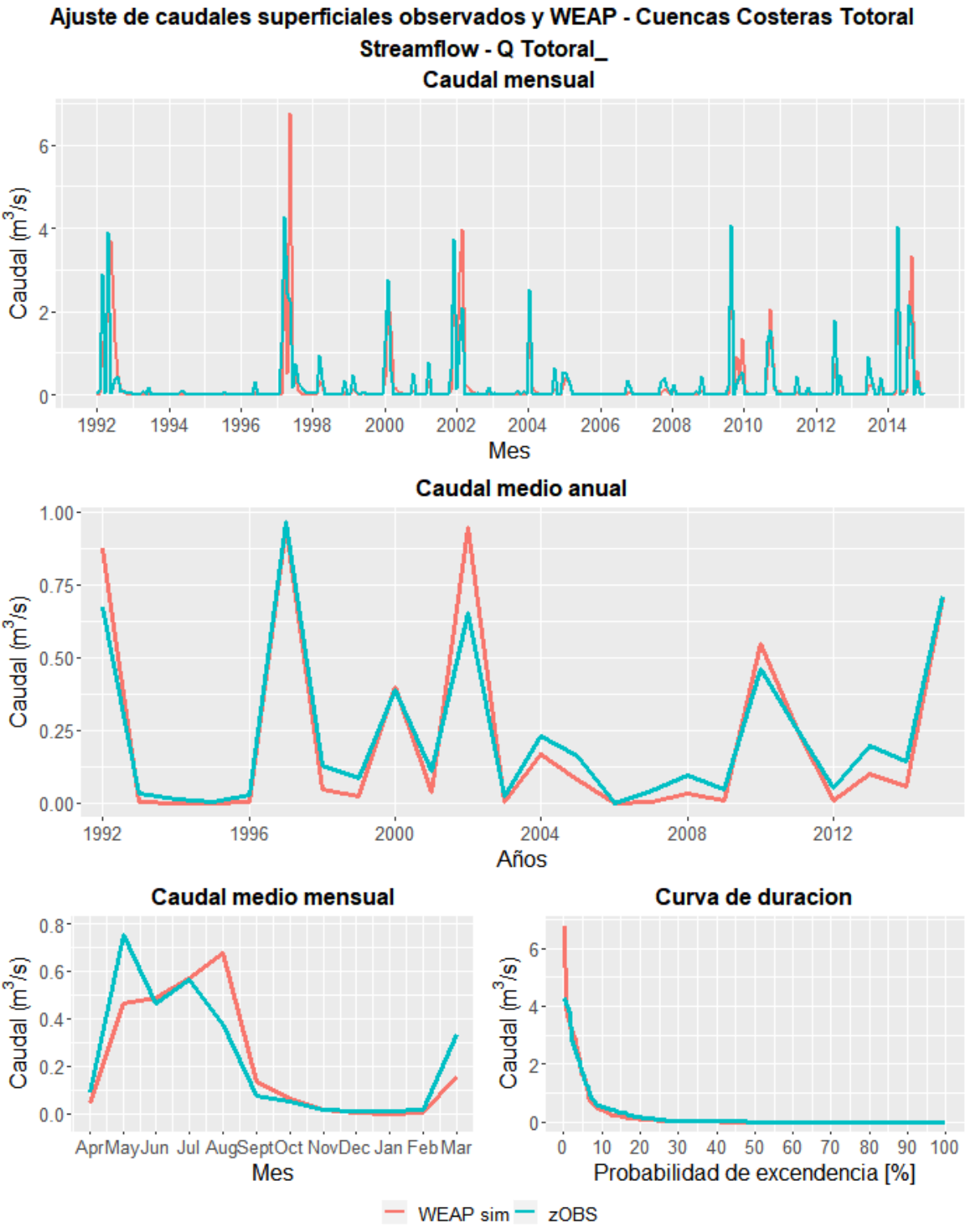
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-3: Resultados calibración en punto de control Totoral Alto



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-4: Resultados calibración en punto de control Totoral Medio

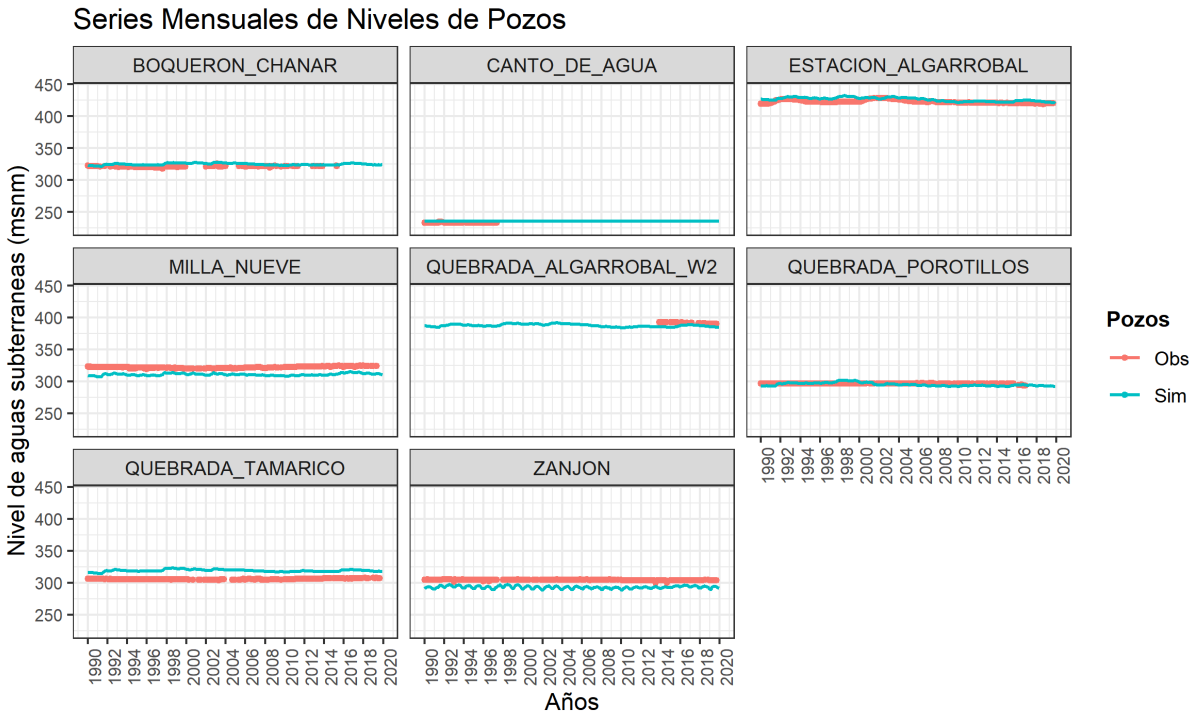


Fuente: Elaboración propia

Figura 4-5: Resultados calibración en punto de control Totoral Desembocadura

4.3.2 Niveles simulados-observados

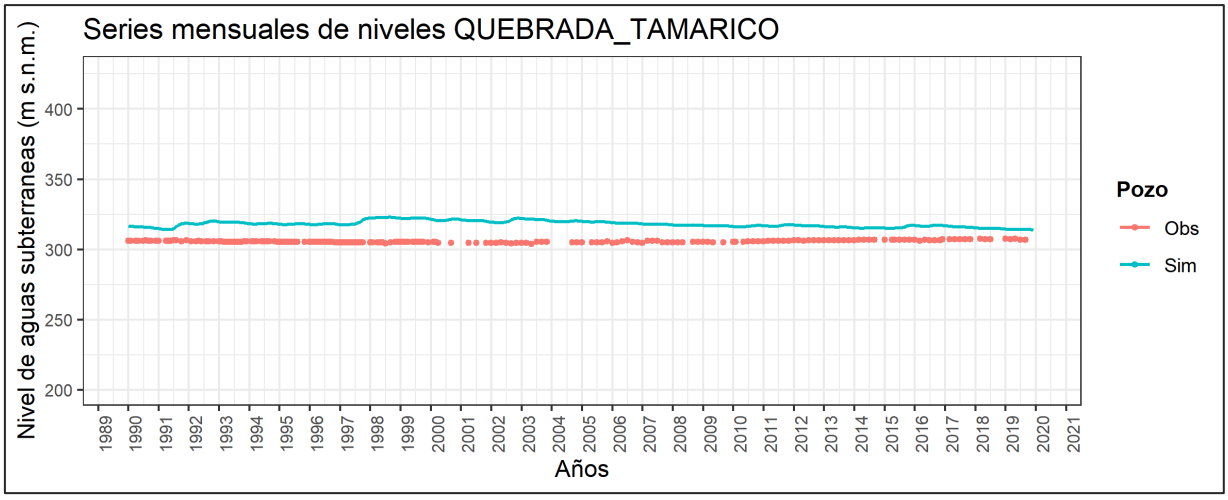
Se presenta en la Figura 4-6 un resumen de la evolución temporal conjunta de los niveles freáticos



Fuente: Elaboración propia

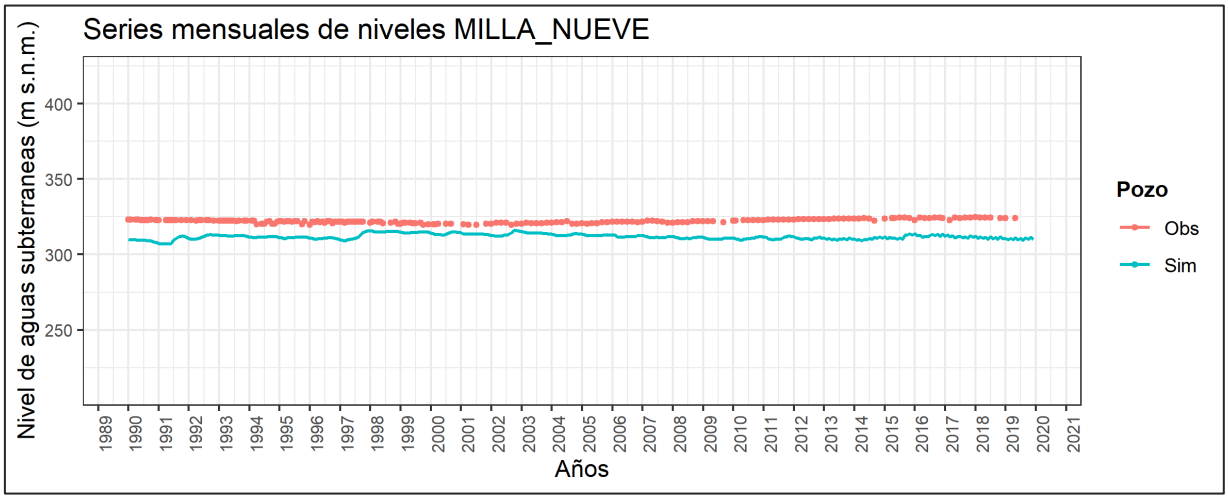
Figura 4-6: Series a escala mensual de niveles freáticos observados y simulados

A continuación, desde la Figura 4-7 hasta la Figura 4-9 se presentan las series mensuales de niveles para los pozos con peor ajuste, el primero muestra como el modelo sobreestima y es más sensible a cambios que los niveles observados, mientras que las dos figuras siguientes, muestran como el modelo subestima los niveles, aunque de igual forma presenta mayor sensibilidad a los estímulos que los niveles observados. Se destaca que la ordenada del eje de nivel de aguas subterráneas no inicia en 0 m s.n.m.



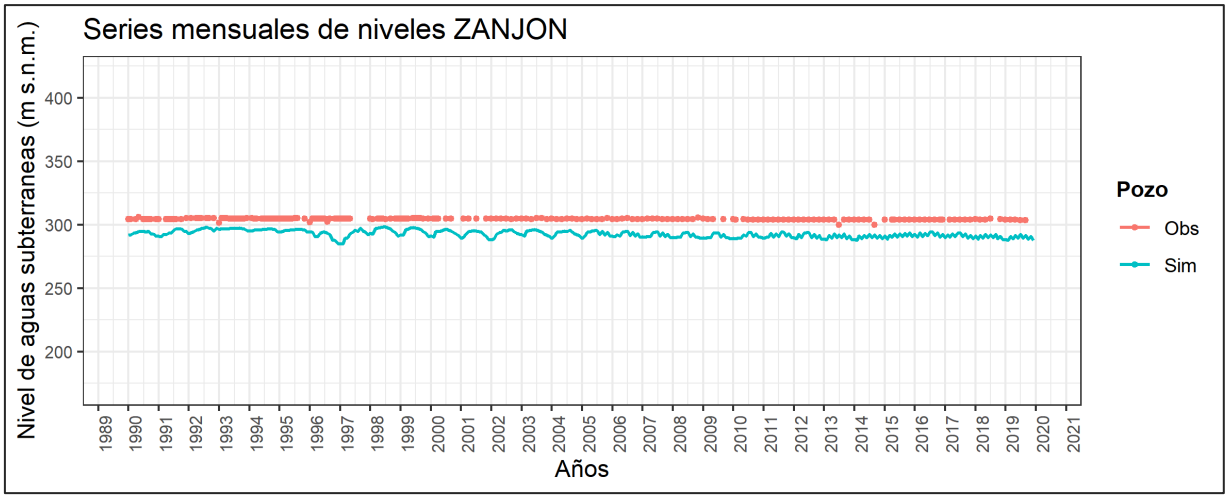
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-7: Serie mensual de niveles en pozo Quebrada Tamarico



Fuente: Elaboración propia

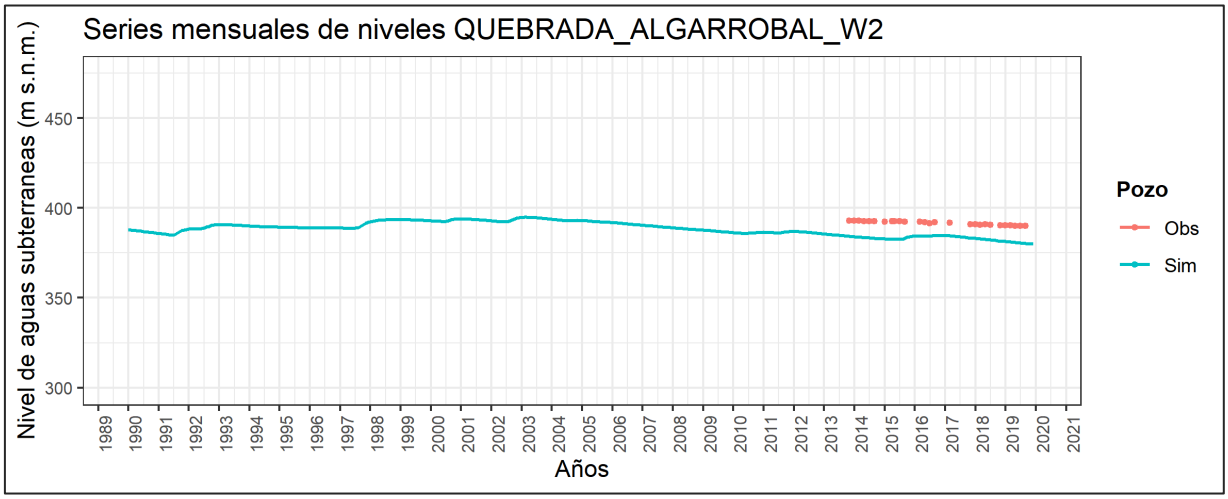
Figura 4-8: Serie mensual de niveles en pozo Milla Nueve



Fuente: Elaboración propia

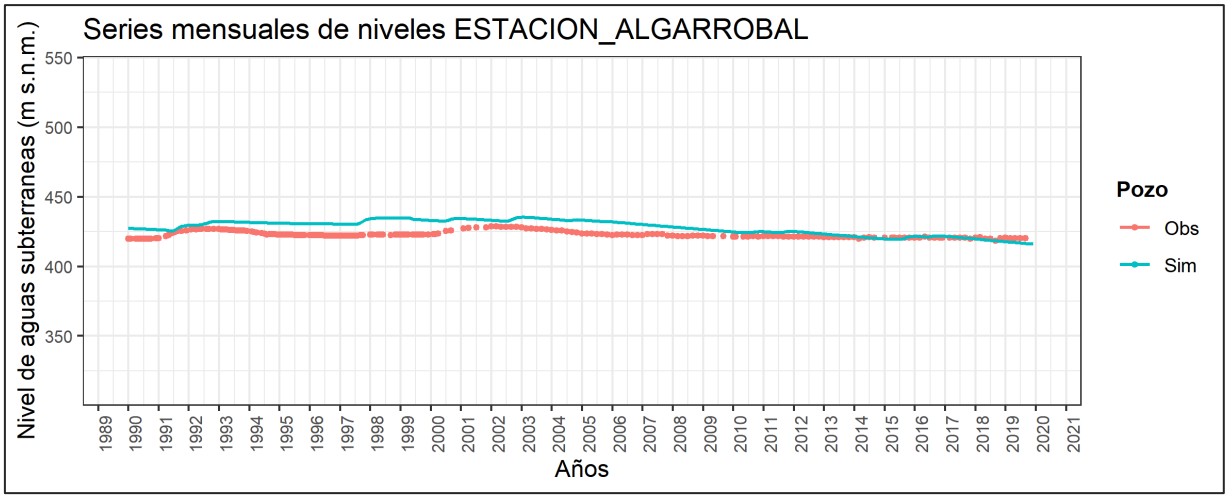
Figura 4-9: Serie mensual de niveles en pozo Zanjón

Desde la Figura 4-10 hasta la Figura 4-14 se presentan las series mensuales de niveles observados y simulados para el resto de los pozos de observación que poseen registros en el tiempo. Se ordenan de peor a mejor ajuste. Se destaca que la ordenada del eje de nivel de aguas subterráneas no inicia en 0 m s.n.m.



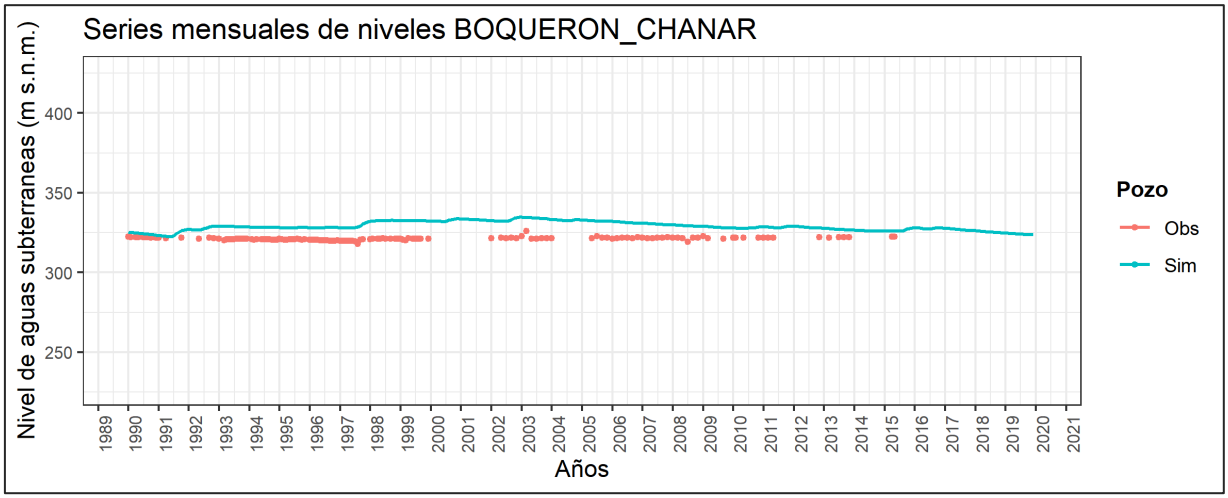
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-10: Serie mensual de niveles en pozo Quebrada Algarrobal W2



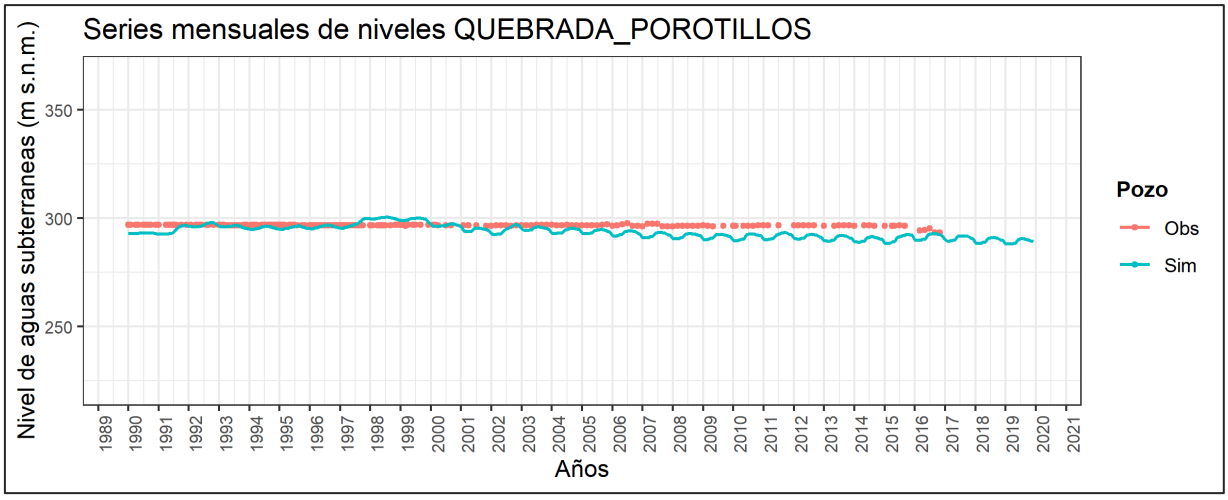
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-11: Serie mensual de niveles en pozo Estación Algarrobal



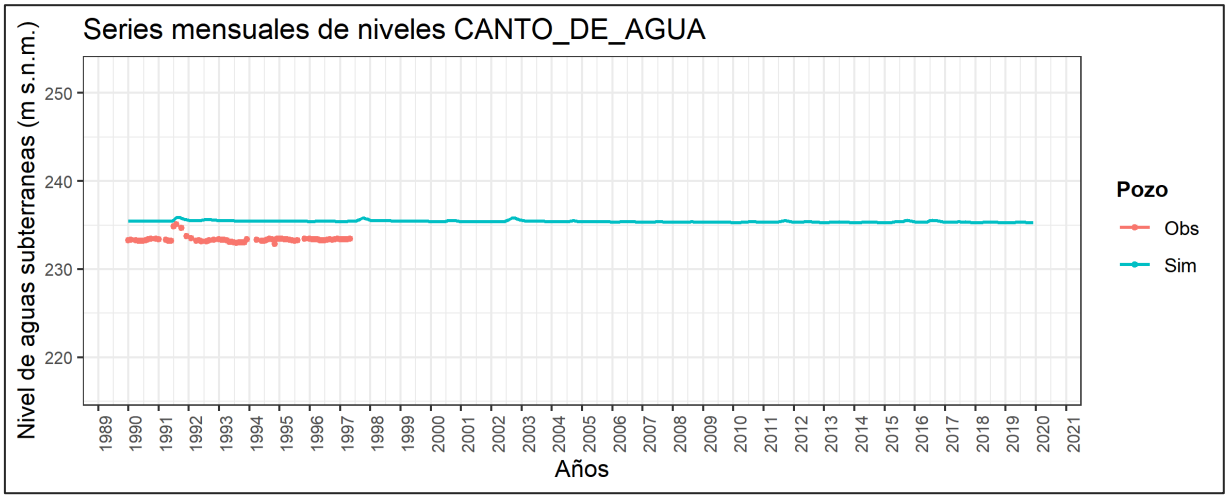
Fuente: Elaboración propia

Figura 4-12: Serie mensual de niveles en pozo Boquerón Chañar



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-13: Serie mensual de niveles en pozo Quebrada Porotillos

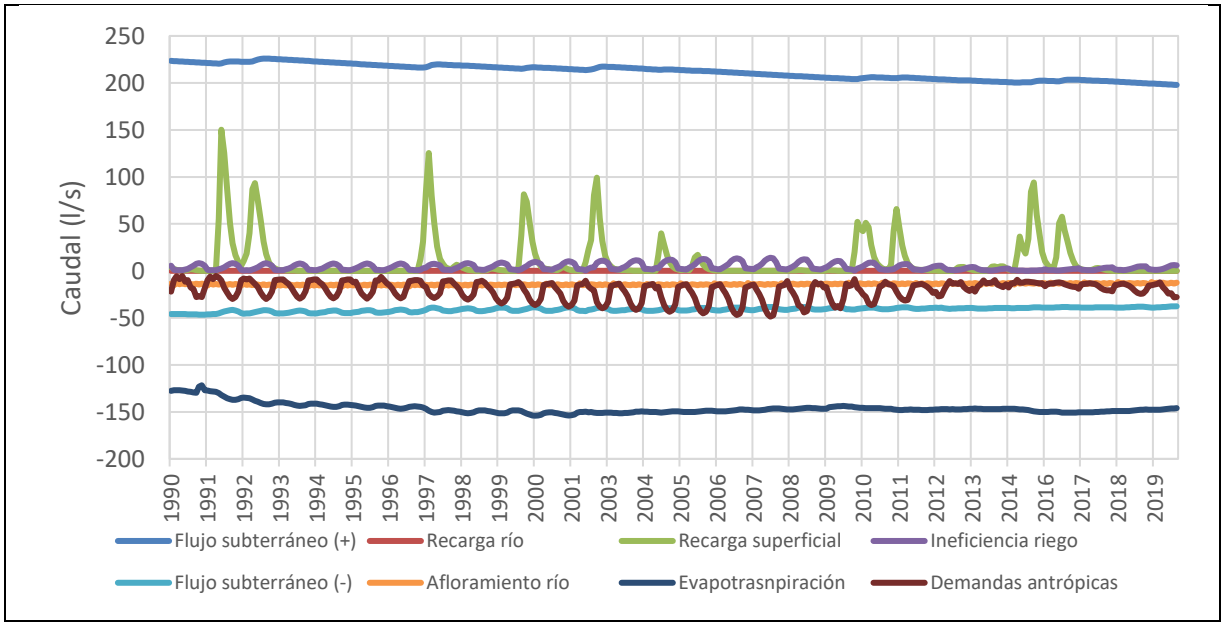


Fuente: Elaboración propia

Figura 4-14: Serie mensual de niveles en pozo Canto del Agua

4.3.3 Flujos subterráneos

Para ahondar en el análisis por componente de flujo, la Figura 4-15 muestra los balances hídricos por componente para el acuífero modelado, sectorizado por cuenca. El flujo subterráneo lateral es la recarga predominante del sistema y entrega un aporte relativamente constante, con una tendencia a la baja; mientras que la recarga por precipitación es el segundo aporte más relevante, aunque de considerable menor magnitud.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-15: Balance hídrico por componentes en sector del acuífero ubicado en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal

El detalle de los flujos de entrada y salida para las condiciones históricas y último año de simulación es mostrado en la Tabla 4-4.

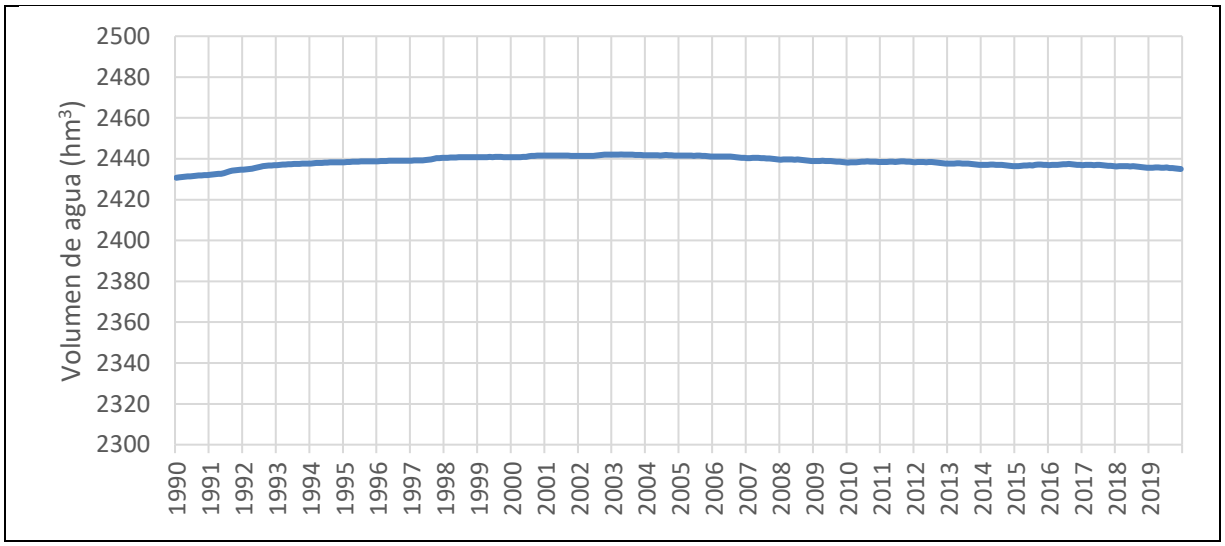
Tabla 4-4: Balance hidrogeológico en Escenario de calibración

Flujo	1990 – 2019	2019
Entradas (l/s)		
Flujo subterráneo	237	219
Recarga río	0	0
Recarga superficial	10	0
Ineficiencia riego	5	7
Total	252	226
Salidas (l/s)		
Flujo subterráneo[1]	-44	-39
Afloramiento río	-16	-14
Evapotranspiración[2]	-137	-121
Demandas antrópicas	-51	-73
Total	-248	-247
Variación del almacenamiento (l/s)	**4**	**-21**

[1] corresponde al flujo que transita desde el sector acuífero Totoral hacia el de Carrizal.
[2] considera exclusivamente la evapotranspiración en el sector del humedal Totoral.

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que para la condición actual (año 2019) la variación en el almacenamiento alcanza los -21 l/s. Esto ocurre principalmente por la disminución del flujo subterráneo aportante al acuífero y a una mayor demanda antrópica. Finalmente, la Figura 4-16 presenta la variación del acuífero modelado en el sector ubicado en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal para todo el periodo de modelación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-16: Variación del volumen del acuífero en el sector Totoral

Como se puede apreciar, el sector acuífero presenta señales de un descenso en el volumen de recurso disponible a partir del año 2003, perdiendo cerca de 10 hm^3 al año 2019.

5 SITUACIÓN PROYECTADA

La situación proyectada comprende la decisión del Modelo de Circulación Global (MCG) a adoptar para la cuenca como también el escenario base sobre el cual se implementarán los escenarios de gestión. A continuación, se presenta la toma de decisiones de estos aspectos para la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal.

Para la zona, seleccionar la situación proyectada es complejo, dado que los MCG, tienen resultados discordantes con respecto a los valores proyectados de la precipitación y temperatura. Como el PEGH se relaciona con disponibilidad hídrica y gestión del agua, se prefieren los escenarios conservadores, que además de proyectar escenarios de escasez, permitan analizar la sensibilidad de la cuenca y del modelo integrado a la variación de la precipitación.

5.1 MCG disponibles

La selección de los MCG para este estudio se enmarca en la metodología empleada en la Actualización del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2017b).

De acuerdo con dicho documento, los modelos que se seleccionaron para el estudio poseen 3 razones fundamentales:

- Respuesta regional a ambos modos globales de variabilidad climática: Esto considera que también interpretan a las forzantes climáticas: El Niño/Oscilación del Sur (ENSO) y el Modo Anular del hemisferio Sur (SAM), ambos asociados a la precipitación.
- Sensibilidad Climática: El grado de respuesta de los modelos antes las variaciones de temperatura y de concentraciones de CO_2. Hay modelos con distintas sensibilidades.
- Cambios regionales: Se evaluaron los cambios en las forzantes de precipitación y temperatura para el escenario RCP 8.5 en la ventana 2030-2060 respecto de la línea base. Se buscaron entonces modelos que cubrieran una gama de variaciones.

Siguiendo estos tres criterios, 4 modelos fueron seleccionados para el estudio, los cuales se presentan en la Tabla 5-1. Como se puede ver, los modelos agrupan 4 condiciones de sensibilidad, desde una baja extrema hacia una alta extrema y son ejecutados por centros científicos de diversos lugares en el mundo (USA, Francia, Japón y Australia).

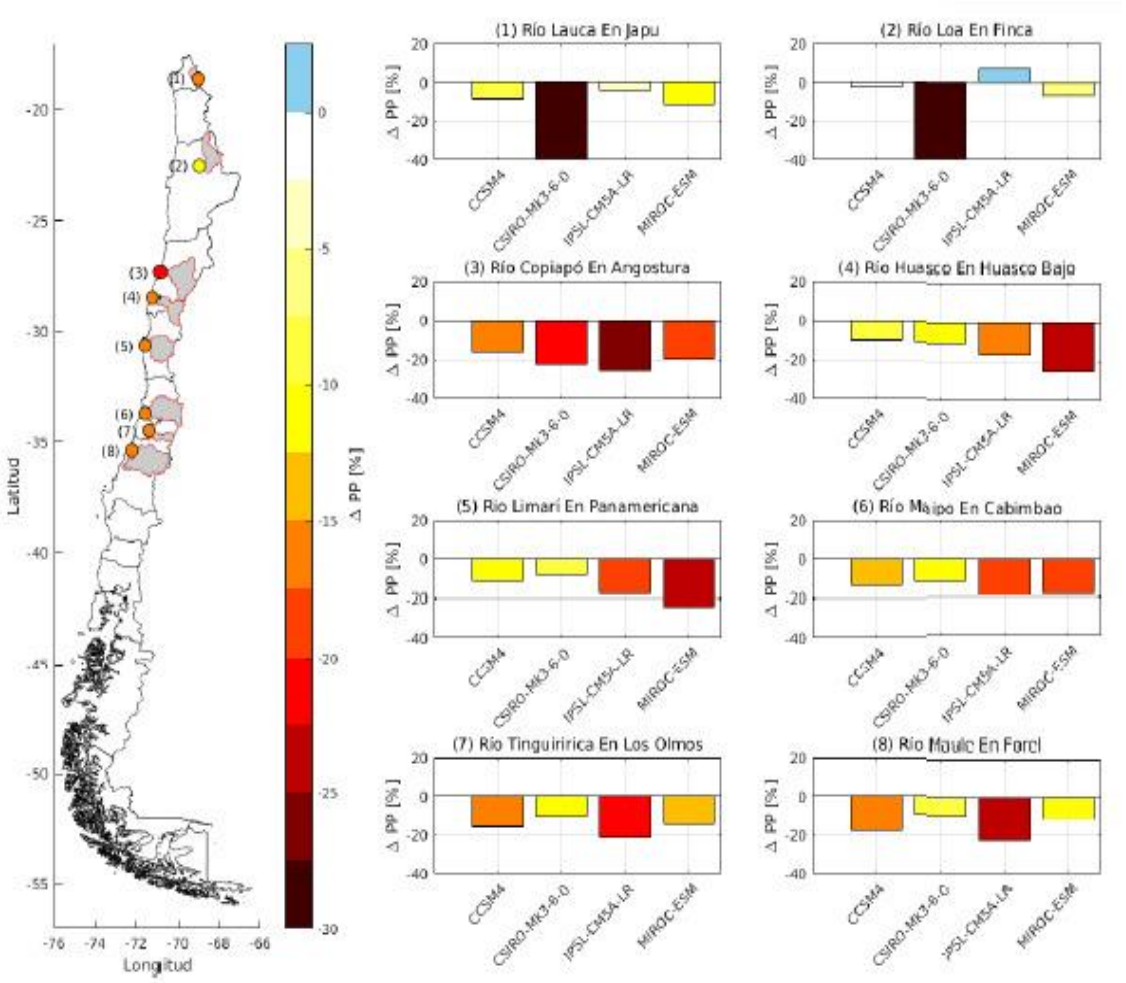
Tabla 5-1: MCG seleccionados para proyecciones de cambio climático

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

Fuente: DGA (2017b)

Dentro de esos resultados, los cambios de precipitación más severos suelen ocurrir con los modelos IPSL y MIROC. Sin embargo, en el estudio también se reconoce que los cambios son heterogéneos, habiendo más disparidad en el Norte Grande y Norte Chico. Sólo de la RM hacia el sur dominan las tendencias negativas. En la parte Central de Chile se prevé una disminución de precipitaciones que va desde 5-10% (CSIRO) hasta un 20-25% (IPSL). Esto se muestra en la Figura 5-1.

Los cambios a nivel de cuenca son entonces variados conforme se aumenta la latitud, no existiendo un único modelo que siempre muestre una tendencia marcada al ascenso o aumento, por ejemplo, de las precipitaciones.



Fuente: DGA (2017b)

Figura 5-1: Cambios relativos en precipitación media anual proyectada para el periodo futuro (2030-2060) respecto a línea base (1985-2015)

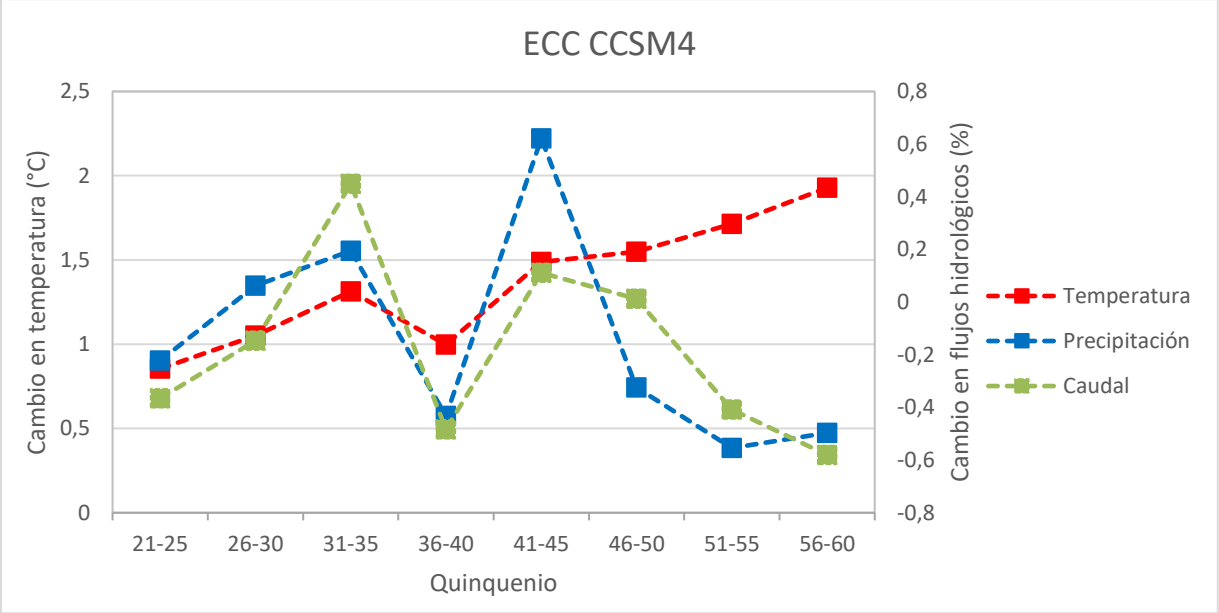
En particular, para las cuencas Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal se presenta en la Tabla 5-2 el resumen por flujo y periodo para las cuatro simulaciones de cambio climático consideradas. Los periodos de análisis corresponden a 1985/04/01 – 2015/03/31 (85 – 15); 2030/04/01 – 2040/03/31 (30 – 40); 2040/04/01 – 2050/03/31 (40 – 50); 2050/04/01 – 2060/03/31 (50 – 60) y 2030/04/01 – 2060/03/31 (30 – 60). El polígono sobre el cual se presenta el resumen por flujo y periodo corresponde al definido en el estudio DGA (2014).

Tabla 5-2: Principales flujos hidrológicos para las cuencas en estudio bajo diferentes escenarios de cambio climático

Flujo (mm/año)	Periodo				
	85-15	30-40	40-50	50-60	30-60
CSIRO-MK3-6-0					
Precipitación	32,9	30,6	28,0	33,3	30,7
Escorrentía	5,7	6,8	6,9	8,2	7,3
Evapotranspiración	26,6	24,1	21,6	23,9	23,2
Demanda riego	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
CCSM4					
Precipitación	34,1	33,9	38,0	16,2	29,4
Escorrentía	8,4	8,7	8,4	4,5	7,2
Evapotranspiración	24,5	25,1	28,2	13,5	22,3
Demanda riego	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
MIROC-ESM					
Precipitación	33,4	28,1	21,8	18,5	22,8
Escorrentía	6,6	4,1	4,1	3,4	3,9
Evapotranspiración	26,3	22,7	19,2	15,7	19,2
Demanda riego	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
IPSL-CM5A-LR					
Precipitación	33,7	37,3	19,3	30,2	28,9
Escorrentía	6,6	7,7	3,2	7,7	6,2
Evapotranspiración	25,7	29,8	16,7	20,5	22,4
Demanda riego	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

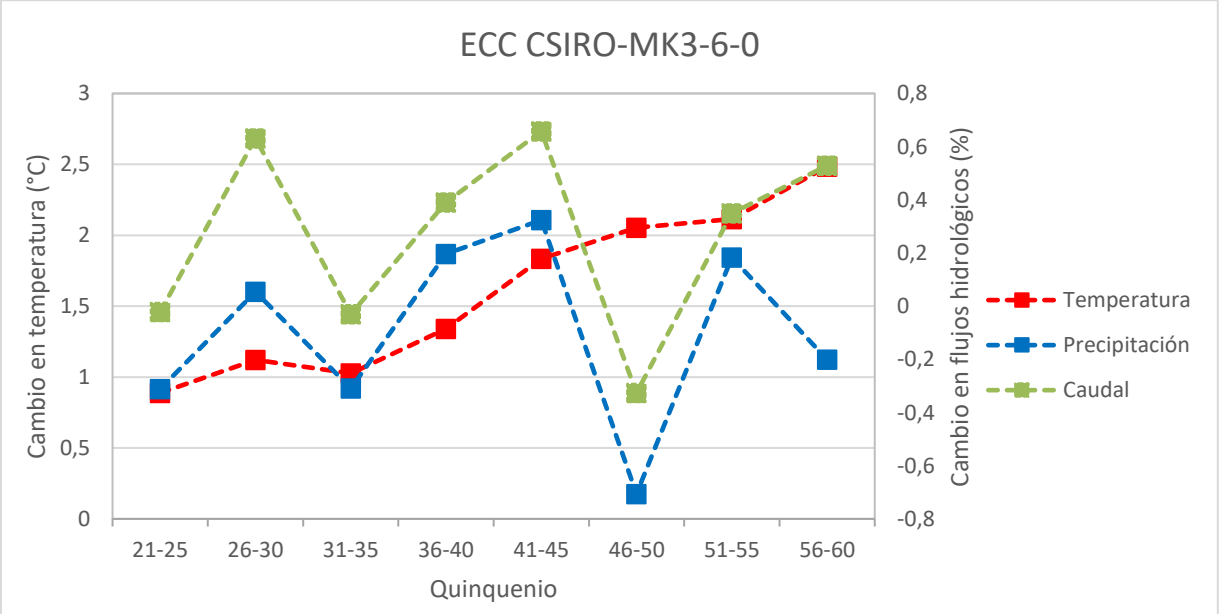
Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a).

Finalmente, se presenta desde la Figura 5-2 hasta la Figura 5-5 las variaciones futuras de temperatura, precipitación y caudal en régimen natural, con respecto a los valores medios de la ventana 1985 – 2015 sobre la cuenca en estudio.



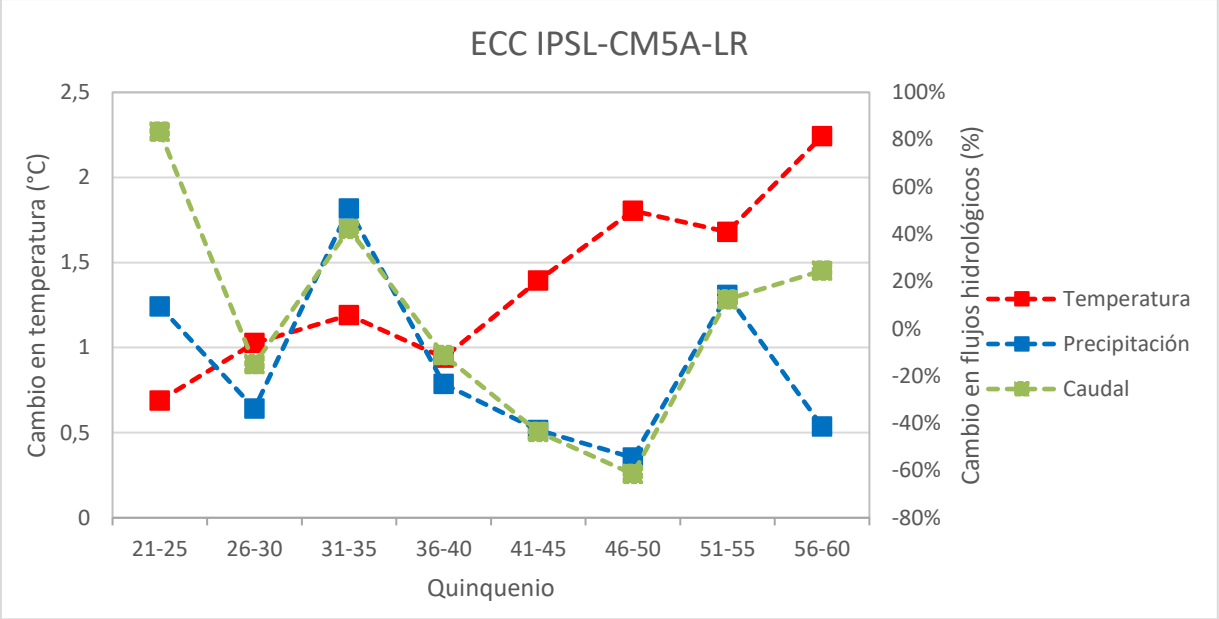
Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a).

Figura 5-2: Variación absoluta de temperatura media y cambio porcentual de precipitación y caudal en régimen natural, con respecto a periodo 1985 – 2015, según proyecciones bajo ECC CSM4 en cuencas en estudio.



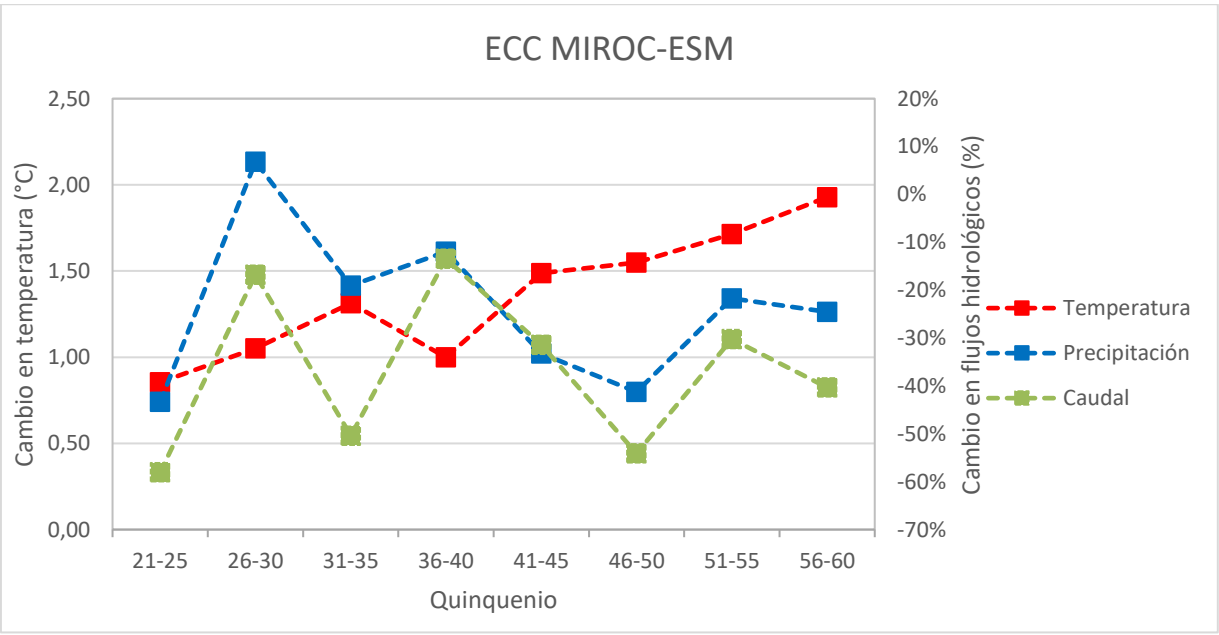
Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a).

Figura 5-3: Variación absoluta de temperatura media y cambio porcentual de precipitación y caudal en régimen natural, con respecto a periodo 1985 – 2015, según proyecciones bajo ECC CSIRO-MK3-6-0 en cuencas en estudio.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a).

Figura 5-4: Variación absoluta de temperatura media y cambio porcentual de precipitación y caudal en régimen natural, con respecto a periodo 1985 – 2015, según proyecciones bajo ECC IPSL-CM5A-LR en cuencas en estudio.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a).

Figura 5-5: Variación absoluta de temperatura media y cambio porcentual de precipitación y caudal en régimen natural, con respecto a periodo 1985 – 2015, según proyecciones bajo ECC MIROC-ESM en cuencas en estudio.

5.2 Corrección de sesgos

La capacidad de los MCG para simular el sistema climático de la Tierra está limitada por las simplificaciones inherentes que incorporan. En consecuencia, los resultados brutos de los modelos comprenden diferentes tipos de sesgos en relación con el clima observado, por lo que parecería apropiado cierto grado de "calibración" del resultado del modelo climático bruto, donde la calibración se refiere a cualquier intento de hacer que el resultado del MCG sea más realista.

Debido a que los sesgos dificultan el uso directo de las proyecciones meteorológicas simuladas en los estudios de impacto del cambio climático, los resultados brutos a menudo se ajustan primero estadísticamente en función de evaluaciones del modelo en el clima actual. Este paso de post-procesamiento se aplica hoy en día de forma rutinaria a los resultados de los MCG en un intento de mejorar la confiabilidad de los impactos de las simulaciones (Räty et al., 2014).

a) Precipitación

La precipitación es una de las variables más importantes en los estudios de impacto del cambio climático. Sin embargo, la estimación robusta de los cambios de precipitación es un desafío debido a la gran variabilidad temporal y espacial que presenta ésta.

En este estudio, utilizamos la metodología de corrección de sesgo (*Bias correction method*; Räty et al., 2014) para corregir las proyecciones brutas de los MCG sobre el área de estudio. Este enfoque pondera a los datos futuros del MCG el cambio relativo entre los resultados brutos del MCG y las observaciones en un periodo de referencia, para corregir así el sesgo medio. Los cambios relativos se suelen considerar para la precipitación con el fin de evitar valores negativos. El detalle de la metodología empleada es presentado en el Anexo F acápite 2.4.8.

Se muestra en la Tabla 5-3 la variación porcentual de las series de precipitación media generadas en base a los cuatro MCG con la metodología de corrección de sesgo para el periodo 2021 – 2050 con respecto al promedio anual de la misma variable observada en la ventana temporal de referencia.

Tabla 5-3: Variación porcentual corregida de la precipitación media futura en la cuenca

MCG	Periodo			
	21 – 30	**31 – 40**	**41 – 50**	**21 – 50**
CCSM4	-9,3%	-11,4%	11,9%	-3,0%
CSIRO-MK3-6-0	-9,5%	-3,0%	-18,8%	-10,4%
IPSL-CM5A-LR	-12,6%	12,2%	-46,9%	-15,7%
MIROC-ESM	-18,9%	-17,2%	-36,4%	-24,2%

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a).

b) Temperatura

La temperatura también es una de las variables más importantes en los estudios de impacto del cambio climático. Para esta variable se aplica método "delta" (*Delta change method* o *Change factor*; Hawkings et al., 2013), el que se define como la adición de un cambio medio (normalmente mensual) en el clima, derivado de los MCG, a las propias observaciones mensuales. Este método tiene la ventaja de utilizar la distribución correcta de datos mensuales. El detalle de la metodología empleada es presentado en el Anexo F acápite 2.4.8.

Se muestra en la Tabla 5-4 la variación absoluta de las series de temperatura media generadas en base a los cuatro MCG con la metodología "delta" para el periodo 2021 – 2050 con respecto al promedio de la misma variable observada en la ventana de referencia.

Tabla 5-4: Aumento absoluto corregido de la temperatura media futura (°C) en la cuenca

MCG	Periodo			
	21 – 30	**31 – 40**	**41 – 50**	**21 – 50**
CCSM4	1,03	1,23	1,58	1,28
CSIRO-MK3-6-0	1,02	1,19	1,99	1,40
IPSL-CM5A-LR	0,87	1,10	1,67	1,22
MIROC-ESM	1,16	1,46	1,68	1,43

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a).

5.3 Selección de MCG

Para las cuencas Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, el enfoque del MCG debe apuntar a que las gestiones se desarrollen bajo un escenario desfavorable (o conservador), por lo que el escenario base de cambio climático debe proyectar una

disminución en la precipitación futura (Tabla 5-3) y un aumento en la temperatura (Tabla 5-4).

Por lo tanto, los MCG que representan una condición conservadora son: CSIRO-MK3-6-0, IPSL-CM5A-LR y MIROC-ESM. La elección final del MCG es el que entrega las proyecciones intermedias dentro de las desfavorables, es decir, se opta por IPSL-CM5A-LR, el que proyecta una disminución del 15,7% en las precipitaciones y un aumento de 1,22 °C en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal.

5.4 Ventana Futura (VF)

Con el fin de evaluar la evolución de los flujos, niveles y balances hídricos, de manera de identificar brechas en el desbalance hídrico en el horizonte de evaluación 2020 – 2050, se modela el Escenario de Cambio Climático (ECC) base, denominado Ventana Futura (VF). Este ECC se crea en el modelo WEAP para la ventana temporal 1990 – 2050, donde para periodo 1990 – 2019 se aplican las forzantes meteorológicas y condiciones del Escenario Base de calibración detallado en la sección 4 más atrás.

La simulación futura en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal corresponde a la situación en la cual la oferta natural de la cuenca está dada por la implementación de las forzantes meteorológicas obtenidas del MCG IPSL-CM5A-LR, de acuerdo a lo determinado en el acápite anterior; y la demanda se proyecta constante en base al valor que presentan al último año del Escenario Base de calibración (2019).

La importancia de la elección del escenario base de cambio climático es que todos los demás escenarios de gestión de iniciativas a nivel de cuenca que se presentan en la sección 5.3 del informe principal tienen integradas las forzantes climáticas futuras y consideraciones de VF.

6 SUSTENTABILIDAD

En el siguiente apartado se analiza la oferta hídrica superficial y la sustentabilidad de los sectores acuíferos basados en los criterios de sustentabilidad definidos por DGA.

6.1 Oferta hídrica sustentable superficial

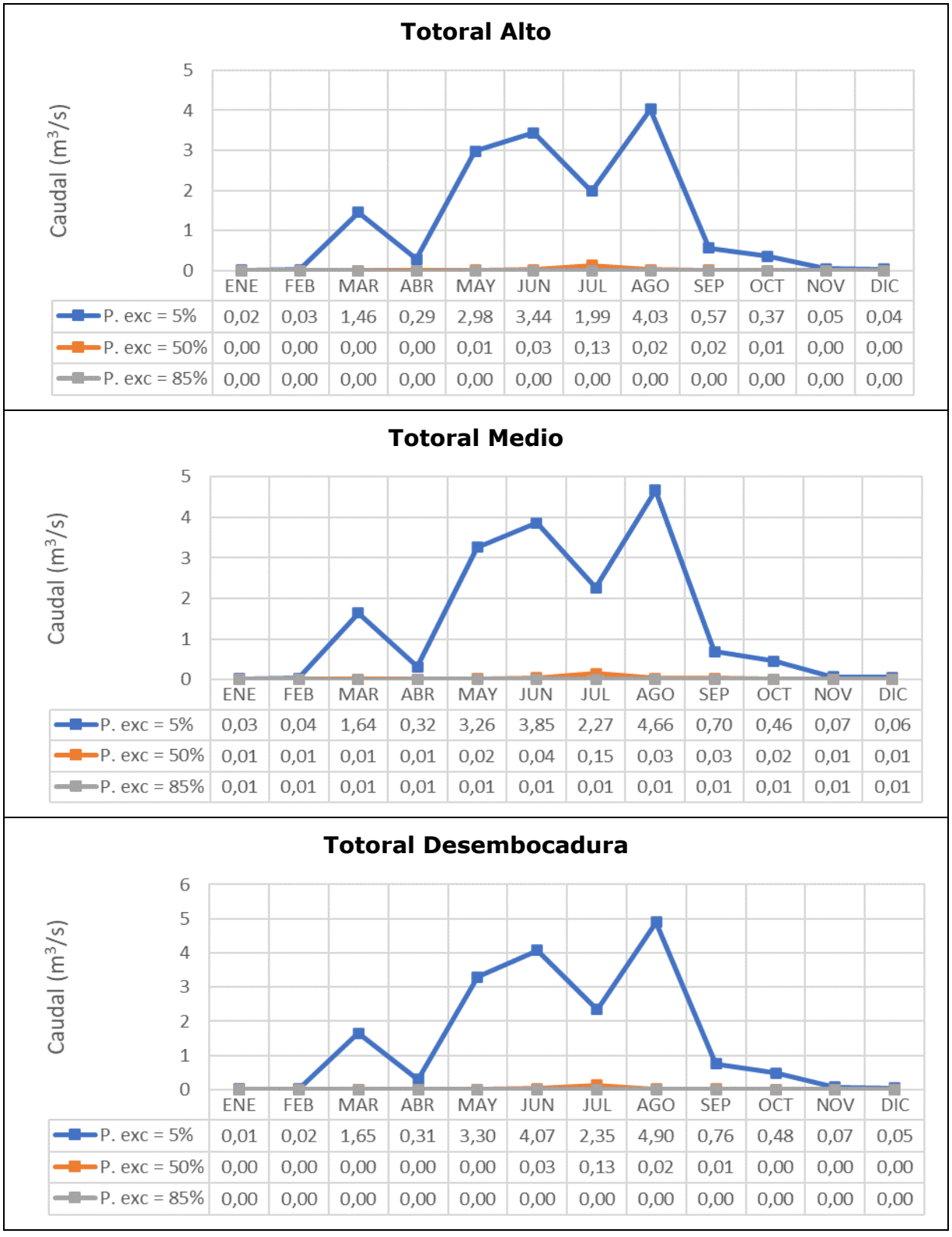
Para la actualización de la oferta hídrica sustentable de tipo superficial se emplea la metodología expuesta en el acápite 2.4.5 del Anexo F, la cual define tres sectores de interés y puntos de control mostrados en la Figura 2-20. Este análisis se sustenta en los resultados entregados por la misma configuración base del modelo WEAP-MODFLOW utilizado en la calibración, pero ahora con la premisa de no existencia de intervención antrópica dentro de la cuenca, es decir, como cuenca en régimen natural.

La intervención antrópica involucra a cualquier acción realizada por el ser humano, tal como: deforestación, pesca, agricultura, construcción, entre otras; por lo que la configuración de un régimen natural en el territorio implica suprimir todas aquellas intervenciones antrópicas. Este estado se conceptualiza dentro del modelo hidrológico anulando todos los nodos que sean producto o para satisfacer necesidades humanas, tales como: DAA subterráneos y superficiales de cualquier naturaleza, Plantas de tratamientos de aguas residuales, zonas agrícolas y sus canales de regadío, entre otros.

Finalmente, requerimientos naturales de agua como la evaporación desde los ríos, afloramientos o infiltraciones a acuíferos se mantienen vigentes, así como también el consumo de la vegetación nativa que se desarrolla en las riberas, que se considera satisfecho en base a las propias infiltraciones del río.

6.1.1.1 Curvas de variación estacional

Se presenta en la Figura 6-1 los gráficos de curvas de variación estacional de caudales con probabilidad de excedencia de un 5%, 50% y 85%, para cada punto de control de la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal detallado en la Figura 2-20.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-1: Curva de variación estacional en puntos de control

Las curvas de variación estacional muestran que, para todos los sectores, existe un claro régimen dominante de precipitaciones de invierno. Esto concuerda con la información recopilada de la zona, la cual se ve afectada en ocasiones por el desborde de las quebradas producto de estas lluvias.

6.1.1.2 Actualización de los derechos otorgados y en trámite de todo tipo

La actualización de los derechos otorgados y en trámite de todo tipo para los sectores de interés es mostrada en la Tabla 2-26, donde sólo se aplica el DAA con código ND-0302-667, ya que para los demás no se logró identificar la equivalencia entre acciones y volumen.

6.1.1.3 Caudal ecológico

La actualización de los caudales ecológicos en los tres tramos de interés de la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, calculados como se especifica en la metodología expuesta en el Anexo F acápite 2.4.5 del presente informe, tienen como resultado los indicados en la Tabla 6-1.

Tabla 6-1: Caudales ecológicos (l/s) en puntos de interés

Sector	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Totoral Alto	0,1	0,1	0,0	0,1	1,3	3,1	13,4	2,2	2,1	0,7	0,3	0,1
Totoral Medio	2,2	2,3	1,9	2,3	4,7	5,0	15,1	4,7	5,0	3,5	2,7	2,2
Totoral Desembocadura	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	3,1	13,3	1,7	1,5	0,0	0,0	0,0

Fuente: Elaboración propia

6.1.1.4 Oferta hídrica sustentable

Con la información generada en los acápites precedentes, es posible realizar balances hídricos y determinar la oferta hídrica sustentable en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal para cada sector definido por los puntos de interés, desde las subcuencas de cabecera hasta la desembocadura, para desplazar la oferta disponible de cada sección hasta llegar al punto más bajo.

En la Tabla 6-2, Tabla 6-3 y Tabla 6-4 se presentan los resultados determinados según la metodología detallada en Anexo F acápite 2.4.5 y aplicada para los sectores de Totoral Alto, Totoral Medio y Totoral Desembocadura, respectivamente. Los valores coloreados rojo en las filas de saldo eventual y permanente indican inexistencia de oferta hídrica sustentable superficial para el relativo mes.

Tabla 6-2: Balance hídrico para el sector Totoral Alto (m^3/s)

Sector	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Q (P.exc = 5%)	0,0	0,0	1,5	0,3	3,0	3,4	2,0	4,0	0,6	0,4	0,1	0,0
DAA eventuales	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Q (P.exc=85%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DAA permanentes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Q ecológico	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Saldo eventual	0,0	0,0	1,5	0,3	3,0	3,4	2,0	4,0	0,6	0,4	0,1	0,0
Saldo permanente	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-3: Balance hídrico para el sector Totoral Medio (m^3/s)

Sector	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Q (P.exc = 5%)	0,0	0,0	1,6	0,3	3,3	3,9	2,3	4,7	0,7	0,5	0,1	0,1
DAA eventuales	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Q (P.exc=85%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DAA permanentes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Q ecológico	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Saldo eventual	0,0	0,0	1,6	0,3	3,3	3,9	2,3	4,7	0,7	0,5	0,1	0,1
Saldo permanente	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-4: Balance hídrico para el sector Totoral Desembocadura (m^3/s)

Sector	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Q (P.exc = 5%)	0,0	0,0	1,7	0,3	3,3	4,1	2,3	4,9	0,8	0,5	0,1	0,0
DAA eventuales	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Q (P.exc=85%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DAA permanentes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Q ecológico	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Saldo eventual	0,0	0,0	1,7	0,3	3,3	4,1	2,3	4,9	0,8	0,5	0,1	0,0
Saldo permanente	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: Elaboración propia

Para el sector de Desembocadura, correspondiente al tramo final analizado en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, al igual que en toda la cuenca, se mantiene una oferta hídrica eventual positiva, mientras que la oferta hídrica permanente es completamente nula, debido principalmente a que los caudales con probabilidad de

excedencia 85% también son nulos la mayor parte del año. Como la oferta hídrica queda determinada por el resultado calculado en el punto de Desembocadura, se concluye que actualmente no existe disponibilidad para una oferta hídrica superficial de carácter permanente, pero sí de carácter eventual entre los meses de marzo a noviembre, incluyéndolos.

6.1.2 Sustentabilidad de sectores acuíferos DGA

A la fecha de realización de este estudio no existe un manual que defina los criterios de sustentabilidad, aunque si existe el "Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos" del Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH; DGA, 2008) que ha sido utilizado para estudiar cuencas específico por dicho departamento. Sin embargo, los criterios utilizados en el presente estudio fueron establecidos por DGA para los PEGH y que se basan en la Resolución DGA-MOP N°425 (DGA, 2007) y en el Decreto MOP N°203 (MOP, 2013). Estos criterios corresponden al análisis de descensos sustentables, grado de afectación al río, satisfacción de la demanda, pozos secos y análisis de influencia hacia otros sectores, según el detalle presentado a continuación.

- Descensos sustentables: Si los descensos son sostenidos se considera que el volumen de afección sobre el acuífero en el largo plazo (50 años) no debe afectar más allá de un 5% del volumen total del acuífero.
- Afectación al río: Este criterio busca no afectar los recursos superficiales ya comprometidos. El grado de interacción debe ser menor que 10% de los flujos superficiales pasantes en cada una de las zonas, evaluados como el caudal promedio anual de 85% de probabilidad de excedencia.
- Satisfacción de demanda: Para cada sector hidrogeológico, el modelo debe permitir una extracción mínima de un 95% del caudal ingresado como demanda.
- Pozos Secos: En cada sector hidrogeológico no debe haber más de un 5% de pozos desconectados o colgados. En caso contrario el sector quedará cerrado. Esta condición apunta a respetar derechos de terceros sin importar la cantidad que extraiga cada pozo.
- Análisis de Influencia a otros sectores: Se verifica que el aumento de extracciones desde un determinado sector no afecte a la disponibilidad sustentable de otro sector aguas abajo.

De acuerdo a la metodología expuesta en el Anexo F acápite 2.4.6, el estudio de los criterios de sustentabilidad se aplica en aquellos SHAC ubicados dentro del dominio de acople. Para

el análisis de sustentabilidad de los acuíferos, se consideró como base el modelo VF, detallado en el acápite 5.4 más atrás. A pesar de que aquel escenario presenta un periodo de modelación desde 1990 – 2050, los criterios de sustentabilidad se calculan para la ventana de evaluación 2000 – 2050, ya que sólo se requieren 50 años para su cómputo.

6.1.2.1 Análisis de sustentabilidad en SHACs

En la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal actualmente existen dos SHACs definidos por DGA, correspondientes al Totoral Alto y Totoral Bajo. Inicialmente se presenta la condición actual de cada SHAC, definidas a través de la declaración de restricción y prohibición de DGA e identificadas en la Tabla 6-5.

Tabla 6-5: Estado actual de SHACs de la cuenca

SHAC	Estado
Totoral Alto	Zona de Prohibición
Totoral Bajo	Zona de Restricción

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA

Los resultados del análisis de los criterios de sustentabilidad aplicados a la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal se presentan sólo para el SHAC Totoral Alto, ya que este es el único modelado íntegramente a través del acople WEAP – MODFLOW.

i. Criterio 1: Volumen sustentable

Utilizando el valor de la variable de estado nivel freático para cada celda activa dentro del dominio de modelación del modelo acoplado, se obtuvo la variación del volumen para los 50 años de análisis, siendo sus resultados presentados en la Tabla 6-6.

Tabla 6-6: Resultados de criterio volumen sustentable

SHAC	Totoral
Código WEAP	GW_Totoral
Volumen año 2000 (hm^3)	2441,1
Volumen año 2050 (hm^3)	2423,8
Cambio (%)	0,71%
Criterio	Cumple

Fuente: Elaboración propia

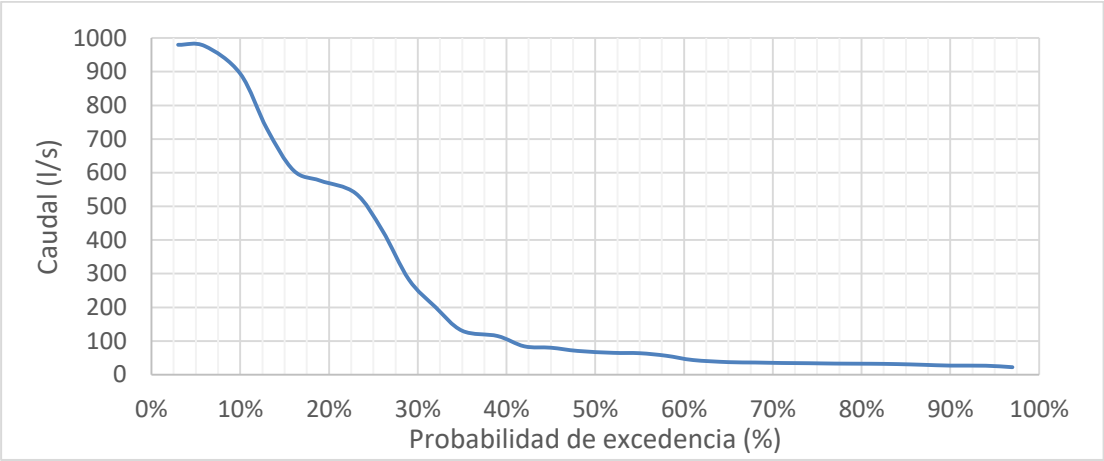
Considerando que el volumen de explotación sustentable para un periodo de 50 años corresponde a una variación máxima del 5%, el SHAC analizado cumple con el primer criterio. Este criterio corresponde al primer filtro, ya que basta con que uno de los criterios

no se cumpla para establecer que no exista oferta sustentable subterránea dentro de la cuenca.

ii. Criterio 2: Interferencia río-acuífero

Este criterio implica inicialmente el cálculo del caudal medio anual con una probabilidad de excedencia del 85% ($Q_{85\%}$). Para ello, en el modelo acoplado se incorporan estaciones de control de flujo superficial a la salida de cada SHAC, de manera de generar la curva de duración de caudales mostrada en la Figura 6-2.

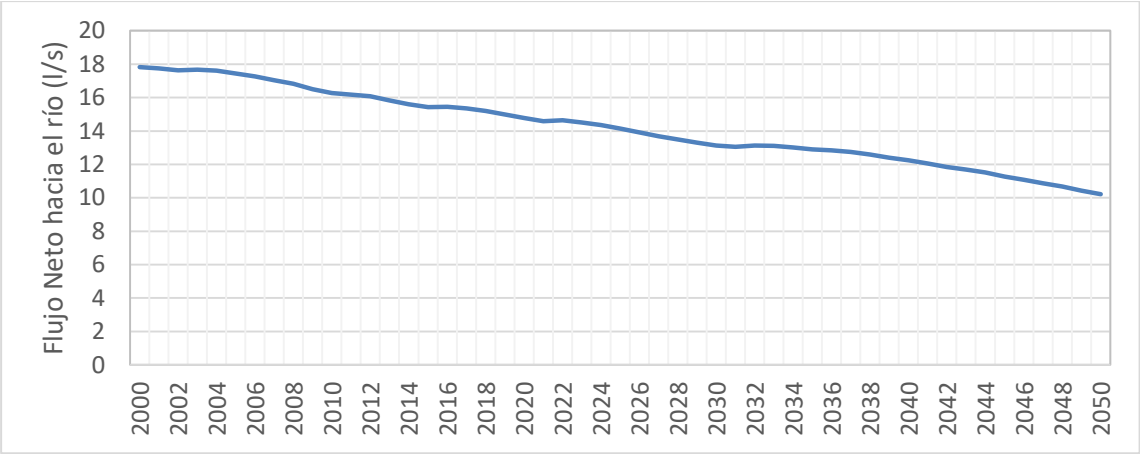
Con aquel valor, se define el caudal máximo de interferencia río-acuífero posible para cada SHAC, correspondiente al 10% del $Q_{85\%}$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-2: Curva de duración de caudales medios anuales en salida del SHAC Totoral Alto. Periodo 1990 – 2019

Se consideran las recargas y afloramientos medios anuales para calcular el grado de interacción río – acuífero, equivalente a la variación del flujo neto hacia el río entre los años 2000 y 2050. El detalle del flujo neto hacía el río se muestra en la Figura 6-3.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-3: Serie de flujo neto desde el acuífero Totoral Alto hacia el río

Se compara aquel valor con el caudal máximo de interferencia pasante a la salida del respectivo SHAC para determinar el cumplimiento del criterio. Los flujos recién mencionados y el resultado del criterio son presentados en la Tabla 6-7.

Tabla 6-7: Resultados de criterio interferencia río-acuífero

SHAC	Totoral Alto
Código WEAP	GW_Totoral
Recarga río año 2000 (l/s) Afloramiento año 2000 (l/s) **Flujo neto hacia el río año 2000 (l/s)**	0,0 17,7 17,7
Recarga río año 2050 (l/s) Afloramiento año 2050 (l/s) **Flujo neto hacia el río año 2050 (l/s)**	0,0 10,2 10,2
Variación de Flujo neto hacia el río en periodo 2000 – 2050 (l/s)	7,6
$Q_{85\%}$ - Caudal medio anual con probabilidad de excedencia del 85% (l/s)	30,8
10% * $Q_{85\%}$ - Máximo caudal de interferencia (l/s)	3,1
Criterio	No Cumple

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo anterior, se concluye que el SHAC Totoral Alto no cumple el criterio de interferencia río-acuífero, ya que la variación del flujo neto hacia el río supera el máximo caudal de interferencia.

iii. Criterio 3: Satisfacción de la demanda

Mediante el escenario de simulación que considera un periodo de 50 años, se determinó el porcentaje de cumplimiento de la demanda subterránea en el SHAC Totoral Alto.

El no cumplimiento de la demanda por parte de una explotación subterránea se asocia a la incapacidad del pozo de seguir bombeando debido al descenso de niveles que deja pozos "colgados" o sin la altura de agua suficiente para la utilización de la bomba. Debido a las limitaciones que presenta el proceso de acople de los modelos subterráneo y superficial, los pozos se han incorporado sin la información de su habilitación y se encuentran con cribas en todo lo alto del estrato. Por lo tanto, para un mejor análisis del presente criterio se considera necesario un mayor detalle en la representación de las explotaciones subterráneas que permitan obtener valores con un menor grado de incertidumbre. El supuesto base considerado para la evaluación de la sustentabilidad, es que el pozo solo deja de bombear si es que la celda en la cual se encuentra se seca. La Tabla 6-8 sintetiza los resultados de la aplicación del criterio.

Tabla 6-8: Resultados de criterio satisfacción de la demanda

SHAC	Totoral Alto
Código WEAP	GW_Totoral
Demanda bruta media 2000 – 2050 (l/s)	63,5
Demanda insatisfecha media 2000 – 2050 (l/s)	2,9
Satisfacción de demanda (%)	95,5%
Criterio	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Los resultados determinan que la satisfacción de demanda para el SHAC Totoral Alto en periodo 2000 – 2050 es levemente superior al umbral impuesto, por lo que cumple el tercer criterio. Se enfatiza que la satisfacción de demandas recién expuesta es un resultado optimista, ya que en la realidad los actores con DAA subterráneos no poseen pozos con una profundidad de habilitación igual a la del estrato acuífero, sino que menor, por lo que la conclusión de este criterio es cuestionable.

iv. Criterio 4: Pozos secos

Debido a que no se dispone de información completa y sistematizada de la profundidad de los pozos de bombeo en la cuenca, no es posible hacer un análisis directo sobre pozos desconectados o colgados. Lo anterior se explica en que si bien el modelo entrega para

cada paso de tiempo el nivel en cada celda, al no contar con la profundidad real de cada pozo, no es posible establecer el punto en que estos quedan o no secos.

v. Criterio 5: Afección a otros sectores

No es posible evaluar el criterio ya que en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal sólo el SHAC Totoral Alto se modela a través del acople WEAP – MODFLOW.

Adicionalmente, el criterio de sustentabilidad DGA de afectación a otros Sectores no tiene una metodología de análisis o un umbral explícitamente definidos. Por lo tanto, no se puede definir el cumplimiento o no cumplimiento de este criterio de manera definitiva.

6.1.2.2 Oferta subterránea sustentable

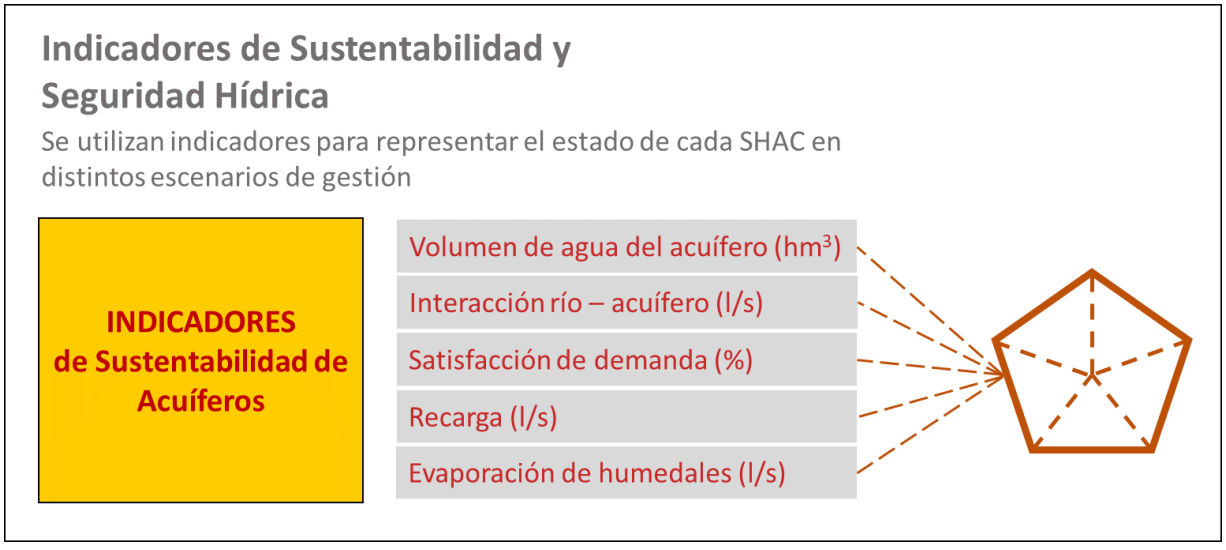
Debido a que ninguno de los SHAC analizados cumple con los criterios de sustentabilidad acuífera, no existe una oferta subterránea sustentable capaz de suplir una mayor demanda a la actual, por lo que no es recomendable el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de carácter subterráneo.

7 INDICADORES HÍDRICOS DE LA CUENCA

Para complementar la evaluación de los resultados presentados en los acápites precedentes, se utilizan Indicadores Hídricos para la sustentabilidad de acuíferos. Se descartan de antemano indicadores de uso del recurso superficial debido a su casi nulo uso dentro de la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal.

Estos Indicadores Hídricos son aquellos criterios que componen la sustentabilidad de sectores acuíferos, por lo tanto, se evalúa en los escenarios de gestión el volumen de agua en el acuífero, interferencia rio – acuífero, y satisfacción de la demanda. No se evalúan los criterios de pozos secos y afección a otros sectores acuíferos en razón a las imposibilidades planteadas en el acápite 6.1.2.1 más atrás. Adicionalmente, se agregan dos aristas externas a los criterios de sustentabilidad establecidos, como la tasa de recarga del acuífero y el flujo evaporativo del humedal Totoral.

Todos los Indicadores Hídricos para la sustentabilidad del acuífero ostentan la misma relevancia y son presentados en la Figura 7-1. Dichos indicadores permiten visualizar el comportamiento a nivel subterráneo y pueden ser utilizados como referencia en el seguimiento y monitoreo del Plan de Acción.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-1: Esquema de Indicadores Hídricos subterráneos

7.1 Resultados de los indicadores

La Tabla 7-1 entrega los valores de los cinco Indicadores Hídricos para la sustentabilidad del acuífero para el periodo Caso Base 1990 – 2019 (90 – 19) y para la Ventana Futura 2021 – 2030 (21 – 30), 2031 – 2040 (31 – 40) y 2041 – 2050 (41 – 50).

Tabla 7-1: Indicadores Hídricos para la sustentabilidad del acuífero. Periodos 1990 – 2019 (CB) y 2021 – 2050 (VF)

Indicador Hídrico	90 – 19	21 –30	31 –40	41 – 50
Volumen de agua en acuífero (hm^3)	2440	2434	2432	2427
Interacción río – acuífero (l/s)	-16,8	-14,0	-12,8	-11,2
Satisfacción demandas (%)	100%	97,8%	95,0%	90,9%
Recarga (l/s)	242,2	214,3	205,7	190,2
Evaporación humedales (l/s)	-142,0	-123,5	-117,3	-107,6

Fuente: Elaboración propia

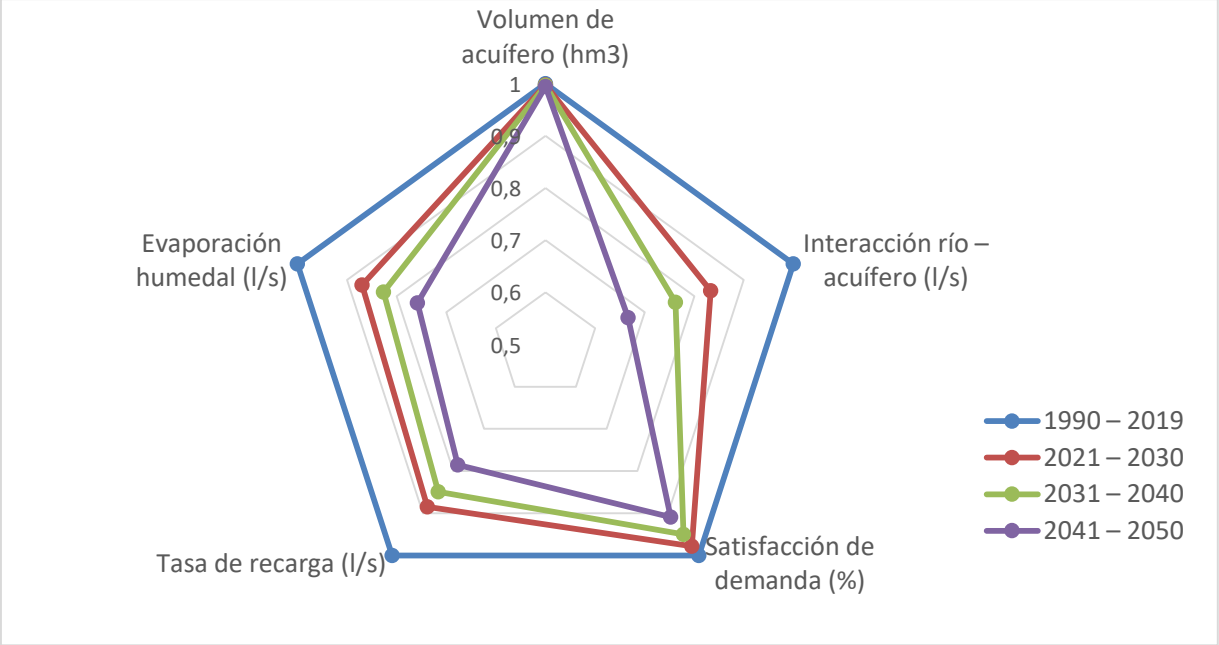
Se observa que en todos los Indicadores Hídricos, los valores asociados al Caso Base siempre son mayores que para la Ventana Futura.

7.2 Comparación de indicadores

Con objetivo de comparar los indicadores entre sí, se utilizan los valores del Caso Base (1990 – 2019) como referencia para convertir a todos los indicadores en valores adimensionales, tal como se detalla en el acápite 2.4.9 del Anexo F.

Por lo tanto, el valor de los Indicadores Hídricos del Caso Base adquiere el valor de 1, mientras que para la Ventana Futura, indicadores mayores a 1 indican una mejora con respecto al Caso Base y menores a 1 un empeoramiento de éste.

La Figura 7-2 muestra un gráfico radial de los valores de los Indicadores Hídricos adimensionales, dónde el escenario CB (1990 – 2019) se sitúa en el valor de 1. En todos los decenios asociados al escenario VF los indicadores empeoran (Tabla 7-1), por lo que las curvas se desplazan hacia dentro del polígono.



Fuente: Elaboración propia

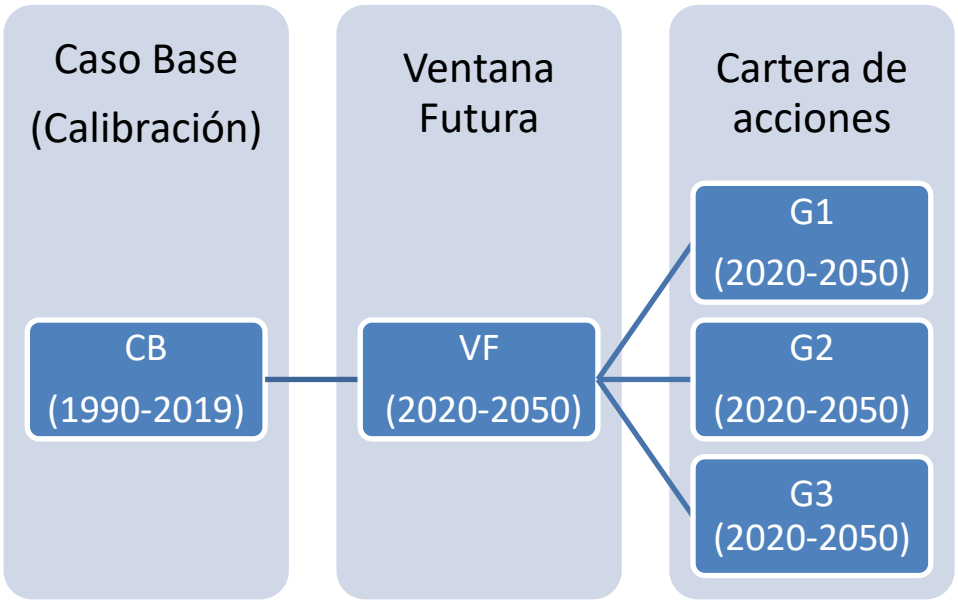
Figura 7-2: Comparación de Indicadores Hídricos adimensionales en escenarios Caso Base (CB) y Ventana Futura (VF)

Se destaca a mientras más alejado temporalmente se evalúan los indicadores, menores son sus valores, lo que da cuenta de problemas a futuro producto del cambio climático. En específico, las mayores disminuciones ocurren para los indicadores Interacción río – acuífero, tasa de recarga y evaporación del humedal, seguido por la Satisfacción de la Demanda. Finalmente, el Volumen del agua en el acuífero también disminuye, pero en menor medida relativa.

8 ESCENARIOS DE GESTIÓN ESPECÍFICOS

En esta sección se presenta el esquema de las distintas acciones que se simulan en WEAP de manera de evaluar su impacto sobre el sistema hídrico en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal. Estas acciones son simuladas en WEAP usando el árbol de escenarios del software. Cada escenario implica cambios con respecto al escenario base, como por ejemplo distintas configuraciones del sistema, cambios en los parámetros de las Unidades Hidrológicas o cambios en las condiciones climáticas de la cuenca.

En la Figura 8-1 se muestran todos los escenarios construidos en el modelo WEAP. El escenario histórico o Caso Base es en el cual se construye todo el sistema y es el escenario usado para la calibración (1990 – 2019).



Fuente: Elaboración propia

Figura 8-1: Esquema de árbol de escenarios modelados en WEAP

8.1.1 Definición de escenarios

A continuación, se detallan los escenarios mostrados en la Figura 8-1 no referidos en secciones anteriores, correspondientes al grupo Carteras de acciones (escenarios G1, G2 y G3). Es relevante recalcar que todas las carteras de acciones se anidan sobre el escenario VF, y por tanto se sustentan en las condiciones meteorológicas generadas por la información del MCG respectivo.

8.1.1.1 Escenario de gestión N°1 (G1)

El presente escenario de gestión implementa el artículo 62 del Código de Aguas (CdA; MOP, 2022), según el sustento metodológico propuesto en el informe "Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca de Maricunga" (DGA, 2021). Este artículo, en su inciso primero señala: "*Si la explotación de aguas subterráneas produce una degradación del acuífero o de una parte de él, al punto que afecte su sustentabilidad, la Dirección General de Aguas, si así los constata, de oficio o a petición de uno o más afectados, deberá limitar el ejercicio de los derechos de aprovechamiento en la zona degradada, a prorrata de ellos, de conformidad a sus atribuciones legales*".

La aplicación del escenario es referente al SHAC Totoral alto de la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, ya que actualmente posee una gran cantidad de DAA otorgados, alcanzando los 578,3 l/s (18,24 hm^3/año). La implementación es en razón al perjuicio que provocaría un aumento en la explotación de las aguas subterráneas, por lo tanto, se evalúa la disminución general en la satisfacción de la demanda legal.

En base a lo postulado, se ejecutan simulaciones que comprenden el periodo 2021 – 2050, implementando la oferta hídrica y recarga subterránea a partir de las mismas proyecciones climática empleadas en el escenario VF y diferentes volúmenes de explotación subterránea, según detalla la Tabla 8-1.

Tabla 8-1: Volumen subterráneo demandado en escenarios de explotación

Escenario explotación	Volumen demandado (%)	Volumen demandado (hm^3/año)
CD10	10%	1,82
CD15	15%	2,74
CD20	20%	3,65
CD25	25%	4,56
CD50	50%	9,12
CD100	100%	18,24

Fuente: Elaboración propia

El análisis a la de satisfacción de demanda realiza mediante la comparación de los entregables del modelo de simulación Demanda de Agua (*Water Demand*) y Demanda No Satisfecha (*Unmet Demand*), para todos los sub – escenarios.

A partir de los resultados de cada uno de los escenarios, se determinan las variaciones del volumen efectivo entregado a los actores, lo cual permite generar curvas de satisfacción general de la demanda para ambas cuencas, en función del porcentaje de volumen total

que puede explotarse en la cuenca. Con dichas curvas se podrá inferir, mediante interpolación, el volumen promedio de explotación que represente el volumen susceptible de extraerse entre 2021 y 2050, dada la configuración espacial de extracciones que potencialmente pueden minar el acuífero.

8.1.1.2 Escenario de gestión N°2 (G2)

Este escenario de gestión utiliza la misma proyección climática considerada en el escenario base (VF), y es complementado con un aumento proyectado de las demandas en la cuenca, según se detalla a continuación.

La proyección de demanda de agua potable rural hasta el año 2050 se basa en la información contenida en el estudio DGA-DOH (2019) y una dotación a nivel de usuario de 100 l/hab/día, de acuerdo con lo presentado en el acápite 3.1.2 más atrás. El total de la demanda APR está asociada extracciones subterráneas por lo que no se debe considerar por esto una variación en la demanda superficial. El aumento se realizó sobre los pozos existentes, de acuerdo con la discretización del modelo WEAP, y no representa un análisis específico del punto de captación, sino un análisis más general a nivel de SHAC y cuenca, acorde a los objetivos del presente estudio.

La estimación de la demanda agrícola utiliza la proyección de superficies agrícolas de riego realizada por DGA (2017a), estudio en el cual hizo una proyección de la demanda considerando los censos agrícolas y frutícolas. Dentro de sus anexos incluyen la proyección por distrito censal en la cuenca, lo cual se distribuyó por zona de riego al igual que en el acápite 2.4.8.1 del Anexo H. En la Tabla 8-2 se presentan las proyecciones por cultivo hasta el año 2050.

Tabla 8-2: Superficies agrícolas de riego (ha) proyectadas para distintos grupos de cultivo en cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal

Distrito	Nombre WEAP	ID Cultivo	2020	2030	2040	2050
Castilla (0310113)	ZR_HCastilla	CER	0,1	0,1	0,2	0,3
		FOP	1,6	2,0	2,4	2,8
		HOR	0,0	0,0	0,0	0,0
		VIÑ	0,0	0,0	0,0	0,0
		FRU	18,5	20,8	23,0	25,2
		Total	**20,2**	**22,9**	**25,6**	**28,3**
Totoral (0310122)	ZR_Totoral	CER	0,0	0,0	0,0	3,5
		FOP	0,1	0,1	0,1	0,1
		HOR	0,4	0,0	0,0	0,0
		VIÑ	0,0	0,0	0,0	0,0
		FRU	6,7	7,0	7,4	7,8
		Total	**7,2**	**7,1**	**7,5**	**11,4**

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2017a).

Para la estimación futura de la demanda de uso minero, el estudio DGA (2017a) determina que no existirán aumentos en recurso utilizado, por lo que se mantienen constantes los requerimientos mineros hasta 2050 en base a su valor determinado para 2019.

8.1.1.3 Escenario de gestión N°3 (G3)

Este escenario de gestión utiliza la misma proyección climática considerada en el escenario base (VF) y replica las estimaciones de la demanda del escenario G2, pero incorporando una nueva iniciativa de disminución en el uso de DAA para algunos sectores en la cuenca.

En el caso de la minería y el agua potable rural, se plantea la sustitución total del agua demandada, por medio de la utilización de agua desalada a partir del año 2030. Se estima que se liberarían 0,44 hm^3/año, equivalente al 19% de la demanda de agua total en la cuenca.

Se hace notar que este es un escenario hipotético de largo plazo, ya que para implementar tecnologías de desalación se requieren de fuertes inversiones, además de requerirse grandes cantidades de energía, en conjunto con un intenso trabajo comunitario entre actores públicos y privados.

8.1.2 Resultados de escenarios de gestión

En la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal casi la totalidad de la demanda hídrica es de carácter subterráneo, por lo que las carteras de acciones se

enfocan en gestiones orientadas a mejorar el uso del agua almacenada en el acuífero, en desmedro de gestiones que preserven el recurso superficial, ya que este es escaso por naturaleza e históricamente no representa un uso relevante en la cuenca. En razón de aquello, los efectos de todas las acciones no presentan un impacto sobre el caudal superficial, por lo que sólo se presentan los resultados de los escenarios de gestión en términos del balance subterráneo y la satisfacción de la demanda subterránea.

8.1.2.1 Curvas volumen demandado – Satisfacción de la demanda

La Tabla 8-3 presenta el balance hídrico subterráneo promedio para el periodo de simulación 2021 – 2050 para cada uno de los modelos asociados a la implementación del artículo 62. Se observa que por efecto del cambio climático existe una reducción en las entradas del modelo hidrogeológico asociado a la merma en precipitaciones. Como es de esperar, a medida que aumenta el volumen de explotación máxima, la reducción en el almacenamiento del acuífero aumenta proporcionalmente.

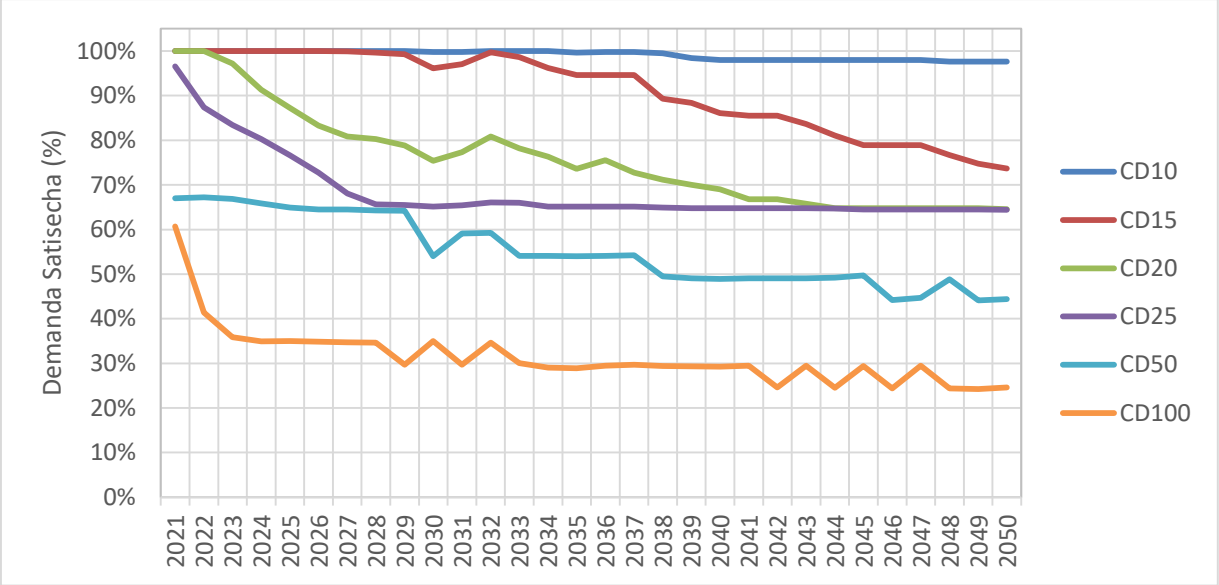
Tabla 8-3: Balance hídrico subterráneo (l/s) de sub – escenarios Art 62 CdA

Sub – escenario	CD10	CD15	CD20	CD25	CD50	CD100
Entradas (l/s)						
Flujo subterráneo	207	207	206	206	205	204
Recarga río	0	0	0	0	0	0
Recarga superficial	9	9	9	9	9	9
Ineficiencia riego	1	1	1	1	0	0
Total	217	217	216	216	215	213
Salidas (l/s)						
Flujo subterráneo[1]	-39	-37	-36	-34	-28	-26
Afloramiento río	-13	-13	-13	-13	-12	-12
Evapotranspiración[2]	-119	-101	-95	-90	-52	-42
Demandas antrópicas	-58	-101	-89	-90	-151	-160
Total	-229	-232	-233	-235	-243	-240
Variación del almacenamiento (l/s)	**-12**	**-15**	**-17**	**-19**	**-29**	**-27**

[1] corresponde al flujo que transita desde el sector acuífero Totoral hacia el de Carrizal.
[2] considera exclusivamente la evapotranspiración en el sector del humedal Totoral.

Fuente: Elaboración propia

Considerando que la aplicación del artículo 62 del CdA en la cuenca es sobre el perjuicio a los titulares de los derechos, corresponde revisar la satisfacción proyectada de las demandas. Se presenta en la Figura 8-2 la variación de la satisfacción de las demandas conjunta de los titulares, para cada escenario de evaluación en el periodo 2021 – 2050.



Fuente: Elaboración propia

Figura 8-2: Satisfacción de la demanda de los titulares proyectada

El valor promedio de la demanda satisfecha en el periodo de evaluación 2021 – 2050 es comparado para cada modelo de simulación y presentado en la Tabla 8-4.

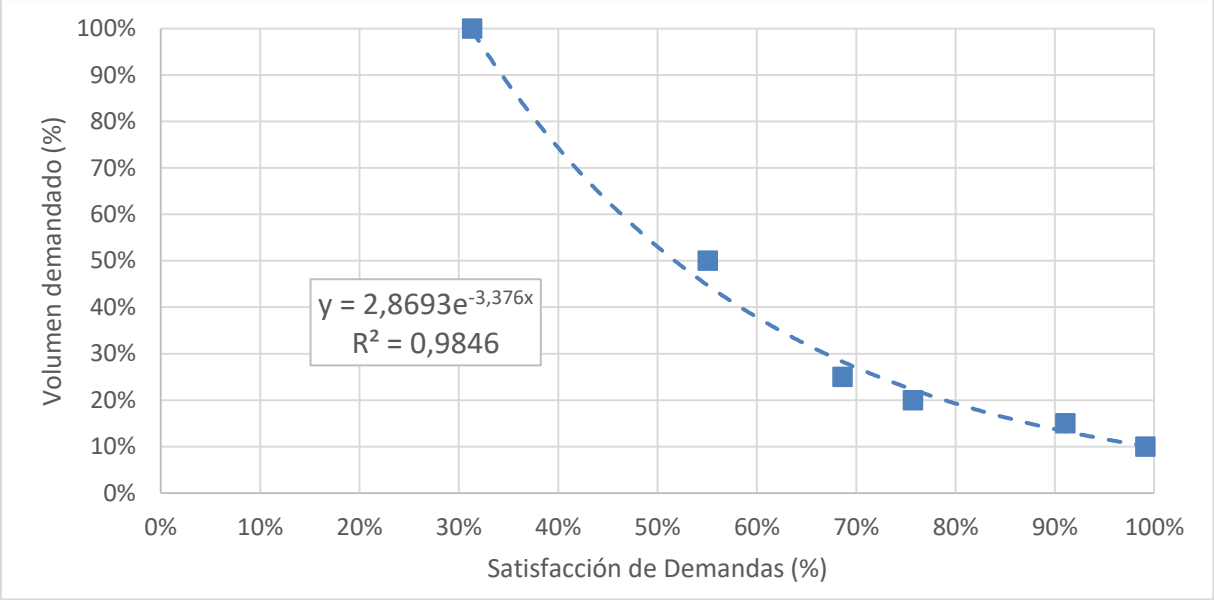
Tabla 8-4: Satisfacción de demandas promedio en periodo 2021 – 2050

Escenario	**CD10**	**CD15**	**CD20**	**CD25**	**CD50**	**CD100**
Satisfacción de demanda	99%	91%	76%	69%	55%	31%

Fuente: Elaboración propia

Considerando que la primera causal del artículo 62 precisa que existe un perjuicio a otros usuarios cuando se demuestra una interferencia de tal magnitud que afecten en una proporción igual o superior al 15% de la capacidad de extracción en relación al caudal instantáneo señalado en los títulos; el volumen promedio máximo de explotación futuro debe ser el que asegure una satisfacción de demanda promedio mínima del 85% en el periodo 2021 – 2050.

Para determinar el porcentaje especifico, se ajustó una curva exponencial entre los resultados de los escenarios. Por lo tanto, el caudal estimado, que respondería a una satisfacción de demanda promedio del 85% en el periodo 2021 – 2050 correspondería a un 16,3% del volumen total de la demanda subterránea de la cuenca, equivalente a 94 l/s (2,97 hm^3/año), tal como se presenta en la Figura 8-3.



Fuente: Elaboración propia

Figura 8-3: Curva Volumen demandado – Satisfacción de la demanda

Finalmente, se recalca que todos los resultados son producto de la conceptualización planteada en el acápite 8.1.1.1 más atrás, en específico, el supuesto clave es que todos los titulares ejercen sus DAA en la misma proporción en todos los sub – escenarios de explotación, lo cual es una simplificación de la realidad, sin embargo, es la única forma posible de evaluación.

8.1.2.2 Balance subterráneo

En la Tabla 8-5 se presenta una comparación del balance en el acuífero en la ventana futura 2021 – 2050 y el último año de simulación, entre el escenario futuro base (VF) y las gestiones G2 y G3. La diferencia entre estos escenarios corresponde fundamentalmente a modificaciones de la demanda subterránea, producto de la proyección de los requerimientos de agua potable rural, agrícola y minería.

En todos los escenarios los flujos de entradas permanecen constantes, ya que las condiciones meteorológicas proyectadas son iguales en todos los escenarios futuros. En los flujos de salida, G2 presenta un aumento en las demandas antrópicas y una disminución en la evapotranspiración.

Tabla 8-5: Comparación balance subterráneo, periodo futuro y último año

Periodo	2021 – 2050			2050		
Flujos	**VF**	**G2**	**G3**	**VF**	**G2**	**G3**
Entradas (l/s)						
Flujo subterráneo	201	201	201	181	182	182
Recarga río	0	0	0	0	0	0
Recarga superficial	9	9	9	1	1	1
Ineficiencia riego	7	7	7	6	7	7
Total	217	217	217	189	190	190
Salidas (l/s)						
Flujo subterráneo[1]	-36	-36	-36	-34	-33	-31
Afloramiento río	-12	-12	-12	-10	-10	-10
Evapotranspiración[2]	-111	-108	-110	-101	-94	-98
Demandas antrópicas	-69	-74	-71	-61	-78	-74
Total	-229	-231	-229	-206	-216	-213
Variación del almacenamiento (l/s)	**-12**	**-14**	**-12**	**-17**	**-26**	**-24**

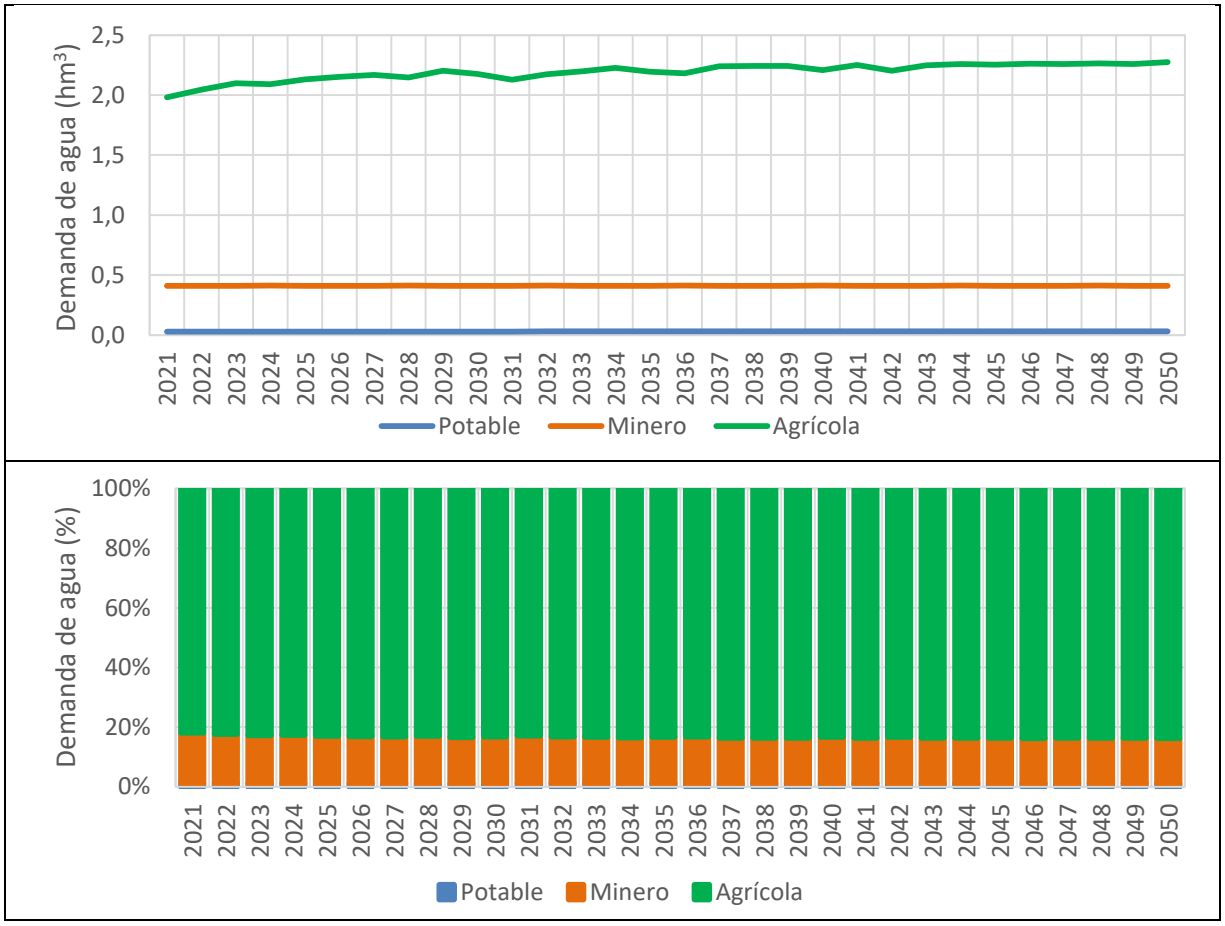
[1] corresponde al flujo que transita desde el sector acuífero Totoral hacia el de Carrizal.
[2] considera exclusivamente la evapotranspiración en el sector del humedal Totoral.

Fuente: Elaboración propia con antecedentes CPA

Se destaca que en los escenarios VF, G2 y G3, la magnitud del volumen de agua subterránea demandada por los actores depende directamente del uso que estos le otorguen al recurso y en ningún caso todos los titulares ejercen su derecho en una misma proporción, como en la conceptualización del escenario G1, por lo que los resultados de este último escenario y sus sub – escenarios no resultan comparables, razón por la cual no se integran en este acápite.

8.1.2.3 Brecha hídrica y Demanda de agua

A continuación, se cuantifican los valores de la demanda de agua brecha hídrica y de la cuenca de las gestiones G2 y G3. La Figura 8-4 muestra las demandas de agua del modelo WEAP según la los supuestos del escenario G2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 8-4: Demanda de agua en la cuenca por tipo (panel superior) y como porcentaje del total (panel inferior) en escenario futuro G2

Se observa que la demanda hídrica asociada a la agricultura es predominante en el escenario G2, requiriendo 2,28 hm^3 al año 2050. Considerando que la demanda total en la cuenca para aquel año es de 2,72 hm^3, en la situación actual el sector agrícola abarca el 84% de la demanda bruta consuntiva en toda la cuenca.

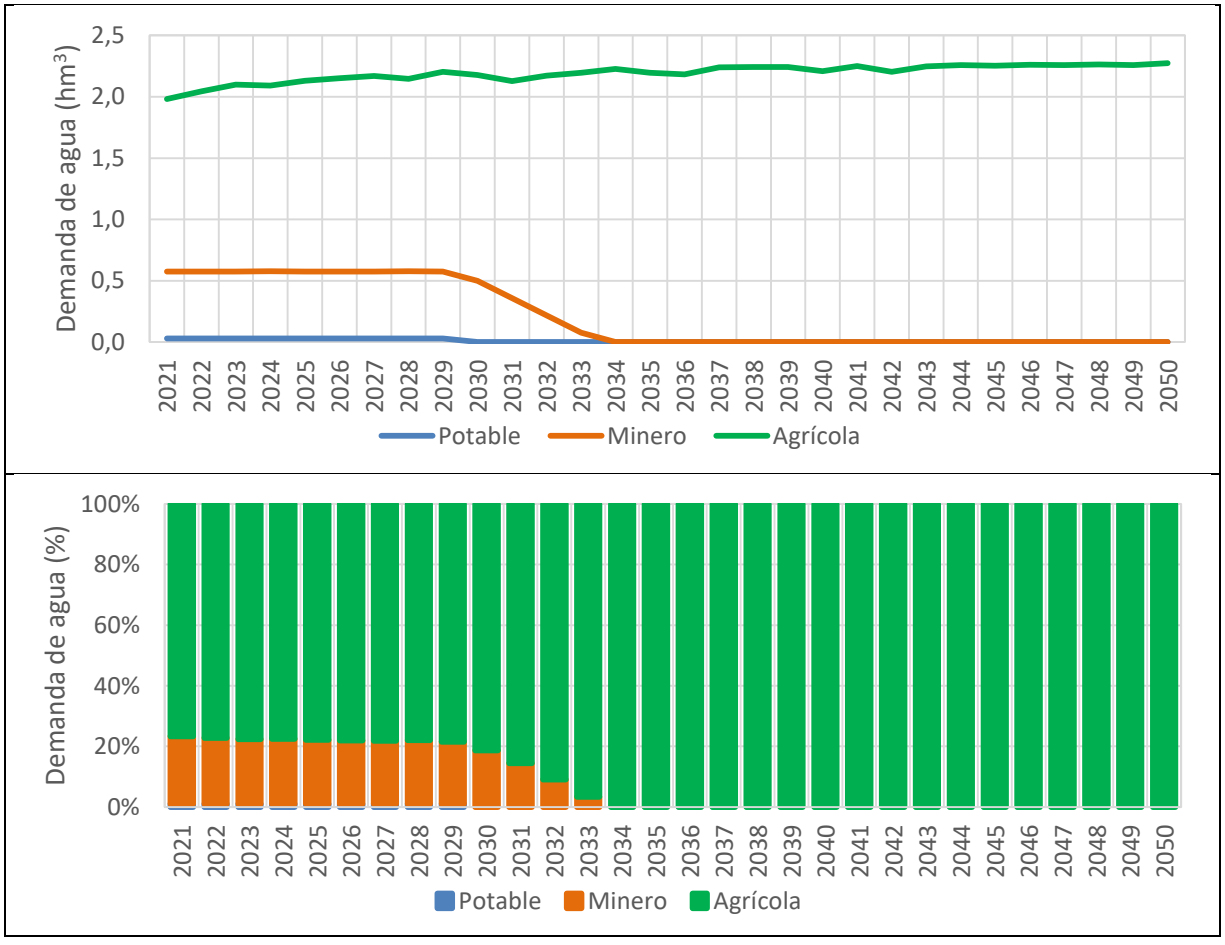
A pesar que la minería tiene un rol menor dentro de las demandas consuntivas de la cuenca, la brecha hídrica en la asociada a ella es la más relevante, alcanzando los 0,16 hm^3/año como promedio del periodo 2021 – 2050 (87% del total). Esto se explica debido a que la ubicación de los DAA con aquel uso está sobre los sectores donde hay importantes disminuciones del agua subterránea almacenada a futuro. Finalmente, se presenta en la Tabla 8-6 la síntesis de la demanda bruta de agua y la brecha hídrica en la cuenca, sectorizadas por el uso del agua.

Tabla 8-6: Síntesis de demanda de agua y brecha hídrica en escenario G2

Tipo	Demanda bruta de agua				Brecha hídrica			
Periodo	**2021 – 2050**		**2050**		**2021 – 2050**		**2050**	
Unidad	**hm³**	**%**	**hm³**	**%**	**hm³**	**%**	**hm³**	**%**
Potable	0,03	1%	0,03	1%	0,00	0%	0,00	0%
Minería	0,41	16%	0,41	15%	0,16	87%	0,24	60%
Agrícola	2,19	83%	2,28	84%	0,02	13%	0,16	40%
Total	2,63	100%	2,72	100%	0,18	100%	0,40	100%

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra en la Figura 8-5 las demandas de agua del modelo WEAP según la los supuestos del escenario G3



Fuente: Elaboración propia

Figura 8-5: Demanda de agua en la cuenca por tipo (panel superior) y como porcentaje del total (panel inferior) en escenario futuro G3

Se observa que la demanda hídrica asociada a la agricultura continua como predominante en el escenario G3, requiriendo 2,28 hm^3 al año 2050 y abarcando el 100% de la demanda bruta consuntiva de la cuenca. Finalmente, se presenta en la Tabla 8-7 la síntesis de la demanda bruta de agua y la brecha hídrica en la cuenca, sectorizadas por el uso del agua.

Tabla 8-7: Síntesis de demanda de agua y brecha hídrica en escenario G3

Tipo	**Demanda bruta de agua**				**Brecha hídrica**			
Periodo	**2021 – 2050**		**2050**		**2021 – 2050**		**2050**	
Unidad	**hm^3**	**%**	**hm^3**	**%**	**hm^3**	**%**	**hm^3**	**%**
Potable	0,01	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
Minería	0,21	9%	0,00	0%	0,08	87%	0,00	0%
Agrícola	2,19	91%	2,28	100%	0,01	13%	0,03	100%
Total	2,41	100%	2,28	100%	0,09	100%	0,03	100%

Fuente: Elaboración propia

8.1.2.4 Indicadores Hídricos para la sustentabilidad de acuíferos

La Tabla 8-8 entrega los valores de los cinco Indicadores Hídricos para la sustentabilidad del acuífero, definidos en el acápite 6.1.2.1 más atrás, para el escenario CB (90 – 19) y para el escenario futuro G2 en los decenios 2021 – 2030 (21 – 30), 2031 – 2040 (31 – 40) y 2041 – 2050 (41 – 50).

Tabla 8-8: Indicadores Hídricos para la sustentabilidad del acuífero. Periodos 1990 – 2019 (CB) y 2021 – 2050 (G2)

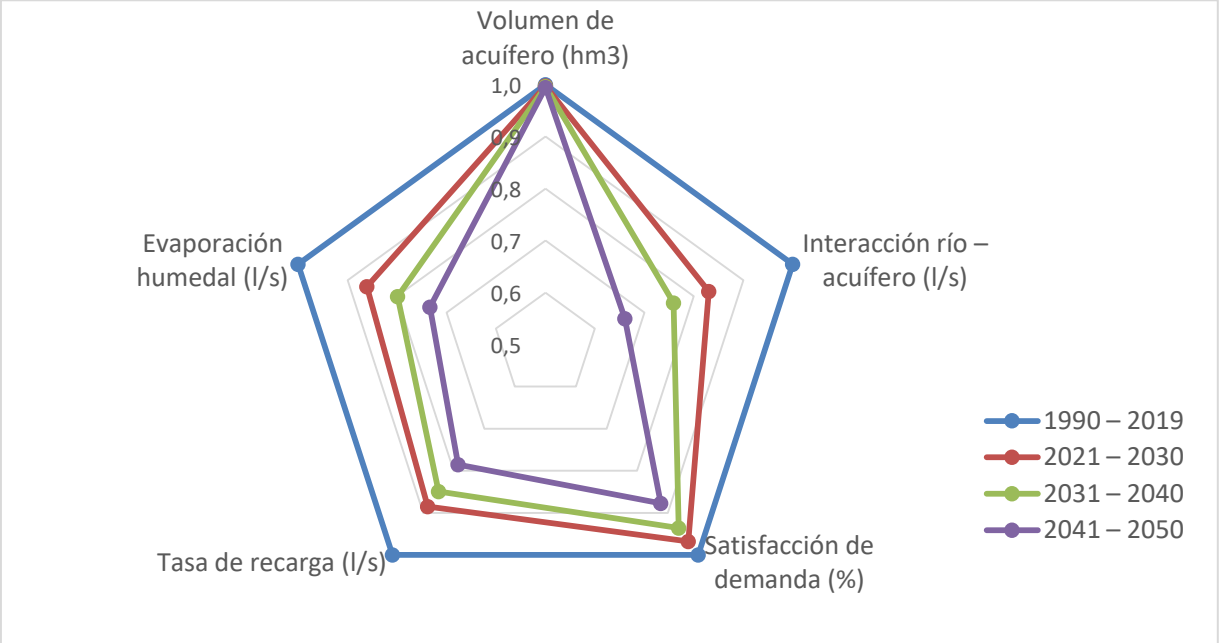
Indicador Hídrico	**90 – 19**	**21 –30**	**31 –40**	**41 – 50**
Volumen de agua en acuífero (hm^3)	2440	2434	2431	2426
Interacción río – acuífero (l/s)	-16,8	-14,0	-12,8	-11,1
Satisfacción demandas (%)	100%	96,8%	93,6%	87,7%
Recarga (l/s)	242,2	214,3	205,7	190,2
Evaporación humedales (l/s)	-142,0	-122,2	-113,5	-104,2

Fuente: Elaboración propia

Comparativamente a los indicadores asociados al escenario VF, se observa que el Volumen de agua en el acuífero y la interacción río – acuífero disminuyen sutilmente a partir del decenio 31 – 40 y 41 – 50, respectivamente. Mayor diferencia se encuentra para la Satisfacción de la demanda, donde es esperable que en el escenario G2 disminuya en todos los decenios producto del aumento en las demandas proyectadas. La recarga proyectada permanece en constante descenso, pero igual en ambos escenarios debido a que es un factor climático externo al uso que se le da al acuífero. Finalmente, la Evaporación de

humedales disminuye en el escenario G2, producto de la baja en el nivel freático de la napa subterránea, asociado a la mayor extracción antrópica y una menor recarga natural.

Se presentan en la Figura 8-6 los resultados de la variación de los Indicadores Hídricos adimensionales, que ilustra que mientras más alejado temporalmente se evalúan los indicadores, menores son sus valores, lo que da cuenta de posibles problemas a futuro.



Fuente: Elaboración propia

Figura 8-6: Comparación de Indicadores Hídricos adimensionales en escenarios Caso Base (CB) y Gestión 2 (G2)

La Tabla 8-9 muestra los valores de los cinco Indicadores Hídricos para la sustentabilidad del acuífero para el escenario CB (90 – 19) y para el escenario futuro G3 en los decenios 2021 – 2030 (21 – 30), 2031 – 2040 (31 – 40) y 2041 – 2050 (41 – 50).

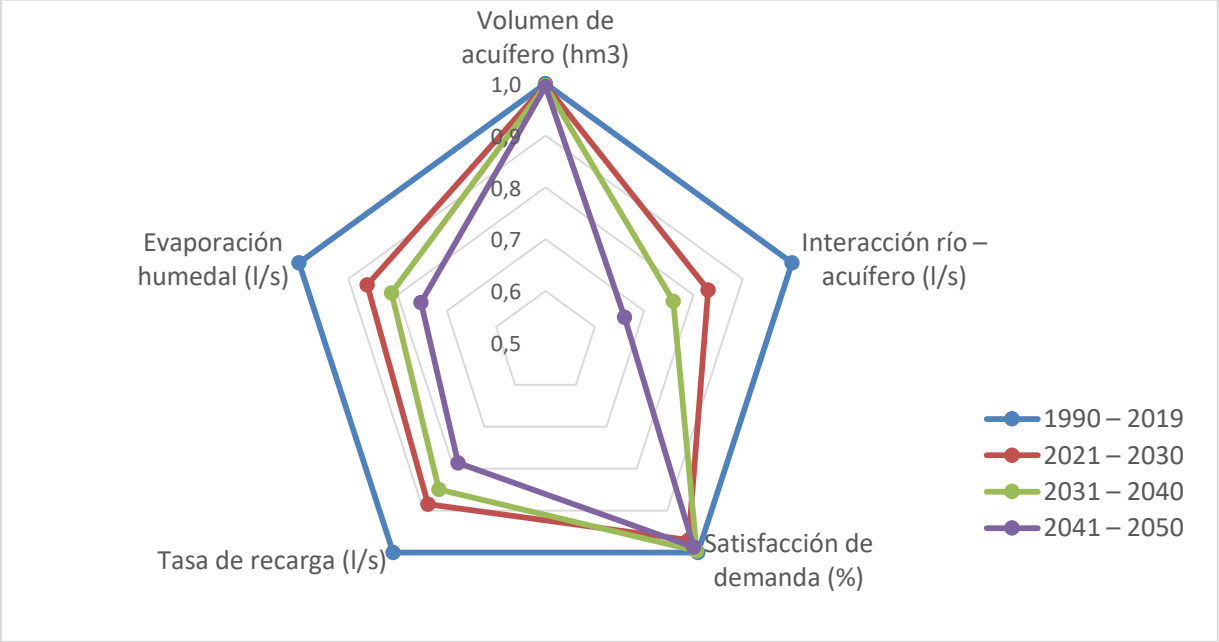
Tabla 8-9: Indicadores Hídricos para la sustentabilidad del acuífero. Periodos 1990 – 2019 (CB) y 2021 – 2050 (G3)

Indicador Hídrico	90 – 19	21 –30	31 –40	41 – 50
Volumen de agua en acuífero (hm^3)	2440	2434	2431	2427
Interacción río – acuífero (l/s)	-16,8	-14,0	-12,8	-11,1
Satisfacción demandas (%)	100%	97,0%	99,6%	98,7%
Recarga (l/s)	242,2	214,3	205,8	190,2
Evaporación humedales (l/s)	-142,0	-122,3	-115,3	-106,9

Fuente: Elaboración propia

Comparativamente a los indicadores asociados al escenario VF, la mayor diferencia se encuentra para la Satisfacción de la demanda, donde es esperable que para el escenario G3 esta aumente a partir del decenio 31 – 40 ya que la demanda antrópica decrece a partir de 2030 en algunos sectores de la cuenca. La recarga proyectada permanece en constante descenso, pero igual en ambos escenarios debido a que es un factor climático externo al uso que se le da al acuífero. Finalmente, la Evaporación de humedales disminuye en el escenario G3, producto de la baja en el nivel freático de la napa subterránea, asociado principalmente a la mayor extracción antrópica en el sector cercano al humedal y a una menor recarga natural.

Se presentan en la Figura 8-7 los resultados de la variación de los Indicadores Hídricos adimensionales, que ilustra que mientras más alejado temporalmente se evalúan los indicadores, menores son sus valores, con excepción de la Satisfacción de la demanda.



Fuente: Elaboración propia

Figura 8-7: Comparación de Indicadores Hídricos adimensionales en escenarios Caso Base (CB) y Gestión 3 (G3)

9 COMENTARIOS

En el siguiente capítulo se presentan comentarios generales y limitaciones asociadas a la modelación integrada. Estos enunciados tienen que ver con las ventajas y limitaciones de la conceptualización presentada y de los softwares y paquetes disponibles.

9.1 Comentarios generales del modelo acoplado

El modelo WEAP se basa en algunas definiciones de un modelo simplificado construido para la cuenca completa de las cuencas Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal. El modelo subterráneo corresponde a un modelo heredado construido en una grilla estructurada de gran tamaño, por lo tanto, el enfoque está en resultados globales a escala de cuenca, en la sostenibilidad, disponibilidad y gestión hídrica. En otras palabras, producto de sus definiciones de origen su foco no es un modelo de detalle dado el tamaño de sus celdas y la conceptualización topológica.

El modelo acoplado se realiza en un software de licencia pagada, lo que limita su operación a múltiples usuarios, por lo tanto, la herramienta no permite el libre acceso a todos los usuarios interesados en operarlo o revisar escenarios. La modificación de las condiciones subterráneas necesita un conocimiento específico del área, pero es factible de realizar en software de licencia libre como Model Muse o utilizando herramientas de programación orientada a objetos como *Python*.

9.2 Limitaciones identificadas en el desarrollo del modelo

La calidad de la información en la zona es una de las principales brechas en el desarrollo del modelo acoplado. Esta escasa información trae consigo incertidumbres.

La discordancia entre los distintos MCG con respecto a la variación de la precipitación, dificultan la decisión de modelación con respecto a los escenarios de cambio climático y es necesario realizar un análisis de sensibilidad con respecto a esta variable.

Existe escasez de pozos de observación que cubran espacialmente el dominio modelado, eso trae perjuicios en la calibración, por tanto, se hace urgente la instrumentación en la zona de estudio (dominio del modelo subterráneo).

El grillado del modelo de 200 x 200 trae consigo consecuencia en la precisión del cálculo de niveles, no sólo en las celdas donde existen extracciones subterráneas y donde hay celdas tipo *River o Drain*, sino también en la precisión de los niveles subterráneos a lo largo del dominio. Se recomienda refinar en dichos sectores a grillas hasta de 25 x 25

metros si se cuenta con modelos de elevación digital de resolución de 12,5 metros, considerando un refinamiento intermedio entre las celdas de lado 200 metros y de las de 25 m. No se considera el refinamiento para los modelos integrados, ya que su función es ver disponibilidad a escala de cuenca y agregar forzantes climáticas con productos grillados como inputs a los modelos. Para solucionar estos problemas y estudiar la cuenca, se recomienda un modelo con malla no estructurada y refinamientos locales alimentado con forzantes obtenidas de un modelo integrado como el realizado en este estudio.

9.3 Brechas de modelación subterránea

Con respecto al modelo conceptual, las principales brechas tienen que ver con la forma del acuífero, esto desde la perspectiva de completar y complementar la geofísica y perforaciones exploratorias existente, para generar un buen modelo hidrogeológico conceptual. Esto tiene que ver con caracterizar la parte alta del acuífero para precisar los mecanismos de recarga, tener mejores estimaciones de los sectores de angostamiento a la salida del sector acuífero modelado, de su forma, altura de niveles freáticos, formaciones geológicas, calidad de la roca que se considera impermeable, etc. En cuanto a la parte central del acuífero, definir de forma más precisa su profundidad, estratificación y distribución espacial de sus formaciones geológicas, para también obtener de manera más precisa su almacenamiento total.

Dado que la principal salida de agua del sistema o de la cuenca subterránea corresponde a la evapotranspiración, es importante tener buenas estimaciones y mediciones de dicho parámetro (mediciones en distintas estaciones y lugares realizadas con lisímetros o domos), como también comparar los modelos simplificados lineales en dos tramos con los de decaimiento exponencial de la evapotranspiración en función de la profundidad del nivel freático, para saber qué tan diferente es la aproximación lineal del fenómeno con los modelos exponenciales.

Es necesario tener más pruebas de bombeo y de mayor duración, para tener valores medidos de los parámetros elásticos del acuífero que sean representativos de la escala de cuenca, asimismo se considera insuficiente la cantidad y distribución de pozos de observación que cuenten con mediciones a lo largo del tiempo. Se propone la implementación de monitoreos comunitarios y participativos, en donde diversos actores puedan aportar con datos, lo que permite mayor distribución espacial de las mediciones

y una mayor cantidad de datos para calibrar futuros modelos. Todo lo anterior sujeto a algún tipo de auditoria o filtro de calidad de los datos.

El último aspecto a considerar como brecha de modelo conceptual se asocia a los mecanismos de recarga, esto tiene que ver con la capacidad de infiltración directa desde la superficie de la escasa precipitación que cae sobre el acuífero. Es necesario más mediciones de la capacidad de infiltración versus lo que se evapora luego de eventos de tormenta de distintas magnitudes, para confirmar o descartar, que gran parte de la recarga del acuífero viene desde las zonas altas, donde la precipitación es mucho mayor y existe presencia de rellenos aluviales y gravitacionales no consolidados, con mayor tamaño de grano y conductividad que los presentes en los valles, por lo tanto, facilitan la infiltración.

9.3.1 Condiciones de borde

Las condiciones de borde de entrada de caudales laterales, correspondiente a la interacción entre el dominio del modelo acoplado y el resto del modelo, son calculadas en función del volumen del sector acuífero de aguas arriba (en este caso acuíferos de laderas o zonas de recarga), valor que viene con un nivel de incertidumbre, dado que falta información de interacción entre el acuífero modelado y las cuencas de cabeceras e información sobre los mecanismos de recarga, a pesar de ser una condición de borde dinámica no representa de la mejor manera el fenómeno.

Se considera como brecha determinar la condición de borde de caudal de salida dependiente de los niveles subterráneos medidos, ya que para el modelo presentado se consideró una condición de altura constante en la salida de ambas subcuencas subterráneas.

Se debe mejorar la topografía en las zonas bajas o sectores de salida, ya que la interpolación del modelo de elevación digital en la resolución correspondiente y el tamaño de la grilla genera imprecisiones en dichos sectores, lo que se tradujo en errores en las cotas, cálculos imprecisos de la evapotranspiración y otros problemas asociados a la imprecisión de la cota de terreno y la profundidad del modelo producto de la calidad de la información y el tamaño de la grilla. Complementario a esto, se propone refinar la grilla (al menos a la mitad) en dichas zonas de angostamiento, a sabiendas de que, para el acople disponible, se tendrá que refinar todas las filas y columnas involucradas.

Para la interacción río/acuífero, la cuenca no posee control fluviométrico, dado la inexistencia de flujos permanentes. Se necesita estimar de una mejor forma los valores del parámetro conductancia, correspondiente a la tasa de interacción río/acuífero.

Otra brecha a considerar, son los valores de los parámetros de evapotranspiración, es decir, la profundidad de extinción (en metros) y el valor de evapotranspiración en superficie (mm/año), es decir, el valor máximo para la evaporación desde el suelo o evapotranspiración. Asimismo, como ya se mencionó en la sección de brechas de modelo conceptual, el valor de la recarga por precipitación debe ser estimado de una forma más prolija, esto significa incluir mediciones de campo que confirmen la tasa de infiltración correspondiente a cada rango de precipitaciones, para así introducir dichas tasas al modelo numérico.

9.3.2 Motores y Solvers permitidos

Con respecto a los motores y *solvers* se trabajó con el Motor MODFLOW-NWT, ya que permite la opción de "*Rewetting*" de las celdas sin experimentar inestabilidad numérica como el motor MODFLOW-2005, para el caso particular de este modelo.

Se recomienda incluir el motor MODFLOW-USG, dado el tamaño de las cuencas en estudio y la necesidad de disminuir la cantidad de celdas y a la vez refinar en los lugares de interés para tener mayor precisión, en particular en el sector de la desembocadura en Carrizal y Totoral, donde se requiere más detalles. Este Motor permitiría realizar un modelo subterráneo de la cuenca que no contenga una cantidad de celdas en exceso, sino que una cantidad más adecuada, en función de las necesidades de precisión y los lugares donde se debe profundizar el estudio, permitiendo a su vez, mejoras en la caracterización de la evapotranspiración y recargas desde la ladera, como también en la interacción entre sectores acuíferos en general. Toda esta mejora, debe ser acompañada de instrumentación en toda la zona y mejoras de las estaciones de monitoreo.

9.4 Metodología de cuantificación de la brecha hídrica

La brecha hídrica en las cuencas Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal se define como la cantidad del requerimiento de agua no satisfecho para cada sitio de demanda. En estas cuencas, la totalidad de la oferta legal del recurso hídrico en la cuenca proviene desde fuentes subterráneas, salvo algunas excepciones; por lo que se puede entender a la brecha hídrica de la cuenca como equivalente a la brecha hídrica subterránea.

Una de las limitaciones del acople de modelos WEAP – MODFLOW radica en que no es posible agregar la información de la profundidad de habilitación de los pozos, sino que sólo es permitido indicar la capa (*layer*) desde la cual el sitio de demanda puede bombear agua. Como el modelo subterráneo se constituye de una capa, todos los sitios de demanda subterráneos extraen agua desde aquella capa, lo que es equivalente a que se encuentran con cribas en todo lo alto del estrato. Esta conceptualización tiene como consecuencia que el pozo sólo deja de bombear si es que la celda en la cual se encuentra se seca.

Como en la realidad los actores con DAA subterráneos no poseen pozos con una profundidad de habilitación igual a la del estrato acuífero, sino que menor, los resultados de la brecha hídrica siempre estarán subestimados. Por lo tanto, para un mejor análisis de la brecha hídrica subterránea se considera necesario un mayor detalle en la representación de las explotaciones subterráneas que permitan obtener valores con un menor grado de incertidumbre.

ANEXO I

PAC

ÍNDICE

1 ANTECEDENTES PAC 1

1.1 INTRODUCCIÓN 1

1.2 OBJETIVOS PAC 1

2 CARACTERÍSTICAS GENERALES ÁREA DE ESTUDIO 5

2.1 INTRODUCCIÓN 5

2.2 POBLACIÓN 5

2.3 POBREZA 8

2.4 ACTIVIDAD ECONÓMICA Y EMPLEO 9

2.5 EDUCACIÓN Y SALUD 13

2.6 PUEBLOS ORIGINARIOS 14

2.7 LA CUENCA COMO UNIDAD BÁSICA DE LOS PEGH 14

3 IDENTIFICACIÓN DE ACTORES 16

3.1 INTRODUCCIÓN 16

3.2 ACTORES INSTITUCIONALES 17

3.3 ACTORES COMUNITARIOS 18

3.4 ORGANIZACIONES DE USUARIOS DE AGUAS (OUAS) 20

3.5 COMUNIDADES AGRÍCOLAS 21

3.6 SERVICIOS SANITARIOS RURALES 22

3.7 COMUNIDADES INDÍGENAS 23

3.8 ACTORES PRIVADOS 24

3.9 IDENTIFICACIÓN DE ACTORES EN LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN CHILE 25

3.10 MAPA DE ACTORES 26

3.10.1 Actores identificados en área de estudio 27

3.10.2 Clasificación de Actores 31

3.10.3 El Mapa de Actores 35

3.10.4 Relaciones entre Actores 43

4 ENTREVISTAS 49

4.1 INTRODUCCIÓN 49

4.2 SISTEMATIZACIÓN DE ENTREVISTAS 49

5 DESARROLLO DE REUNIONES PAC 59

5.1 INTRODUCCIÓN 59

5.2 REUNIONES DE PRESENTACIÓN 59

5.2.1 Reunión de Presentación con DGA 59

5.2.2 Reunión de Presentación con Universidades y Centros de Estudios 61

5.2.3 Reunión de Presentación con Municipalidades 63

5.2.4 Reunión de Presentación con Seremías, Delegados y Servicios Públicos. 65

5.2.5 Reunión de Presentación con Autoridades..... 67

5.2.6 Reunión de Presentación con Privados 68

5.2.7 Reunión de Presentación con Comunidades 72

5.3 ENCUESTAS REUNIONES DE PRESENTACIÓN 74

5.3.1 Análisis de resultados reuniones de presentación con DGA, Universidades y Centros de Estudios, Municipios, Seremías, Delegados y Servicios Públicos. 74

5.3.2 Análisis de Resultados Reuniones de presentación con Comunidades 77

5.4 REUNIONES INTERMEDIAS (TALLERES) 79

5.4.1 Reunión Intermedia Servicios Públicos, Autoridades, Académicos y Privados 79

5.4.2 Reunión Intermedia Totoral 82

5.5 ENCUESTAS REUNIONES INTERMEDIAS (TALLERES) 86

5.5.1 Análisis de Resultados Reuniones Intermedias con Servicios Públicos, Autoridades, Académicos y Privados 86

5.5.2 Análisis de Resultados Reuniones Intermedias Comunidad Totoral 88

5.6 REUNIONES FINALES 90

5.6.1 Reunión Final Servicios Públicos, Autoridades y Académicos 90

5.6.2 Reunión Final con Privados 93

5.6.3 Reunión Final Totoral 98

5.7 ENCUESTAS REUNIONES FINALES (TALLERES) 100

5.7.1 Análisis de Resultados Reuniones finales con Servicios Públicos, Autoridades y Académicos 100

5.7.2 Análisis de Resultados Reuniones finales con Sector Privado 103

5.7.3 Análisis de Resultados Reuniones Finales Comunidad Totoral 103

6 PLAN DE COMUNICACIÓN 105

6.1 INTRODUCCIÓN 105

6.2 ETAPA 1 105

6.3 ETAPA 2 105

7 CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES PROCESO DE PARTICIPACIÓN CIUDADANA 107

7.1 INTRODUCCIÓN 107

7.2 CONCLUSIONES 107

7.3 RECOMENDACIONES 111

8 APÉNDICES 113

8.1 INTRODUCCIÓN 113

8.2 MINUTAS 113

8.3 PRESENTACIONES 114

9 PROGRAMA DE CAPACITACIÓN 117

9.1 INTRODUCCIÓN 117

9.2 JORNADA DÍA 1 DE MODELACIÓN : MIÉRCOLES 6 DE JULIO 117

9.3 JORNADA DÍA 2 DE MODELACIÓN: JUEVES 7 DE JULIO 117

9.4 CONTENIDO DE LAS EXPOSICIONES 118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Plano Comunas área de Estudio 6

Figura 2-2: Niveles Administrativos actuales y relación con nivel cuenca 15

Figura 3-1: Mapa de Actores institucionales para la gestión de los recursos hídricos en Chile 26

Figura 3-2: Desarrollo del objetivo 27

Figura 3-3: Clasificación/Agrupación de Actores en el área de estudio 33

Figura 3-4: Mapa de Actores (Disposición/Influencia) 39

Figura 3-5: Mapa de Actores – Relaciones 45

Figura 5-1: Invitación reunión presentación con DGA 60

Figura 5-2: Invitación reunión de presentación con Universidades y Centros de Estudios 62

Figura 5-3: Invitación reunión presentación con Municipalidades 64

Figura 5-4: Invitación reunión presentación con Seremías, Delegados y Servicios Públicos..... 66

Figura 5-5: Invitación reunión presentación con Autoridades..... 68

Figura 5-6: Correo de Invitación reunión presentación con Hacienda Castilla..... 69

Figura 5-7: Correo de Invitación reunión de presentación con Agrogénesis 71

Figura 5-8: Invitación reunión presentación con Totoral 73

Figura 5-9: Encuesta Reunión reuniones de presentación con DGA, Universidades y Centros de Estudios, Municipios, Seremías, Delegados y Servicios Públicos 76

Figura 5-10: Encuesta Reunión reuniones de presentación con Comunidades 78

Figura 5-11: Invitación Reunión intermedia con Servicios Públicos, Autoridades, Académicos y Privados 79

Figura 5-12: Invitación reunión intermedia con Totoral..... 83

Figura 5-13: Encuesta Reunión Intermedia con Servicios Públicos, Autoridades, Académicos y Privados 87

Figura 5-14: Encuesta Reunión Intermedia con Comunidad Totoral 89

Figura 5-15: Invitación reunión final con Servicios Públicos, Autoridades y Académicos 90

Figura 5-16: Invitación Reunión final con Privados..... 94

Figura 5-17: Invitación reunión final con Comunidad Totoral..... 99

Figura 5-18: Encuesta Reunión Final SSPP, Autoridades y Académicos 102

Figura 5-19: Encuesta Reunión Final Comunidad Totoral..... 104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Comunas área de estudio - Cuenca Quebrada de Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal 5

Tabla 2-2: Localidades pobladas área de estudios 7

Tabla 2-3: Distribución de Población por grupo de Edad (%) 7

Tabla 2-4: Población por sexo 7

Tabla 2-5: Población Rural y Urbana (Censo 2017) 8

Tabla 2-6: Tasa de Pobreza por Ingreso (% Personas) 8

Tabla 2-7: Población carente de servicios básicos y hogares hacinados (% totales, a diciembre de 2020) 9

Tabla 2-8: Número de empresas y trabajadores por área de actividad económica (2019) 11

Tabla 2-9: Establecimientos Educacionales, según dependencia administrativa (año 2020) 13

Tabla 2-10: Número de Establecimientos de Salud, según tipo (al 2020) 13

Tabla 2-11: Población según Pueblo Originario Declarado 14

Tabla 3-1: Actores Relevantes Institucionales 17

Tabla 3-2: Listado de Organizaciones año 2017 18

Tabla 3-3: Número de Organizaciones Comunitarias por Localidades del área de estudio 19

Tabla 3-4: Registro Comunidades Agrícolas por Comuna 22

Tabla 3-5: Sistemas por comuna de área de estudio 23

Tabla 3-6: Comunidades Indígenas por Comuna de área de estudio 23

Tabla 3-7: Actores Privados en área de estudio 24

Tabla 3-8: Listado de Actores convocados 28

Tabla 4-1: Sistematización Entrevistas comunidades 51

Tabla 4-2: Sistematización Entrevistas Servicios Públicos 55

Tabla 5-1: Programa reunión presentación con DGA 60

Tabla 5-2: Temas abordados reunión presentación con DGA 61

Tabla 5-3: Programa reunión de presentación con Universidades y Centros de Estudios 62

Tabla 5-4: Temas abordados reunión de presentación con Universidades y Centros de Estudios 63

Tabla 5-5: Programa reunión presentación con Municipalidades..... 64

Tabla 5-6: Temas abordados reunión presentación con Municipalidades 65

Tabla 5-7: Programa reunión presentación con Seremías, Delegados y Servicios Públicos 66

Tabla 5-8: Temas abordados reunión presentación con Seremías, Delegados y Servicios Públicos..... 67

Tabla 5-9: Programa reunión presentación con Hacienda Castilla..... 69

Tabla 5-10: Temas abordados reunión presentación con Hacienda Castilla..... 70

Tabla 5-11: Programa reunión presentación con Agrogénesis..... 71

Tabla 5-12: Temas abordados en reunión presentación con Agrogénesis 72

Tabla 5-13: Programa reunión presentación con Totoral 73

Tabla 5-14: Temas abordados reunión presentación con Totoral..... 74

Tabla 5-15: Programa reunión intermedia con Servicios Públicos, Autoridades, Académicos y Privados 80

Tabla 5-16: Temas abordados reunión intermedia con Servicios Públicos, Autoridades, Académicos y Privados 80

Tabla 5-17: Programa reunión intermedia con Totoral 84

Tabla 5-18: Temas abordados reunión intermedia con Totoral..... 84

Tabla 5-19: Programa reunión final con Servicios Públicos, Autoridades y Académicos 91

Tabla 5-20: Temas abordados reunión final con Servicios Públicos, Autoridades y Académicos 91

Tabla 5-21: Programa reunión final con Privados 94
Tabla 5-22: Temas abordados reunión final con Privados 95
Tabla 5-23: Programa reunión final con Comunidad de Totoral 99
Tabla 5-24: Temas abordados reunión final con Comunidad de Totoral 100
Tabla 8-1: Listado de Minutas Reuniones 113
Tabla 8-2: Listado de Minutas Reuniones 114
Tabla 9-1: Programa Día 1 117
Tabla 9-2: Programa Día 2 118

1 ANTECEDENTES PAC

1.1 Introducción

La Participación Ciudadana (en adelante PAC), en la gestión pública, es una orientación que facilita el diálogo entre el Estado y las personas para que los proyectos, programas y políticas respondan efectivamente a lo que la sociedad necesita, así como para que exista una mayor transparencia y fiscalización de la gestión del Estado por parte de la ciudadanía y, en definitiva, para contribuir a una sociedad más democrática. Desde el año 2000, la Administración del Estado ha instruido a sus distintos servicios, para que la PAC sea incorporada en el desarrollo de los distintos proyectos, estudios y programas que ejecuta.

En ese contexto, el Ministerio de Obras Públicas ha definido una política de participación ciudadana en sus proyectos de inversión, orientada a identificar, para cada una de las etapas del ciclo de vida de un proyecto de infraestructura pública, la forma de cómo se incorporan las opiniones ciudadanas y como las tareas que se deben cumplir asociadas a ellas y sus responsables.

Para el logro de lo anterior, se buscó una debida integración de los diversos actores del territorio a lo largo del estudio, estableciendo espacios de escucha y de consideración de las opiniones, puntos de vista e inquietudes ciudadanas, a través de las cuales el estudio fue enriquecido, ganando en pertinencia territorial y en validación social.

Dentro de este marco general y teniendo en cuenta las particularidades del territorio involucrado y de los Términos de Referencia, se presenta el Anexo I PAC final.

1.2 Objetivos PAC

De este modo, el proceso de participación implementado durante el estudio estuvo orientado por los objetivos solicitados en los temimos de referencia. El objetivo general del Plan Estratégico de Gestión Hídrica dice relación con:

Proponer un plan estratégico de gestión hídrica indicativo en las cuencas de la Quebrada de Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal, que oriente la toma de decisiones de 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 gobernanza.

El objetivo que guió el proceso de Participación Ciudadana corresponde a:

Realizar un proceso de participación ciudadana que informe y consulte a la institucionalidad del agua relevante del área de estudio, para retroalimentar la formulación del Plan Estratégico de Gestión Hídrica.

Los objetivos específicos, para el componente PAC, fueron los siguientes:

- Sistematizar y analizar la información generada en los distintos procesos de participación ciudadana realizada por los distintos planes de gestión ya desarrollados, en cuanto a 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 identificados; promoviendo, de este modo, la coordinación y orientación de las diversas intervenciones, con una visión multi escala, para orientar las decisiones públicas y privadas de los proyectos, programas y planes relacionados directa o indirectamente con el agua en las cuencas.
- Realizar un proceso de consulta a la institucionalidad del agua de cada cuenca, garantizando la participación de todos los interesados.
- Obtener y generar nueva información necesaria, a través de instancias de participación, que permitan retroalimentar elementos del diagnóstico que complementen el desarrollo del plan de cuenca, tales como institucionalidad, gobernanza, problemas medioambientales, estado de infraestructura hidráulica, disponibilidad, y calidad del agua; para entender la realidad de las cuencas, y así formular escenarios de gestión hídrica contingentes a los contextos locales.
- Presentar a la Juntas de vigilancia, las Organizaciones de usuarios de agua de las cuencas y empresas usuarios de agua, los resultados de la simulación de los escenarios diseñados en el plan de cuenca, para involucrarlos y responder a sus observaciones y comentarios.
- Validar, en conjunto con las juntas de vigilancia, organizaciones de usuarios de agua de la cuenca y empresas usuarias de agua, el planteamiento de las estrategias de gestión de acuerdo a las brechas identificadas.

- Generar instancias para informar, educar y discutir a modo tal que favorezca el intercambio de recursos, tecnologías y conocimiento entre los diferentes participantes.
- Consolidar resultados del proceso participativo para informarlos a la ciudadanía en general.

2 CARACTERÍSTICAS GENERALES ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Introducción

En este capítulo se presentarán las características generales del área de estudio correspondiente a la cuenca Quebrada de Carrizal y Costeras hasta Río Huasco. Estas características generales serán descritas en 4 subcapítulos, que refieren a: Población, Actividad Económica y Empleo, Educación y Salud, y por último las principales características de los pueblos originarios.

Cabe destacar que se incluyó a la comuna de Freirina, a pesar de tener un porcentaje bajo de superficie involucrada en el área de estudio, por lo que esta Comuna y sus localidades sí fueron invitadas a las reuniones de participación ciudadana, sin embargo, en la reunión de presentación, los directores y profesionales de la comuna de Freirina, indicaron que no debían ser incluidos, debido a que administrativamente no era de su competencia (revisar Capítulo 8: anexos digitales: minuta reunión de presentación municipalidades), por lo que no fueron considerados en las próximas reuniones.

2.2 Población

En la Tabla 2-1 se presentan las comunas del área de estudio, identificando población comunal Censo 2017, superficie comunal y superficie involucrada en el área de estudio.

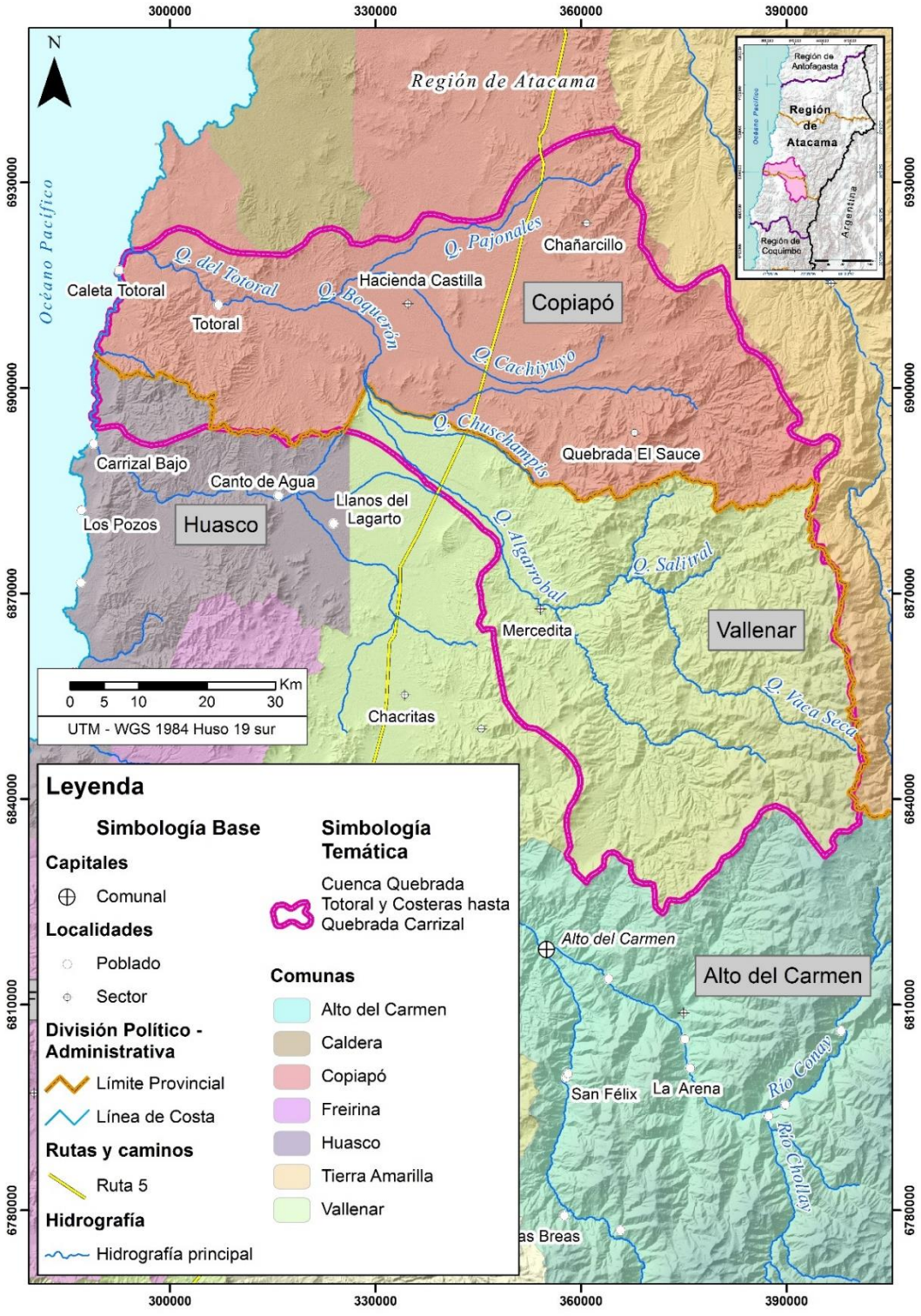
Tabla 2-1: Comunas área de estudio - Cuenca Quebrada de Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal

Comuna	Población Comunal Censo 2017(hab)	Superficie Comunal (km^2)	Superficie involucrada área de estudio	
			(km^2)	(%)
Vallenar	51.917	7.084,0	3.050	43,2%
Huasco	10.149	1.601,4	1.350	16,2%
Copiapó	153.937	1.6681,3	3.050	36,6%

Fuente: Elaboración propia. a parir de Reportes comunales (BC 2021)

En la Figura 2-1 se muestra el plano de las comunas del área de estudio.

En la Tabla 2-2 se presenta la población de las localidades pobladas en el área de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-1: Plano Comunas área de Estudio

Tabla 2-2: Localidades pobladas área de estudios

Provincia	Comuna	Nombre	Población		Tipo
			2002	2017	
Copiapó	Copiapó	Caleta Totoral	8	11	Poblado
		Totoral	69	41	Poblado

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2-3 se presenta la distribución de la población por grupo de edad, de cada comuna del área de estudio. Se destaca que en todas las comunas, que el tramo de los 45 a los 64 años, concentra la mayor proporción de población.

Tabla 2-3: Distribución de Población por grupo de Edad (%)

Grupos de edad	Comuna de Vallenar	Comuna de Huasco	Comuna de Copiapó	Región	País
0 a 14	11.852	2.250	35.492	22,21	19,03
15 a 29	10.783	2.012	37.706	20,96	21,79
30 a 44	10.197	1.991	32.316	22,38	22,78
45 a 64	12.714	2.688	34.835	23,3	23,9
65 o más	6.371	1.208	13.588	11,15	12,49
Total	51.917	10.149	153.937	100	100

Fuente: Elaboración propia., en base a estadísticas del Censo 2017

En la Tabla 2-4 se presenta la población por sexo de las comunas del área de estudio. Se destaca una proporción similar de hombres y mujeres en todas las comunas del área de estudio.

Tabla 2-4: Población por sexo

Territorio	Población Hombres			Población Mujeres		
	Año 2017	Proyección 2021	Variación (%)	Año 2017	Proyección 2021	Variación (%)
Comuna de Vallenar	25.422	28.702	1,15	26.495	28.522	1,03
Comuna de Huasco	5.243	5.798	0,66	4.906	5.576	0,69
Comuna de Copiapó	76.627	87.170	0,009	77.310	86.083	0,0099
Región de Atacama	144.420	159.897	0,02	141.748	156.840	0,02
País	8.601.989	9.708.512	0,33	8.972.014	9.969.851	0,30

Fuente: Elaboración propia., en base a estadísticas del Censo 2017

En la Tabla 2-5 se presenta el porcentaje de población rural y urbana de las comunas del área de estudio, según el Censo de 2017. Se destaca la presencia de una población rural sobre el 10% de la población en tres comunas del área de estudio (Vallenar, Huasco y Copiapó).

Tabla 2-5: Población Rural y Urbana (Censo 2017)

Territorio	Población rural	%	Población urbana	%
Comuna de Vallenar	5.898	11,36	46.019	88,63
Comuna de Huasco	1247	12,28	8902	87,71
Comuna de Copiapó	2.975	1,9	150.962	98,1
Región de Atacama	25.648	8,5%	260.520	91%
País	2.149.740	12,2%	15.424.263	87,8%

Fuente: Elaboración propia., en base a estadísticas del Censo 2017

2.3 Pobreza

En Chile, la pobreza es medida según el porcentaje de personas, dentro de un grupo familiar, cuyos ingresos no serían suficientes para satisfacer las necesidades básicas de todos sus miembros. En la Tabla 2-6 se presentan los índices de pobreza por cada comuna del área de estudio. Se destaca que en tres comunas del área de estudio (Vallenar, Huasco y Copiapó) la pobreza comunal supera al promedio regional y nacional.

Tabla 2-6: Tasa de Pobreza por Ingreso (% Personas)

Territorio	% de personas en situación de pobreza por ingresos
Comuna de Vallenar	8,83
Comuna de Huasco	9,72
Comuna de Copiapó	6,26
Región de Atacama	7,9
País	8,6

Fuente: CASEN (2017)

En la Tabla 2-7 se presentan los porcentajes de población carente de servicios básicos y hogares hacinados, a diciembre del año 2020. Se destaca que las comunas que presentan mayores índices de pobreza son las comunas de Huasco y Vallenar. Situación que se relaciona directamente con el acceso a servicios, como lo es el agua potable, viéndose reflejado en cada comuna con un porcentaje de hogares sobre el 10% de los hogares.

Tabla 2-7: Población carente de servicios básicos y hogares hacinados (% totales, a diciembre de 2020)

Territorio	Totales a junio de 2020 (%)	
	Personas en hogares carentes de servicios básicos	Hogares hacinados
Comuna de Vallenar	19,9	13,9
Comuna de Huasco	15,5	13,3
Comuna de Copiapó	11,1	12,8
Región de Atacama	15,7	13,3
País	13,8	14,6

Fuente: Estadísticas Censo 2017

2.4 Actividad Económica y Empleo

En la Tabla 2-8, se muestra el número de empresas y número de trabajadores por área de actividad económica en cada comuna del área de estudio. Los datos señalados permiten identificar que las áreas de actividad económica que más se manifiestan en el total de las comunas del área de estudio son Industria Manufacturera y Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca.

Tabla 2-8: Número de empresas y trabajadores por área de actividad económica (2019)

Área/rubro	Comuna de Vallenar		Comuna de Huasco		Comuna de Copiapó		Región de Atacama		País	
	N° Empresas	N° Personas	N° Empresas	N° Personas	N° Empresas	N° Personas	N° Empresas	N° Personas	N° Empresas	N° Personas
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	160	639	41	66	276	5.363	882	8.859	99.233	1.009.864
Explotación de minas y canteras	152	452	6	1	292	3.364	699	4.641	5.432	109.357
Industria manufacturera	180	1.480	36	192	758	7.406	1.211	9.670	87.417	816.040
Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	3	0	1	0	14	7	30	20	2.608	28.351
Suministro de agua; evacuación de aguas residuales, gestión de desechos y descontaminación	21	26	6	4	56	631	128	773	4.856	50.802
Construcción	170	2.008	33	495	798	10.343	1.233	15.270	95.753	1.301.678
Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas	1.372	1.223	241	73	3.093	3.142	6.368	5.770	384.950	1.286.285
Transporte y almacenamiento	310	358	68	209	1.079	2.909	1.826	4.546	125.764	506.062
Actividades de alojamiento y de servicio de comidas	308	627	81	94	845	3.098	1.813	4.736	77.304	467.314
Información y comunicaciones	40	38	4	11	161	298	256	361	24.810	203.340
Actividades financieras y de seguros	21	15	4	0	86	55	139	100	58.112	249.863
Actividades inmobiliarias	66	44	6	0	313	319	484	391	46.879	73.778
Actividades profesionales, científicas y técnicas	120	554	14	439	520	3.239	749	4.736	85.293	427.340
Actividades de servicios administrativos y de apoyo	136	740	19	83	659	8.778	972	11.812	60.399	1.133.779
Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria	2	522	1	206	6	7.469	16	10.837	793	590.156
Enseñanza	31	2.893	5	84	105	2.870	163	6.339	16.982	603.099
Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social	73	131	4	4	248	931	352	1.165	35.272	341.612
Actividades artísticas, de entretenimiento y recreativas	43	66	10	37	148	429	242	613	15.166	55.381
Otras actividades de servicios	188	189	27	6	560	888	1.028	1.253	61.804	298.875
Sin información	19	4	2	0	54	15	95	47	4.780	10.214
Actividades de los hogares como empleadores; actividades no diferenciadas de los hogares	0	0	0	0	1	0	1	0	23	98
Actividades de organizaciones y de órganos extraterritoriales	0	0	0	0	0	0	0	0	40	547

Fuente: Reportes comunales (BC, 2021)

2.5 Educación y Salud

A continuación, en la Tabla 2-9, se muestran los establecimientos educaciones según dependencia administrativa, presentes en las comunas del área de estudio.

Tabla 2-9: Establecimientos Educacionales, según dependencia administrativa (año 2020)

Territorio	Municipal	Particular subvencionado	Particular pagado	Corporación administrativa delegada	Servicio local de educación	Total
Vallenar	0	8	2	0	26	36
Huasco	0	4	0	0	6	10
Copiapó	31	21	9	0	0	61
Región de Atacama	60	47	11	0	54	172
País	4.670	5.575	626	70	401	11.342

Fuente: Reportes comunales (BC, 2021)

En la **Tabla 2-10** se presenta el número de Establecimientos de Salud según el tipo de clasificación a la cual pertenece (CESFAM, Centro de Diálisis, Posta de Salud Rural, Servicio de Urgencia Rural, entre otros).

Tabla 2-10: Número de Establecimientos de Salud, según tipo (al 2020)

Territorio	Vallenar	Huasco	Copiapó	Región de Atacama	País
Centro de Salud Familiar (CESFAM)	4	1	8	19	581
Centro de diálisis	2	0	1	4	77
Posta de salud rural (PSR)	5	3	0	16	1128
Centro de salud	3	0	13	16	427
Laboratorio clínico o dental	4	0	1	12	304
Otros	1	0	1	2	54
Servicio de urgencia rural (SUR)	0	0	0	4	122
Clínica	1	0	3	5	161
Hospital (Mediana complejidad)	1	1	0	1	31
Servicio de atención primaria de urgencias (SAPU)	2	0	3	6	233
Centro comunitario de salud familiar (CECOSF)	0	0	0	1	278
Total	23	5	30	98	4134

Fuente: Reportes comunales (BC, 2021)

2.6 Pueblos Originarios

A continuación, en la Tabla 2-11, se presenta la población por pueblo originario existente en las comunas del área de estudio.

Tabla 2-11: Población según Pueblo Originario Declarado

Etnia	Cantidad de Personas					
	Copiapó	%	Vallenar	%	Huasco	%
Alacalufe	12	0.01	6	0,01	0	0,0
Atacameño/ Likanantai	206	0.14	74	0,15	10	0,1
Atacameño	0	0.0	0	0,0	0	0,0
Aimara	1.699	1.12	285	0,57	118	1,2
Colla	9.564	6.29	324	0,64	73	0,75
Mapuche	5.154	3.39	844	1,68	340	3,47
Quechua	624	0.41	87	0,17	11	0,11
Rapa Nui	43	0.03	3	0,01	2	0,02
Yámana	8	0.01	0	0,0	2	0,02
Diaguita	9.023	5.93	10.428	20,72	836	8,54
Otro pueblo	745	0.49	318	0,63	153	1,56
Total, pueblos originarios	27.078	17.8	12.369	24,58	1.545	15,78
Total, no pueblos originarios	125.052	82.2	37.954	75,42	8.248	84,22
Total, población comunal	152.130	100.0	50.323	100,0	9.793	100,0

Fuente: Reportes Comunales (BC, 2021)

A partir de la información recuperada, es posible identificar que el pueblo originario con mayor porcentaje de población censada es el pueblo Diaguita, seguido por el pueblo Colla y el pueblo Mapuche. La situación del pueblo Chango no está reflejada en la información Censal por ser su reconocimiento posterior (2019).

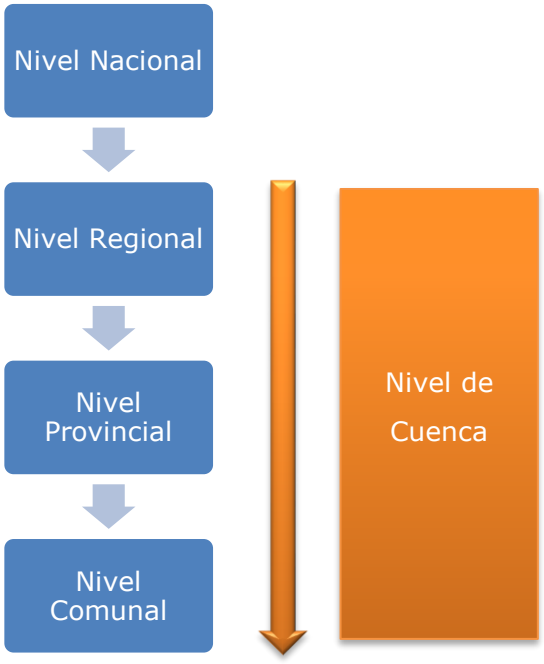
2.7 La cuenca como unidad básica de los PEGH

En las bases técnicas de la consultoría se indica que la cuenca constituye la unidad de planificación y gobernanza más pertinente para la gestión del agua. Se indica que la cuenca es "…la unidad territorial más aceptada para desarrollar la gestión de las aguas, debido a que son las principales formas terrestres que captan y concentran la oferta del agua que proviene de las precipitaciones y aportes cordilleranos por deshielos de la reserva nival" (MOP, 2021).

En esa misma dirección, la Mesa Nacional del Agua liderada por el Ministerio de Obras Públicas, indicó lo siguiente respecto de cómo se debe gestionar el agua en el futuro:

"Existe amplio consenso en que la unidad que se debe gestionar es la cuenca y que, por lo tanto, los balances hídricos y las condiciones de calidad de las aguas deben levantarse a nivel de esas unidades. Para esto se sugiere impulsar como un eje temático de la política la elaboración de planes de cuenca que, respetando la diversidad geográfica e hidrológica de las mismas, permitan simular y pronosticar sus capacidades para distintos escenarios de cambio climático. Esto permitirá establecer una meta de sustentabilidad hídrica por cuenca y una hoja de ruta o portafolio de medidas y soluciones para alcanzar dicha meta, incluyendo los ejes de gestión, información, eficiencia, conservación y nueva oferta, u otros que se acuerden. Estos planes se debieran reconocer como un instrumento de mitigación y adaptación al cambio climático y, también, como el punto de partida para una gestión integrada del recurso hídrico" (MOP, 2022).

En la Figura 2-2 se muestra cómo esta propuesta deberá complementarse con los actuales niveles administrativos que existen hoy en nuestro país y que se relacionan directamente con los niveles de decisión y participación de los actores públicos, privados y comunitarios en un territorio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-2: Niveles Administrativos actuales y relación con nivel cuenca

Complementariamente al concepto de cuenca, se incorpora el de gobernanza que según el Programa de Naciones Unidades para el Desarrollo (PNUD) alude a "aquel complejo conjunto de mecanismos, procesos, relaciones e instituciones mediante los cuales los ciudadanos y los grupos articulan sus intereses, ejercen sus derechos y obligaciones, median sus diferencias" (PNUD, 2005). Es decir, un espacio de articulación entre los distintos actores de un territorio.

En suma, la gobernanza del agua a nivel de cuenca es la base de la nueva institucionalidad del agua que actualmente se discute a nivel país y que forma parte de las principales recomendaciones emitidas en el Informe de la Mesa Nacional del Agua:

"…respecto de la institucionalidad a nivel de cuenca se busca promover e impulsar la participación de los actores y comunidades locales para establecer una institucionalidad a nivel de cuenca, para lo cual se ha avanzado definiendo el modelo de gestión que se aplicará, definiendo la estructura de un Órgano de Cuenca" (MOP,2022).

3 IDENTIFICACIÓN DE ACTORES

3.1 Introducción

En este capítulo se presentará a los actores relevantes identificados en el área de estudio, correspondiente a la cuenca Quebrada de Carrizal y Costeras hasta Río Huasco.

De esta forma, los actores identificados corresponden a: actores institucionales, actores comunitarios, organizaciones de usuarios de agua, comunidades agrícolas, servicios sanitarios rurales, comunidades indígenas y actores privados. Asimismo, el último subcapítulo identifica a los actores relevantes en la gestión de los recursos hídricos, reconocidos por el Banco Mundial.

Cabe destacar que, se comprenderá por actores relevantes del territorio a aquellas instituciones, organizaciones, dirigentes y líderes formales e informales que desempeñan sus actividades en directa relación con el recurso hídrico. De las que se pueden identificar: Agua Potable Rural (APRs), organizaciones territoriales, empresas, organizaciones ambientales; las instituciones públicas y entidades privadas que se vinculen con la gestión del agua y otros, que no siendo afectados o beneficiados directos, se interesen por participar del estudio.

Del universo antes señalado de organizaciones, surgieron los actores principales, los que, para el caso de aquellos de tipo "comunitario", son al menos los líderes y dirigentes

de las organizaciones territoriales, quienes adquieren importancia en el intento de conocer la problemática en las áreas a estudiar.

3.2 Actores Institucionales

En cuanto a los actores institucionales, serán aquellos que se determinen en conjunto con la Inspección Fiscal de la DGA, que preliminarmente se puede identificar en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1: Actores Relevantes Institucionales

N°	Institución	Cargos
1	Gobierno Regional. Región de Atacama	-Gobernador Regional Región de Atacama
2	Delegación Regional. Región de Atacama	-Delegado Presidencial Regional Región de Atacama
3	Delegación Provincial. Provincia del Huasco	-Delegado Presidencial Provincial Provincia del Huasco
4	Gobierno Regional. Región de Atacama	- Jefe de Planificación y Desarrollo Regional
5	Municipalidad de Freirina	-Alcalde -Director de SECPLAN -Director de Dideco
6	Municipalidad de Huasco	-Alcalde -Director de SECPLAN -Director de Dideco
7	Municipalidad de Vallenar	-Alcalde -Director de SECPLAN -Director de Dideco
8	Secretaría Regional Ministerial de Agricultura. Región de Atacama	-Seremi
9	Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo. Región de Atacama	-Seremi
10	Secretaría Regional Ministerial de Obras Públicas Región de Atacama	-Seremi
11	Secretaría Regional Ministerial de Medio Ambiente Región de Atacama	-Seremi
12	Secretaría Regional Ministerial de Bienes Nacionales Región de Atacama	-Seremi

N°	Institución	Cargos
13	Secretaría Regional de Ministerio de Desarrollo Social. Región de Atacama	-Seremi
14	Secretaria Regional de Ministerio de Economía. Región de Atacama	-Seremi
15	Comisión Regional de Riego Interregional	- Coordinador Zona Norte
16	Dirección General de Aguas	Director
17	Dirección Regional de Aguas (MOP) Región de Atacama	-Director Regional -Director Provincial
18	Dirección Regional de Obras Hidráulicas (MOP) Región de Atacama	-Director Regional
19	Corporación Nacional Forestal (CONAF) Región de Atacama	-Director Regional
20	Instituto Nacional de Desarrollo Agropecuario (INDAP) Región de Atacama	-Director Regional
21	Servicio Agrícola Ganadero (SAG) Región de Atacama	-Director Regional
22	Instituto de Investigaciones Agropecuarias (I.N.IA) Región de Atacama	-Director Regional
23	Servicio nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) Región de Atacama	-Director Regional
24	Corporación de Desarrollo Indígena (CONADI) Región de Atacama	Directora de regional

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Actores Comunitarios

En la Tabla 3-2 se detalla el número de organizaciones comunitarias existente en las comunas del área de estudio.

Tabla 3-2: Listado de Organizaciones año 2017

Tipo de Organización	Copiapó	Vallenar	Huasco
Clubes Deportivos	275	94	14
Centros de Madres	58	15	5
Centros de Padres y Apoderados	54	30	9
Centros u Organizaciones del Adulto Mayor	135	44	10

Tipo de Organización	Copiapó	Vallenar	Huasco
Juntas de Vecinos	102	75	31
Uniones Comunales	11	3	4
Otras Organizaciones Comunitarias Funcionales	0	37	81
Compañía de Bomberos	2	4	2
Centros Culturales	51	1	1
Total, Organizaciones	688	303	157

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3-3 se detalla el número de organizaciones comunitarias en cada localidad del área de estudio.

Tabla 3-3: Número de Organizaciones Comunitarias por Localidades del área de estudio

Comuna	Localidad	Organización
Huasco	Canto del Agua	J.V. Canto de Agua
		Comunidad indígena Diaguita Chipasse ta Caluba
		Asociación indígena multicultural pequeños agricultores y crianceros amanecer del desierto canto del agua de la comuna de Huasco
Huasco	Carrizal Bajo	- J.V. Moisés Núñez
		- J.V. Amigos de Carrizal Bajo
		- J.V. Adultos Mayores
		- Sindicato de Pescadores
		- Agrupación Despertando Carrizal
		- APR Carrizal Bajo
Huasco	Llanos del Lagarto	- APR Llanos del Lagarto
		Comunidad de crianceros y agricultores Llanos de Lagarto
Huasco	Los Pozos	Junta de Vecinos Los Burros (Sarco)
		J.V. Los Pozos

Comuna	Localidad	Organización
		Comunidad Indígena Diaguita de Trashumancia
Huasco	Los Toyos	J.V. Los Toyos
		Comunidad Ecológica Los Toyos
Huasco	Caleta Angosta	J.V. Caleta Angosta
Copiapó	Totoral	Comunidad de Regantes Totoral Comunidad Indígena Territorial Totoral Comunidad Agricola Totoral Comité de Agua Subterránea SSR (APR Totoral) Comunidad de Agua Canal Bellavista Comunidad de Agua Canal Perales

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la información recuperada, es posible identificar la existencia de Juntas de Vecinos, Sistemas de SSR (Ex APR) Comunidades Indígenas, Comunidades de Regantes, Comunidades Agrícolas y Comité de Agua Subterránea.

3.4 Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUAs)

Según lo establecido en el Código de Aguas, se pueden distinguir tres tipos de OUA: Juntas de Vigilancia, Asociaciones de Canalistas y Comunidades de Aguas. En el primer caso, las Juntas de Vigilancia, son OUA que se constituyen en torno de cauces naturales. Tienen competencia hasta la bocatoma de los canales que extraen las aguas del cauce. En este sentido, el Código de Aguas establece en su artículo 263 lo siguiente: "Las personas naturales o jurídicas y las organizaciones de usuarios que en cualquier forma aprovechen aguas de una misma cuenca u hoya hidrográfica, podrán organizarse como Junta de Vigilancia".

En el segundo caso, las Asociaciones de Canalistas, son OUA constituidas en torno de cauces artificiales, normalmente se organizan en los canales matrices de los sistemas de riego extraprediales, cuya fuente es el río. Están normadas en el artículo 257 y siguientes del Código de Aguas.

En el tercer caso, las Comunidades de Agua son OUA que distribuyen el recurso de acuerdo a los derechos de aprovechamiento que poseen los usuarios en cada una de las obras que les son comunes. Se organizan en torno de cauces artificiales y su funcionamiento está normado en el artículo 187 y siguientes del Código de Aguas. Las

Comunidades de Aguas se pueden clasificar en Comunidades organizadas y no organizadas, según lo establecido en el mencionado Código de Aguas. Esta distinción (organizadas y no organizadas) no es una calificación ni valoración del nivel organizacional de dichas agrupaciones sino una división operativa del código.

A partir del contacto con dirigentes de las diferentes localidades del área de estudio, se ha podido identificar la Comunidad de Agua Canal Bellavista, Comunidad de Agua Canal Perales y Comunidad de Regantes Totoral.

3.5 Comunidades Agrícolas

Según el informe de la Biblioteca del Congreso Nacional (2016), las comunidades agrícolas corresponden a la agrupación de propietarios de un terreno rural común que se organizan para ocuparlo, explotarlo o cultivarlo. Los titulares de derechos sobre el terreno común se denominan comuneros, a quienes se les asigna de manera permanente y exclusiva una porción determinada de terreno para la explotación o cultivo de él y su familia.

La ley regula detalladamente los derechos y deberes de los comuneros en el terreno común, así como la organización de las comunidades agrícolas, disponiendo, al efecto, de normas destinadas a regular su constitución, su administración, las restricciones y limitaciones en relación al terreno común, y la transferencia de los derechos de cada comunero, entre otros aspectos.

Actualmente existen 178 comunidades agrícolas en Chile. De éstas, 174 se ubican en la Región de Coquimbo, dos en la Región de Valparaíso, una en Atacama, y una en la Región Metropolitana, abarcando en total una superficie aproximada de un millón de hectáreas.

A partir del contacto con dirigentes de las diferentes localidades del área de estudio, se ha podido identificar que:

En la localidad de Llanos del Lagarto, en la comuna de Huasco, existe la Comunidad de Crianceros y Agricultores Llanos del Lagarto.

En la localidad de Canto de Agua, también en la comuna de Huasco, existe la Asociación Indígena Multicultural Pequeños Agricultores y Crianceros Amanecer del Desierto.

En la localidad de Totoral existe la comunidad Agrícola Totoral.

En la Tabla 3-4, se presentan las Comunidades Agrícolas ubicadas en las Comunas del área de estudio.

Tabla 3-4: Registro Comunidades Agrícolas por Comuna

Comuna	Cantidad de comunidades agrícolas	Nombre de comunidades agrícolas	Observación
Huasco	2	Comunidad de Crianceros y Agricultores Llanos del Lagarto	La constituyen 65 socios
		Asociación Indígena Multicultural Pequeños Agricultores y Crianceros Amanecer del Desierto	La constituyen 38 socios
Copiapó	1	Comunidad Agrícola Totoral	La constituyen 138 socios

Fuente: Elaboración propia.

3.6 Servicios Sanitarios Rurales

El Programa de Agua Potable Rural nace en Chile en el año 1964, con la adopción del Plan Básico de Saneamiento Rural. Entre 1964 y 1970 se habían construido cerca de 150 Sistemas de APR, distribuidos en la zona central. Según la información de la DOH, hasta el año 2019, existían 1.897 sistemas emplazados a lo largo de todo el país y beneficiando a 1.740. personas[1].

En cada localidad donde se proyecta un Sistema de Agua Potable Rural (APR), se constituye una organización comunitaria denominada comité o cooperativa de agua potable rural, entidad con personalidad jurídica propia. El comité consta de una directiva elegida por sus propios socios, es decir, cada usuario cuenta con derecho a voto y a la toma de decisiones, de acuerdo a los atributos que le confiere la Ley de Junta de Vecinos y otras Organizaciones Comunitarias (Ley 19.418 y también parte del articulado de Ley 20.500).

Los servicios rurales de agua potable están definidos como aquellos que se prestan en zonas no urbanas, de acuerdo con el Plano Regulador, por lo tanto, no tienen el carácter de servicios públicos sanitarios. En su calidad de servicios particulares, su fiscalización

[1]Información obtenida en [http://www.doh.cl/APR/Materiales/Triptico%20Historia%20APR%202019act.pdf]

queda entonces sometida a los respectivos Servicios de Salud del Ambiente y se rigen, para todos los efectos, por las normas que establece el Código Sanitario.

El 20 de noviembre del año 2020 entró en vigencia la nueva ley N° 20.998 que regula los Servicios Sanitarios Rurales y que establece un marco regulatorio para los comités de Agua Potable Rural.

La información disponible sobre los Servicios Sanitarios Rurales (ex APR) en las comunas del área de estudio se encuentra en la Tabla 3-5.

Tabla 3-5: Sistemas por comuna de área de estudio

Nombre Sistema	Cuenca	Comuna	Año Puesta en Funcionamiento	Beneficiarios (estimación)
Totoral	Totoral	Copiapó	2002	296

Fuente: Elaboración propia. en base a "MOP: Observatorio de la Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico". Base SSR (2017).

3.7 Comunidades Indígenas

La Ley indígena (N° 19.253, Articulo 9) establece que se entenderá por comunidad indígena a "toda agrupación de personas pertenecientes a una misma etnia indígena y que se encuentren en una o más de las siguientes situaciones: a) Provengan de un mismo tronco familiar; b) Reconozcan una jefatura tradicional; c) Posean o hayan poseído tierras indígenas en común, y d) Provengan de un mismo poblado antiguo". Además de las comunidades indígenas, la Ley Indígena 19.253 considera las asociaciones indígenas (artículos 36 y 37). La Asociación indígena es una organización de carácter funcional, al servicio de los objetivos educacionales, culturales, profesionales o productivos establecidos por sus miembros en los estatutos. Se forma a lo menos por 25 miembros, que pueden ser de diversas etnias.

En la Tabla 3-6 se muestran las Comunidades y/o Asociaciones indígenas por Comuna de área de estudio.

Tabla 3-6: Comunidades Indígenas por Comuna de área de estudio

Comuna	Asociaciones indígenas	Comunidades Indígenas	Total
Copiapó	21	60	81
Vallenar	3	23	25
Huasco	1	5	6

Fuente: Elaboración propia. en Base a CONADI 2020

3.8 Actores Privados

Se identificó a los actores privados de cada territorio considerando lo mencionado por las distintas comunidades en las reuniones de presentación. Dentro del territorio del área de estudio de la cuenca de la Quebrada Carrizal, se pudo identificar a la empresa minera CMP (Compañía Minera del Pacífico), empresa perteneciente al grupo CAP S.A. (Grupo Minero Siderúrgico), cuya mina Los Colorados, se encuentra en la Comuna de Huasco, específicamente en la localidad de Carrizal Bajo.

A continuación, en la Tabla 3-7 se muestra el tipo de actor privado, su nombre, la comuna y localidad donde se ubica y una breve descripción de este.

Tabla 3-7: Actores Privados en área de estudio

Tipo de Actor Privado	Nombre	Comuna/ Localidad	Descripción
Empresa Agroindustrial	Hacienda Castilla	Totoral	Hacienda Castilla, empresa perteneciente al grupo Rex Inversiones S.A.
Empresa Agroindustrial	Agrogénesis	Totoral	La empresa Agrogénesis (Sociedad Agrícola e Inversiones Agrogénesis Ltda.) se sitúa en el rubro de la agricultura, ganadería, caza y silvicultura
Centro para el manejo de recursos hídricos	CAZALAC Centro Regional del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe	Oficina en La Serena (calle Benavente 980)	Organización coordinadora/articuladora de acciones científicas y tecnológicas orientada hacia un manejo sustentable de los recursos hídricos en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas de América Latina y El Caribe

Tipo de Actor Privado	Nombre	Comuna/ Localidad	Descripción
Consorcio para la gestión de los recursos hídricos	CAPTA Centro Avanzado para Tecnologías del Agua	Oficina en Santiago (Calle Avenida Beauchef 850)	Consorcio liderado por la Universidad de Chile que cuenta con la participación de la Universidad de Playa Ancha y la Universidad de Atacama. Se vincula con universidades, centros de investigación, empresas y organizaciones para desarrollar, aplicar, transferir y comercializar soluciones tecnológicas en los ámbitos de gestión, eficiencia y reutilización de aguas e innovación tecnológica para nuevas fuentes hídricas, que aumenten la productividad, la competitividad y la sustentabilidad de la agricultura, la minería, la industria y los servicios sanitarios, en las regiones de Atacama, Valparaíso y Metropolitana de Santiago.

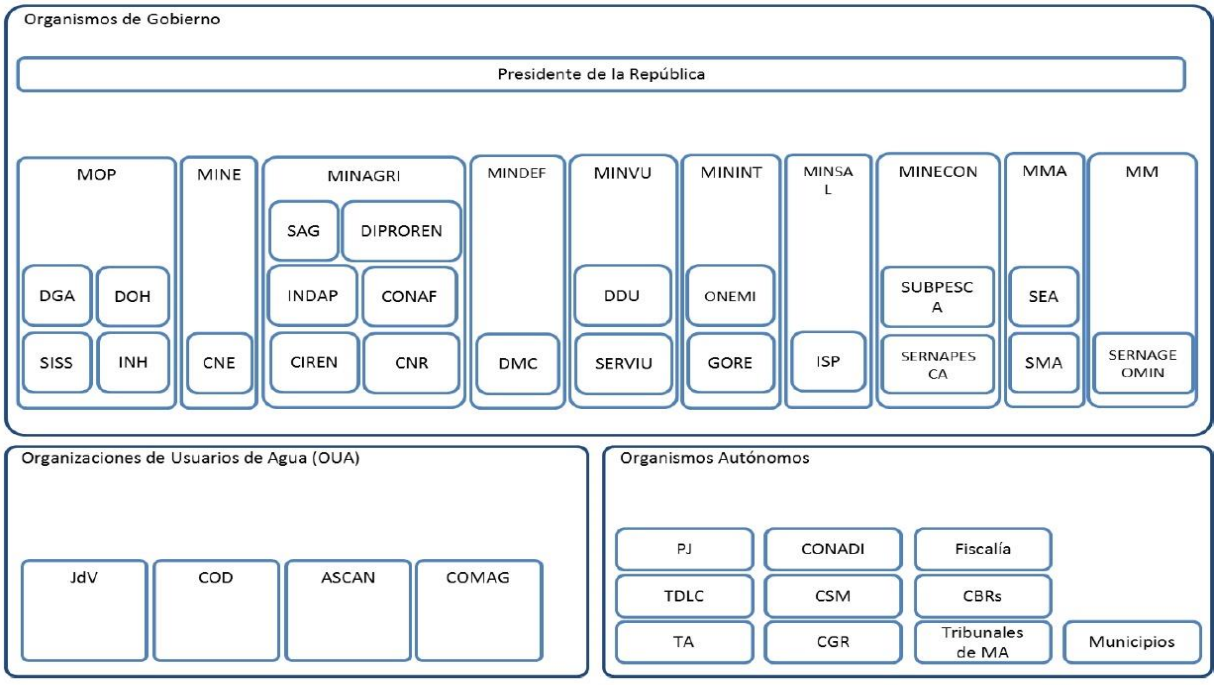
Fuente: Elaboración propia. en base SEIA y DOH.

3.9 Identificación de Actores en la Gestión de los recursos hídricos en Chile

Antes de pasar a las entrevistas llevadas a cabo que permitieron profundizar en la identificación de actores y posterior Mapeo de estos, se torna necesario reconocer aquellos actores que se involucran de forma importante en la gestión de los recursos hídricos. Para lo cual, se ha utilizado la información que dicta el Banco Mundial con respecto a quiénes serían los organismos tanto del Estado como privados y comunitarios que se relacionarían con el manejo del recurso hídrico.

En la Figura 3-1 se muestran los 43 organismos relacionadas con la gestión del agua en Chile identificadas por el Banco Mundial[2].

[2]"Estudio para el mejoramiento del marco institucional para la gestión del agua". Documento del Banco Mundial, 2013.



Fuente: Banco Mundial, 2013.

Figura 3-1: Mapa de Actores institucionales para la gestión de los recursos hídricos en Chile

3.10 Mapa de Actores

A continuación, se presenta el apartado correspondiente al mapa de actores relevantes en el tema hídrico en el área de estudio, correspondiente a la cuenca Quebrada de Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal. En este se identifican cuáles son los actores relevantes, agrupándolos y clasificándolos, la disposición e influencia de estos con el estudio y las relaciones que estos actores mantienen entre ellos.

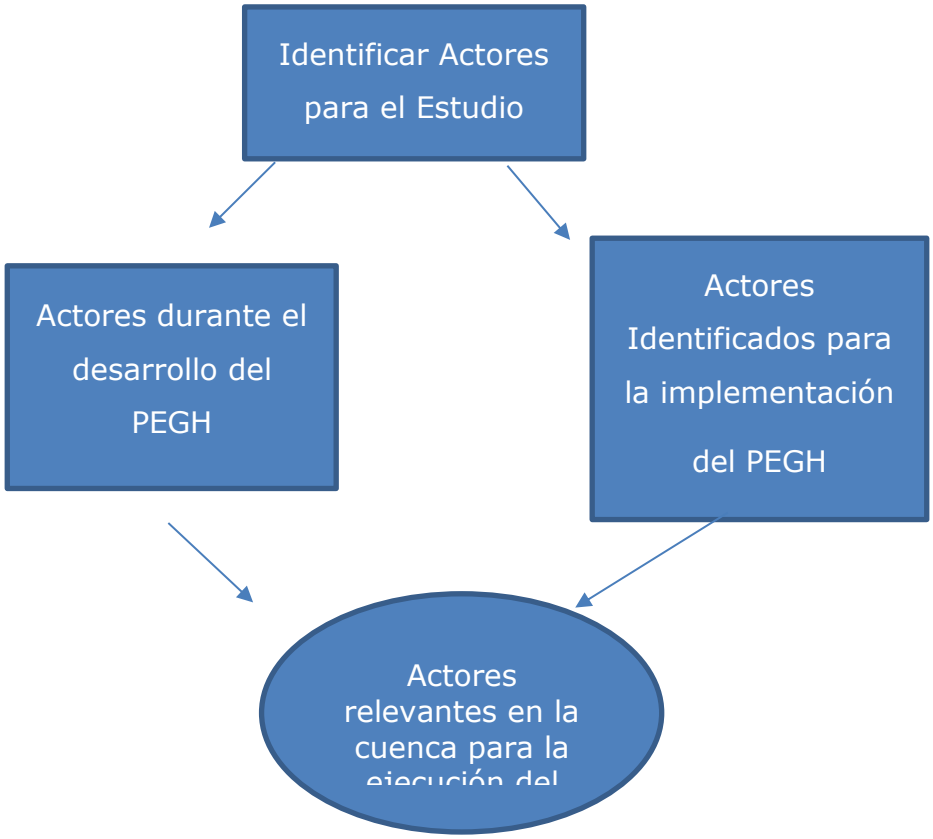
Los actores convocados emergieron a partir de un proceso de búsqueda e indagación en diferentes instancias y con distintos organismos. En primer lugar, la información secundaria aportó datos sobre las organizaciones existentes en el área de estudio (comunas), específicamente se invitó a participar a las organizaciones, instituciones y empresas presentes en las localidades señaladas. En segundo lugar, la solicitud de información sobre organizaciones vigentes a las municipalidades correspondientes en cada territorio y la conversación con los encargados de organizaciones comunitarias de cada municipio. En tercer lugar, el diálogo con los entrevistados de cada localidad (dirigentes sociales, funcionarios públicos y representantes de empresas), que

proporcionaron datos e información actualizada sobre los actores existentes en sus territorios.

Para la elaboración del mapeo de actores se estableció el siguiente objetivo:

- Identificar a los actores sociales e institucionales, públicos, privados y comunitarios de interés en el marco del desarrollo e implementación futura del estudio Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca Quebrada de Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal

En la Figura 3-2 se explican el objetivo gráficamente.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-2: Desarrollo del objetivo

3.10.1 Actores identificados en área de estudio

En la Tabla 3-8 se detalla el listado de actores y grupo de actores relevantes que fueron convocados a integrar las actividades de participación ciudadana programadas y realizadas.

Tabla 3-8: Listado de Actores convocados

N°	Públicos	N°	Privados	N°	Comunitarios
1	Gobernador Regional de Atacama	1	CAZALAC Centro Regional del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe	1	Comunidad Indígena Diaguita de Trashumancia
2	Delegación Presidencial Regional de Atacama	2	CAPTA Centro Avanzado para Tecnologías del Agua	2	Comunidad Agrícola Totoral
3	Delegación Presidencial Provincial de Huasco	3	Empresa Hacienda Castilla	3	Comunidad de Regantes Totoral
4	Gobierno Regional de Atacama	4	Empresa Agrogénesis	4	Comité de Agua Subterránea Totoral
5	Senadora Yasna Provoste	5	Inacap Sede Copiapó	5	APR Totoral
6	Senador Rafael Prohens Espinosa			6	Comunidad Indígena territorial Totoral
7	Diputada Sofía Cíd Versalovic			7	Usuarios Canal Totoral
8	Diputada Daniella Cicardini Milla			8	Comunidad de agua sector Perales
9	Diputado Nicolás Noman Garrido			9	Comunidad de agua sector Bellavista
10	Diputado Jaime Mulet Martínez			10	J.V. Totoral
11	Diputado Juan Santana Castillo			11	Comunidad indígena diaguita cuenca de Totoral Perales
12	Consejero Regional Huasco Juan Santana Álvarez				
13	Consejero Regional Huasco Roberto Alegría Olivares				
14	Consejera Regional Huasco Rebeca Torrejón Sierra				

N°	Públicos	N°	Privados	N°	Comunitarios
15	Consejera Regional Huasco Fabiola Pérez Tapia				
16	Consejero Regional Copiapó Javier Castillo				
17	Consejero Regional Copiapó Fernando Ghiglino				
18	Consejero Regional Copiapó Sergio Bordoli				
19	Consejero Regional Copiapó Patricia González				
20	Consejero Regional Copiapó Rodrigo Rojas				
21	Consejero Regional Copiapó Patricio Alfaro				
22	Secretario Regional Ministerial de Gobierno				
23	SEREMI Bienes Nacionales				
24	SEREMI Medio Ambiente				
25	SEREMI Economía, fomento y turismo				
26	SEREMI de Transporte y Telecomunicaciones				
27	SEREMI MINVU				
28	SEREMI Desarrollo Social y Familia				
29	SEREMI Minería				
30	SEREMI de la Mujer y Equidad de Género				
31	SEREMI de Culturas, las Artes y el Patrimonio				
32	SEREMI de Energía				
33	SEREMI Agricultura				
34	SEREMI Salud				
35	SEREMI de Educación				
36	SEREMI Justicia				
37	SEREMI Trabajo				
38	INDAP				
39	CONADI				
40	CONAF				
41	SERNAGEOMIN				

N°	Públicos	N°	Privados	N°	Comunitarios
42	SEA				
43	CNR				
44	DOH				
45	Dirección de Planeamiento (MOP)				
46	DGA				
47	SAG				
48	ONEMI				
49	INIA Intihuasi Región de Atacama y Coquimbo				
50	SERNATUR				
51	CNR Zonal Norte Grande				
52	SISS				
53	OIRS MOP Regional Atacama				
54	Superintendencia de Medio Ambiente Atacama				
55	Departamento de Agua Potable Rural Región de Atacama				
56	Dirección Regional de Vialidad MOP Atacama				
57	Dirección Provincial de Vialidad Huasco				
58	SERVIU				
59	UGAT SEREMI Regional				
60	Municipalidad de Huasco				
61	Concejales Comuna de Huasco				
62	Municipalidad de Vallenar				
63	Concejales Comuna de Vallenar				
64	Municipalidad de Copiapó				
65	Concejales Comuna de Copiapó				
66	Universidad de Atacama				

Fuente: Elaboración propia.

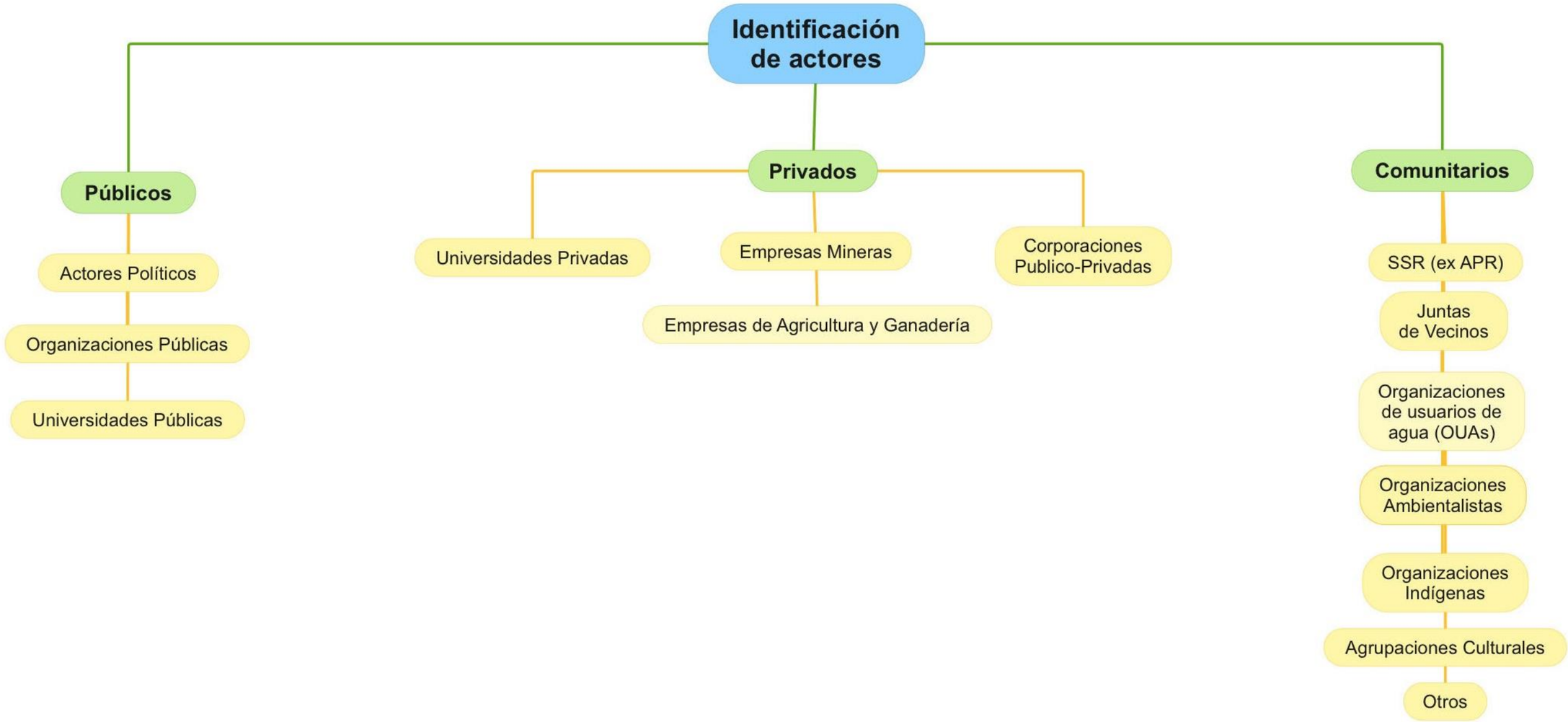
La convocatoria y, en su defecto, la modalidad en la que se llevó a cabo cada reunión fue bajo la consideración de las particularidades de cada territorio, teniendo en cuenta, principalmente, el tema de la conectividad y acceso a internet.

De esta forma, tanto los recursos como las actividades a realizar tuvieron que adaptarse a reuniones en formato online y en formato presencial.

3.10.2 Clasificación de Actores

Para comprender mejor el listado de actores precedente, se agrupó/clasificó a los actores estratégicos presentes en la cuenca Quebrada de Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, según se detalla en la Figura 3-3.

Cabe destacar que, se comprenderá por actores relevantes del territorio a aquellas instituciones, organizaciones, dirigentes y líderes formales e informales de las comunidades que desempeñan sus actividades en directa relación con el recurso hídrico.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-3: Clasificación/Agrupación de Actores en el área de estudio

3.10.3 El Mapa de Actores

El Mapa de Actores que se expondrá a continuación en la Figura 3-4, fue elaborado, a partir de cuatro criterios que permitieron identificar qué grado de influencia y disposición se encuentra cada actor respecto del estudio (PEGH). Estos criterios se formaron en base a las instancias de participación ciudadana y a la información señalada por organismos oficiales en cuanto a la gestión del recurso hídrico.

En primer lugar, es necesario aclarar que para establecer el grado de influencia/interés, se debe considerar el grado de influencia del actor relacionado en la toma de decisiones acerca de los recursos hídricos en el territorio. Es decir, los actores institucionales que desempeñan sus actividades en directa relación con el recurso hídrico, donde se pueden destacar los ministerios, las gobernaciones regionales, delegaciones regionales y provinciales, Seremias, direcciones regionales, municipalidades. En segundo lugar, el grado de interés/disposición se entiende para este ejercicio como una sumatoria de aspectos: el interés por la asistencia de algún representante de la institución/organización a las reuniones PAC, la entrega oportuna de información solicitada y la participación con opiniones en las reuniones que asistieron que permiten configurar una expresión de interés/disposición hacia el estudio.

El detalle de la lista de actores convocados que sí participaron tanto de las reuniones como de las entrevistas individuales se encuentra en el Capítulo 6.

En tercer lugar, para la construcción del mapa de actores se extrae la información oficial del Banco Mundial, que identifica 43 organismos vinculados con la gestión del recurso hídrico en Chile. El detalle de los organismos vinculados a la gestión del recurso hídrico en Chile se encuentra en el Acápite 3.9.

Por último, se sistematizó la información recuperada de las minutas de reuniones PAC, tanto de las reuniones de presentación, de los talleres intermedios y de las reuniones finales sobre los actores presente en el territorio y sus relaciones. El detalle de las minutas se encuentra en el Capítulo 8.

Es por lo anterior, que el Mapa de Actores tiene por objetivo graficar aquello que se desprende explicita e implícitamente de estos cuatro aspectos, que permiten ahondar y reconocer la baja, media o alta disposición que tienen los actores relevantes hacia el estudio y también el grado de influencia o poder que estos manejan en cuanto a la

gestión del recurso hídrico, lo que se entiende tendría directo impacto en el despliegue futuro del estudio.

Finalmente, es necesario señalar sobre las limitaciones para la elaboración de un mapa de actores, ya que la construcción de las referencias/categorías utilizadas tiene un componente subjetivo e interpretativo. Es una aproximación general para comprender las relaciones entre los actores, a su grado de influencia y disposición hacia el estudio, que están cimentadas en la interpretación de la información recogida en las reuniones, entrevistas y la revisión de la información secundaria.

Con esas restricciones y para entender las figuras que a continuación se presentan, se describen las categorías utilizadas:

A. Temas Hídricos: Corresponde a las materias relacionadas con la gestión de los recursos hídricos, especialmente los tópicos incluidos en el desarrollo del PEGH. En este sentido, se identifica la existencia de 43 organismos vinculados a la gestión del agua en Chile, los que se encargan de llevar a cabo un número de funciones establecidas en los marcos normativos para la gestión del agua.

B. Disposición/interés: El grado de interés/disposición se relaciona con una sumatoria de aspectos como el interés por la asistencia de algún representante de la institución/organización a las reuniones PAC, la entrega oportuna de información solicitada y la participación con opiniones en las reuniones que asistieron.

C. Influencia: Se entenderá a los actores con capacidad de impactar en las decisiones respecto del recurso hídrico, con las funciones en la gestión del agua y su participación en las iniciativas propuesta en el PEGH.

D. Relaciones conflictivas: Corresponde a actores que expresaron su desacuerdo, expresiones negativas y dificultades en la relación con otros actores.

E. Relaciones colaborativas directas: Corresponde a actores que, por las funciones establecidas para la gestión del agua, trabajan habitualmente.

F. Relaciones mixtas (colaboración y conflicto): Corresponde a actores que por funciones establecidas deben generar vínculos de colaboración, pero también existen conflictos en dichas vinculaciones.

A continuación, se identifican los acrónimos que podrán encontrarse en el Mapa de Actores:

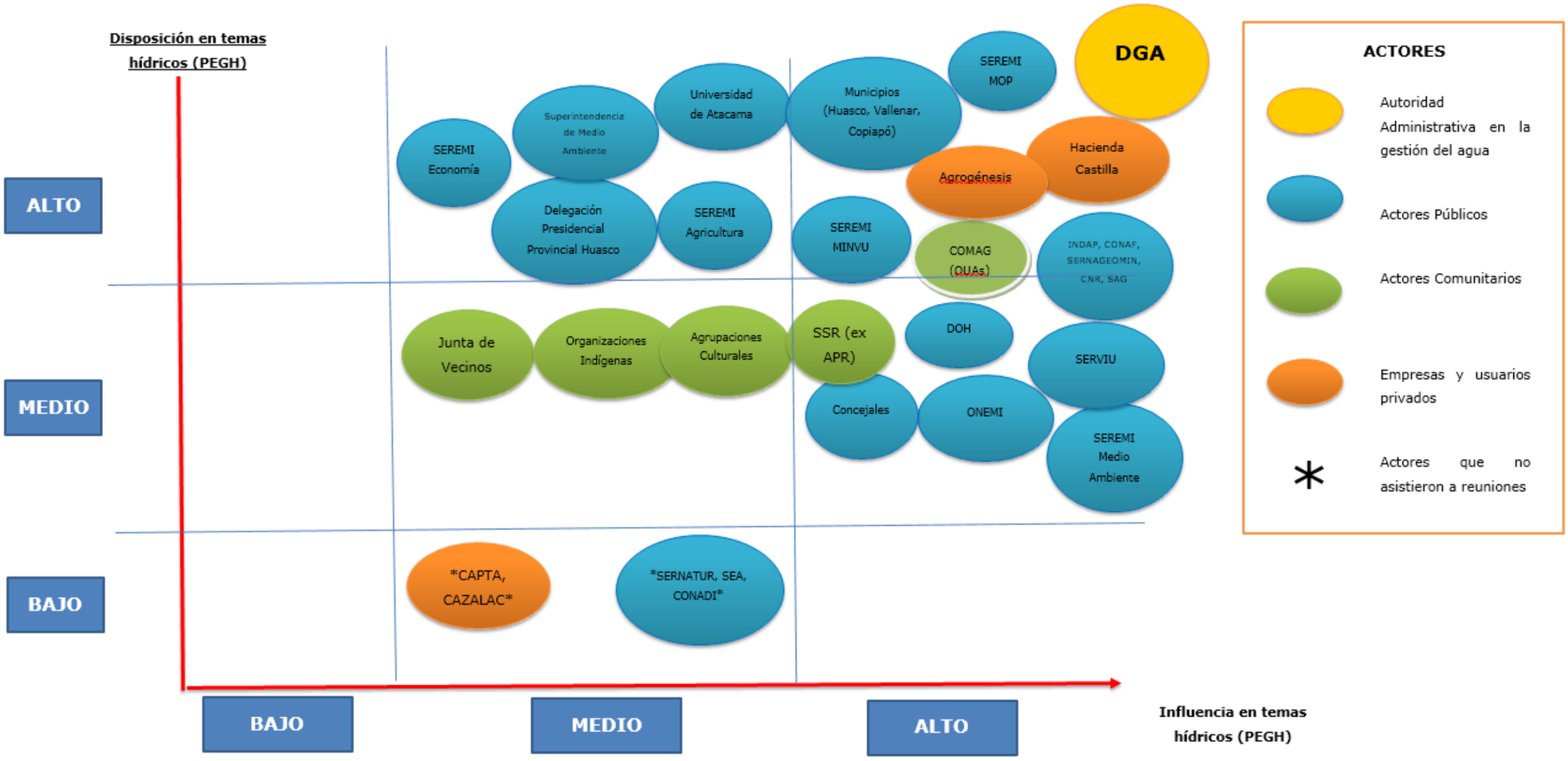
- ASCAN Asociaciones de Canalistas **

- CONAF Corporación Nacional Forestal
- CNR Comisión Nacional de Riego
- CNE Comisión Nacional de Energía **
- CIREN Centro de Información de Recursos Naturales **
- COD Comunidades de Obras de Drenaje **
- CONADI Corporación Nacional de Desarrollo Indígena *
- COMAG Comunidades de Aguas
- CGR Contraloría General de la República **
- CBR Conservador de Bienes Raíces **
- DGA Dirección General de Aguas
- DOH Dirección de Obras Hidráulicas
- DMC Dirección Meteorológica de Chile **
- DIFROL Dirección Nacional de Fronteras y Límites del Estado **
- DIPROREN Dirección de Protección de los Recursos Naturales
- DDU División de Desarrollo Urbano **
- DGOP Dirección General de Obras Públicas
- Fiscalía Fiscalía **
- GORE Gobierno Regional *
- INDAP Instituto de Desarrollo Agropecuario
- ISP Instituto de Salud Pública **
- INH Instituto Nacional de Hidráulica de Chile **
- JdV Juntas de Vigilancia **
- J.J.V.V. Juntas de Vecinos
- MMA Ministerio de Medio Ambiente
- MINVU Ministerio de Vivienda y Urbanismo
- ONEMI Oficina Nacional de Emergencias
- PJ Poder Judicial *
- SISS Superintendencia de Servicios Sanitarios
- SAG Servicio Agrícola y Ganadero
- SERVIU Servicio de Vivienda y Urbanismo
- SEA Servicio de Evaluación Ambiental *
- SMA Superintendencia del Medio Ambiente
- SERNAGEOMIN Servicio Nacional de Geología y Minería
- SEREMIA MOP Ministerio de Obras Públicas

- SSR (ex APR) Servicios Sanitarios Rurales (ex Agua Potable Rural)
- SUBPESCA Subsecretaría de Pesca y Acuicultura **
- SERNAPESCA Servicio Nacional de Pesca **
- TA Tribunales Arbitrales **
- TDLC Tribunal de la Defensa de la Libre Competencia **

(*) Actores que no asistieron a reuniones

(**) Actores relacionados con la gestión Hídrica pero no incluidos en este mapa de actores



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-4: Mapa de Actores (Disposición/Influencia)

En el Mapa de Actores de la Figura 3-4, se puede apreciar que la DGA tiene un rol protagónico en el estudio, teniendo en cuenta que es la autoridad administrativa principal en la gestión del agua, por ende, tanto su grado de disposición como de influencia se encuentran en un grado alto. Le siguen organismos como la Seremi MOP de la región de Atacama, como actor muy relevante para el desarrollo del estudio.

La DOH también es un actor considerado con una alta influencia, ya que se espera que realice un trabajo colaborativo directo con la DGA, entendiendo sus funciones en relación los SSR (ex APR). En el desarrollo del presente estudio tuvo una mediana disposición.

Asimismo, los municipios son los organismos públicos que han asumido un rol cada vez más relevante en la crisis hídrica que afecta a sus territorios (Huasco, Vallenar y Copiapó).Ellos han sido un actor constante en la asistencia a las reuniones, manejando información clave con respecto a población y su apoyo en el abastecimiento del agua potable a las comunidades. Por ello, se han ubicado en un grado alto de influencia y disposición. Ahora bien, con respecto al municipio de Freirina, como se detalla en el Capítulo 2, este no fue incluido en el Mapa de Actores, ya que en la primera reunión de presentación manifestaron que no debían ser incluidos, por su baja representación territorial en la cuenca.

La Seremi MINVU es otro actor relevante con una alta influencia y, a su vez, ha sido uno de los organismos con más profesionales participando en las reuniones de participación ciudadana, por ello se ha ubicado con una alta disposición para con el estudio.

La Seremi de Medio Ambiente y ONEMI son actores que se han ubicado un poco más abajo que los demás actores mencionados.

Algunos servicios públicos como INDAP, SERNAGEOMIN, CNR, CONAF y SAG se identifican con una mediana-alta influencia, han sido parte de las reuniones de participación ciudadana, opinando, haciendo preguntas y específicamente INDAP, ha aportado información clave para conocer la demanda de agua en los territorios del área de estudio.

Por otro lado, SERNATUR, SEA, y CONADI son servicios públicos que no han tenido participación en este estudio a pesar de que se les ha convocado para reuniones y entrevistas (en el caso de CONADI), lo que hace pensar que su disposición hacia el estudio es baja, de allí que se ubiquen con una mediana influencia y baja disposición.

Otro actor de suma relevancia y por ende con una alta influencia en la gestión de los recursos hídricos, son las COMAG (Comunidades de Agua), que están compuestas por las Organizaciones de Usuarios de Agua (OUAs) que distribuyen el recurso hídrico de acuerdo a los derechos de aprovechamiento que poseen los usuarios en cada una de las obras que les son comunes, organizándose en torno a cauces artificiales. Las COMAG han tenido un rol protagónico en las distintas reuniones, ya que tanto el Canal Bellavista como Perales y Totoral han participado activamente de las reuniones, dando a conocer sus puntos de vista y nutriendo el proyecto, al igual que los integrantes de la futura Comunidad de Aguas Subterráneas que se encuentra en proceso de formación. Por ello se ubican con una alta disposición e influencia.

Con respecto a los actores comunitarios, es posible identificar a los SSR (ex APR) con un grado alto de influencia, puesto que son las organizaciones comunitarias que gestionan el agua potable en la cuenca. En este sentido y según los criterios mencionados anteriormente, estos actores comunitarios han participado activamente en las reuniones de participación ciudadana, opinando y haciendo consultas pero manteniendo una desconfianza hacia la institucionalidad estatal (DGA), y por ende, se ubicarían con una mediana disposición.

Dos actores que se ubican con un alto grado de influencia y disposición hacia el estudio corresponden a las empresas/sociedad agrícolas como Hacienda Castilla y Agrogenesis. Por la importancia en la propiedad de los derechos de agua y la extensión de su propiedad en la cuenca, ellos esta considerados con alto grado de influencia. Asimismo, la disposición hacia el estudio fue alta colaboración con la información, participación y con la autorización para

Los actores universitarios (CAPTA y CAZALAC), tampoco han participado de las reuniones a las que se les han convocado, no respondiendo a los llamados telefónicos ni correos, por lo que se han ubicado con una mediana influencia y baja disposición.

La Universidad de Atacama sí se considera importante en el estudio, ya que ha entregado información para el mismo, además ha participado en las instancias a las que se les ha convocado, ubicándose con una mediana influencia, pero alta disposición.

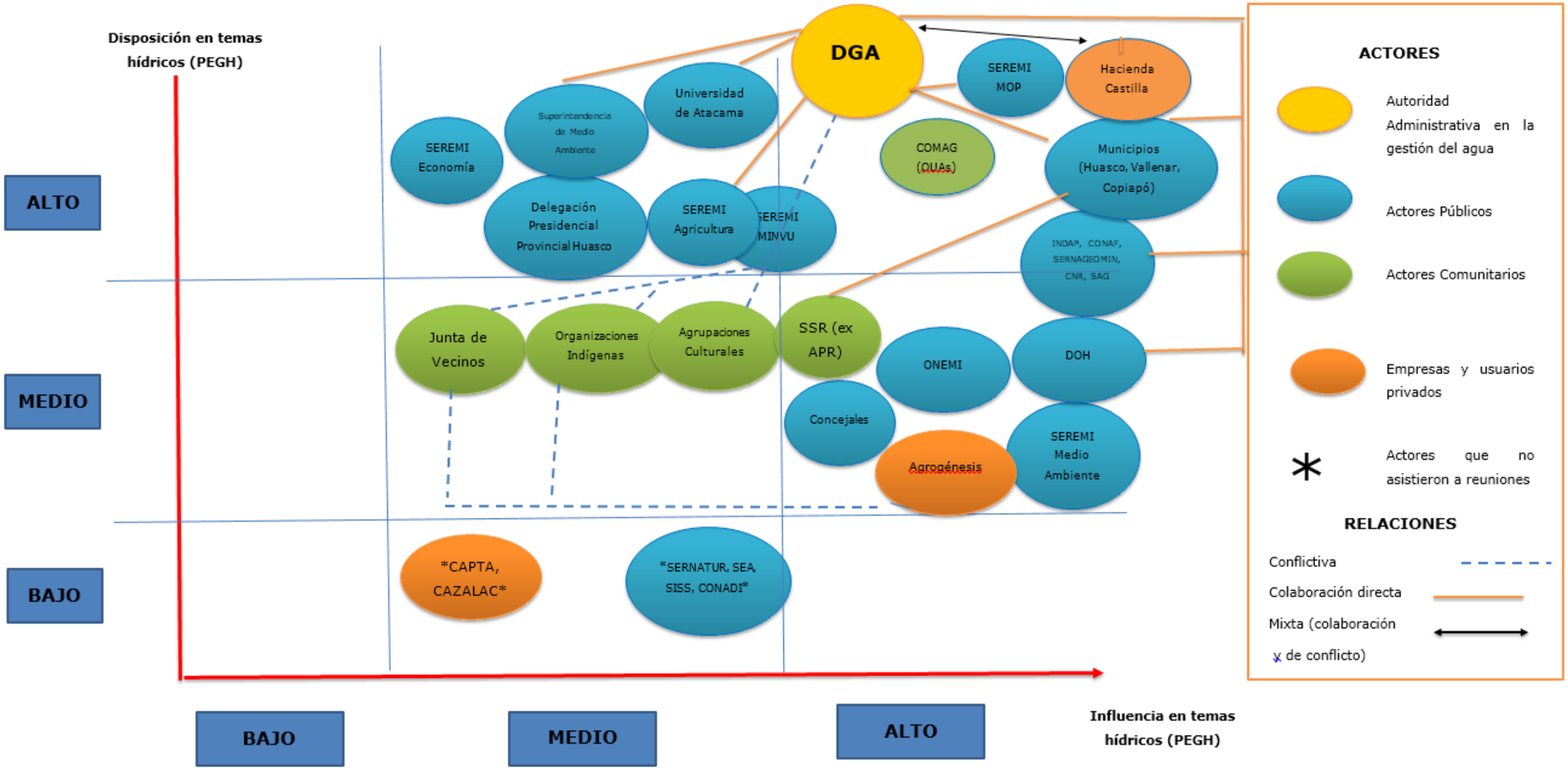
Finalmente. la delegación presidencial, la superintendencia de medio ambiente y la Seremi de Agricultura también son actores con una alta disposición hacia el estudio,

comentando en las reuniones, haciendo preguntas, acotando sugerencias, etc., identificando que tienen una mediana-alta influencia en el estudio.

3.10.4Relaciones entre Actores

Para avanzar en el análisis de los actores, en la Figura 3-5, se representa la dinámica de relación entre algunos actores sociales e institucionales, públicos y privados que son susceptibles de interés para el estudio. A partir de la información recopilada de los comentarios y observaciones proporcionadas tanto por las comunidades, los servicios públicos, municipalidades y las universidades en las diversas reuniones, es posible realizar una aproximación a las relaciones que se han ido gestando entre estos actores, que corresponden a los diversos grupos de interés en el área de estudio.

En las reuniones de participación ciudadana, se constató que las comunidades no mantienen una relación fluida con algunos organismos estatales, ya que indican que constantemente presentan problemas con el recurso hídrico y que no han tenido soluciones por años. Aquello, permite comprender que tanto los SSR, como las Juntas de Vecinos, comunidades Indígenas, Agrupaciones Culturales tendrían una disposición más bien media hacia el estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-5: Mapa de Actores – Relaciones

Como se mencionó anteriormente, las organizaciones de la comunidad, es decir, Juntas de Vecinos, APRs, Organizaciones Indígenas, entre otras, no mantienen una muy buena relación con organismos estatales, específicamente con la DGA, debido a los conflictos que han tenido en el pasado y el problema crítico que se vive con respecto al recurso hídrico en la región en general[3]. Esto se ve reflejado en los relatos de los asistentes, ya que mencionan, la desconfianza de las comunidades hacia el actuar del Estado (DGA) en materia hídrica.

Asimismo, la comunidad no está muy conforme con la utilización del recurso hídrico por parte de empresas como Hacienda Castilla y Agrogénesis, argumentando que estos estarían provocando gran parte del problema que sufren ellos actualmente con respecto al agua. Lo anterior, se pudo evidenciar en las reuniones de participación ciudadana, siendo mencionado constantemente por los y las dirigentes.

Por otra parte, se puede destacar una relación de cooperación entre las municipalidades del área de estudio (Vallenar, Huasco y Copiapó) y las distintas organizaciones presentes en las distintas localidades respecto del abastecimiento de agua potable a través del sistema de camiones aljibes. Los asistentes destacan el apoyo que las municipalidades realizan a través de la entrega de agua potable para las familias que carecen de ella. Los municipios son otro actor relevante que mantiene buenas relaciones con la DGA.

De igual forma, la DGA mantiene este tipo de relación con la DOH, entendiendo que esta última se encarga de todo lo que sea infraestructura con respecto al recurso hídrico y la DGA se encarga de la gestión de este recurso.

También hay una relación de cooperación con la Universidad de Atacama, lo que se vio reflejado en la reunión de presentación del proyecto, teniendo buena disposición a entregar datos, materiales, etc.

[3]La relación conflictiva de la DGA con las localidades y organizaciones se explica por el tipo de relación, vinculación e inserción de la DGA en el área de estudio. La molestia de los dirigentes y vecinos se resume en la baja frecuencia de las visitas a terreno de los funcionarios de la DGA, la modalidad de realizar las denuncias (vía internet), la percepción de una baja fiscalización y la demora/dilación de una respuesta a los problemas que dichas organizaciones le han plateado con anterioridad a la DGA. Un ejemplo de dicha relación conflictiva, en la localidad de Canto de Agua, los dirigentes enviaron un listado de problemas no abordados por la DGA a la consultora y para que la reunión inicial de PAC se realizara con su participación, los dirigentes solicitaron la presencia de las autoridades de la DGA regional con una respuesta.

4 ENTREVISTAS

4.1 Introducción

En este capítulo se presentarán las entrevistas que fueron realizadas tanto a actores de los servicios públicos como a actores de la comunidad insertos en el área de estudio, correspondiente a la cuenca Quebrada de Carrizal y Costeras hasta Río Huasco, con el fin de ahondar en la influencia que estos tienen en los territorios y, a su vez, los conocimientos que manejan de este. Lo que, junto con las reuniones de participación ciudadana, permitió posteriormente elaborar el mapeo de actores, identificando su disposición e influencia y los tipos de relaciones que se gestan entre estos.

En este capítulo se podrá encontrar la sistematización de las entrevistas a las comunidades y servicios públicos, y el detalle de las entrevistas realizadas se encuentra en el Capítulo 8: Apéndices digitales.

4.2 Sistematización de Entrevistas

Las entrevistas que se realizaron tuvieron por objetivo principal indagar en las percepciones/opiniones de los principales actores sobre la problemática hídrica del territorio, permitiendo entender la realidad hídrica de la cuenca.

En ellas se abordaron temáticas como la información de los recursos hídricos, usos y/o derechos de aprovechamiento de agua (DAA), mercado de DAA, institucionalidad y gobernanza, visibilidad, amenazas y oportunidades para el estudio y temas emergentes.

Se llevaron a cabo trece (13) entrevistas en total; seis (6) vía teléfono a representantes de las comunidades de Carrizal Bajo, Llanos del Lagarto, Los Toyos y Los Pozos, las que luego fueron realizadas de manera presencial, y dos (2) entrevistas a servicios públicos; una (1) a representantes de INDAP y otra a representantes de la DOH.

En la Tabla 4-1 se puede encontrar la sistematización de las entrevistas realizadas a las comunidades y en la Tabla 4-2 se encuentra sistematización de las entrevistas realizadas a INDAP y DOH. Cabe destacar que en la sistematización de servicios públicos no se hizo diferencia entre la cuenca Quebrada de Carrizal y Costeras hasta Río Huasco y cuenca Quebrada de Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, ya que los relatos de los entrevistados se referían a ambos territorios.

El detalle de las entrevistas se encuentra en el Capítulo 8: Apéndices digitales: Transcripción Entrevistas individuales comunidades.

El detalle de las entrevistas se encuentra en el Capítulo 8: Apéndices digitales: Minuta Entrevista INDAP y Minuta Entrevista DOH.

Tabla 4-1: Sistematización Entrevistas comunidades

Comuna / Localidad	Nombre	Cargo / Organización / Años en el cargo	Aspectos Centrales
Huasco / Carrizal Bajo	Magaly Salinas	Presidenta APR Más de 10 años en el cargo	• En temporadas altas hay escasez de agua la localidad • Actualmente la planta funciona con energía eléctrica, pero el pozo aún se maneja con grupo electrógeno. • Se manifiesta que se han realizado muy pocos proyectos en la planta, el último fue el año 2016 de parte de la DOH, con un presupuesto de 60 millones en que se compró la bomba de alta presión, la carcasa de los filtros, cartuchos y se pintó el estanque de carbón activado. • Actualmente, se encuentra en marcha un proyecto de 124 millones de pesos donde se hicieron mejores conectividades de alcantarillado, en que se cambiará una parte de la columna por sistema "hdp", pero se colocaron alcantarillados en casas donde no hay conectividad de agua, por lo que hubo una descoordinación de parte de la empresa. Además, se está trabajando en un tablero de energía para que la empresa de energía de la localidad pueda energizar también a la bomba. • Se indica que la DOH ayuda en ocasiones y otras veces visualiza al comité como autónomo, por lo que las ayudas se reducirían. • Carrizal Bajo se encuentra a 50 km de Huasco y a 100 de Vallenar, por lo que los recursos estarían menos accesibles, como, por ejemplo, contratar un gasfíter para que pueda arreglar la bomba cuando se avería. • Los socios de la bomba de agua son principalmente pescadores artesanales, algueros, dueñas de casa, restaurantes, cabañas, escuela, la posta, el jardín infantil, la sede comunitaria, etc. • En la localidad se encuentra un humedal que recibe agua de la quebrada homónima de Canto de Agua y el año pasado comenzó a ponerse verde. • La empresa más cercana es la mina Cerro Colorado. CNR sacan el agua de Nahueltoro. **Segunda Entrevista (Presencial):** • En el comité de APR lleva 18 años elegida por la asamblea • En 2001 se puso en funcionamiento la planta de APR. • Llegan aprox. 2.500 personas en el verano. • Las tomas de terreno son más de 300 personas. Son personas que sólo vienen en enero y febrero.
Huasco / Carrizal Bajo	Hugo Pérez	Presidente J.V. Moisés Núñez 2 años en el cargo	• El mayor problema que tienen con el agua es la cantidad de gente que llega a sus segundas viviendas. • Hay unas "tomas de terreno" que no tienen agua, luz, nada, la Municipalidad de Vallenar les reparte agua y este año no saben si se repartirá, lo que le genera un problema a la comunidad, ya que les pedirán agua. • La DGA solamente habla con el comité de agua, no con la directiva de la Junta de Vecinos, no han tenido ninguna reunión muy profunda con ellos. • Se menciona la necesidad de hacer un proyecto de cambio de cañerías que están dentro del extendido de cañerías de la caleta.
Huasco / Carrizal Bajo	Jessica Álvarez	Presidenta Agrupación cultural y recreativa Despertando Carrizal Hace 3 años en el cargo	• Hace dos años se colocó electricidad y ahí se mejoró el funcionamiento de la planta de agua. • Dos vecinas de la comunidad gestionaron la puesta de electricidad en el pueblo. • Las principales actividades productivas son pesca y el trabajo con el huiro. • Se menciona nunca haber visto a funcionarios de la DGA o DOH en la zona. • Se destaca ver el tema del humedal que se contaminó, falta fiscalización y cuidado. Este humedal fue declarado patrimonio de la naturaleza y ya no lo cuidan. **Segunda Entrevista (Presencial):** • Hay más de 400 familias que llegan en el verano a Carrizal • A quienes no tienen alcantarillado, la municipalidad de Huasco y Vallenar les entrega agua con camión aljibe. • Actualmente el humedal se está intentando descontaminar.

Comuna / Localidad	Nombre	Cargo / Organización / Años en el cargo	Aspectos Centrales
Huasco / Llanos del Lagarto	Onorio Godoy	Presidente Comunidad de crianceros y agricultores Llanos del Lagarto Llega hace 16 años a la localidad, pero se desconoce cuántos años lleva como presidente.	• Actualmente utilizan un sistema de placas solares (instalado en un proyecto de INDAP junto con DOH) para poder tener electricidad y que la planta de agua funcione, lo cual les genera problemas ya que a veces no hay sol hasta mediodía, por ende, no hay agua hasta medio día. A veces hasta las 3 de la tarde no tienen agua. Tienen el 100% de agua la mitad del mes. • Tal como se ha mencionado en otras localidades, a la zona ha llegado mucha gente, por lo que el consumo de agua ha aumentado. • Actualmente bienes nacionales es dueño del pozo de agua. Se destaca que es la única APR que no tiene ni derechos ni motor ni un generador para tirar el agua. La idea es que el APR tenga derechos de agua y tenga un sistema que permita no tener las falencias que tiene hoy día. • Allá se trabaja en la agricultura y ganadería, especialmente hortalizas, sandías, melón, el tomate, la papa, el choclo, la cebolla y la alfalfa para alimentar los animales. La mitad vive de la tierra y el resto no, ya que usan el agua potable. Algunos venden cabritos, carne, queso, huevos. • En la localidad, no hay empresas o industrias. • Tienen contacto con la DOH y la municipalidad, pero ya llevan esperando una solución varios años y no han tenido respuestas concretas. La DOH es la encargada de supervisar el APR, la comunidad les ha planteado el problema • Con respecto a la DGA, Don Onorio menciona que nunca se han acercado a hablar con la comunidad, que solo vendrían a medir el pozo. • Se destaca a INDAP como el apoyo más importante y constante que tienen actualmente. INDAP ha estado yendo, hacen reuniones con ellos, les dan capacitaciones para saber cómo tienen que hacer los cultivos, la siembra, cómo aprovechar mejor el agua. **Segunda Entrevista (Presencial):** • 25 familias que están cultivando actualmente y 45 son las que viven. • La comunidad de crianceros y agricultores se formó el año 95, se les dieron 78 hectáreas, 38 sitios actualmente todos ocupados. • La comunidad pasa todas las decisiones por asamblea. • Hay relaciones con INDAP. • Se entrega el agua para regar según el tamaño de superficie
Huasco / Los Pozos	Paloma Villegas	Presidenta Junta de Vecinos Los Pozos Actualmente están intentando reactivar la junta de vecinos	• En la zona tienen una situación crítica con el agua, ya que la municipalidad les va a dejar agua cada 25 días a través de un camión aljibe, son mil litros para cada familia, en que algunas tienen hasta 10 integrantes, por lo que se hace muy poca el agua. Además, tienen luz a través de un generador que se enciende en la tarde, por lo que no tiene luz durante el día. • Actualmente son 20 familias. Los Pozos es un islón rodeado de agua salada, se trabaja el huiro principalmente. • En el periodo del alcalde Loyola, hubo una negligencia y la municipalidad les repartía agua del río, por lo que toda la comunidad de los Pozos se intoxicó y cayó al hospital, desde allí les entregan agua potable, pero disminuyó a mil litros por familia cada 25 días. • No hay una buena relación con la municipalidad, ya que "los tienen abandonados". No conocen a las DGA ni a la DOH.
Huasco / Los Toyos	Lily Farias	Presidenta Comunidad Bello Horizonte (Los Toyos) 3 años en el cargo	• La comunidad está bien organizada, hacen reuniones, actividades en fechas importantes, a veces hacen en verano para los niños "la lota" y para los adultos. • Es una zona donde hay 10 familias radicadas que no tienen niños pequeños, solo las familias que tienen su segunda vivienda. • Hace ya varios años que compran el agua a un camión aljibe particular, como menciona la Sra. Lily: "cada vecino se encarga de llamarlo, porque yo les pasé a todos el número de él, entonces cada persona se hace responsable y él junta una cantidad de litros para venir en su camión aljibe y dice "tal día voy a ir" y les dice a los dueños o a nosotros, entonces los dueños a veces son de Serena, de otros lados y me piden a veces que les compre el agua y le transfieren directo a él. Es el mismo, hace 10 años que nos vende el agua. Tenía un camión chico y así fue creciendo y aquí la gente se acostumbró con él porque es muy responsable". • Se ve compleja la posibilidad de obtener derechos de agua ya que plantean que en el sector no hay agua, sólo agua de mar. • Se trabaja principalmente el huiro.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-2: Sistematización Entrevistas Servicios Públicos

Institución	Aspectos Centrales
INDAP (Instituto de Desarrollo Agropecuario)	• Se recalca la necesidad de INDAP de tener mayores certezas respecto a la oferta de agua en los territorios, ya que sólo manejan información histórica o de los agricultores más antiguos de la zona. • Indica que ellos manejan tres territorios dentro de las dos cuencas que serían Totoral, Canto de Agua y Llanos del Lagarto, donde tienen intervención de los servicios de INDAP. • Se indica que en Totoral hay tres comunidades de agua: Totoral, Bellavista y Perales, de las cuales Totoral es la única que está activa en estos momentos oficialmente. Bellavista y Perales iniciaron legalmente, pero no están trabajando y ese es un problema, ya que ellos están formados como comunidad y no pueden funcionar como comunidad. • Se menciona que INDAP ha intervenido bastante en Totoral y los grandes problemas que han tenido para seguir desarrollando, ha sido el tema de regularizaciones de derechos de agua o la propiedad demostrarla, básicamente pensando en que en Totoral hay gente de avanzada edad y que la mayoría son sucesiones y esas no las han regularizado, por lo que no cumplen los requisitos para ser usuarios de INDAP. • El 50% más 1 de los regantes no son usuarios de INDAP y hay gente que ha trabajado muchos años ahí ocupando el agua, pero no la tienen regularizada o por sucesiones • Hace 7 años INDAP hizo un proyecto con una fundación española; Ecnop, en el cual en conjunto llevaron a cabo un pequeño parque solar de 90 kilovatios, donde se hizo una obra de riego, que significa subir el agua del estanque que tienen abajo, a 54 metros de altura y de ahí hacer una red de distribución por todos los predios de los agricultores. Se hicieron 15 entregas, sin embargo, para entrar a ser más eficientes con el agua, que esa era el objetivo final, no teniendo los derechos de agua, no han podido entrar con riego tecnificado y los agricultores siguen regando tradicionalmente, perdiendo la poca agua que hay. • También se indica que hay un problema de aforo, en que las comunidades de agua del valle de Totoral nunca han aforado, por lo que no saben cuánto hoy en día es el agua que les llega al estanque. • Indican que cuando comenzaron el proyecto con la fundación española, aforaron en invierno y en verano y el promedio del caudal que hizo de ese proyecto fue como 7,5 litros por segundo. • Los agricultores en la parte alta, en sus casas y en los patios casi cercanos al cerro han empezado a plantar, sobre todo olivos y algunos frutales, generando un problema. Como indica el Jefe Subrogante de área INDAP Copiapó: "pensando que hay como promedio 7,5 litros por segundo, que la parte baja son alrededor de 15 hectáreas, la parte alta deben ser cerca de 10 hectáreas, o sea estamos hablando de 25 hectáreas y con esa agua, obviamente no se alcanza a regar y menos si estamos regando con riego tradicional" • Se menciona que la separación que llevó a cabo DGA en Totoral Alto y Bajo, generó un conflicto entre los habitantes por un tema de información, porque se enteraron en una reunión, alguien se los comentó, pero nunca fueron avisados. El Jefe Subrogante de área INDAP Copiapó indica que: "estoy hablando de lo que me dicen ellos, obviamente hay cosas que a uno no le consta 100%! • Hoy día el agua baja por gravedad y la suben con energía fotovoltaica, entonces están aprovechando las energías y donde están fallando, según mencionan, es en la eficiencia para poder tecnificar, básicamente por temas de derechos de agua. • En cuanto a sus programas, tienen el programa de riego intrapredial, todo lo que es dentro del predio, que específicamente va asociado a eficiencia, a riegos tecnificados o acumuladores de agua cuando tienen muchos turnos, alguna reposición de equipos, todo eso es intrapredial, y tienen el programa de riego asociativo extra predial, que ya están trabajando fuera del predio, que básicamente es conducción o entubación o conducción a través de canales con hormigón y también ven las bocatomas y las entregas de agua. Esos son como los dos grandes programas que tienen de riego y el otro que es el bono legal que quisieran que actuara más, lo han estado trabajando en Totoral, pero las regularizaciones, como son temas legales es un poco más lento. Esos son los 3 programas que ellos trabajan más en el tema del riego. Todos estos proyectos, ellos subsidian hasta 8 millones que equivale hasta el 90% del costo total del proyecto, lo que es intrapredial. Lo extra predial hasta 60 millones. • Canto del Agua y Llanos del Lagarto son del área de Vallenar, sin embargo, INDAP conoce la realidad y mencionan que es muy similar a lo de Totoral, solamente que Llanos del Lagarto tiene un pozo que es de bienes nacionales, que las últimas pruebas de bombeo, creen que arrojó como 26 litros por segundo, sin embargo, en derechos creen que son como 22; mencionan que ese sigue siendo un problema ahí grande en Llanos del Lagarto.

Institución	Aspectos Centrales
INDAP (Instituto de Desarrollo Agropecuario)	• Se indica que es raro que bienes nacionales tenga agua, será la única parte en Chile, en que básicamente fue una entrega que le hizo una ONG que se llama Coresol, Coresol iba a hacer una cárcel ahí que nunca se concretó, Coresol se adjudicó esa agua y finalmente cuando el proyecto no fluyó, se lo entregaron a bienes nacionales. El tema es que el agua nunca fue de bienes nacionales, el terreno sí. Se ha intentado que hoy día a Llanos del Lagarto le entreguen esta agua en concesión, ellos no tienen ningún problema. • Se menciona que: "en algún momento nosotros participamos, en conjunto con la DOH, en que se hizo un APR progresivo, aprovechando que nosotros pusimos placas fotovoltaicas para el riego y se aprovechó de sacar como 1 litro, litro y medio por segundo para el agua potable; gran avance para Llanos del Lagarto que está en medio del desierto. Yo creo que debe ser uno de los pocos proyectos que existe a lo largo de Chile de esa forma. Tuvimos miles de reuniones, finalmente el proyecto salió y costó, sin embargo, hoy en día tienen una llave en cada predio". Indican que la idea es que Llanos del Lagarto tenga agua potable, para darle un poco de sustentabilidad y estabilidad a Llanos del Lagarto, a sus 30 familias que ya han ido creciendo. También se menciona que todo lo que INDAP ha entrado a construir es con un certificado precario. • Han intervenido en Llanos del Lagarto mediante: paneles para sacar agua del pozo, capturaron el tranque, hicieron toda la red de distribución del agua, así que hay harto recurso invertido ahí y lo ideal sería que esas aguas pasen a Llanos del Lagarto. • Se indica que donde tienen que trabajar fuerte en Llanos del Lagarto es en la distribución; gran problema que tienen, ya que ellos todavía siguen con una distribución de 2 horas por usuario y de los 30 ya han ido aumentando, y esas 2 horas siguen igual, entonces hay algunos agricultores que hoy día necesitan un vaso y le están echando un tambor y eso no lo han podido entender. Como menciona el Jefe Subrogante de área INDAP Copiapó: "ellos siguen con sus 2 horas y si tienen que botar las 2 horas de agua las botan no más porque no están regando nada muy productivo, esas cosas son mentalidad y habría que hacer un trabajo más de capacitación y de acompañamiento" • INDAP ha hecho capacitaciones, cursos INDAP-SENCE relacionados con el tema del agua, llevaron también en un momento a gente de la CNR, gente de Copiapó que tiene mucha experiencia en comunidades de agua, para que ellos tengan otras experiencias, también hicieron el curso cense de aguas, pero falta. • Con respecto a Canto de Agua, indican que han abordado el tema de que los agricultores, normalmente tenían pozos zanja que hoy día ya no son tan eficientes y claramente hay más demanda por el agua que han tenido que ir profundizando pozos y ahí INDAP puede solamente intervenir a aquellos que tengan los derechos regularizados. También ahí en Canto del Agua ha sido un problema, INDAP ha actuado con bastante riego tecnificado, han colocado energía renovable, paneles fotovoltaicos, han arreglado los pozos zanja, temas asociativos no han hecho, no han hecho canales, pero si han ido llegando a la mayoría de los usuarios a lo menos con 1 hectárea o a lo menos con un riego tecnificado. Indican que ahora ya en Canto del Agua hay energía convencional, hay cosas que han ido mejorando. • El Jefe Subrogante de área INDAP Copiapó indica que las tres localidades son un poquito diferentes, pero el tema de regularización de derechos de agua es un problema, el tema de la oferta también, de saber cuánto es lo que hoy día se dispone, en un plazo de tiempo para hacer un poco más sustentable los negocios que se están haciendo. • INDAP piensa en hacer salas de proceso, quieren mejorar todo el tema productivo, el tema de comercialización, pero el tema del agua sigue siendo un elemento central de todo esto. Por último, se menciona que mantienen un convenio hace años con CONADI, exclusivamente de temas de riego. Han estado casi anualmente del 2018, 2017, $200 millones que tienen de riego con la CONADI y esos recursos los focalizan estrictamente en usuarios de INDAP que a la vez sean de un pueblo originario. Vienen trabajando con ellos, usan los mismos instrumentos que tiene INDAP, o sea el intrapredial y extra predial. La fuente de financiamiento es distinta y la focalización tiene que ser a usuarios que tengan el certificado de la etnia.
DOH (Dirección de Obras Hidráulicas)	• Se consulta específicamente a qué refiere el objetivo, se consulta si refiere a la sustentabilidad de la cuenca • Se menciona que pueden entregar los caudales que tiene cada sistema y en algún detalle. • Se recomienda involucrar a SERNAPESCA como actor relevante. • Se indica el requerimiento de conocer los términos de referencia del plan. • Se consulta si ya se tiene una visión de qué insumos se van a entregar. El Director Regional de DOH Atacama señala que: "sería bueno que pudieran hacer una minuta de eso y entregarla porque, a lo mejor, puede haber información que nosotros podamos aportar y que les sirva a ustedes para ese insumo en particular".

Fuente: Elaboración propia.

5 DESARROLLO DE REUNIONES PAC

5.1 Introducción

En este capítulo se presentarán las reuniones de participación ciudadana que se realizaron a lo largo del estudio. Se han elaborado subcapítulos que corresponden a cada reunión realizada, diferenciando reuniones de presentación, primeramente, y reuniones intermedias, correspondiente a los talleres. Además, en el subcapítulo 5.3 se podrán encontrar los resultados de las encuestas de las reuniones de presentación.

Se realizaron 7 reuniones de presentación correspondiente a DGA, servicios públicos, municipalidades, universidades, privados y comunidades. En el siguiente acápite se describe cada una de las reuniones realizadas.

Tal como fue mencionado en el acápite anterior, las reuniones PAC fueron desplegadas de manera unificada para ambas cuencas, considerando, por una parte, que las autoridades regionales y provinciales se repetirían y, por otra parte, en vista y consideración de la disponibilidad de las comunidades para poder conectarse y/o asistir a las reuniones.

Por ello, a continuación, se presentarán las reuniones correspondientes tanto a la cuenca Quebrada de Carrizal y Costeras hasta Río Huasco y cuenca Quebrada de Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal.

5.2 Reuniones de Presentación

5.2.1 Reunión de Presentación con DGA

La reunión de presentación con DGA se realizó el 23 de septiembre del año 2021, convocando a través de una invitación a los funcionarios de la DGA Región de Atacama y Nacional. En cuanto a las actividades de participación ciudadana dirigida a representantes de la DGA, se realizaron las siguientes tareas para su convocatoria:

- Preparación de invitación y envío virtual a todos los convocados, a través de Jorge Espinoza (DGA Región de Atacama)
- Llamado por teléfono corroborando llegada de invitación y reenvío de invitación
- Llamado por teléfono y/o correo electrónico confirmando la asistencia a la reunión
- Preparación de presentación para reunión

En la Figura 5-1 se presenta la invitación distribuida.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-1: Invitación reunión presentación con DGA

El programa ejecutado para la reunión de presentación con los funcionarios DGA se muestra en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1: Programa reunión presentación con DGA

Hora	Actividad	Responsable
10:00-10:10	Inicio	Consultor
10:10-10:15	Bienvenida, encuadre actividad	DGA
10:15 - 10:20	Saludo DGA	Autoridad del DGA
10:20 -10:45	Presentación del Estudio	Consultora
10:45-11:10	Participación – Dudas, Inquietudes, Consultas	Consultor
11:10- 11:20	Aplicación Encuestas Evaluación Actividad	Consultor
11:20-11:25	Palabras de Cierre	Inspector Fiscal. DGA

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5-2 se expone un resumen de los principales temas abordados por los actores que participaron en la reunión.

Tabla 5-2: Temas abordados reunión presentación con DGA

Reunión	Temas abordados
DGA	Se indica que la situación hídrica en las cuencas tiene la misma tendencia que en la Región de Atacama, es decir, déficit de precipitaciones. En estas cuencas, los usuarios se caracterizan por ser, generalmente, más pequeños, lo que significa que se requiere disponibilidad de agua para abastecer el tema doméstico de consumo humano. Se comenta sobre la Hacienda Castilla, que ocupa gran parte del territorio de la zona de estudio, es una propiedad privada que tiene asociado el proyecto Copiaport-e; este proyecto contempla la explotación de aguas subterráneas de 15 litros por segundo para conducirlo a través de un acueducto hacia un puerto que va a estar en Bahía Salada.

Fuente: Elaboración propia.

El detalle de la reunión se encuentra en el Capítulo 8.

5.2.2 Reunión de Presentación con Universidades y Centros de Estudios

La reunión con las universidades se realizó el 24 de septiembre del año 2021, convocando a través de una invitación a los investigadores de los centros de estudios con presencia en el área de estudio. En cuanto a las actividades de participación ciudadana dirigida a representantes de las universidades, se realizaron las siguientes tareas para su convocatoria:

- Preparación de invitación y envío virtual a todos los convocados, a través de Jorge Espinoza (DGA Región de Atacama)
- Llamado por teléfono corroborando llegada de invitación y reenvío de invitación
- Llamado por teléfono y/o correo electrónico confirmando la asistencia a la reunión
- Preparación de presentación para reunión

En la Figura 5-2 se presenta la invitación distribuida.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-2: Invitación reunión de presentación con Universidades y Centros de Estudios

El programa ejecutado para la reunión de presentación con Universidades y Centros de Estudios se muestra en la Tabla 5-3.

Tabla 5-3: Programa reunión de presentación con Universidades y Centros de Estudios

HORA	ACTIVIDAD	RESPONSABLE
10:00-10:10	Inicio	Consultor
10:10-10:15	Bienvenida, encuadre actividad	DGA
10:15 - 10:20	Saludo DGA	Autoridad del DGA
10:20 -10:45	Presentación del Estudio	Consultora
10:45-11:10	Participación – Dudas, Inquietudes, Consultas	Consultor
11:10- 11:20	Aplicación Encuestas Evaluación Actividad	Consultor
11:20-11:25	Palabras de Cierre	Inspector Fiscal. DGA

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5-4 se expone un resumen de los principales temas abordados por los actores que participaron en la reunión.

Tabla 5-4: Temas abordados reunión de presentación con Universidades y Centros de Estudios

Reunión	Temas abordados
Universidades y Centros de Estudios	Se consulta si se está hablando de aguas fósiles y si se van a hacer dataciones en estas aguas para entender cuál sería un uso sustentable del agua que hay en los acuíferos Se afirma que la Cuenca de Carrizal se conecta hasta arriba con precordillera, no es una cuenca costera únicamente, no es de alta cordillera, pero si a precordillera donde hay precipitaciones en forma de nieve, a diferencia de la otra cuenca que está un poco más al sur, que no tiene conexión con precordillera, es netamente una cuenca costera. Se destaca que se deben tomar medidas necesarias para tener una confianza acerca de los datos que están andando, porque muchos de los informes que las universidades realizan son con la información que ya está, que son por parte de estudios más bien privados que no son de carácter netamente científico, por lo que se necesitan diferentes tipos de proyectos colaborativos con las entidades académicas investigativas

Fuente: Elaboración propia.

El detalle de la reunión se encuentra en el Capítulo 8: Apéndice digitales: Minuta Reunión de Presentación Universidades y Centros de Estudios.

5.2.3 Reunión de Presentación con Municipalidades

La reunión con las municipalidades se realizó el 28 de septiembre del año 2021, convocando a través de una invitación a las municipalidades con presencia en el área de estudio. En cuanto a las actividades de participación ciudadana dirigida a representantes de las municipalidades, se realizaron las siguientes tareas para su convocatoria:

- Preparación de invitación y envío virtual a todos los convocados, a través de Jorge Espinoza (DGA Región de Atacama)
- Llamado por teléfono corroborando llegada de invitación y reenvío de invitación
- Llamado por teléfono y/o correo electrónico confirmando la asistencia a la reunión
- Preparación de presentación para reunión

En la Figura 5-3 se presenta la invitación distribuida.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-3: Invitación reunión presentación con Municipalidades

El programa ejecutado para la reunión de presentación con Municipalidades se muestra en la Tabla 5-5.

Tabla 5-5: Programa reunión presentación con Municipalidades

HORA	ACTIVIDAD	RESPONSABLE
10:00-10:10	Inicio	Consultor
10:10-10:15	Bienvenida, encuadre actividad	DGA
10:15 - 10:20	Saludo DGA	Autoridad del DGA
10:20 -10:45	Presentación del Estudio	Consultora
10:45-11:10	Participación – Dudas, Inquietudes, Consultas	Consultor
11:10- 11:20	Aplicación Encuestas Evaluación Actividad	Consultor
11:20-11:25	Palabras de Cierre	Inspector Fiscal. DGA

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5-6 se expone un resumen de los principales temas abordados por los actores que participaron en la reunión.

Tabla 5-6: Temas abordados reunión presentación con Municipalidades

Reunión	Temas abordados
Municipalidades	Se comenta que la comuna de Freirina tuvo un problema con Agrosuper por toda la contaminación que estaba causando al río Huasco. Se indica que el tema del agua es un tema social para las municipalidades. Se precisa, el tema de los humedales, que hay en las diferentes quebradas y las aguadas que se forman, tanto en Quebrada Cachiyuyo, en Quebrada Floral, en la parte alta de la quebrada Hierbabuena y las quebradas intermedias que hay hacia el sur de Totoral que están al límite de Huasco y Freirina En Carrizalillo aproximadamente existen unos 20 agricultores que tienen propiedad de tierra, pero no de las aguas, lo cual es una problemática importante. Se consulta si se tiene un diagnóstico que se pueda entregar a las municipalidades y también en qué situación están los pozos de captación a nivel provincial (Huasco). Se informa que la distribución del agua en la comuna de Huasco está distribuida en tres sectores; uno que tiene que ver con el sector urbano campamento, la distribución por el camión aljibe, en un segundo sector está la parte rural que corresponde a Huasco Bajo, El Pino y el sector La Arena y el tercero es el sector costero en borde costero que corresponde a Baratillo, Caleta Costa, Punta de Lobos y todo el sector de la comuna de Huasco. Se afirma que el municipio de Vallenar también cuenta con reparto de agua potable a diferentes sectores rurales de la comuna, tanto norte como sur e interiores, poseen dos camiones aljibes de 15 metros cúbicos y abastecen en forma permanente alrededor de 400 familias del territorio.

Fuente: Elaboración propia.

El detalle de la reunión se encuentra en el Capítulo 8.

5.2.4 Reunión de Presentación con Seremías, Delegados y Servicios Públicos

La reunión con Seremías, Delegados y Servicios Públicos se realizó el 29 de Septiembre del año 2021, convocando a través de una invitación a los Seremías, Delegados y Servicios Públicos relacionados con el área de estudio. En cuanto a las actividades de participación ciudadana dirigida a representantes de los servicios públicos, se realizaron las siguientes tareas para su convocatoria:

- Preparación de invitación y envío virtual a todos los convocados, a través de Jorge Espinoza (DGA Región de Atacama)

- Llamado por teléfono corroborando llegada de invitación y reenvío de invitación
- Llamado por teléfono y/o correo electrónico confirmando la asistencia a la reunión
- Preparación de presentación para reunión

En la Figura 5-4 se presenta la invitación distribuida.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-4: Invitación reunión presentación con Seremías, Delegados y Servicios Públicos

El programa ejecutado para la reunión de presentación con Seremías, Delegados y Servicios Públicos se muestra en la **Tabla** 5-7.

Tabla 5-7: Programa reunión presentación con Seremías, Delegados y Servicios Públicos

HORA	ACTIVIDAD	RESPONSABLE
10:00-10:10	Inicio	Consultor
10:10-10:15	Bienvenida, encuadre actividad	DGA
10:15 - 10:20	Saludo DGA	Autoridad del DGA
10:20 -10:45	Presentación del Estudio	Consultora

HORA	ACTIVIDAD	RESPONSABLE
10:45-11:10	Participación – Dudas, Inquietudes, Consultas	Consultor
11:10- 11:20	Aplicación Encuestas Evaluación Actividad	Consultor
11:20-11:25	Palabras de Cierre	Inspector Fiscal. DGA

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5-8 se expone un resumen de los principales temas abordados por los actores que participaron en la reunión.

Tabla 5-8: Temas abordados reunión presentación con Seremías, Delegados y Servicios Públicos

Reunión	Temas abordados
Seremías, Delegados y Servicios Públicos	Se consulta si están considerados los temas de agua potable rural asociados a estas cuencas. Se destaca la importancia de la laguna Carrizal Bajo, para la biodiversidad de las aves. El río se ha ido deteriorando durante la última temporada. Se comenta la relevancia de los peligros geológicos, sísmicos y aluviones en la zona. Relevancia dinámica de proyectos que van interactuando con todos los niveles de flujos hídricos. Atender la disponibilidad de agua, de recursos hídricos subterráneos, que es nulo en la mayoría de los casos en estas zonas. Se consulta si se podrá llegar a saber en qué sector la disponibilidad de agua podría permitir el desarrollo de algún proyecto agropecuario o descartarlo si aparece algún inversionista que quiera desarrollarlo.

Fuente: Elaboración propia.

El detalle de la reunión se encuentra en el Capítulo 8

5.2.5 Reunión de Presentación con Autoridades

La reunión con las autoridades políticas de la región de Atacama estaba planificada para el jueves 30 de Septiembre. Se distribuyó la invitación y al momento de confirmar la convocatoria con los consejeros regionales, se indicó que coincidía con otras actividades de su agenda. Se suspendió la reunión para una próxima fecha.

En la Figura 5-5 se presenta la invitación distribuida a las autoridades políticas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-5: Invitación reunión presentación con Autoridades

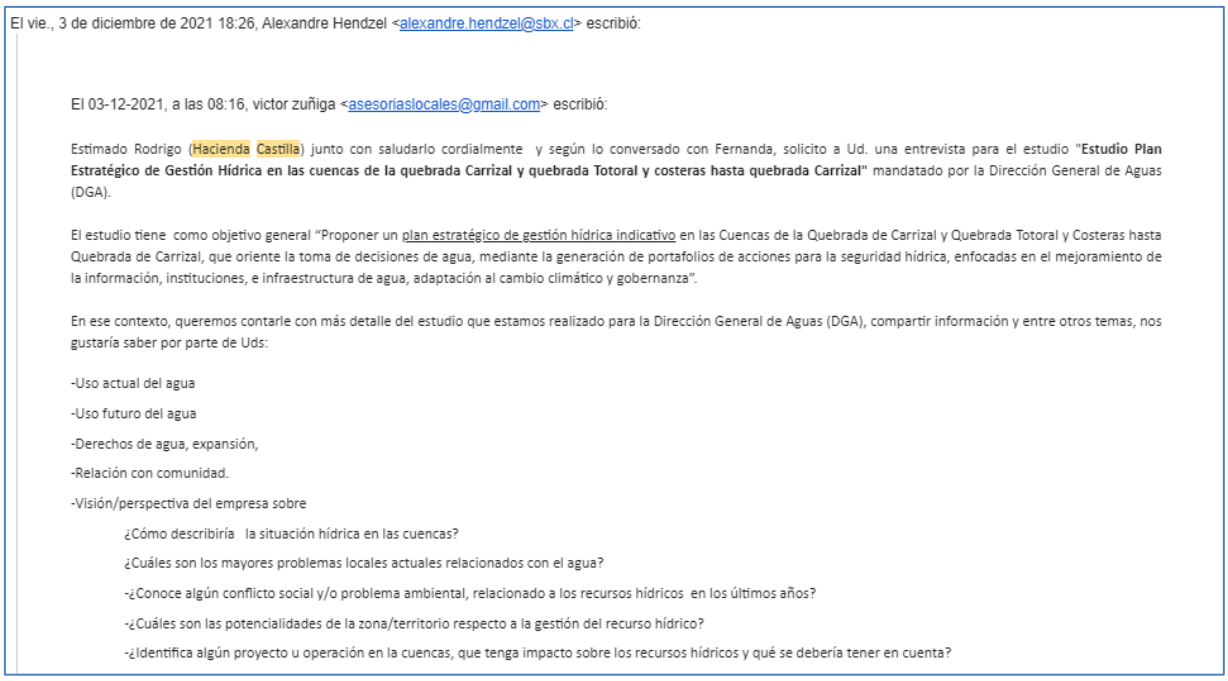
5.2.6 Reunión de Presentación con Privados

5.2.6.1 Reunión de Presentación con Hacienda Castilla

La reunión con la empresa Hacienda Castilla se realizó el 06 de diciembre del año 2021, convocando a través de una invitación a los actores idóneos para responder las inquietudes emergidas. En cuanto a las actividades de participación ciudadana dirigida a representantes Hacienda Castilla, se realizaron las siguientes tareas para su convocatoria:

- Invitación mediante correo electrónico los convocados a través del Encargado de PAC del Estudio (Víctor Zúñiga)
- Llamado por teléfono corroborando llegada de invitación y reenvío de invitación
- Llamado por teléfono y/o correo electrónico confirmando la asistencia a la reunión
- Preparación de presentación para reunión

En la Figura 5-6 se presenta el correo de invitación



El vie., 3 de diciembre de 2021 18:26, Alexandre Hendzel <alexandre.hendzel@sbx.cl> escribió:

El 03-12-2021, a las 08:16, victor zuñiga <asesoriaslocales@gmail.com> escribió:

Estimado Rodrigo (Hacienda Castilla) junto con saludarlo cordialmente y según lo conversado con Fernanda, solicito a Ud. una entrevista para el estudio "**Estudio Plan Estratégico de Gestión Hídrica en las cuencas de la quebrada Carrizal y quebrada Totoral y costeras hasta quebrada Carrizal**" mandatado por la Dirección General de Aguas (DGA).

El estudio tiene como objetivo general "Proponer un plan estratégico de gestión hídrica indicativo en las Cuencas de la Quebrada de Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, que oriente la toma de decisiones de 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 gobernanza".

En ese contexto, queremos contarle con más detalle del estudio que estamos realizado para la Dirección General de Aguas (DGA), compartir información y entre otros temas, nos gustaría saber por parte de Uds:

-Uso actual del agua

-Uso futuro del agua

-Derechos de agua, expansión,

-Relación con comunidad.

-Visión/perspectiva del empresa sobre

¿Cómo describiría la situación hídrica en las cuencas?

¿Cuáles son los mayores problemas locales actuales relacionados con el agua?

-¿Conoce algún conflicto social y/o problema ambiental, relacionado a los recursos hídricos en los últimos años?

-¿Cuáles son las potencialidades de la zona/territorio respecto a la gestión del recurso hídrico?

-¿Identifica algún proyecto u operación en la cuencas, que tenga impacto sobre los recursos hídricos y qué se debería tener en cuenta?

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-6: Correo de Invitación reunión presentación con Hacienda Castilla

El programa ejecutado para la reunión de presentación con Hacienda Castilla se muestra en la Tabla 5-9.

Tabla 5-9: Programa reunión presentación con Hacienda Castilla

HORA	ACTIVIDAD	RESPONSABLE
16:00-16:10	Inicio	Consultor
16:10-16:15	Bienvenida, encuadre actividad	DGA
16:15 - 16:20	Saludo DGA	Autoridad del DGA
16:20 -16:45	Presentación del Estudio	Consultora
16:45-17:10	Participación – Dudas, Inquietudes, Consultas	Consultor
17:10- 17:20	Aplicación Encuestas Evaluación Actividad	Consultor
17:20-17:25	Palabras de Cierre	Inspector Fiscal. DGA

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5-10 se presenta un resumen de los principales temas abordados por los actores que participaron en la reunión.

Tabla 5-10: Temas abordados reunión presentación con Hacienda Castilla

Reunión	Temas abordados
Hacienda Castilla	Profesionales de Hacienda Castilla expresan su disposición a colaborar con el despliegue del estudio, por lo que ofrecen aportar información y realizan recomendaciones y apreciaciones técnicas respecto a la instalación de pozos para análisis. De igual manera, solicitan a Consultora informar y comunicar las acciones que serán realizadas. Se hace referencia a la historia de desarrollo agrícola y uso de derechos de agua en la cuenca por parte de los antiguos dueños de la empresa en comparación a como en la actualidad la empresa administra los pozos. Se mencionan los conflictos que se han desarrollado a lo largo del tiempo entre la empresa y las comunidades, destacando que no son demasiados. Se manifiesta de igual manera el interés y la preocupación que tiene la empresa de hacer un uso sostenible de los derechos de agua que poseen Se alude al abordaje que realiza tanto la DGA como la empresa frente a extracciones ilegales, así como también la afectación negativa que eso detenta para el acuífero.

Fuente: Elaboración propia.

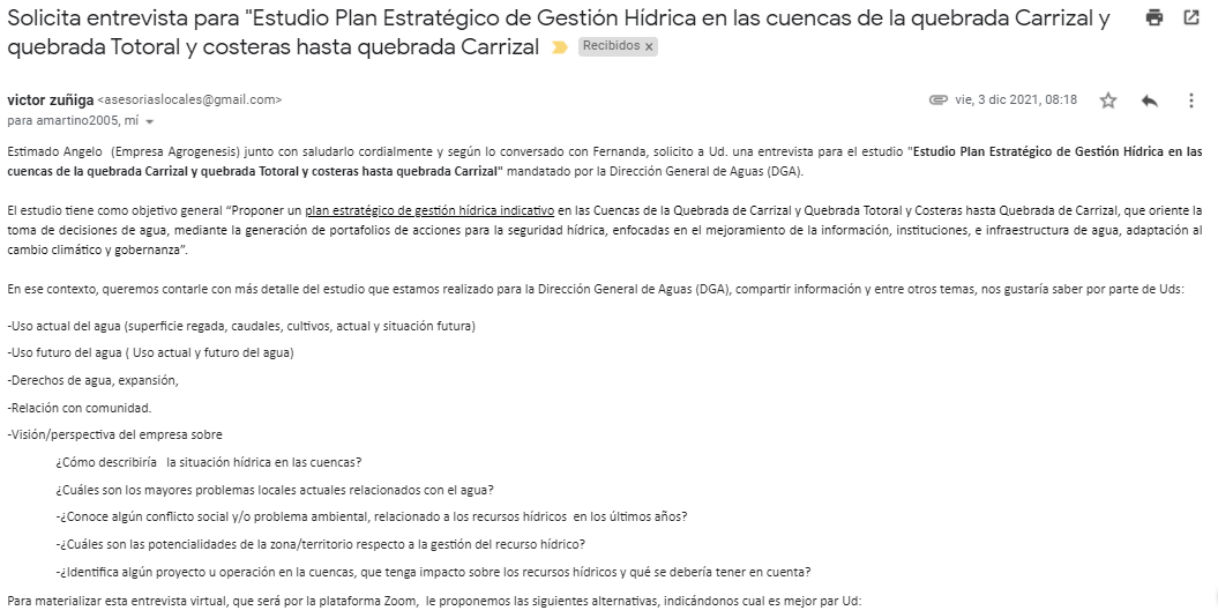
El detalle de la reunión se encuentra en el Capítulo 8.

5.2.6.2 Reunión de Presentación con Agrogénesis

La reunión con la empresa Agrogénesis se realizó el 07 de diciembre del año 2021, convocando a través de una invitación a los actores idóneos para responder las inquietudes emergidas. En cuanto a las actividades de participación ciudadana dirigida a representantes Agrogénesis, se realizaron las siguientes tareas para su convocatoria:

- Invitación mediante correo electrónico los convocados a través del Encargado de PAC del Estudio (Víctor Zúñiga)
- Llamado por teléfono corroborando llegada de invitación y reenvío de invitación
- Llamado por teléfono y/o correo electrónico confirmando la asistencia a la reunión
- Preparación de presentación para reunión

En la Figura 5-7 se presenta el correo de invitación.



Solicita entrevista para "Estudio Plan Estratégico de Gestión Hídrica en las cuencas de la quebrada Carrizal y quebrada Totoral y costeras hasta quebrada Carrizal Recibidos x

victor zuñiga <asesoriaslocales@gmail.com> vie, 3 dic 2021, 08:18
para amartino2005, mí

Estimado Angelo (Empresa Agrogenesis) junto con saludarlo cordialmente y según lo conversado con Fernanda, solicito a Ud. una entrevista para el estudio "**Estudio Plan Estratégico de Gestión Hídrica en las cuencas de la quebrada Carrizal y quebrada Totoral y costeras hasta quebrada Carrizal**" mandatado por la Dirección General de Aguas (DGA).

El estudio tiene como objetivo general "Proponer un plan estratégico de gestión hídrica indicativo en las Cuencas de la Quebrada de Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, que oriente la toma de decisiones de 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 gobernanza".

En ese contexto, queremos contarle con más detalle del estudio que estamos realizado para la Dirección General de Aguas (DGA), compartir información y entre otros temas, nos gustaría saber por parte de Uds:

-Uso actual del agua (superficie regada, caudales, cultivos, actual y situación futura)

-Uso futuro del agua (Uso actual y futuro del agua)

-Derechos de agua, expansión,

-Relación con comunidad.

-Visión/perspectiva del empresa sobre

¿Cómo describiría la situación hídrica en las cuencas?

¿Cuáles son los mayores problemas locales actuales relacionados con el agua?

-¿Conoce algún conflicto social y/o problema ambiental, relacionado a los recursos hídricos en los últimos años?

-¿Cuáles son las potencialidades de la zona/territorio respecto a la gestión del recurso hídrico?

-¿Identifica algún proyecto u operación en la cuencas, que tenga impacto sobre los recursos hídricos y qué se debería tener en cuenta?

Para materializar esta entrevista virtual, que será por la plataforma Zoom, le proponemos las siguientes alternativas, indicándonos cual es mejor par Ud:

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-7: Correo de Invitación reunión de presentación con Agrogénesis

El programa ejecutado para la reunión de presentación con Agrogénesis se muestra en la Tabla 5-11

Tabla 5-11: Programa reunión presentación con Agrogénesis

HORA	ACTIVIDAD	RESPONSABLE
15:30-15:40	Inicio	Consultor
15:40-16:50	Bienvenida, encuadre actividad	DGA
15:50 – 16:00	Saludo DGA	Autoridad del DGA
16:00 -16:25	Presentación del Estudio	Consultora
16:25-16:55	Participación – Dudas, Inquietudes, Consultas	Consultor
16:55- 17:10	Aplicación Encuestas Evaluación Actividad	Consultor
17:10-17:20	Palabras de Cierre	Inspector Fiscal. DGA

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5-12 se expone un resumen de los principales temas abordados por los actores que participaron en la reunión.

Tabla 5-12: Temas abordados en reunión presentación con Agrogénesis

Reunión	Temas abordados
Agrogénesis	Se realiza una presentación general de la empresa, los trabajos que realizan y la metodología empleada para ello. De igual manera se alude al uso efectivo que estos realizan del agua en contraste a los derechos que poseen. Se aluden a ciertas problemáticas y tensiones que existen entre la empresa y las comunidades. Se coordina trabajo colaborativo entre la empresa y la consultora. Se hace referencia a situaciones de extracciones ilegales en diferentes puntos del sector y robos reiterados de material.

Fuente: Elaboración propia.

El detalle de la reunión se encuentra en el Capítulo 8.

5.2.7 Reunión de Presentación con Comunidades

5.2.7.1 Reunión de Presentación con Totoral

La reunión con la comunidad de Toral se realizó el 29 de Septiembre del año 2021, convocando a través de una invitación a las organizaciones pertenecientes a la localidad de Totoral. En cuanto a las actividades de participación ciudadana dirigida a representantes de las organizaciones, se realizaron las siguientes tareas para su convocatoria:

- Preparación de invitación y envío virtual a todos los convocados, a través del Encargado de PAC del Estudio (Víctor Zúñiga)
- Llamado por teléfono corroborando llegada de invitación y reenvío de invitación
- Llamado por teléfono y/o correo electrónico confirmando la asistencia a la reunión
- Preparación de presentación para reunión

En la Figura 5-8 se presenta la invitación distribuida



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-8: Invitación reunión presentación con Totoral

El programa ejecutado para la reunión de presentación con Totoral se muestra en la Tabla 5-13.

Tabla 5-13: Programa reunión presentación con Totoral

HORA	ACTIVIDAD	RESPONSABLE
16:30-16:40	Inicio	Consultor
16:40-16:45	Bienvenida, encuadre actividad	DGA
16:45 - 16:50	Saludo DGA	Autoridad del DGA
16:50 -17:15	Presentación del Estudio	Consultora
17:15-17:45	Participación – Dudas, Inquietudes, Consultas	Consultor
17:45- 17:50	Aplicación Encuestas Evaluación Actividad	Consultor
17:50-17:55	Palabras de Cierre	Inspector Fiscal. DGA

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5-14 se expone un resumen de los principales temas abordados por los actores que participaron en la reunión.

Tabla 5-14: Temas abordados reunión presentación con Totoral

Reunión	Temas abordados
Totoral	Se señala que en Bellavista y Perales va un camión aljibe a entregarle agua, cada 15 días, 1000 cúbicos de agua a cada persona. Se manifiesta una desconfianza de parte de la comunidad hacia la DGA y Consultoras, debido a que señalan no haber tenido buenas experiencias al trabajar con DGA.

Fuente: Elaboración propia.

El detalle de la reunión se encuentra en el Capítulo 8: Apéndice digitales: Minuta Reunión de Presentación Totoral.

5.3 Encuestas Reuniones de Presentación

Para complementar las reuniones realizadas, se envió a los/as convocados/as una encuesta para ser respondida por ellos. Dicha encuesta identificó las mejoras que podrían incorporarse en futuras reuniones, recuperando problemas de conectividad, los tiempos de exposición y preguntas, entre otros. Se distribuyó vía correo electrónico y WhatsApp a los actores públicos y municipales, actores universitarios y actores comunitarios.

5.3.1 Análisis de resultados reuniones de presentación con DGA, Universidades y Centros de Estudios, Municipios, Seremías, Delegados y Servicios Públicos.

Los principales resultados de las encuestas realizadas son los siguientes:

a) Las encuestas fueron respondidas en su mayoría por hombres, 53,3% y mujeres 46,7%.
b) En general, el horario de la presentación se consideró bueno, con un 53,3%, y muy bueno, con un 46,7%
c) Con respecto al tiempo total de duración de la reunión, en su totalidad lo consideraron –apropiado- (100%). Las otras opciones eran –excesivo- y –poco-.

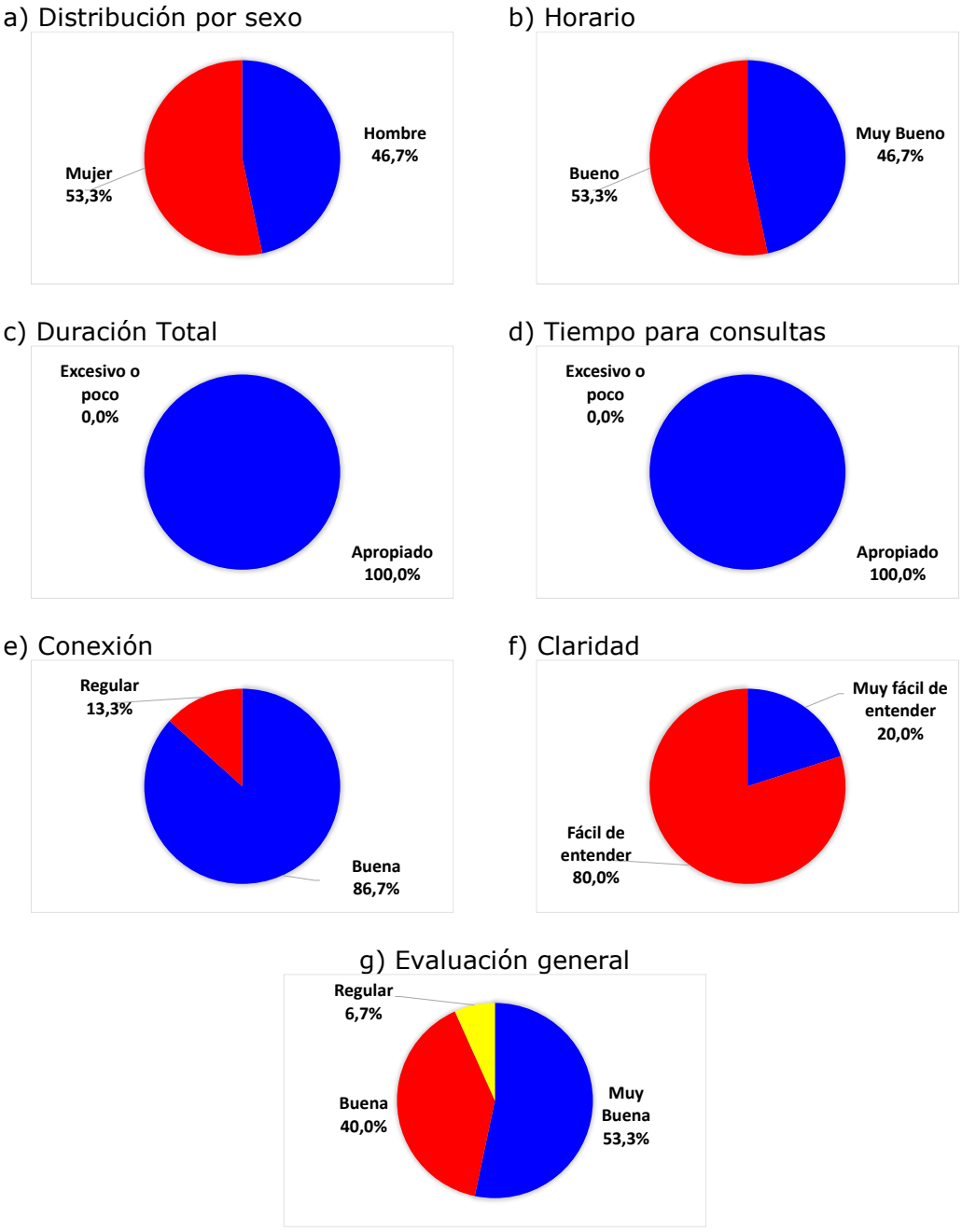
d) En su totalidad (100%), el tiempo destinado a acoger inquietudes se consideró apropiado. Las otras opciones eran –excesivo- y –poco-.
e) En cuanto a la conexión de internet y redes móviles para la reunión, se evaluó con un 13,3% -regular- y 86,7% -bueno-.
f) Un 80% de los asistentes a las reuniones consideró fácil de entender la presentación y un 20% consideró que la presentación fue muy fácil de entender.
g) En términos generales, la actividad de participación ciudadana se evaluó como –buena-, en un 53,3% -muy buena- en un 40% y –regular- con un 6,7%.

La última pregunta, referida a cómo se podría mejorar la actividad de Participación Ciudadana Virtual, las sugerencias fueron:

1. "Creo que ya existe cierta saturación de la conexión sincrónica, pero de momento súper bien. Gracias"
2. "Incorporar algún medio tecnológico para el registro de opiniones"
3. "Muy buena"
4. "Quizás enviar con anticipación una minuta para mejorar la participación de los invitados"

Los resultados se muestran gráficamente en la Figura 5-9.

Análisis basado en 15 encuestas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-9: Encuesta Reunión reuniones de presentación con DGA, Universidades y Centros de Estudios, Municipios, Seremías, Delegados y Servicios Públicos

5.3.2 Análisis de Resultados Reuniones de presentación con Comunidades

A partir de las encuestas realizadas a Carrizal Bajo, Totoral, Llanos del Lagarto, Los Toyos y Caleta Angosta, fue posible identificar:

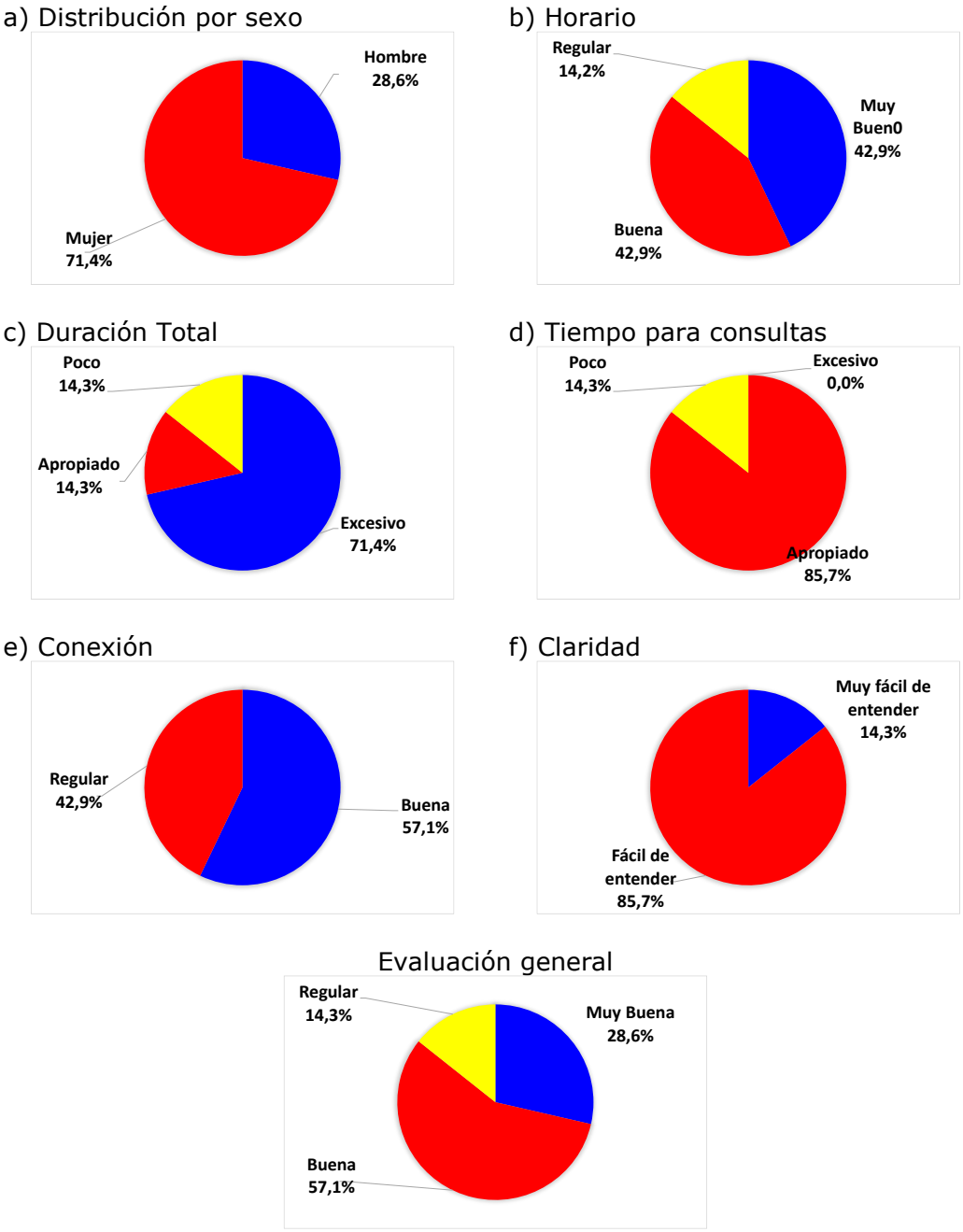
a) En su mayoría quienes respondieron la encuesta, son mujeres, con un 71,4% y hombres con un 28,6%.
b) En general el horario de duración de la presentación se consideró –muy bueno- y –bueno-, con un 42,9%, y –regular- con un 14,3%.
c) El tiempo que duró la reunión lo consideraron en su mayoría –apropiado- con un 71,4%, y 14,3% lo considero –excesivo- y –poco-, respectivamente.
d) En general se consideró –apropiado- el tiempo destinado a acoger las inquietudes, sugerencias y comentarios, con un 85,7% y un 14,3% lo consideró –poco-.
e) La conexión de internet se consideró –buena- en un 57,1% y –regular- un 42,9%.
f) La presentación se evaluó en general como –fácil de entender- con un 85,7% y –muy fácil de entender- con un 14,3%.
g) En términos generales la Actividad de Participación Ciudadana fue evaluada como –buena- con un 57,1%, -muy buena- con un 28,6% y –regular- con un 14,3%.

La última pregunta, referida a cómo se podría mejorar la actividad de Participación Ciudadana Virtual, las sugerencias fueron:

1. "Todo bien"
2. "Convocatoria"
3. "Estuvo correcta"
4. "Presencial sería mucho mejor la participación y cambios de opiniones es más fluida"
5. "No ninguna solo seguir aprendiendo"
6. "La verdad de las no me manejo mucho en reunión de esta forma virtual, por eso en algunos puntos puse la alternativa regular. Con relación a la participación ciudadana debería en base a una masiva convocatoria. De lo contrario hacerla presencial, por la razón que muchos no los manejamos de esta forma. Ustedes están claro que están tratando con dirigentes del sector Rural"
7. "Solo revisar antes la plataforma para evitar contratiempos"

Los resultados se muestran gráficamente en la Figura 5-10.

Análisis basado en 7 encuestas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-10: Encuesta Reunión reuniones de presentación con Comunidades

5.4 Reuniones Intermedias (Talleres)

5.4.1 Reunión Intermedia Servicios Públicos, Autoridades, Académicos y Privados

La reunión intermedia con Servicios Públicos, Autoridades, Académicos y Privados se realizó el 02 de marzo del año 2022, convocando a través de una invitación a los actores idóneos para responder las inquietudes emergidas. En cuanto a las actividades de participación ciudadana dirigida a representantes de Servicios Públicos, Autoridades, Académicos y Privados, se realizaron las siguientes tareas para su convocatoria:

- Invitación mediante correo electrónico los convocados a través del Encargado de PAC del Estudio (Víctor Zúñiga)
- Llamado por teléfono corroborando llegada de invitación y reenvío de invitación
- Llamado por teléfono y/o correo electrónico confirmando la asistencia a la reunión
- Preparación de presentación para reunión

En la Figura 5-11 se presenta la invitación distribuida



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-11: Invitación Reunión intermedia con Servicios Públicos, Autoridades, Académicos y Privados

El programa ejecutado para la reunión de presentación con Servicios Públicos, Autoridades, Académicos y Privados se muestra en la Tabla 5-15.

Tabla 5-15: Programa reunión intermedia con Servicios Públicos, Autoridades, Académicos y Privados

HORA	ACTIVIDAD	RESPONSABLE
15:00-15:10	Inicio	Consultor
15:10-15:15	Bienvenida, encuadre actividad	DGA
15:15 - 15:20	Saludo DGA	Autoridad del DGA
15:20 -15:45	Presentación del Estudio	Consultora
15:45-16:10	Participación – Dudas, Inquietudes, Consultas	Consultor
16:10- 16:20	Aplicación Encuestas Evaluación Actividad	Consultor
16:20-16:25	Palabras de Cierre	Inspector Fiscal. DGA

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5-16 se expone un resumen de los principales temas abordados por los actores que participaron en la reunión.

Tabla 5-16: Temas abordados reunión intermedia con Servicios Públicos, Autoridades, Académicos y Privados

Reunión	Temas abordados
Servicios Públicos, Autoridades, Académicos y Privados	Taller intermedio a servicios públicos, autoridades, académicos y privados, mediante ZOOM, en el cual participaron instituciones como SEREMI de Medio Ambiente, CONAF, CNR, INDAP, SERVIU, DGA, Municipalidades de Huasco y Copiapó. Se realizó un breve diagnóstico de la cuenca, de las problemáticas y soluciones identificadas preliminarmente. Se llevó a cabo actividad con programa Mentimeter y se evaluó la instancia. Se destacan las problemáticas más relevantes, tales como: • Precaria planificación en crecimiento urbano de localidades. Deterioro ambiental en fuentes de agua. • Descontrol por llegada de población flotante en periodo estival. Alta cantidad de pozos ilegales. Deficiente gestión manejo de recursos hídricos. • Además, se mencionan nuevas problemáticas señaladas por los asistentes, que refieren principalmente a: • La proliferación de microbasurales. • El traspaso de terrenos privados en sectores de vegas o humedales a algún ente público. •

Reunión	Temas abordados
Servicios Públicos, Autoridades, Académicos y Privados	• La integración de la información entre servicios que tengan la competencia de gestión del recurso hídrico, tiempos distintos y actualización de los instrumentos de planificación (instrumentos normativos, y otros) considerando las dinámicas que existen. • El uso de agua conforme el artículo 56 del Código de Aguas. • Uso doméstico. • Comunidad de Canto de Agua informa sobre preocupación por ocupación de la Vega del sector por parte de privados. • Financiamiento con subsidios CNR o INDAP a pozos que no tienen regularizados sus derechos de aprovechamiento. • Inexistencia de sistemas de monitoreo hidrogeológico. • La falta de una articulación o gobernanza público – privada para la administración del recurso hídrico de la cuenca, que es una de las propuestas que se están barajando en la Convención Constitucional. • Baja cobertura y apoyo de servicios públicos en localidades rurales. • Crecimiento de parcelas. • Mayor gestión hídrica, entre públicos y privados, considerando la presencia de santuarios de la naturaleza. • El impacto de la minería a gran escala aguas arriba. • Baja prioridad política para implementar programas y planes de intervención y mejoramiento en comunidades rurales. De igual forma, se conversa sobre iniciativas preliminares para abordar las problemáticas mencionadas, dentro de las cuales se destacan: • Mejoramiento de red de control de calidad y nivel de aguas subterráneas. • Plan de fiscalización de extracciones. Estudio de caracterización ambiental de humedales. • Mejoramiento de infraestructura (Acumulación, Distribución y tecnificación de riego intrapredial. También se mencionan nuevas iniciativas, tales como: • Estudio y caracterización de aguadas. • Tratamiento del agua en soluciones particulares sanitarias. • Si bien se valoran las distintas acciones que se han realizado entorno al recurso hídrico, es necesario una Gobernanza que sea sistemática en el tiempo, apoyada con un mecanismo efectivo de seguimiento para un Plan de acciones (Gobierno Reg. y otros). •

Reunión	Temas abordados
Servicios Públicos, Autoridades, Académicos y Privados	• Estudio y caracterización de flora y fauna de las cuencas. • Estudios de factibilidad de identificación de fuentes de agua e infraestructura hídrica para la zona. • Programa de monitoreo continuo de las cuencas hidrográficas. • Estudios hidrogeológicos de las subcuencas para mejorar la toma de decisiones en el territorio. • Diseñar e implementar un modelo de gestión integral y participativa de administración del recurso hídrico por cuenca. Protección de humedales, vegas, cuerpos de agua a través del traspaso de los terrenos a instituciones gubernamentales para su manejo.

Fuente: Elaboración propia.

El detalle de la reunión se encuentra en el Capítulo 8: Apéndice digitales: Minuta Reunión Intermedia Servicios Públicos, Autoridades, Académicos y Privados.

5.4.2 Reunión Intermedia Totoral

La reunión intermedia con Totoral se realizó el 04 de marzo del año 2022, convocando a través de una invitación a los actores idóneos para responder las inquietudes emergidas. En cuanto a las actividades de participación ciudadana dirigida a representantes de Totoral, se realizaron las siguientes tareas para su convocatoria:

- Invitación mediante correo electrónico los convocados a través del Encargado de PAC del Estudio (Víctor Zúñiga)
- Llamado por teléfono corroborando llegada de invitación y reenvío de invitación
- Llamado por teléfono y/o correo electrónico confirmando la asistencia a la reunión
- Preparación de presentación para reunión

En la Figura 5-12 se presenta la invitación distribuida.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-12: Invitación reunión intermedia con Totoral

El programa ejecutado para la reunión de presentación con Totoral se muestra en la Tabla 5-17.

Tabla 5-17: Programa reunión intermedia con Totoral

HORA	ACTIVIDAD	RESPONSABLE
15:00-15:10	Inicio	Consultor
15:10-15:15	Bienvenida, encuadre actividad	DGA
15:15 - 15:20	Saludo DGA	Autoridad del DGA
15:20 -15:45	Presentación del Estudio	Consultora
15:45-16:10	Participación – Dudas, Inquietudes, Consultas	Consultor
16:10- 16:20	Aplicación Encuestas Evaluación Actividad	Consultor
16:20-16:25	Palabras de Cierre	Inspector Fiscal. DGA

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5-18 se expone un resumen de los principales temas abordados por los actores que participaron en la reunión.

Tabla 5-18: Temas abordados reunión intermedia con Totoral

Reunión	Temas abordados
Totoral	Taller intermedio a comunidad de Totoral, de forma presencial, en el cual participaron dirigentes de diversas agrupaciones de la localidad de Totoral. Se realizó un breve diagnóstico de la cuenca, de las problemáticas y soluciones identificadas preliminarmente. Se llevó a cabo actividad participativa. No fue posible usar Mentimeter. Se usó alternativa con paleógrafos. Se destacan las problemáticas más relevantes, tales como: • Insuficiente infraestructura hídrica. • Descontrol por llegada de población flotante en periodo estival. • Deterioro ambiental en fuentes de agua. Deficiente gestión manejo de recursos hídricos. • Alta cantidad de pozos ilegales. • Insuficiente conectividad (internet) para interactuar con DGA, DOH y otros. • Baja fiscalización en uso de DDA. • Baja cobertura de sistemas APR. • Baja disponibilidad de nuevas fuentes de agua. • Baja capacitación y asesoría en materia de recursos hídricos.

Reunión	Temas abordados
Totoral	• Limitado acceso a información sobre recursos hídricos. • Escasa disponibilidad de DDA. • Alta dependencia del sistema de distribución de agua pública y privada.Precaria planificación en crecimiento urbano de localidades. Además, se mencionan nuevas problemáticas señaladas por los asistentes: • Existencia del decreto de restricción que divide la cuenca de Totoral. • Ubicación SSR (Distribución SSR). • Existencia de parcelas de agrado en humedal. • Falta de comunicación con CNR e INDAP. • Falta de cohesión institucional (Coordinación de Organizaciones Públicas). De igual forma, se conversa sobre iniciativas preliminares para abordar las problemáticas mencionadas, dentro de las cuales las comunidades destacan: • Programa de difusión y transferencia tecnológica en sistema de riego tecnificado. • Mejorar infraestructura y tecnificación de riego intrapredial. • Estudio de caracterización ambiental de humedales. • Mejorar red de control de calidad y nivel de aguas subterráneas. • Mejorar/Ampliar infraestructura SSR. • Programa de desarrollo agropecuario. • Plan de fiscalización de extracciones. Capacitaciones en materia hídrica (ejemplo: código de aguas/ DDA). • Capacitación en buenas prácticas agrícolas. • Programa de educación ambiental. • Buscar nuevas fuentes de abastecimiento (cosecha nubes, desalación, etc.). También se mencionan nuevas iniciativas, tales como: • Regular el uso de suelo. • Actualización de estudios Hidrográficos y Coordinación entre servicios públicos. Se comenta que es importante la inversión y la actualización de los estudios, porque es lo único que va a determinar qué cantidad real de agua hay y cómo está cambiando la dinámica que está teniendo permanente la cuenca.

Fuente: Elaboración propia.

El detalle de la reunión se encuentra en el Capítulo 8: Apéndice digitales: Minuta Reunión Intermedia Totoral.

5.5 Encuestas Reuniones Intermedias (Talleres)

5.5.1 Análisis de Resultados Reuniones Intermedias con Servicios Públicos, Autoridades, Académicos y Privados

En el taller intermedio realizado con las Servicios Públicos, Autoridades, Académicos y Privados, asistieron 19 personas, de las cuales 2 contestaron la encuesta.

Los principales resultados de las encuestas realizadas son los siguientes:

a) Las encuestas fueron respondidas por 1 hombre (50%) y 1 mujer (50%)
b) En general, el horario de la presentación se consideró regular y muy bueno, ambos con un 50%
c) Con respecto al tiempo total de duración de la reunión, lo consideraron apropiado en un 100%
d) En su totalidad (100%), el tiempo destinado a acoger inquietudes se consideró apropiado. Las otras opciones eran –excesivo- y –poco-.
e) En cuanto a la conexión de internet y redes móviles para la reunión, se evaluó buena, con un 100%.
f) La mitad de los encuestados consideró la presentación fácil de entender (50%) y la otra mitad la consideró muy fácil de entender (50%)
g) En términos generales, la actividad de participación ciudadana se evaluó como –buena- y muy buena, ambas con un 50% de los votos.

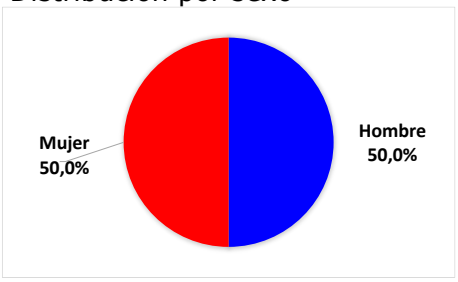
La última pregunta, referida a cómo se podría mejorar la actividad de Participación Ciudadana Virtual, las sugerencias fueron:

1. "Utilizar menos palabras técnicas o simplificarlas, especialmente con comunidades locales"

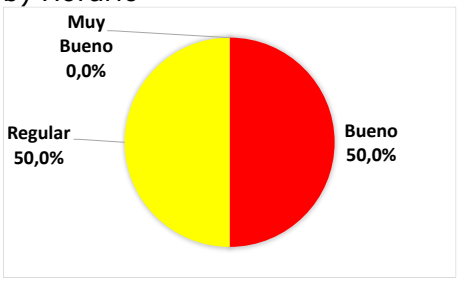
Los resultados se muestran gráficamente en la Figura 5-13.

Análisis basado en 2 encuestas.

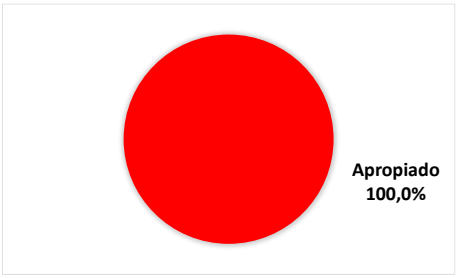
a) Distribución por sexo



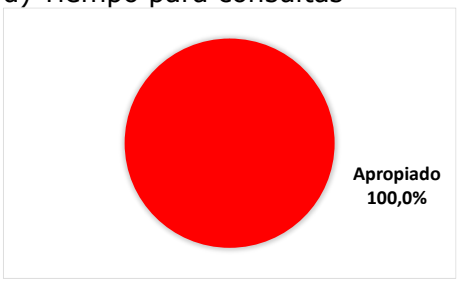
b) Horario



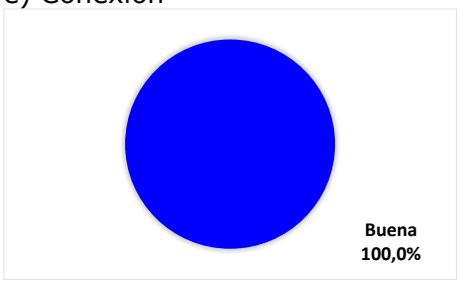
c) Duración Total



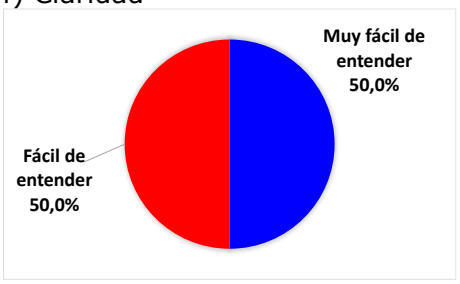
d) Tiempo para consultas



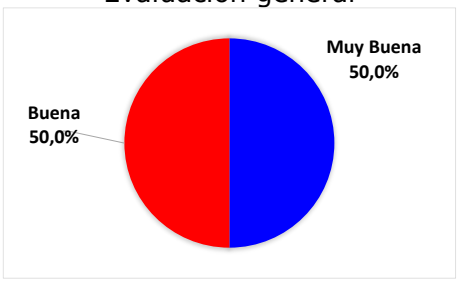
e) Conexión



f) Claridad



Evaluación general



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-13: Encuesta Reunión Intermedia con Servicios Públicos, Autoridades, Académicos y Privados

5.5.2 Análisis de Resultados Reuniones Intermedias Comunidad Totoral

En el taller intermedio realizado con la Comunidad de Totoral, asistieron 19 personas, de las cuales 4 contestaron la encuesta.

Los principales resultados de las encuestas realizadas son los siguientes:

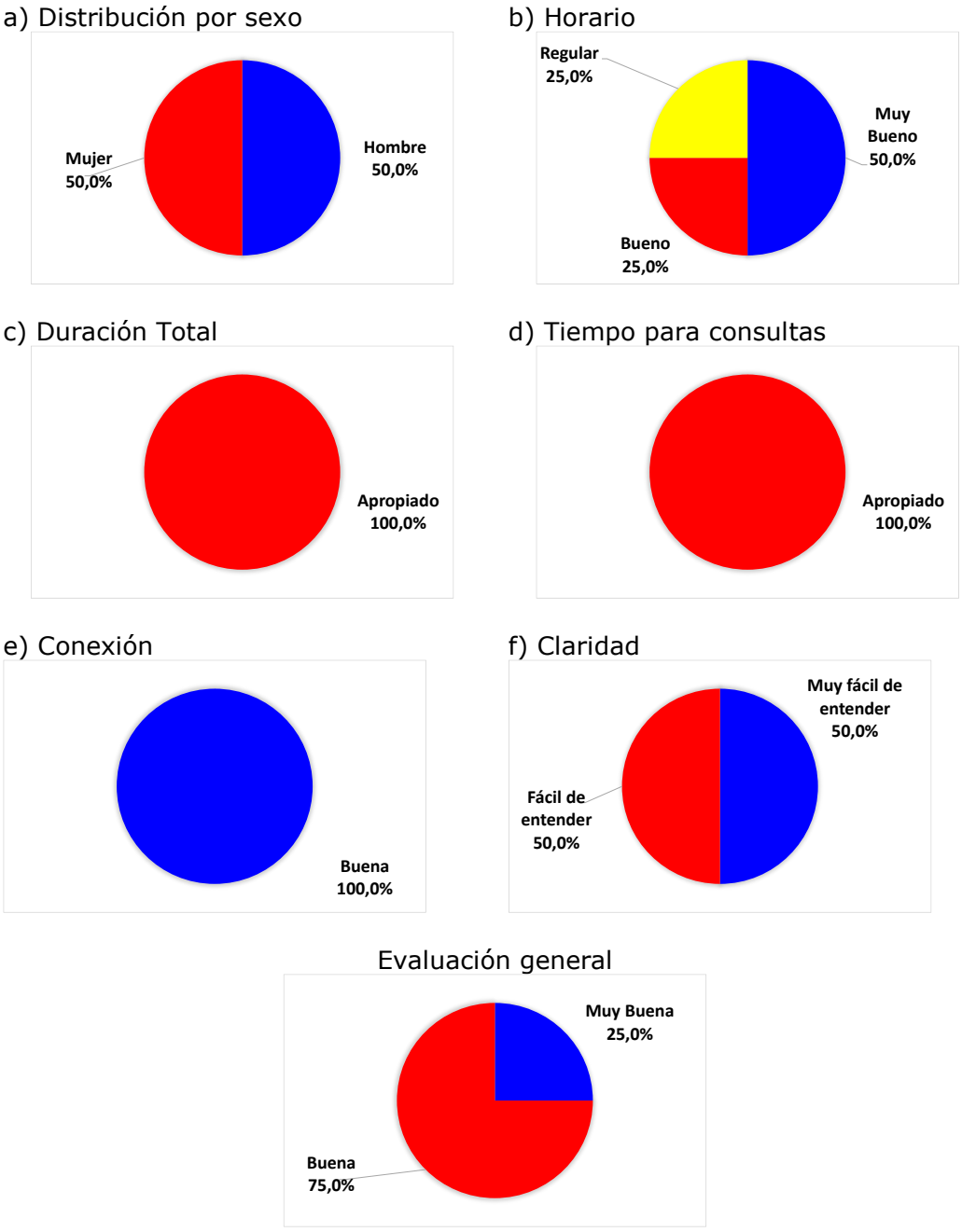
a) Las encuestas fueron respondidas en un 50% por mujeres y 50% por hombres
b) El horario de la presentación se consideró en su mayoría muy bueno, con un 50%, un 25% lo consideró bueno y otro 25% lo consideró regular.
c) Con respecto al tiempo total de duración de la reunión, lo consideraron apropiado en un 100%
d) El tiempo destinado a acoger inquietudes se consideró en su totalidad apropiado, con un 100%
e) En cuanto a la conexión de internet y redes móviles para la reunión, se evaluó buena, con un 100%.
f) El 50% de los encuestados consideró la presentación muy fácil de entender y el otro 50% la consideró fácil de entender
g) En términos generales, la actividad de participación ciudadana se evaluó como buena, con un 75% y muy buena, con un 25%

La última pregunta, referida a cómo se podría mejorar la actividad de Participación Ciudadana Virtual, las sugerencias fueron:

1. "Cofee"
2. "No"

Los resultados se muestran gráficamente en la Figura 5-14.

Análisis basado en 4 encuestas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-14: Encuesta Reunión Intermedia con Comunidad Totoral

5.6 Reuniones Finales

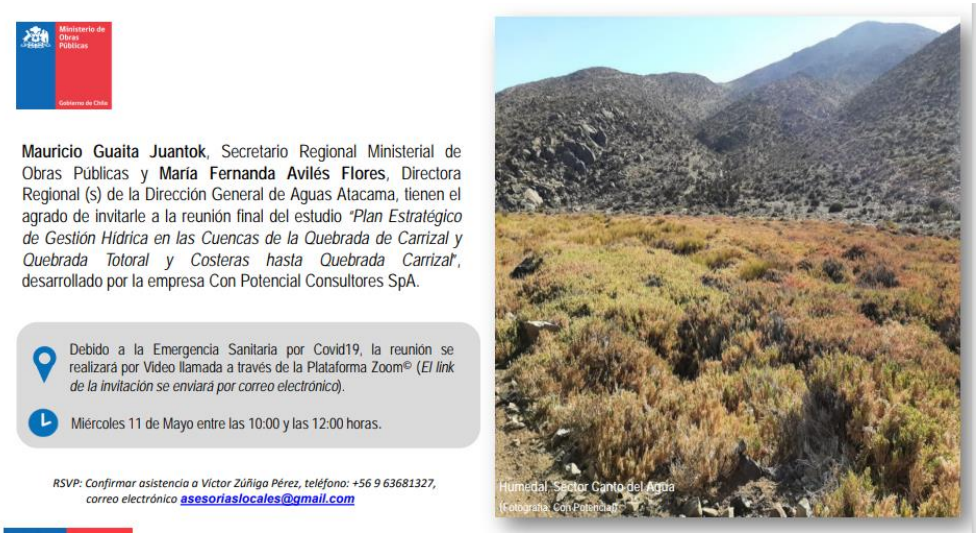
Las reuniones finales están en proceso de sistematización. Las minutas de las reuniones se encuentran en Apéndice Digital (Anexo I PAC).

5.6.1 Reunión Final Servicios Públicos, Autoridades y Académicos

La reunión final con Servicios Públicos, Autoridades y Académicos se realizó el 11 de mayo del año 2022, convocando a través de una invitación a los actores idóneos para responder las inquietudes emergidas. En cuanto a las actividades de participación ciudadana dirigida a representantes de Servicios Públicos, Autoridades y Académicos, se realizaron las siguientes tareas para su convocatoria:

- Invitación mediante correo electrónico a los convocados a través del Encargado de PAC del Estudio (Víctor Zúñiga)
- Llamado por teléfono corroborando llegada de invitación y reenvío de invitación
- Llamado por teléfono y/o correo electrónico confirmando la asistencia a la reunión
- Preparación de presentación para reunión

En la Figura 5-15 se presenta la invitación distribuida



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-15: Invitación reunión final con Servicios Públicos, Autoridades y Académicos

El programa ejecutado para la reunión final con Servicios Públicos, Autoridades y Académicos se muestra en la Tabla 5-19.

Tabla 5-19: Programa reunión final con Servicios Públicos, Autoridades y Académicos

HORA	ACTIVIDAD	RESPONSABLE
10:00-10:10	Inicio e Ingreso asistentes	Consultor
10:10-10:15	Bienvenida, encuadre actividad	DGA
10:15 - 10:20	Saludo DGA	Autoridad DGA
10:20 -11:00	Resultados del Estudio	Consultora
11:00-11:50	Participación – Dudas, Inquietudes, Consultas	Consultor – DGA
11:50- 11:55	Aplicación Encuestas Evaluación Actividad	Consultor
11:55-12:00	Palabras de Cierre	Inspección Fiscal DGA

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5-20 se expone un resumen de los principales temas abordados por los actores que participaron en la reunión.

Tabla 5-20: Temas abordados reunión final con Servicios Públicos, Autoridades y Académicos

Reunión	Temas abordados
Servicios Públicos, Autoridades y Académicos	Se realizan los siguientes comentarios e inquietudes: Paula Ramos consulta si en el Plan se especifica en detalle cómo desarrollar seguimiento, monitoreo y/o evaluación. Felipe Espinoza responde que el Plan considera estos elementos, y que se especifica en detalle, pero que por tiempo no fue presentado en el taller. Claudio Balbontín señala que INIA también debe ser considerado como una institución presente dentro del plan, ya que tienen toda la disponibilidad de aportar en la mayor medida posible. Señala que faltó referir a las especies agrícolas, que esto debe ser considerado y trabajado. Destaca la recuperación de aguas grises como una opción a considerar, y que desde INIA están trabajando en este tema. Menciona que existen más opciones que la desalación, ya que esta posee ciertas complicaciones, por lo que quizás no sea tan sustentable.

Reunión	Temas abordados
Servicios Públicos, Autoridades y Académicos	Finalmente, considera que se debe incluir a la región en la Red Nacional Meteorológica, pues así se puede combatir la falta de información existente. Felipe Espinoza responde que muchas de las cosas mencionadas por Claudio están incluidas en el Plan, tal como la recuperación de aguas grises y la desalación, pero que por temas de tiempo, no se pueden mencionar todas. En este sentido, la desalación es considerada solo en caso de que las demás propuestas no funcionen. Con respecto a la falta de información, aclara que esta no se abordó de manera general, sino que el Plan especifica cuál es la información faltante para que DGA pueda materializar las propuestas en un futuro. Sin embargo, se reconoce que hay ciertos elementos que pueden mejorarse dentro del Plan. Alberto González comparte la opinión de Claudio Balbontín sobre desaladora. En ese sentido, consulta si fueron evaluadas las costas. Felipe Espinoza señala que no, que solo se analizó la desalación en términos generales por ser una solución muy a largo plazo, y que todos los análisis se hicieron en consideración de estar en una primera fase. Directora (S) comenta que DGA necesita que se especifiquen varias cosas, porque a mayor claridad, DGA puede solicitar fondos a futuro. El estudio entrega información para luego generar las iniciativas correspondientes. Felipe Espinoza comenta que se presentan puntos preliminares para monitoreo, no así ubicación, pero sí sectores, escenario en el cual falta especificar. En este sentido, el estudio resulta un buen punto de partida. Directora (S) reflexiona que las cuencas que abarca el Plan no poseen muchos asentamientos ni tampoco gran disponibilidad de agua, por lo que se han dejado un poco olvidadas. Este estudio es el primero que abarca información para poder seguir avanzando en estudios futuro. En cuanto a las medidas de corto plazo, enfatiza en la importancia de fomentar nuevas comunidades de agua subterránea, y también que el financiamiento para ello no viene desde DGA, sino desde CNR. Bajo el contexto de la presentación de las propuestas de solución relativas a mejorar los servicios sanitarios rurales de Carrizal-Totoral, destaca que DOH se encuentra trabajando en generar ciertas iniciativas al respecto.

Reunión	Temas abordados
Servicios Públicos, Autoridades y Académicos	Felipe Espinoza señala que las iniciativas de mejoras para los servicios sanitarios rurales es algo que debe materializarse, toda vez que responde a variadas problemáticas planteadas por las comunidades. Paula Ramos señala que cierta institución se encuentra trabajando en proyectos de desalación a pequeña escala en Pajonales (caletas por fomento). Al respecto, consulta si esto fue considerado dentro del estudio como ejemplo. Felipe Espinoza señala que no, pero que será revisado para analizar cómo incluirlo. Paula Ramos señala la importancia de fortalecer el seguimiento y establecer claramente las responsabilidades, pues si no aquello se diluye. Este sería un elemento que debe quedar reflejado en el documento relativo al Plan de Manejo. Maximiliano Bolados señala que Paula tiene razón, y que en los últimos capítulos del plan (dentro de ellos, aquel referido a seguimiento) se identifica esta falencia, pues los planteamientos son expuestos de manera genérica. En ese sentido, consulta a Paula Ramos si Planeamiento posee algún insumo para mejorar ese aspecto. Paula Ramos responde que no poseen un manual específico, pero que sí han tenido buenas experiencias en el trabajo de seguimiento ocupando herramientas como Monday e Infinity, en donde se utiliza un histórico de compromisos. En tal sentido, destaca que los responsables y los plazos asociados a iniciativas siempre deben ser definidos y registrados, en donde las herramientas de apoyo juegan un rol fundamental. Planeamiento puede apoyar si se necesita colaboración. Maximiliano Bolados comenta que se ha solicitado a consultora trabajar con el método del marco lógico. Claudio Balbontín agradece la invitación y reitera que INIA está disponible para cualquier colaboración que sea requerida Maximiliano Bolados señala que el modelo será un valioso insumo y que quedará disponible para las distintas instituciones que deseen acceder a él.

Fuente: Elaboración propia.

El detalle de la reunión se encuentra en el Capítulo 8: Apéndice digitales: Minuta Reunión Final Servicios Públicos, Autoridades y Académicos.

5.6.2 Reunión Final con Privados

La reunión final unificada con privados se realizó el 11 de mayo del año 2022, convocando a través de una invitación a los actores idóneos para responder las inquietudes emergidas. En cuanto a las actividades de participación ciudadana dirigida

a representantes del sector privado, se realizaron las siguientes tareas para su convocatoria:

- Invitación mediante correo electrónico a los convocados a través del Encargado de PAC del Estudio (Víctor Zúñiga)
- Llamado por teléfono corroborando llegada de invitación y reenvío de invitación
- Llamado por teléfono y/o correo electrónico confirmando la asistencia a la reunión
- Preparación de presentación para reunión

En la Figura 5-16 se presenta la invitación distribuida.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-16: Invitación Reunión final con Privados

El programa ejecutado para la reunión final con Sector Privado se muestra en la Tabla 5-21.

Tabla 5-21: Programa reunión final con Privados

HORA	ACTIVIDAD	RESPONSABLE
15:30-15:40	Inicio e Ingreso asistentes	Consultor
15:40-15:45	Bienvenida, encuadre actividad	DGA
15:45 - 15:50	Saludo DGA	Autoridad DGA
15:50 -16:30	Resultados del Estudio	Consultora
16:30-17:20	Participación – Dudas, Inquietudes, Consultas	Consultor – DGA
17:20- 17:25	Aplicación Encuestas Evaluación Actividad	Consultor
17:25-17:30	Palabras de Cierre	Inspección Fiscal DGA

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5-22 se expone un resumen de los principales temas abordados por los actores que participaron en la reunión.

Tabla 5-22: Temas abordados reunión final con Privados

Reunión	Temas abordados
Privados	Se realizaron los siguientes comentarios e inquietudes: Edgardo Rivas comenta inquietud sobre calidad de agua alta en boro. Felipe Espinoza responde que esa calidad de agua es producto de la condición local y natural. Directora (S) comenta que según estudios Llanos de Challe posee una pequeña disponibilidad, pero que no existe demanda. Felipe Espinoza comenta que se produce un fenómeno contradictorio, pues las demandas no son suficientes para generar brechas. Rodrigo Bascuñán agradece la instancia. Alexandre Hendzel consulta si realizan los cálculos considerando el cambio climático. Alejandro Arenas responde que sí, que el modelo considera consumos actuales y potenciales. Los resultados muestran que no es sustentable que los derechos de agua sean utilizados en su totalidad, sólo puede usarse el 11% de estos, situación que es importante que el sector privado tenga claro y que genere una opinión al respecto. Alexandre Hendzel pregunta de cuánto es el descenso. Alejandro Arenas comenta que hoy el acuífero se encuentra en equilibrio, pero que si existe una explotación al 100%, este se secará. Esta es la razón por la cual los escenarios futuros son en función de los derechos de agua que están siendo ocupados únicamente en la actualidad. Alexandre Hendzel señala que no tienen considerado ocupar el 100% de sus derechos, pero que el equilibrio va más allá de generar un modelo, a pesar de que sea un buen insumo. Señala que cada vez que se genera un nuevo estudio, se indican nuevos números, por lo que es más importante realizar controles y fiscalizaciones de manera continua.

Reunión	Temas abordados
Privados	Ulises Sepúlveda responde que la recarga es de 250 l/s para Totoral y 100 l/s para Carrizal. Alexandre Hendzel manifiesta su inquietud respecto a la relación que existe entre ambas cuencas. Felipe Espinoza señala que el acuífero es uno sólo, pero que se divide administrativamente en dos. Una cuenca afecta la otra, por lo que las aguas se van a mover hacia los puntos de mayor extracción, bajando así los niveles de Carrizal, pues el agua va desde Totoral hacia Carrizal. Alexandre Hendzel comenta que el flujo va hacia la costa, no hacia el sur. Felipe Espinoza responde que sí, pero que existe un trasvasije. En el punto de conexión, Totoral alimenta a Carrizal. Rodrigo Bascuñán consulta si Carrizal es únicamente alimentado por Totoral. Alejandro Arenas responde que no, que solamente una parte. Ulises Sepúlveda complementa que, de hecho, dicha parte está lejos de ser el total. Alexandre Hendzel comenta que lo mencionado es un motivo más para reforzar y realizar monitoreos. Ulises Sepúlveda comenta que en Totoral sólo existe un pozo de monitoreo, contexto en el cual el Plan considera la construcción de más de estos pozos en Totoral. Alejandro Arenas especifica que el Plan considera la construcción de tres nuevos pozos. En este sentido, señala que se debe realizar monitoreo y extracciones sustentables, deteniendo estas cuando no cumplan dicha condición, por lo que resulta importante realizar una correcta gestión de la cuenca entre privados, usuarios y sector público. Alexandre Hendzel comenta que todas las iniciativas le parecen bien, y consulta cómo fueron caracterizados los humedales, pues estos no tendrían relación con la cuenca. Alejandro Arenas responde que los humedales también son impactados por el descenso de la cuenca, y que pueden secarse afloramientos. Alexandre Hendzel refuerza que existen humedales en distintas posiciones, por lo que hay sectores en los que si se realiza una explotación, no existe afectación hacia los humedales.

Reunión	Temas abordados
Privados	Alejandro Arenas comenta que efectivamente algunos humedales se ven afectados, y otros no. Alexandre Hendzel considera que estos no deben ponerse en la misma línea, porque ello simplifica la situación. Alejandro Arenas comenta que en sequía se ven afectados los afloramientos, así como también si existe explotación. Directora (S) considera que la gobernanza se presenta como un desafío, contexto en el cual nunca se han logrado desarrollar acciones en conjunto. En este sentido, existiría un recelo por parte de la comunidad hacia el sector privado, por lo que se debe generar el trabajo de mejorar dicha relación. También, existiría un descontento por parte de la comunidad hacia DGA por gestiones pasadas. Plantea de igual manera que DGA tiene como desafío la ampliación de la red hidrométrica, escenario en el cual se han logrado ciertas gestiones. Refiere a las modificaciones del Código de Aguas, lo cual supone un trabajo importante, ya que se deben modificar reglamentos y el manual de procedimiento de la DGA, los que en la actualidad estarían siendo redactados. Lo anterior, presentaría una mejora, por lo cual se debe tener paciencia por parte de aquellos que requieran realizar solicitudes a la DGA. Edgardo Rivas agradece el espacio. Alexandre Hendzel comenta sobre las dificultades que ha tenido con las organizaciones de usuarios, destacando que es difícil cuando las iniciativas no surgen desde estas. En tal sentido, enfatiza en que todos deben colaborar con el monitoreo y con el recurso hídrico en general. De igual manera, manifiesta su preocupación respecto a los cambios del Código de Aguas, pues quizás en el estudio falten cosas por considerar relativas a dichas modificaciones. El estudio representa una línea de base, pero debe ser actualizado de manera constante, lo cual debe quedar establecido de manera clara en el documento respectivo.

Reunión	Temas abordados
Privados	Directora (S) considera que la gobernanza se presenta como un desafío, contexto en el cual nunca se han logrado desarrollar acciones en conjunto. En este sentido, existiría un recelo por parte de la comunidad hacia el sector privado, por lo que se debe generar el trabajo de mejorar dicha relación. También, existiría un descontento por parte de la comunidad hacia DGA por gestiones pasadas. Plantea de igual manera que DGA tiene como desafío la ampliación de la red hidrométrica, escenario en el cual se han logrado ciertas gestiones. Refiere a las modificaciones del Código de Aguas, lo cual supone un trabajo importante, ya que se deben modificar reglamentos y el manual de procedimiento de la DGA, los que en la actualidad estarían siendo redactados. Lo anterior, presentaría una mejora, por lo cual se debe tener paciencia por parte de aquellos que requieran realizar solicitudes a la DGA. Edgardo Rivas agradece el espacio. Alexandre Hendzel comenta sobre las dificultades que ha tenido con las organizaciones de usuarios, destacando que es difícil cuando las iniciativas no surgen desde estas. En tal sentido, enfatiza en que todos deben colaborar con el monitoreo y con el recurso hídrico en general. De igual manera, manifiesta su preocupación respecto a los cambios del Código de Aguas, pues quizás en el estudio falten cosas por considerar relativas a dichas modificaciones. El estudio representa una línea de base, pero debe ser actualizado de manera constante, lo cual debe quedar establecido de manera clara en el documento respectivo.

Fuente: Elaboración propia.

El detalle de la reunión se encuentra en el Capítulo 8: Apéndice digitales: Minuta Reunión Final Privados.

5.6.3 Reunión Final Totoral

La reunión final unificada con comunidades se realizó el 10 de mayo del año 2022, convocando a través de una invitación a los actores idóneos para responder las inquietudes emergidas. En cuanto a las actividades de participación ciudadana dirigida a representantes de la Comunidad de Totoral, se realizaron las siguientes tareas para su convocatoria:

- Invitación mediante correo electrónico a los convocados a través del Encargado de PAC del Estudio (Víctor Zúñiga)
- Llamado por teléfono corroborando llegada de invitación y reenvío de invitación
- Llamado por teléfono y/o correo electrónico confirmando la asistencia a la reunión
- Preparación de presentación para reunión

En la Figura 5-17 se presenta la invitación distribuida



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-17: Invitación reunión final con Comunidad Totoral

El programa ejecutado para la reunión de presentación con Comunidad de Totoral se muestra en la Tabla 5-23.

Tabla 5-23: Programa reunión final con Comunidad de Totoral

HORA	ACTIVIDAD	RESPONSABLE
18:30-18:40	Inicio e Ingreso asistentes	Consultor
18:40-18:45	Bienvenida, encuadre actividad	DGA
18:45 - 18:50	Saludo DGA	Autoridad DGA
18:50 -19:30	Resultados del Estudio	Consultora
19:30-20:20	Participación – Dudas, Inquietudes, Consultas	Consultor – DGA
20:20- 20:25	Aplicación Encuestas Evaluación Actividad	Consultor
20:25-20:30	Palabras de Cierre	Inspección Fiscal DGA

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5-24 se expone un resumen de los principales temas abordados por los actores que participaron en la reunión.

Tabla 5-24: Temas abordados reunión final con Comunidad de Totoral

Reunión	Temas abordados
Comunidad Totoral	Se realizan consultas y explicaciones, tanto legales como técnicas, respecto a otorgamiento de nuevos derechos de agua, usos de los mismos, pozos y puntos de captación, usos de agua potable, diferencia entre sondajes y norias, y constitución de comunidades de agua. Se alude a la situación de que las instituciones utilicen el 100% de derechos de agua que poseen, enfatizando en el abordaje de la DGA frente a esta posibilidad, y la viabilidad de que esto pueda o no ocurrir. Se hace referencia a la propuesta sobre la constitución de concejos de cuenca, enfatizando en la metodología a utilizar para su instalación y funcionamiento. Se destaca la importancia de que la comunidad sea capacitada y que posean un rol activo en la fiscalización y denuncias de irregularidades en el uso del recurso hídrico. Se aborda la exigencia de la instalación de medidores en el marco de la norma de monitoreo de extracciones efectivas Se comentan casos de actuar ilegal y/o irresponsable por distintos vecinos del sector y las afectaciones que eso trae para la comunidad en general.

Fuente: Elaboración propia.

El detalle de la reunión se encuentra en el Capítulo 8: Apéndice digitales: Minuta Reunión Final Comunidad Totoral.

5.7 Encuestas Reuniones Finales (Talleres)

5.7.1 Análisis de Resultados Reuniones finales con Servicios Públicos, Autoridades y Académicos

En el taller final realizado con las Servicios Públicos, Autoridades y Académicos, asistieron 25 personas, de las cuales 3 contestaron la encuesta.

Los principales resultados de las encuestas realizadas son los siguientes:

a) En su totalidad, las encuestas fueron contestadas por mujeres
b) En general, el horario de la presentación se consideró bueno, con un 66.7%
c) Con respecto al tiempo total de la reunión, lo consideraron apropiado en un 100%
d) El tiempo destinado a inquietudes se consideró en su totalidad apropiado

e) La conexión para el desarrollo de la reunión fue evaluada como buena en el 100% de las encuestas
f) El 100% de las encuestadas consideró la presentación fácil de entender
g) En términos generales, la actividad de participación ciudadana se evalúo como buena, con un 66.7%, y muy buena, con un 33.3%

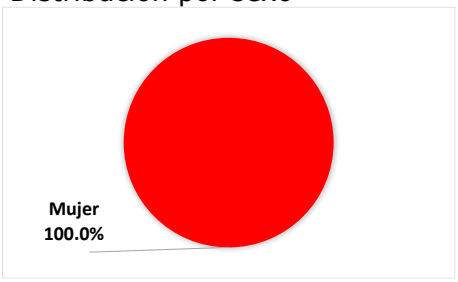
En la última pregunta, referida a cómo se podría mejorar la actividad de Participación Ciudadana Virtual, las sugerencias fueron:

1. "No sé si aplicable, pero existen unas encuestas que se hacen dentro de la misma plataforma".

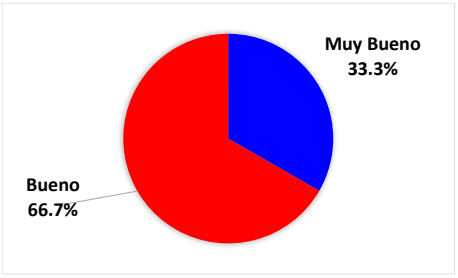
Los resultados se muestran gráficamente en la Figura 5-18.

Análisis basado en 3 encuestas.

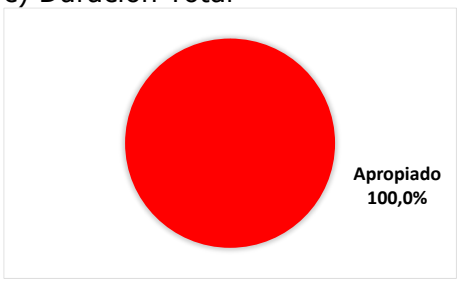
a) Distribución por sexo



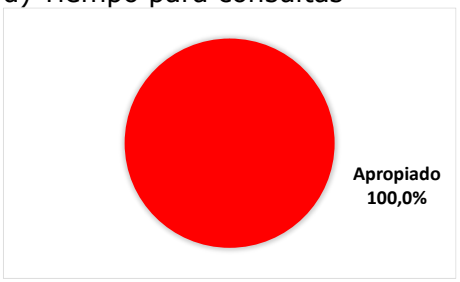
b) Horario



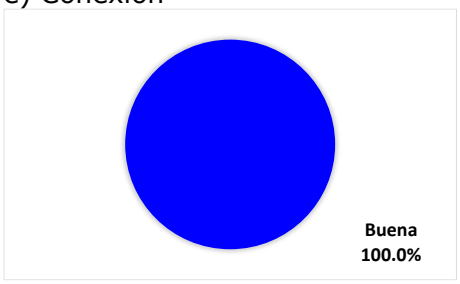
c) Duración Total



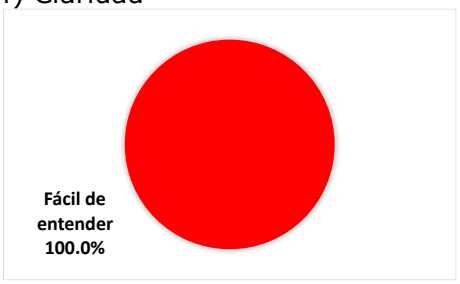
d) Tiempo para consultas



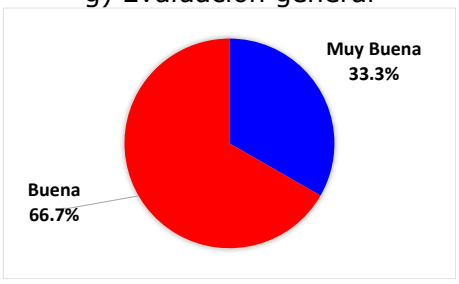
e) Conexión



f) Claridad



g) Evaluación general



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-18: Encuesta Reunión Final SSPP, Autoridades y Académicos

5.7.2 Análisis de Resultados Reuniones finales con Sector Privado

En el taller final realizado con el Sector Privado, asistieron 3 personas, de las cuales ninguna contestó la encuesta.

5.7.3 Análisis de Resultados Reuniones Finales Comunidad Totoral

En el taller final realizado con la Comunidad de Totoral, asistieron 15 personas, de las cuales 12 contestaron la encuesta.

Los principales resultados de las encuestas realizadas son los siguientes:

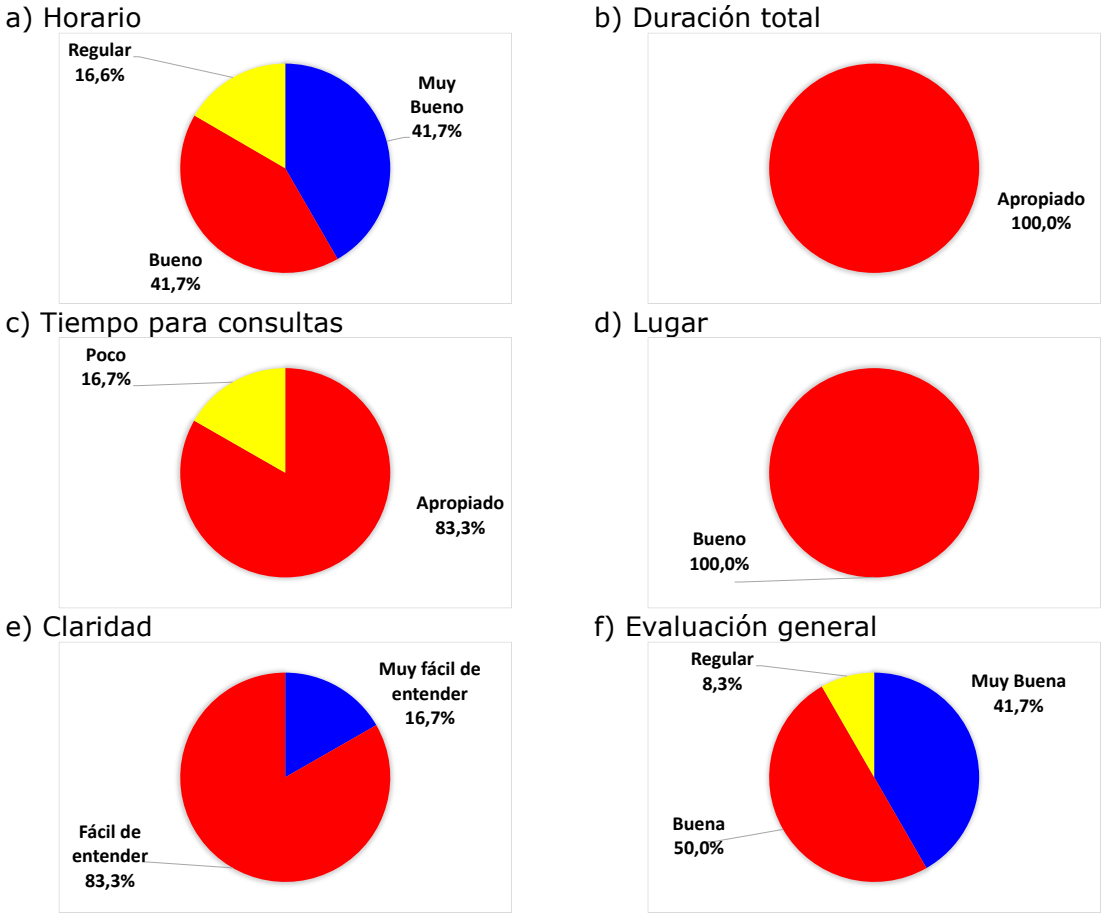
a) El horario de la presentación se consideró muy bueno, con un 41,7%; bueno, con un 41.7%; y regular, con un 16,7%.
b) Con respecto al tiempo total de la reunión, lo consideran apropiado en un 100%
c) El tiempo destinado a inquietudes se consideró apropiado por la totalidad de los participantes.
d) El lugar en el cual se desarrolló la actividad, fue evaluado como bueno por la totalidad de participantes
e) El 8.3% de los encuestados consideró la presentación fácil de entender, y el 16.7% la consideró muy fácil de entender
f) En términos generales, la actividad de participación ciudadana se evalúo como buena, con un 60%; muy buena, con un 41.7%; y regular, con un 8.3%

En la última pregunta, referida a cómo se podría mejorar la actividad de Participación Ciudadana Virtual, las sugerencias fueron:

1. "Artículo 56 dice que uno tiene derecho a construir un pozo para subsistencia (solo que los vecinos son muy envidiosos)"
2. "Coffe break"
3. "Un café, unas galletitas"
4. "Más visitas instructivas. Gracias"
5. "Información y educación. Gracias"
6. "Café, té"
7. "Café y galletas"
8. "Capacitación y más participación"

Los resultados se muestran gráficamente en la Figura 5-19.

Análisis basado en 12 encuestas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-19: Encuesta Reunión Final Comunidad Totoral

6 PLAN DE COMUNICACIÓN

6.1 Introducción

En el siguiente acápite se describen las diversas actividades implementadas que permitieron mantener una permanente comunicación con los actores del territorio. Por las características del área de estudio, especialmente la mala conectividad de internet, las limitaciones de los servicios de telefonía y las restricciones que impuso el COVID-19, se eligió implementar una estrategia hibrida de relacionamiento. Por una parte, la comunicación telemática a través de realización de entrevistas, reuniones virtuales, mensajería WhatsApp, correos electrónicos y servicio de telefonía y por otro, los reuniones presenciales, entrevistas presenciales y visita a terreno presenciales.

6.2 Etapa 1

En la etapa 1 se implementaron las siguientes actividades:

- Construcción de base de Datos.
- Breve Encuesta de Conectividad
- Adecuación de horarios para reuniones
- Aviso Radial
- Utilización de servicio de mensajería WhatsApp.
- Utilización de los correos electrónicos.
- Utilización del servicio de Telefonía.
- Utilización de las encuestas de evaluación de reuniones.
- Elaboración de minuta de problemas previo a las reuniones de presentación
- Envió de presentaciones luego de reuniones

6.3 Etapa 2

En la etapa 2 se implementaron las siguientes actividades

- Actualización de base de datos
- Adecuación de Horarios para reuniones
- Utilización de servicio de mensajería WhatsApp.
- Utilización de los correos electrónicos.
- Utilización del servicio de Telefonía.
- Utilización de las encuestas de evaluación de reuniones.
- Envió de selección de PPT a comunidades

- Envió de presentaciones luego de reuniones
- Realización de taller de practica de Mentimeter
- Presentaciones diferenciadas
- Preparación de Infografía apoyo reunión final

7 Conclusiones y recomedaciones proceso de Participación Ciudadana

7.1 Introducción

En el siguiente acápite se presentan las conclusiones del proceso de participación ciudadana y las recomendaciones para la implementación del plan.

7.2 Conclusiones

Las conclusiones se ordenan según los siguientes temas:

a) Cumplimiento de los objetivos de participación ciudadana.

   Del análisis del proceso de participación ciudadana desarrollado, se concluye que se ha cumplido los objetivos planteados en los términos de referencia. Se cumplió al objetivo principal de área PAC que indicaba "Realizar un proceso de participación ciudadana que informe y consulte a la institucionalidad del agua relevante del área de estudio, para retroalimentar la formulación del plan estratégico de gestión". La realización de las reuniones de inicio, talleres y reuniones finales convocó a los actores relevantes públicos, privados y comunitarios del área de estudio.

   También fue un desafío, para el cumplimiento de los objetivos, la utilización de la modalidad no presencial para algunas actividades. La propuesta de participación virtual (no presencial) mantuvo los objetivos establecidos en los términos de referencia. La modificación principal estuvo en la metodología/estrategia utilizada para cumplimiento de dichos objetivos. Desde esa perspectiva para los talleres realizados se recogió información a través del programa Mentimeter y se logró motivar la participación en un contexto complejo con las restricciones que ellos implican la modalidad no presencial.

b) Una nueva categoría "Cuenca" para la comunidad, funcionarios y privados.

   Se generó un espacio de conversación, que impulso el estudio con la categoría "Cuenca, que no existía con anterioridad. Las distintas reuniones con funcionarios públicos, municipales, profesionales y dirigentes sociales en torno problemática de la cuenca/agua muestran un vacío institucional respecto de gestión de cuencas/agua. De esta forma, las reuniones PAC permitieron hablar, analizar, compartir, conocer y debatir en torno esa problemática específica, con todos los actores involucrados y con profesionales expertos en las distintas materias. Y en

las actuales circunstancias sociales y políticas, estas conversaciones serán más frecuentes, por los cambios institucionales que se avecina.

c) Inserción de la DGA en área de estudio.

Confusión entre actividades del estudio y las laborales habituales de DGA MOP Regional. En las reuniones de PAC se comentó y analizó los temas/problemas/promesas comprometidos por el DGA MOP en el área de estudio. Estas materias corresponden a las labores habituales de MOP DGA que no están necesariamente vinculados al estudio. Sin embargo, los asistentes no logran separar estas dos dimensiones de las funciones del MOP DGA, provocando que en cada reuniones se destinara tiempo para resolver estos temas propios del quehacer MOP DGA.

d) COVID y la incorporación de la participación virtual/no presencial.

El impacto del COVID-19 en la modalidad y formas de participación (PAC) trascenderán la actual coyuntura. El predominio que ha tenido la "modalidad presencial", como único mecanismo para dar legitimidad a los procesos de participación ciudadana, está dando paso a la reflexión sobre como la participación virtual puede ayudar y complementar dichos procesos PAC. Más que entender ambas modalidades en una oposición hay que seguir reflexionando como dichas prácticas pueden ser utilizadas en beneficio de mejorar la convocatoria y realización de reuniones PAC.

En ese contexto, fue relevante realizar el diagnóstico digital de los convocados y constatar la desigualdad en el acceso/calidad de la conectividad. Un aspecto relevante para esta nueva forma de participación virtual fue conocer y dimensionar algunos aspectos complementarios de los convocados: conectividad, acceso a computador, uso de red de mensajería WhatsApp, características de celular, utilización de correo electrónico, apresto y disposición para uso de nuevas plataformas (zoom y mentimeter) etc.

e) Aspectos institucionales del PEGH

Tres aspectos destacan para la reflexión. En primer lugar, el carácter indicativo del Plan, que está señalado en los términos de referencia y que puede generar un cuestionamiento sobre la "calidad jurídica" del mismo y sobre la capacidad real de implementación de sus resultados (proyectos/acciones). Al señalar que

es "indicativo" lo ubica en un lugar secundario en la planificación/gestión en relación a otros planes como los planes reguladores, planes de desarrollo comunal, planes intercomunales etc. que tienen una dimensión normativa y obligatoria para las partes involucradas. El carácter del estudio, en cuanto a si es indicativo v/s obligatorio para los servicios públicos, privados/comunitarios y sobre la utilización de los resultados, es un aspecto que debe seguir profundizándose, considerando los cambios que se introdujeron en el Código de Aguas sobre los PEGH.

En segundo lugar, la utilización y valorización de la información del estudio para planificación comunal/regional y normativa municipal. Un tema de reflexión es como la información de estudio se transforma en un insumo relevante para la planificación comunal/regional, para la normativa comunal (ordenanzas hídricas) y para ser utilizada por los diferentes organismos públicos, privados y comunitarios.

En tercer lugar, cabe destacar que coincidió la elaboración del Plan con los periodos electorales (Elección de Alcaldes, Concejales, Pdte., Diputados, Senadores, Cores, Gobernadores, Convencionales) que provocaron cambios en algunas de las fechas de las actividades y los términos de referencia, no consideran estas situaciones para cumplir los plazos establecidos. Asimismo, en los periodos de campañas, las prioridades de los incumbentes en las elecciones cambian y afectan el normal desarrollo de las actividades planificadas.

Derivado de lo anterior y especialmente con la instalación de la Convención Constitucional, surgió un profundo cuestionamiento a la actual institucionalidad del agua (Código de Aguas, funcionamiento y atribuciones de los organismos del Estado, rol de los privados, relación con los pueblos originarios, el agua como derecho humano, etc.). Se generó un debate nacional sobre el agua que significó que en la propuesta de borrador de la constitución se incorporará los consejos de cuencas, la creación de una agencia nacional del agua y el cambio del régimen jurídico de los derechos de agua.

f) Acerca la pertinencia cultural del PEGH para comunidades Indígenas y aspectos de la cultura del agua.

En atención a la información que fue recogida en el proceso de Participación Ciudadana PAC se constata la necesidad de seguir profundizando en la relación del PEGH y los pueblos originarios presentes en el área de estudio.

Según la UNESCO (2006), la cultura del agua es el conjunto de creencias, comportamientos y mecanismos utilizados para satisfacer las necesidades relacionadas con el agua y todo lo que depende de ella. Así, se necesita avanzar en la comprensión del concepto de "cultura de Agua" como el conjunto de valores, actitudes, costumbres y hábitos que son transmitidos a un individuo, familia o grupo social sobre el agua[4].

Se requiere profundizar en el conocimiento de la cosmovisión de los pueblos originarios sobre el agua y la tierra. El Código de Aguas desconoce las particularidades de las comunidades indígenas. Las políticas públicas, que tienen como respaldo la legislación (leyes, Constitución, ordenanzas) consideran escasamente los aspectos culturales, como la concepción que el territorio puede ser una totalidad que no se puede separar entre los dueños de la tierra y de agua. Asimismo, la utilización ancestral de las aguas de los pueblos originarios hace del recurso hídrico la base del desarrollo de diversas actividades productivas, como la agricultura o la ganadería.

También se requiere profundizar sobre la procedencia de un proceso de Consulta Indígena en las etapas futuras de las iniciativas. El PEGH puede ser considerado como una "medida administrativa" que servirá como base para futuras decisiones y corresponde a una acción que se diseñó para implementar futuras medidas. Para este caso, si los PEGH al avanzan en su normativa y sustentación legal, de una etapa indicativa que se encuentra hoy a una etapa de un nivel superior como lo sucedido con la modificación del Código de Aguas. Asimismo, hay que considerar que el Convenio 169 impulsa que sea el Estado quien debe adaptarse a las condiciones y particulares de las comunidades indígenas y no al revés, posibilitando someter la totalidad del Plan a un proceso de consulta indígena.

[4] "El Agua: Una responsabilidad Compartida. Segundo Informe de las Naciones Unidad sobre el Desarrollo de los recursos hídricos en el Mundo"." UNESCO, 2006

7.3 Recomendaciones

En el siguiente acápite se presentan las recomendaciones para la implementación del PEGH. Se propone, como recomendación general, que se continúe con un proceso de participación y consulta que garantice una amplia participación de la comunidad afectada y/o beneficiada de las iniciativas, que se informe adecuadamente a las organizaciones representativas del área de estudio sobre los distinta acciones/perfiles de proyecto que se realizarán a futuro. En ese contexto, se sugiere evaluar las siguientes recomendaciones:

- La creación de una coordinación interinstitucional del PEGH, como continuadora de las reuniones efectuadas durante el estudio y que reúna a los diversos tomadores de decisiones públicos, resulta como una urgente medida para continuar con lo avanzado a la fecha.

- La realización de seminarios y charlas como mecanismos de capacitación y de nivelación de los conocimientos existentes entre los diversos actores, que ayudará a la compresión de conceptos como "cuenca", "balance hídrico", "modificaciones del código de aguas", "OUAs", entre otras materias.

- Se recomienda masificar el uso de las herramientas de comunicación para informar sobre el PEGH en las siguientes etapas. A pesar de las limitaciones de la conectividad, la creación de una página web del PEGH, creación de Facebook e Instagram, etc. permitirán aumentar el flujo de información hacia los diversos actores y recoger tempranamente las inquietudes de la comunidad del área de estudio.

- Se sugiere incorporar estrategias distintas de relacionamiento (entrevistas, reuniones, talleres, etc.) para los diversos habitantes existentes en el área de estudio.

- Se sugiere también para próximas etapas, la generación de algunas actividades PAC de carácter diferenciado (segmentado), de forma complementaria a actividades generales. Ello, en función de los distintos efectos que tiene las acciones/iniciativas para los habitantes del área, es decir, se hace necesario realizar un trabajo específico y diferenciado con aquellos habitantes, grupos y organizaciones más afectados.

- Se recomienda involucrar en mayor medida a las Municipalidades. La Implementación del PEGH, requiere contar con el apoyo decidido de la organización municipal por el contacto directo que tiene con los principales actores locales involucrados en el plan como por la injerencia cada vez mayor en los temas hídricos.

- Se sugiere posibilitar el intercambio de experiencia con otras realidades de cuencas en el sur o en el norte del país, en que pudieran contrastar y compartir experiencias.

8 APÉNDICES

8.1 Introducción

En el siguiente acápite se presenta las minutas desarrolladas para cada una de las reuniones de presentación y de los talleres participativos. El respaldo está en el Archivo Digita Minutas.

8.2 Minutas

En la Tabla 8-1 se detallas las minutas de cada reunión realizada

Tabla 8-1: Listado de Minutas Reuniones

Nombre Minuta	Fecha	Nombre de Archivo Digital
Minuta Reunión de presentación DGA	23-09-2021	Minutas
Minuta Reunión de presentación con Universidades y Centros de Estudios	24-09-2021	Minutas
Minuta Reunión de presentación con Municipalidades (Freirina, Vallenar y Huasco)	28-09-2021	Minutas
Minuta Reunión de presentación comunidad Carrizal Bajo	28-09-2021	Minutas
Minuta Reunión de presentación con Seremías, delegados y Servicios Públicos	29-09-2021	Minutas
Minuta Reunión de presentación comunidad Llanos del Lagarto, Los Toyos y Caleta Angosta	30-09-2021	Minutas
Minuta Entrevista con DOH	21-10-2021	Minutas
Minuta Entrevista con Indap	21-01-2021	Minutas
Minuta Taller intermedio unificado con Comunidades Carrizal Bajo, Llanos del Lagarto, Los Pozos, Los Toyos, Caleta Angosta	01-03-2022	Minutas
Minuta Taller intermedio con Funcionarios Públicos, Municipales, Actores Privados (Agrogénesis, Hacienda Castilla, Mina Los Colorados), Autoridades y Universidades	02-03-2022	Minutas
Minuta Taller intermedio con Comunidad Canto de Agua	03-03-2022	Minutas
Minuta Reunión Final unificado con Comunidades Carrizal Bajo, Llanos del Lagarto, Los Pozos, Los Toyos, Caleta Angosta	10-05-2022	Minutas
Minuta reunión Final con Funcionarios Públicos, Municipales, Autoridades y Universidades	11-05-2022	Minutas

Nombre Minuta	Fecha	Nombre de Archivo Digital
Minuta Reunión Final con Actores Privados (Agrogénesis, Hacienda Castilla, Mina Los Colorados)	11-05-2022	Minutas
Minuta Reunión Final con Comunidad Canto de Agua	12-05-2022	Minutas
Minuta Reunión Final con Comunidad Totoral	13-05-2022	Minutas

Fuente: Elaboración propia.

8.3 Presentaciones

En la Tabla 8-2 se detallas las presentaciones de cada reunión realizada

Tabla 8-2: Listado de Minutas Reuniones

Nombre Minuta	Fecha	Nombre de Archivo Digital
PPT Reunión de presentación DGA	23-09-2021	Presentaciones
PPT Reunión de presentación con Universidades y Centros de Estudios	24-09-2021	Presentaciones
PPT Reunión de presentación con Municipalidades (Freirina, Vallenar y Huasco)	28-09-2021	Presentaciones
PPT Reunión de presentación comunidad Carrizal Bajo	28-09-2021	Presentaciones
PPT Reunión de presentación con Seremías, delegados y Servicios Públicos	29-09-2021	Presentaciones
PPT Reunión de presentación comunidad Llanos del Lagarto, Los Toyos y Caleta Angosta	30-09-2021	Presentaciones
PPT Entrevista con DOH	21-10-2021	Presentaciones
PPT a Entrevista con Indap	21-01-2021	Presentaciones
PPT Taller intermedio unificado con Comunidades Carrizal Bajo, Llanos del Lagarto, Los Pozos, Los Toyos, Caleta Angosta	01-03-2022	Presentaciones
PPT Taller intermedio con Funcionarios Públicos, Municipales, Actores Privados (Agrogénesis, Hacienda Castilla, Mina Los Colorados), Autoridades y Universidades	02-03-2022	Presentaciones
PPT Taller intermedio con Comunidad Canto de Agua	03-03-2022	Presentaciones
PPT Reunión Final unificado con Comunidades Carrizal Bajo, Llanos del Lagarto, Los Pozos, Los Toyos, Caleta Angosta	10-05-2022	Presentaciones

Nombre Minuta	Fecha	Nombre de Archivo Digital
PPT reunión Final con Funcionarios Públicos, Municipales, Autoridades y Universidades	11-05-2022	Presentaciones
PPT Reunión Final con Actores Privados (Agrogénesis, Hacienda Castilla, Mina Los Colorados)	11-05-2022	Presentaciones
PPT Reunión Final con Comunidad Canto de Agua	12-05-2022	Presentaciones
PPT Reunión Final con Comunidad Totoral	13-05-2022	Presentaciones

Fuente: Elaboración propia.

9 PROGRAMA DE CAPACITACIÓN

9.1 Introducción

El programa de capacitación se realizó el miércoles 6 de julio y jueves 7 de julio del año 2022 según lo solicitado en los términos de referencia del estudio, específicamente en el Acápite 4.4.2, donde se solicita capacitar a los funcionarios de la DGA en el uso de modelos, actualización, calibración y generación de escenarios. En base a lo solicitado, se ejecutó un programa de capacitación basada en 2 días de trabajo

9.2 Jornada Día 1 de Modelación: Miércoles 6 de julio

El objetivo del primer día fue presentar los alcances de la modelación, el modelo propiamente tal, su calibración y los resultados del escenario base. No se consideró como objetivo de este trabajo capacitar a los funcionarios en el uso de la herramienta propiamente tal, sino que en su aplicación al área de estudio. En la Tabla 9-1 se detalla el programa implementado.

Tabla 9-1: Programa Día 1

HORARIO	ACTIVIDAD	RESPONSABLE
10:00-10:05	Ingreso Asistentes	Consultor
10:05-10:10	Bienvenida y Contexto de Actividad	DGA
10:00-11:00	Alcances conceptuales Modelación y aspectos generales considerados	Consultor
11:00-12:00	Elementos WEAP, MODFLOW y Acople WEAP-MODFLOW	Consultor
12:00-13:00	Resultados Calibración Modelo	Consultor
13:00- 14:15	**Break**	**-**
14:15-16:00	Resultados modelación #1	Consultor
16:15-17:00	Consultas y Comentarios	DGA-Consultora
17:00-17:05	Palabras de Cierre	Autoridad DGA

Fuente: Elaboración propia.

9.3 Jornada Día 2 de Modelación: Jueves 7 de Julio

El objetivo del segundo día fue presentar los resultados de los escenarios restantes, para posteriormente iniciar una parte práctica donde se realizaron dos ejercicios usando la componente superficial del modelo y un ejercicio donde se trabajó en la parte subterránea del mismo. En la Tabla 9-2 se detalla el programa realizado.

Tabla 9-2: Programa Día 2

HORARIO	ACTIVIDAD	RESPONSABLE
10:00-10:05	Ingreso Asistentes	Consultor
10:05-10:10	Bienvenida y Contexto de Actividad	DGA
10:10-11:30	Resultados modelación #2	Consultor
11:00-12:55	Ejercicios Aplicación Componente WEAP	Consultor
12:55-13:00	Palabras de Cierre	DGA
13:00- 14:15	**Break**	**-**
14:15-16:00	Ejercicios Aplicación Componente Modflow	Consultor
16:15-17:00	Consultas y Comentarios	Consultor
17:00-17:05	Palabras de Cierre	DGA

Fuente: Elaboración propia.

9.4 Contenido de las exposiciones

Durante las actividades se trataron los siguientes temas:

- Caracterización área de estudio
- Modelo Conceptual
- Elementos de modelación
- Calibración y Escenario Base
- Escenarios de Cambio Climático
- Escenarios de Gestión
- Brechas de Modelación: Análisis crítico y mejoras requeridas
- Ejercicios prácticos

ANEXO J

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

En formato electrónico

ANEXO K

ACCIONES

Planillas

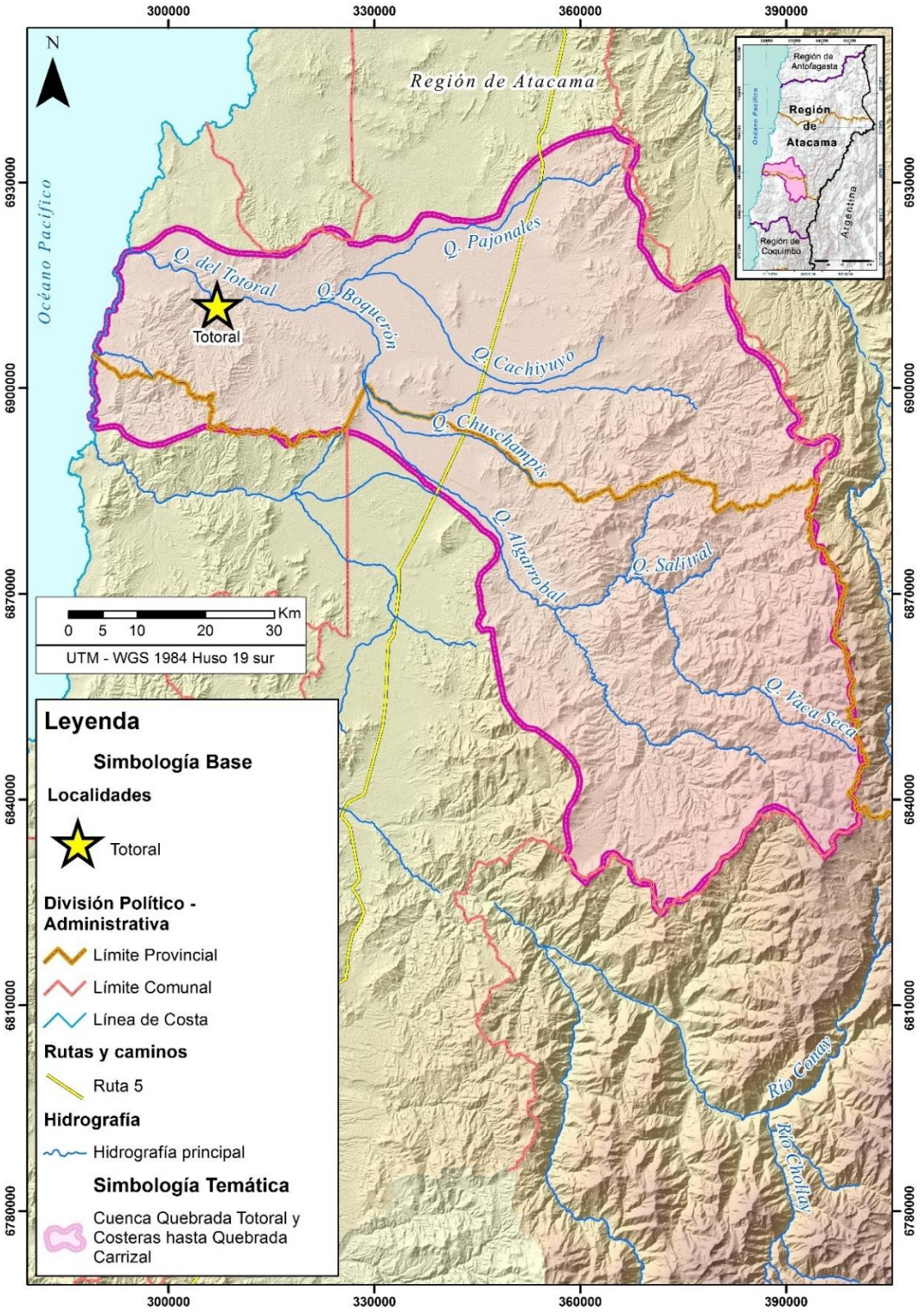
en formato electrónico

1 Ficha Acción AP OH-1: Ampliación Totoral

Tabla 1-1: Ficha Acción AP OH-1: Ampliación SSR Totoral

Código	AP OH-1
Acción	Ampliación SSR Totoral
Origen acción	Propuesto PEGH, Comunidad
Eje temático	Uso estratégico RRHH
Tipología	OH
Tipo	Estudio
Objetivo	Disponer de un diseño actualizado del sistema de SSR
Plazo	Plazo asignado a la ejecución del estudio en el PEGH
Corto	X
Mediano	
Largo	
Descripción	Se requiere actualizar el diseño del sistema de abastecimiento, aumentando la capacidad de la fuente tomando en cuenta el crecimiento de la población. Incluye: estudio de problación, estudio de demandas, diseño de obras, evaluación de costos
Brecha que resuelve	Infraestructura, ya que permite el mejoramiento de la infraestructura existente
Tipo de Financiamiento	Público
Institución Encargada	DOH
Institución Participante	Municipalidades
Beneficiarios	Comunidad local
Costo estimado (millones $)	108
Duración (año)	1
Resultados esperados	Diseño SSR

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

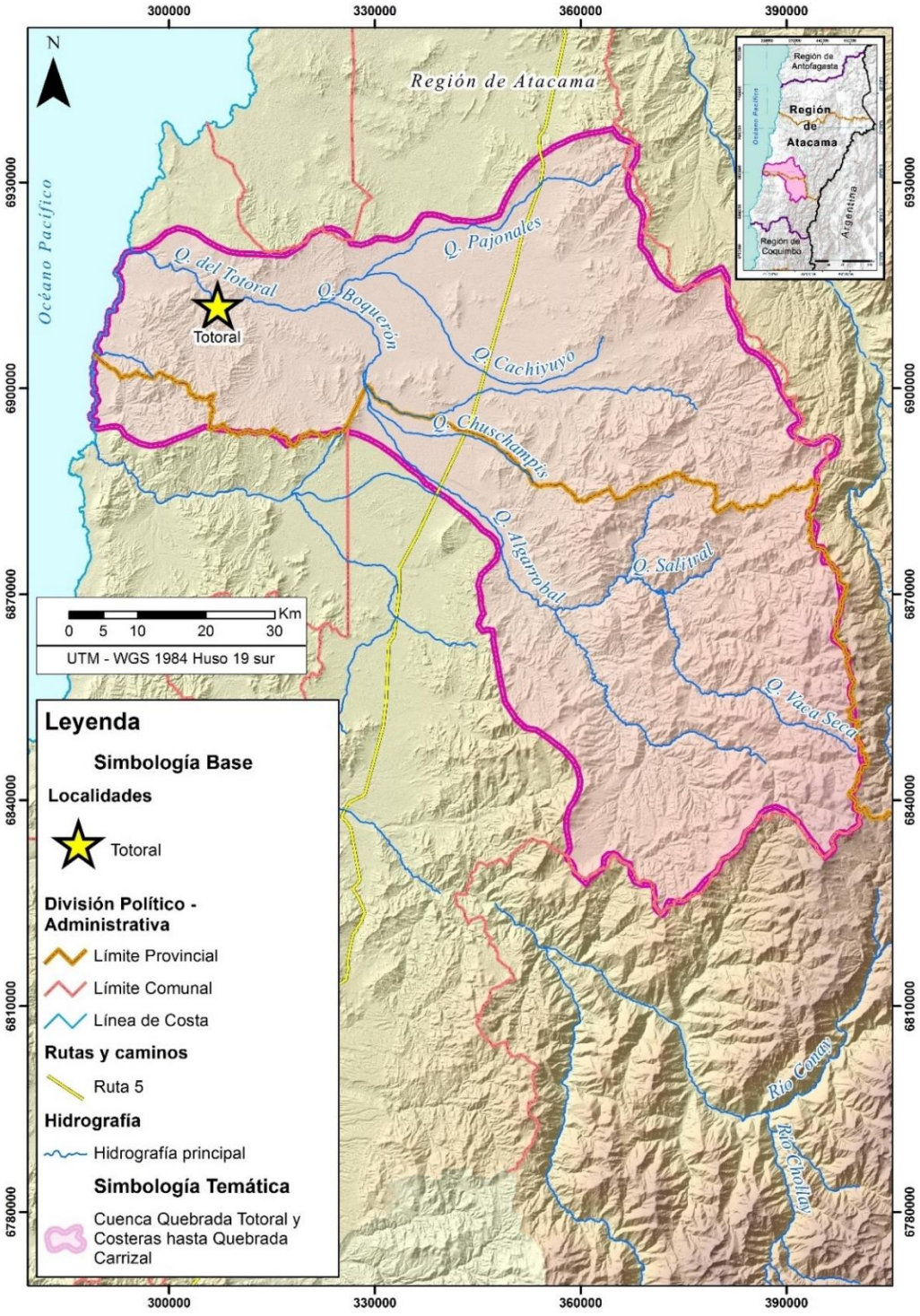
Figura 1-1: Ficha Acción AP OH-1: Ampliación SSR Totoral

2 Ficha Acción AP OH-2: Mejoramiento abastecimiento localidades menores

Tabla 2-1: Ficha Acción AP OH-2: Mejoramiento abastecimiento localidades menores

Código	AP OH-2
Acción	Mejoramiento abastecimiento localidades menores
Origen acción	Propuesto PEGH
Eje temático	Uso estratégico RRHH
Tipología	OH
Tipo	Estudio
Objetivo	Determinar requerimientos de instalación de SSR's en la cuenca
Plazo	Plazo asignado a la ejecución del estudio en el PEGH
Corto	
Mediano	X
Largo	
Descripción	Permite identificar las posibilidades de abastecimiento de localidades menores, que en la actualidad reciben su agua solo por camión aljibe o por fuentes propias de los usuarios. Se requiere determinar la factibilidad de instalación de SSR en estas localidades, ya sea por concentración o población que requiere abastecimiento
Brecha que resuelve	Infraestructura: identifica sectores donde es factible la instalación de un SSR
Tipo de Financiamiento	Público
Institución Encargada	DOH
Institución Participante	Municipalidades
Beneficiarios	Comunidad local
Costo estimado (millones $)	93,5
Duración (año)	1
Resultados esperados	Localidades que requieren SSR y sus características

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

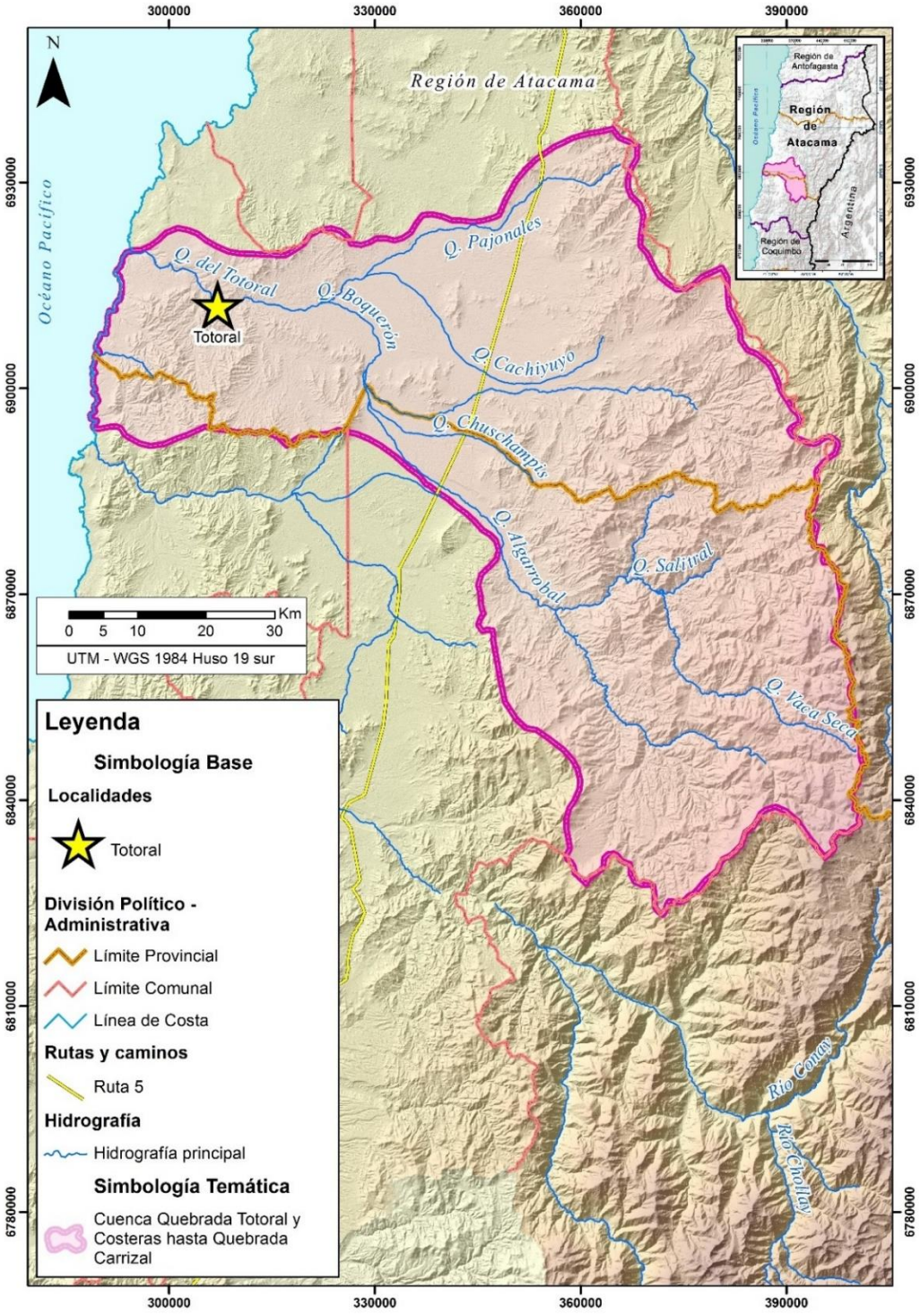
Figura 2-1: Ficha Acción AP OH-2: Mejoramiento abastecimiento localidades menores

3 Ficha Acción AP NF-1: Evaluación potencial cosecha de nubes en la cuenca

Tabla 3-1: Ficha Acción AP NF-1: Evaluación potencial cosecha de nubes en la cuenca

Código	AP NF-1
Acción	Evaluación potencial cosecha de nubes en la cuenca
Origen acción	Propuesto PEGH
Eje temático	Uso estratégico RRHH
Tipología	NF
Tipo	Estudio
Objetivo	Identificar fuentes de abastecimiento alternativo de agua para la cuenca
Plazo	Plazo asignado a la ejecución del estudio en el PEGH
Corto	
Mediano	
Largo	X
Descripción	Consiste en estudiar la posible aplicabilidad de cosecha de nubes en el territorio, estimándose posibles sectores donde es aplicable, potencialidad y costos
Brecha que resuelve	Hídrica, aunque No se tiene una evaluación de la magnitud de la brecha que se puede resolver
Tipo de Financiamiento	Público
Institución Encargada	DGA Estudios
Institución Participante	N/A
Beneficiarios	Comunidad local
Costo estimado (millones $)	121
Duración (año)	2
Resultados esperados	Identificación de sectores con potencial para cosecha de aguas lluvias

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

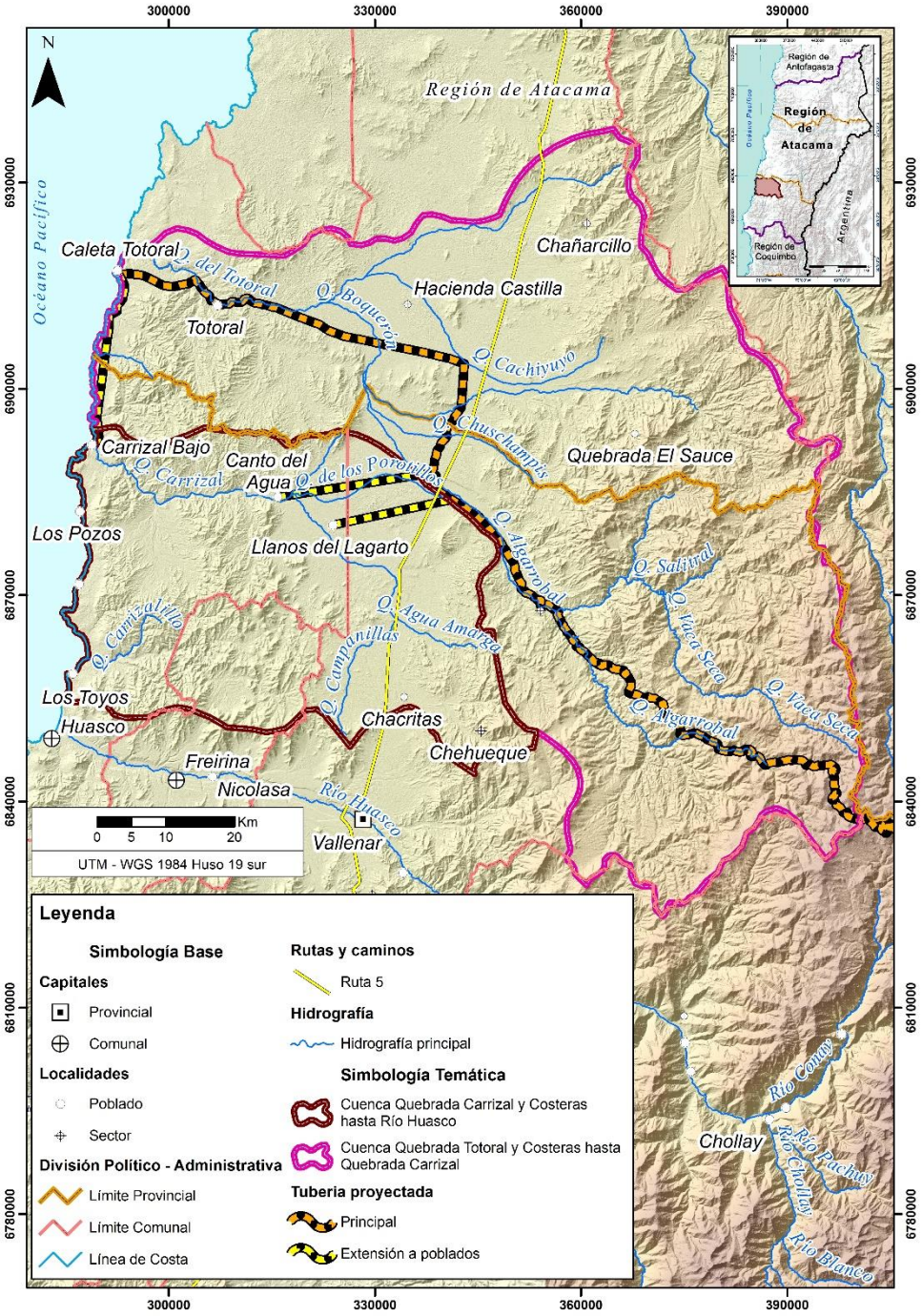
Figura 3-1: Ficha Acción AP NF-1: Evaluación potencial cosecha de nubes en la cuenca

4 Ficha Acción AP MG-1: Fomentar la gestión público-privada para el uso de desalación como fuente de abastecimiento

Tabla 4-1: Ficha Acción AP MG-1: Fomentar la gestión público-privada para el uso de desalación como fuente de abastecimiento

Código	AP MG-1
Acción	Fomentar la gestión público-privada para el uso de desalación como fuente de abastecimiento
Origen acción	Propuesto PEGH
Eje temático	Uso estratégico RRHH
Tipología	MG
Tipo	Programa
Objetivo	Identificar las acciones requeridas para fomentar el uso de agua desalada como solución de largo plazo para el abastecimiento del territorio
Plazo	Plazo asignado a la ejecución del estudio en el PEGH
Corto	X
Mediano	
Largo	
Descripción	Considera desarrollar acciones que permitan el eventual uso de agua de mar para abastecer a usuarios industriales y locales de agua. Considera el desarrollo de talleres y otros tipos de acciones que permitan lograr el resultado buscado
Brecha que resuelve	Hídrica, Gestión. En términos de brecha hídrica, este es el único tipo de acción que puede resolver el problema de falta de nuevas fuentes en el territorio en términos de la cantidad necesaria, ya que hay otras soluciones que agregan agua a la cuenca, pero tienen potenciales de solución de menor cantidad, y por lo tanto menor efecto
Tipo de Financiamiento	Público
Institución Encargada	Planeamiento GORE
Institución Participante	DGA-DOH-INDAP-CNR-Municipalidades
Beneficiarios	Comunidad local, actores privados
Costo estimado (millones $)	368
Duración (año)	5
Resultados esperados	Marco de cooperación público-privada y eventualmente abastecimiento de agua

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

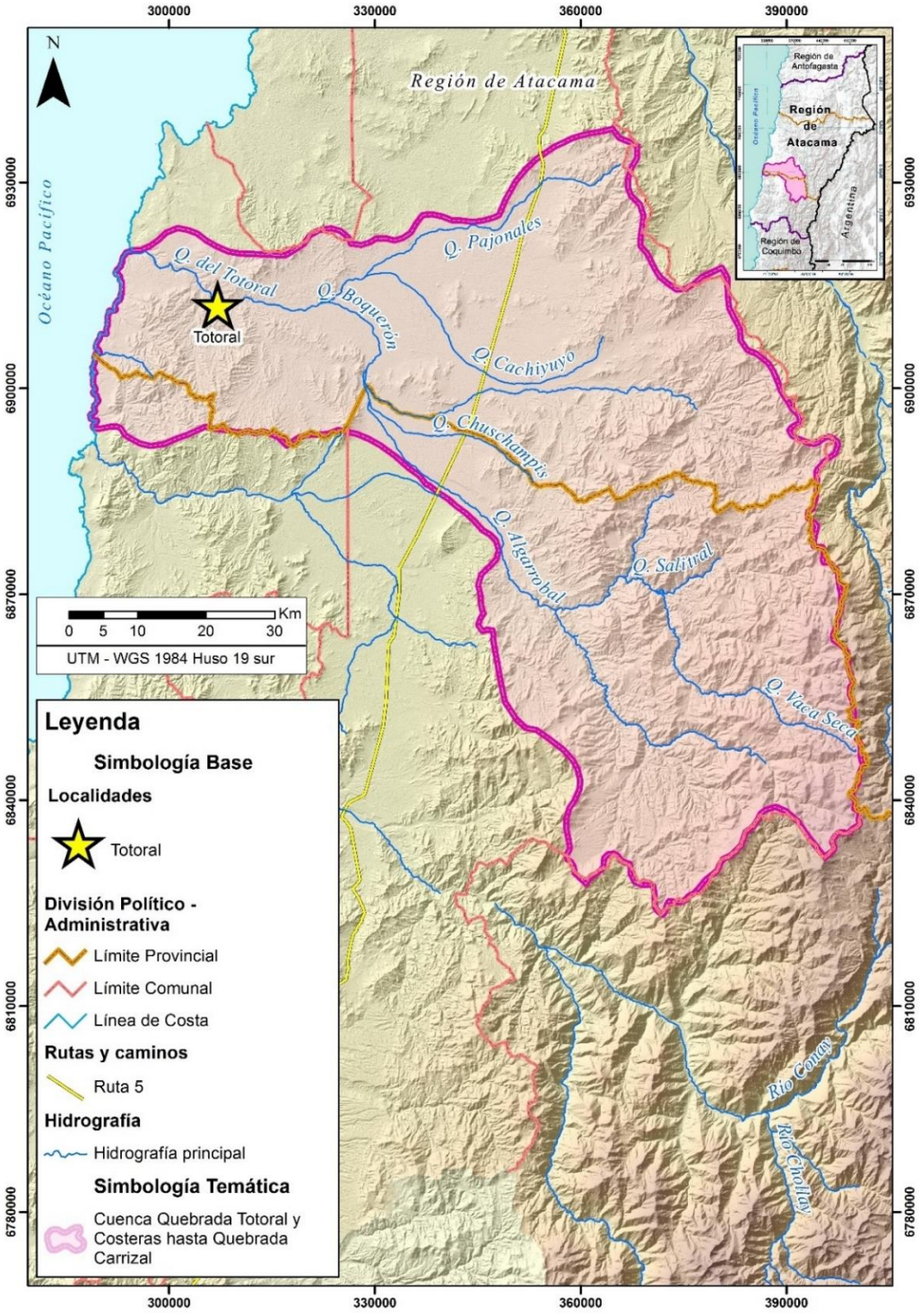
Figura 4-1: Ficha Acción AP MG-1: Fomentar la gestión público-privada para el uso de desalación como fuente de abastecimiento

5 Ficha Acción AP OH-3: Identificación Instalación Sistemas de Acumulación

Tabla 5-1: Ficha Acción AP OH-3: Identificación Instalación Sistemas de Acumulación

Código	AP OH-3
Acción	Identificación Instalación Sistemas de Acumulación
Origen acción	Propuesto PR Huasco
Eje temático	Uso estratégico RRHH
Tipología	OH
Tipo	Estudio
Objetivo	Identificar sectores donde sea técnicamente factible la construcción y operación de sistemas de acumulación
Plazo	Plazo asignado a la ejecución del estudio en el PEGH
Corto	
Mediano	X
Largo	
Descripción	El objetivo de este programa es capacitar en la implementación y uso de sistemas individuales de acumulación, de manera de contribuir a la gestión eficiente de los recursos hídricos, sobre todo en tiempos de escasez. Además, se levantarán perfiles de proyectos de obras de acumulación para ser elaborados por consultores de la zona y ser presentados a los concursos de la Ley de Fomento. Considera preparación de material impreso, capacitaciones en riego tecnificado, técnicas de riego, manejo y mantención de obras
Brecha que resuelve	Infraestructura, hídrica (aunque en forma marginal que no está evaluada)
Tipo de Financiamiento	Público
Institución Encargada	CNR
Institución Participante	INDAP
Beneficiarios	Comunidad local
Costo estimado (millones $)	220
Duración (año)	2
Resultados esperados	Lugares potenciales de acumulación

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

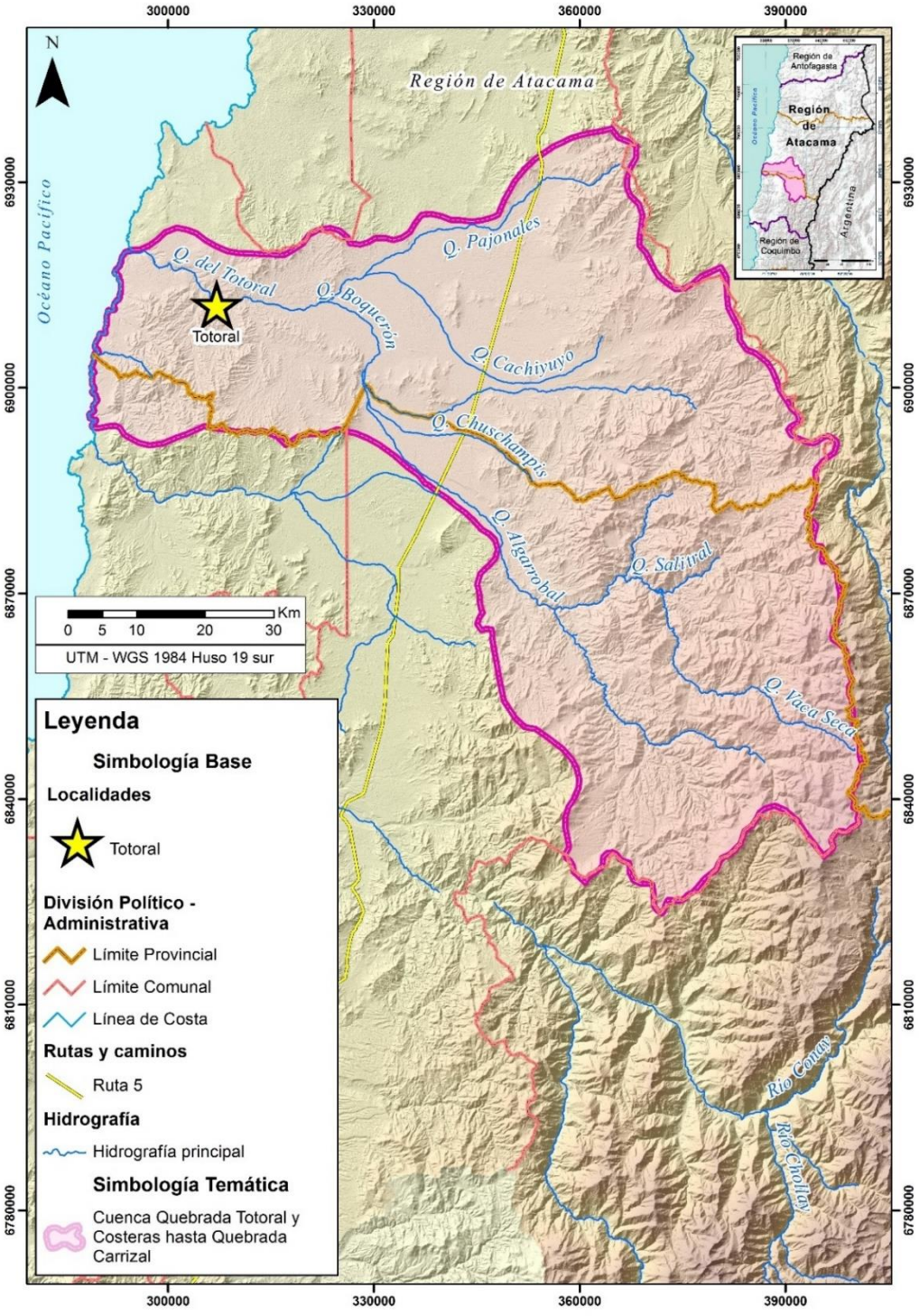
Figura 5-1: Ficha Acción AP OH-3: Identificación Instalación Sistemas de Acumulación

6 Ficha Acción AP OH-4: Identificación Mejoramiento Sistemas de Distribución

Tabla 6-1: Ficha Acción AP OH-4: Identificación Mejoramiento Sistemas de Distribución

Código	AP OH-4
Acción	Identificación Mejoramiento Sistemas de Distribución
Origen acción	Propuesto PR Huasco
Eje temático	Uso estratégico RRHH
Tipología	OH
Tipo	Estudio
Objetivo	Identificar sectores donde sea técnicamente factible el mejoramiento de los sistemas de distribución existentes
Plazo	Plazo asignado a la ejecución del estudio en el PEGH
Corto	
Mediano	X
Largo	
Descripción	Identificar agricultores interesados en el desarrollo de proyectos de mejoramiento de los sistemas de distribución, para posterior desarrollo de proyectos y proponerlos para financiamiento estata. Aplica a la identificación de sectores que requieran entubación, mejoramiento de bocatomas, sistemas de distribución, etc.
Brecha que resuelve	Infraestructura, hídrica (aunque en forma marginal que no está evaluada)
Tipo de Financiamiento	Público
Institución Encargada	CNR
Institución Participante	INDAP
Beneficiarios	Comunidad local
Costo estimado (millones $)	205
Duración (año)	2
Resultados esperados	Sectores con potencial mejoramiento de distribución

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

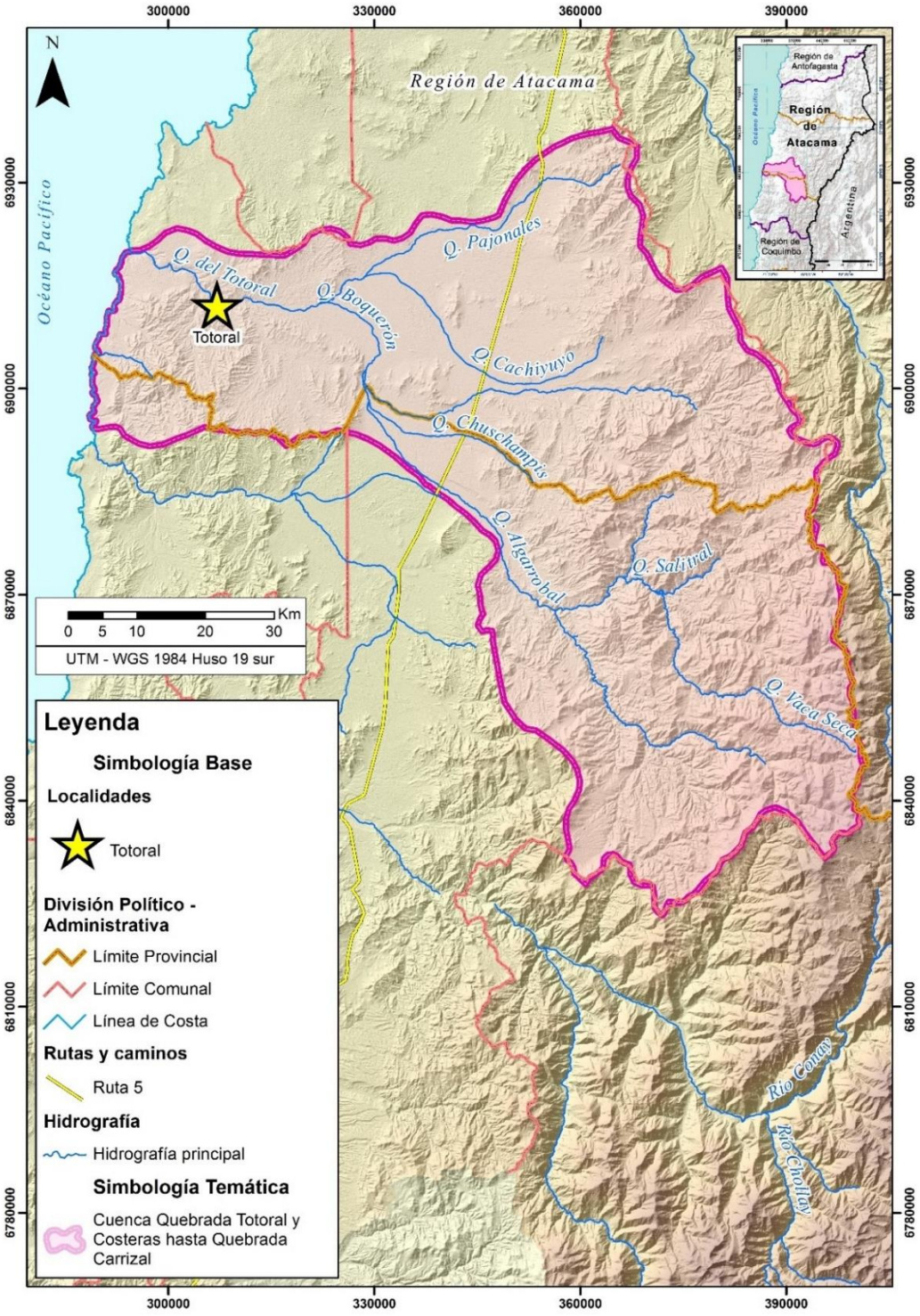
Figura 6-1: Ficha Acción AP OH-4: Identificación Mejoramiento Sistemas de Distribución

7 Ficha Acción AP OH-5: Tecnificación del riego

Tabla 7-1: Ficha Acción AP OH-5: Tecnificación del riego

Código	AP OH-5
Acción	Tecnificación del riego
Origen acción	Propuesto PR Huasco
Eje temático	Uso estratégico RRHH
Tipología	OH
Tipo	Estudio
Objetivo	Dar capacitación a los usuarios en el uso de técnicas de riego mas adecuadas a la realidad del territorio, también se considera la identificación de proyectos de este tipo que pueden ejecutarse.
Plazo	Plazo asignado a la ejecución del estudio en el PEGH
Corto	
Mediano	X
Largo	
Descripción	Identificar agricultores interesados en el desarrollo de proyectos de tecnificación, para posterior desarrollo de proyectos y proponerlos para financiamiento estatal. Considera también el reuso de aguas grises para riego
Brecha que resuelve	Infraestructura, hídrica (aunque en forma marginal que no está evaluada)
Tipo de Financiamiento	Público
Institución Encargada	CNR
Institución Participante	INDAP
Beneficiarios	Comunidad local
Costo estimado (millones $)	180
Duración (año)	2
Resultados esperados	Transferencia de capacidades en tecnificación

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

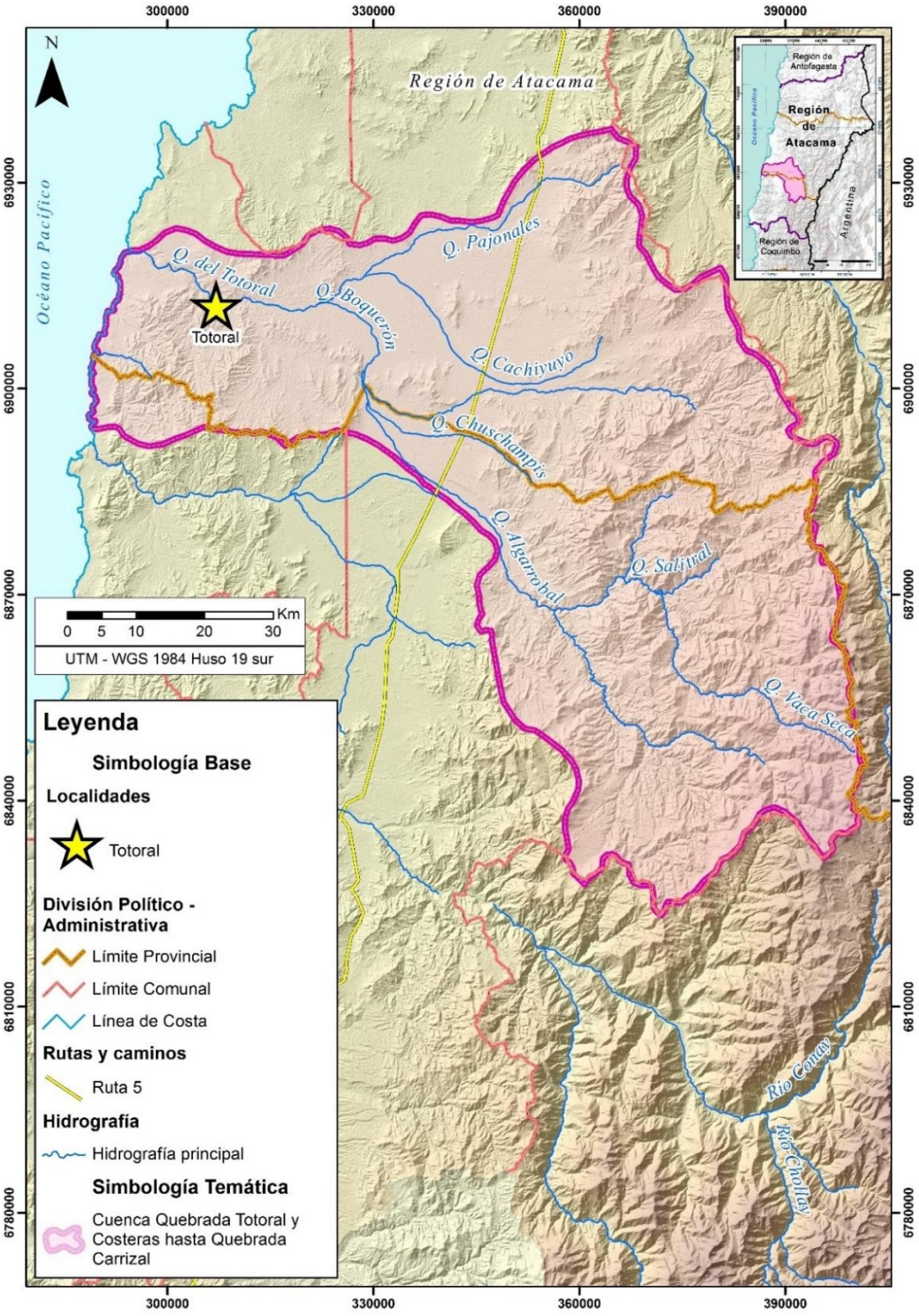
Figura 7-1: Ficha Acción AP OH-5: Tecnificación del riego

8 Ficha Acción AP OM-1: Monitoreo ambiental de humedales

Tabla 8-1: Ficha Acción AP OM-1: Monitoreo ambiental de humedales

Código	AP OM-1
Acción	Monitoreo ambiental de humedales
Origen acción	Propuesto PEGH, Comunidad
Eje temático	Protección Ambiental RRHH
Tipología	OM
Tipo	Estudio
Objetivo	Permite disponer de una medición continua de la calidad y disponibilidad del agua en los humedales costeros
Plazo	Plazo asignado a la ejecución del estudio en el PEGH
Corto	X
Mediano	
Largo	
Descripción	Realizar seguimiento de las características ecológicas de los objetos de conservación claves y de sus indicadores, para identificar cambios en la condición del estado de salud para el humedal costero. Determinar factores probables que afecten las características ecológicas del humedal priorizando su nivel de importancia.
Brecha que resuelve	Información (antecedentes de los humedales), gestión (mejores antecedentes para su adecuado manejo)
Tipo de Financiamiento	Público
Institución Encargada	MMA
Institución Participante	DGA Conservación
Beneficiarios	Comunidad local
Costo estimado (millones $)	73
Duración (año)	5
Resultados esperados	Historial de calidad de aguas y otros parámetros para la caracterización de humedales

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

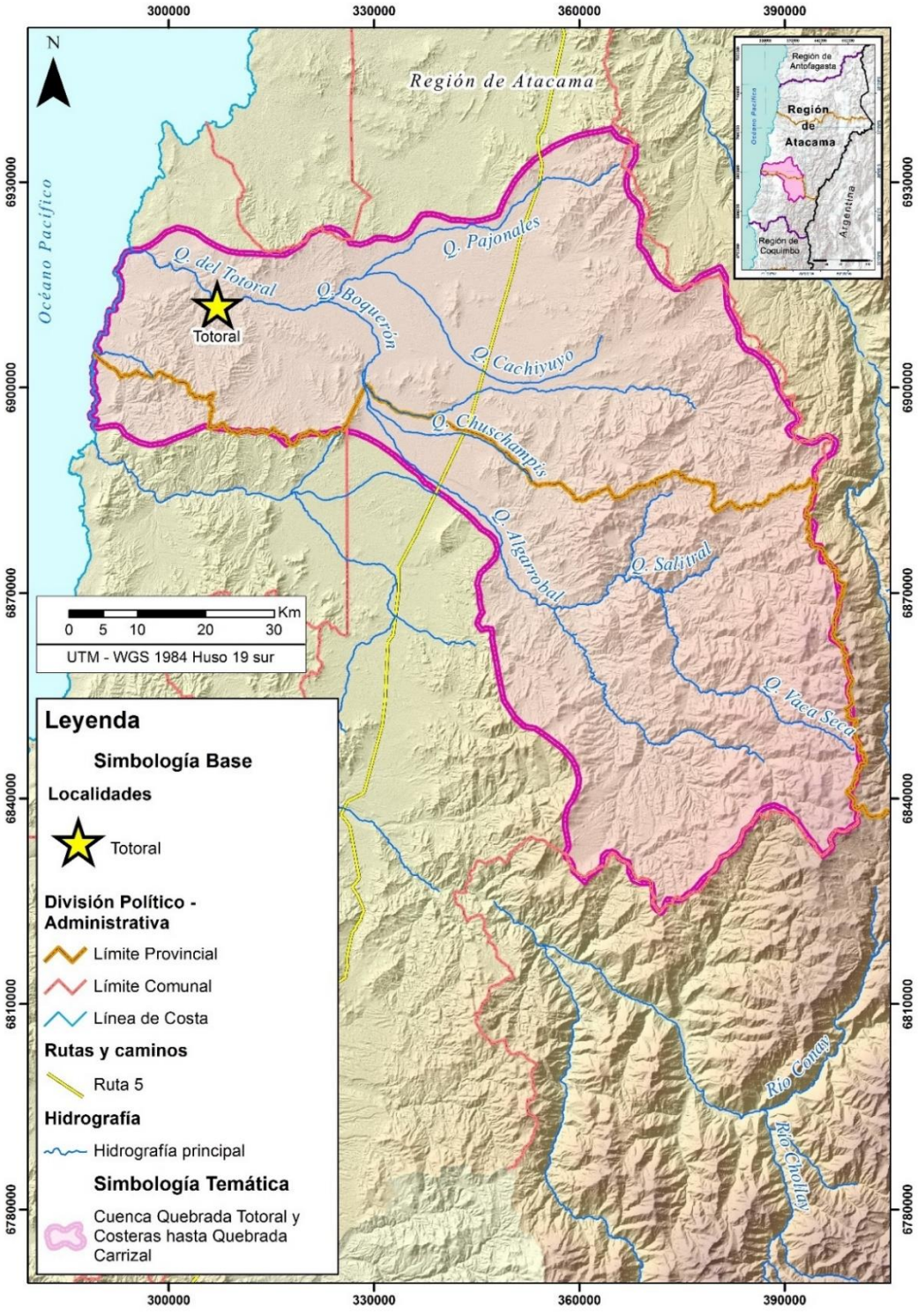
Figura 8-1: Ficha Acción AP OM-1: Monitoreo ambiental de humedales

9 Ficha Acción AP MG-2: Plan de fiscalización de extracciones

Tabla 9-1: Ficha Acción AP MG-2: Plan de fiscalización de extracciones

Código	AP MG-2
Acción	Plan de fiscalización de extracciones
Origen acción	Propuesto PEGH, Comunidad
Eje temático	Gobernanza y Gestión
Tipología	MG
Tipo	Estudio
Objetivo	Fortalecer la labor de fiscalización y seguimiento ambiental de la DGA, principalmente a través del aumento de la periodicidad en la fiscalización y mayores recursos.
Plazo	Plazo asignado a la ejecución del estudio en el PEGH
Corto	X
Mediano	
Largo	
Descripción	Considera tanto la fiscalización de las extracciones desde captaciones legales, pero especialmente desde captaciones carentes de derechos de aguas. En forma específica, busca dotar a la DGA de mayores recursos para fiscalización, tanto en
Brecha que resuelve	Información (antecedentes), gestión (mejores antecedentes para su adecuado manejo)
Tipo de Financiamiento	Público
Institución Encargada	DGA Fiscalización
Institución Participante	N/A
Beneficiarios	Comunidad local
Costo estimado (millones $)	90
Duración (año)	5
Resultados esperados	Mejoramiento de las capacidades de fiscalización de la DGA

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

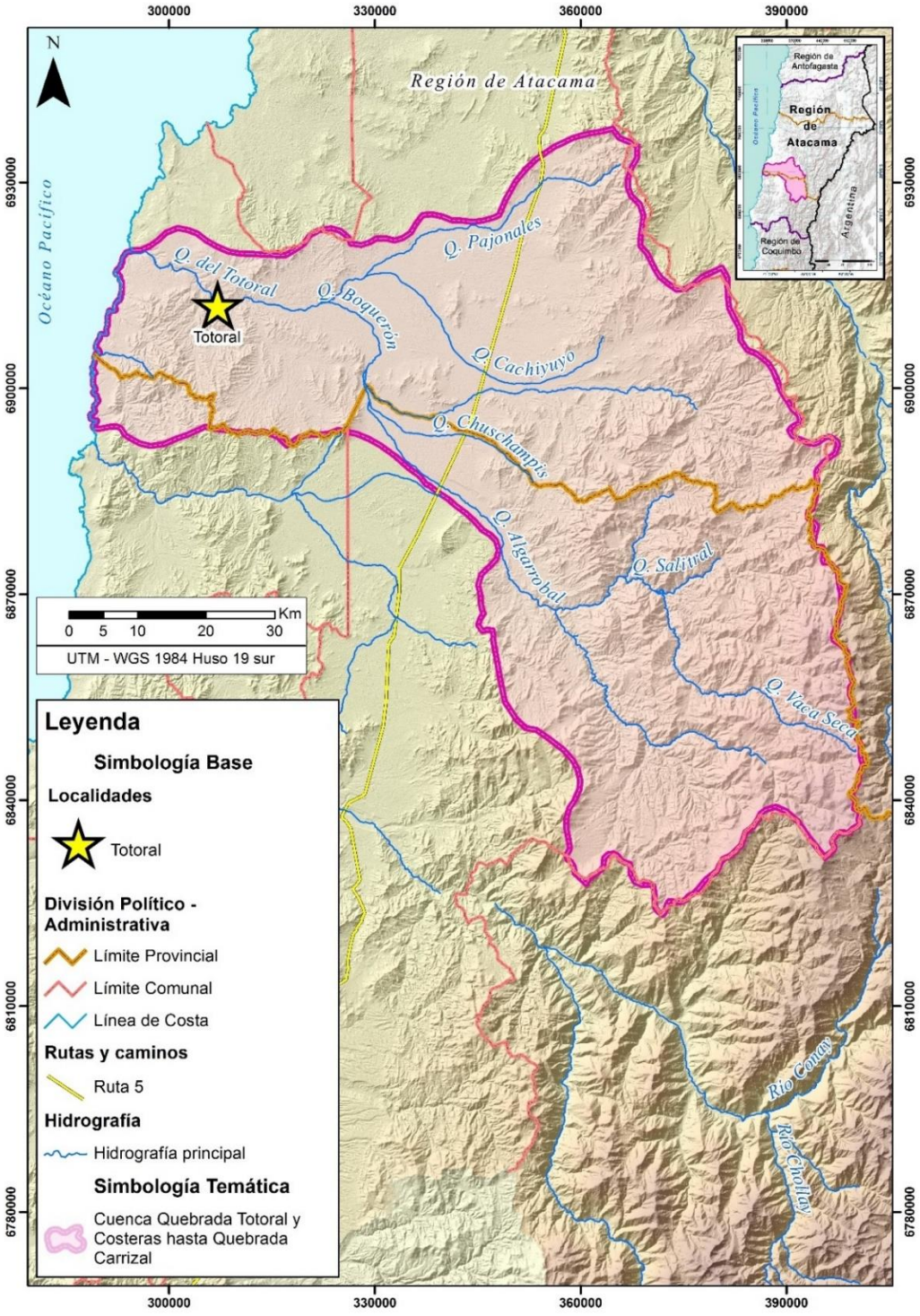
Figura 9-1: Ficha Acción AP MG-2: Plan de fiscalización de extracciones

10 Ficha Acción AP MG-3: Aplicación Art 62 para limitar el uso de los derechos concedidos

Tabla 10-1: Ficha Acción AP MG-3: Aplicación Art 62 para limitar el uso de los derechos concedidos

Código	AP MG-3
Acción	Aplicación Art 62 para limitar el uso de los derechos concedidos
Origen acción	Propuesto PEGH
Eje temático	Gobernanza y Gestión
Tipología	MG
Tipo	Estudio
Objetivo	Resguardar la sustentabilidad de los acuíferos y de los ecosistemas que de ellos dependen, toda vez que esta se vea comprometida, mediante la reducción temporal de las extracciones de recurso hídrico subterráneos en el territorio
Plazo	Plazo asignado a la ejecución del estudio en el PEGH
Corto	X
Mediano	
Largo	
Descripción	Consiste en la aplicación de las herranientas de gestión que el CdA entrega la DGA para la reducción temporal de los derechos de abastecimiento.
Brecha que resuelve	Hídrica (mejoramiento de la disponibiidad hídrica en el territorio)
Tipo de Financiamiento	Presupuesto corriente
Institución Encargada	DGA DARH, Fiscalización
Institución Participante	N/A
Beneficiarios	Comunidad local
Costo estimado (millones $)	176,0
Duración (año)	3
Resultados esperados	Efectos de la reducción del uso de los derechos

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

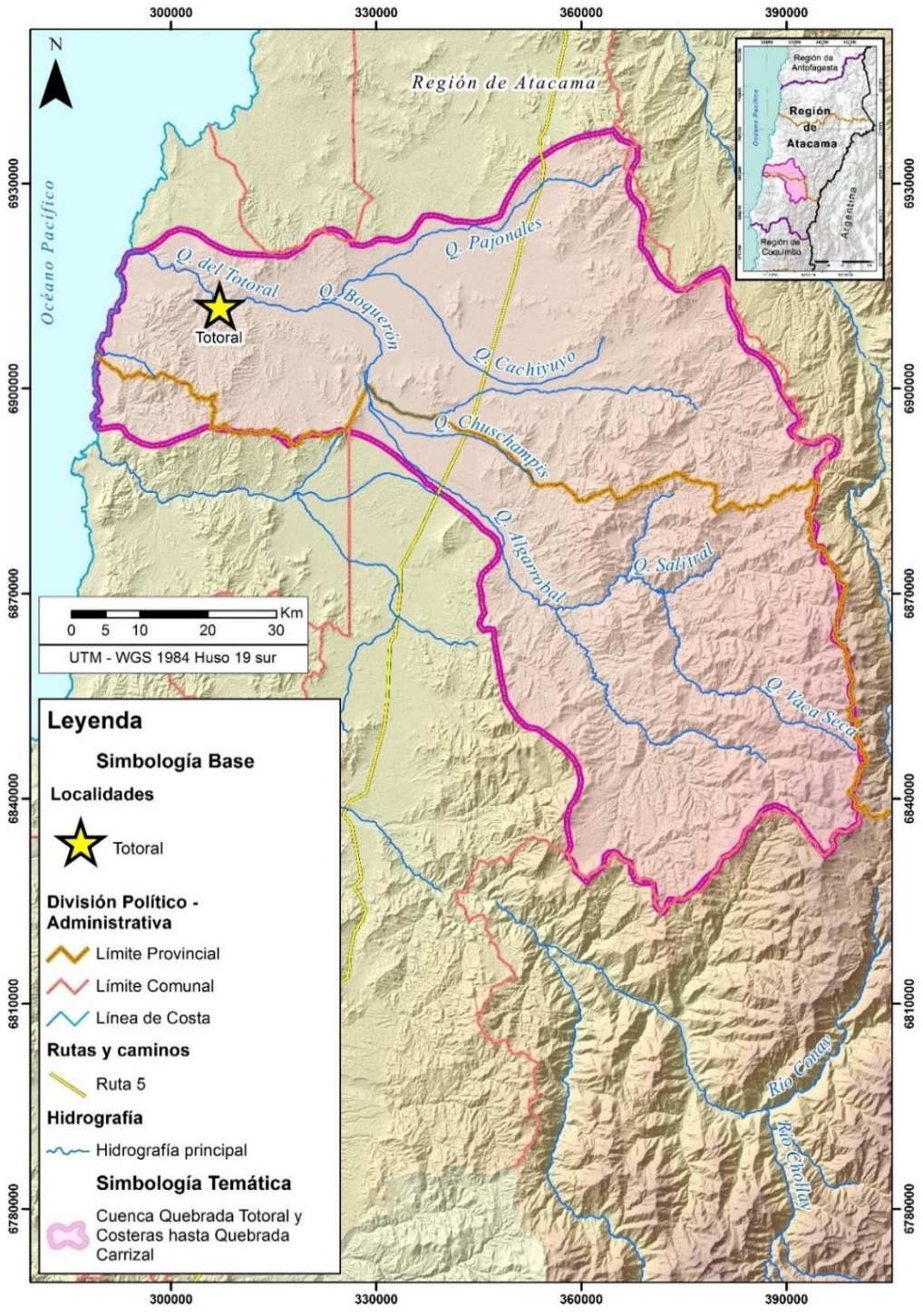
Figura 10-1: Ficha Acción AP MG-3: Aplicación Art 62 para limitar el uso de los derechos concedidos

11 Ficha Acción AP MG-4: Capacitación en Nuevo Código de Aguas

Tabla 11-1: Ficha Acción AP MG-4: Capacitación en Nuevo Código de Aguas

Código	AP MG-4
Acción	Capacitación en Nuevo Código de Aguas
Origen acción	Propuesto PEGH, Comunidad
Eje temático	Gobernanza y Gestión
Tipología	MG
Tipo	Programa
Objetivo	Capacitar a los usuarios en el nuevo Código de Aguas
Plazo	Plazo asignado a la ejecución del estudio en el PEGH
Corto	X
Mediano	
Largo	
Descripción	Corresponde a capacitación a las comunidades y dirigentes en las nuevas disposiciones del código de aguas
Brecha que resuelve	Gestión (mejoramiento de las capacidades de los actores locales)
Tipo de Financiamiento	Público
Institución Encargada	DGA DARH
Institución Participante	N/A
Beneficiarios	Comunidad local
Costo estimado (millones $)	28
Duración (año)	0,5
Resultados esperados	Transferencia de capacidades a la comunidad

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

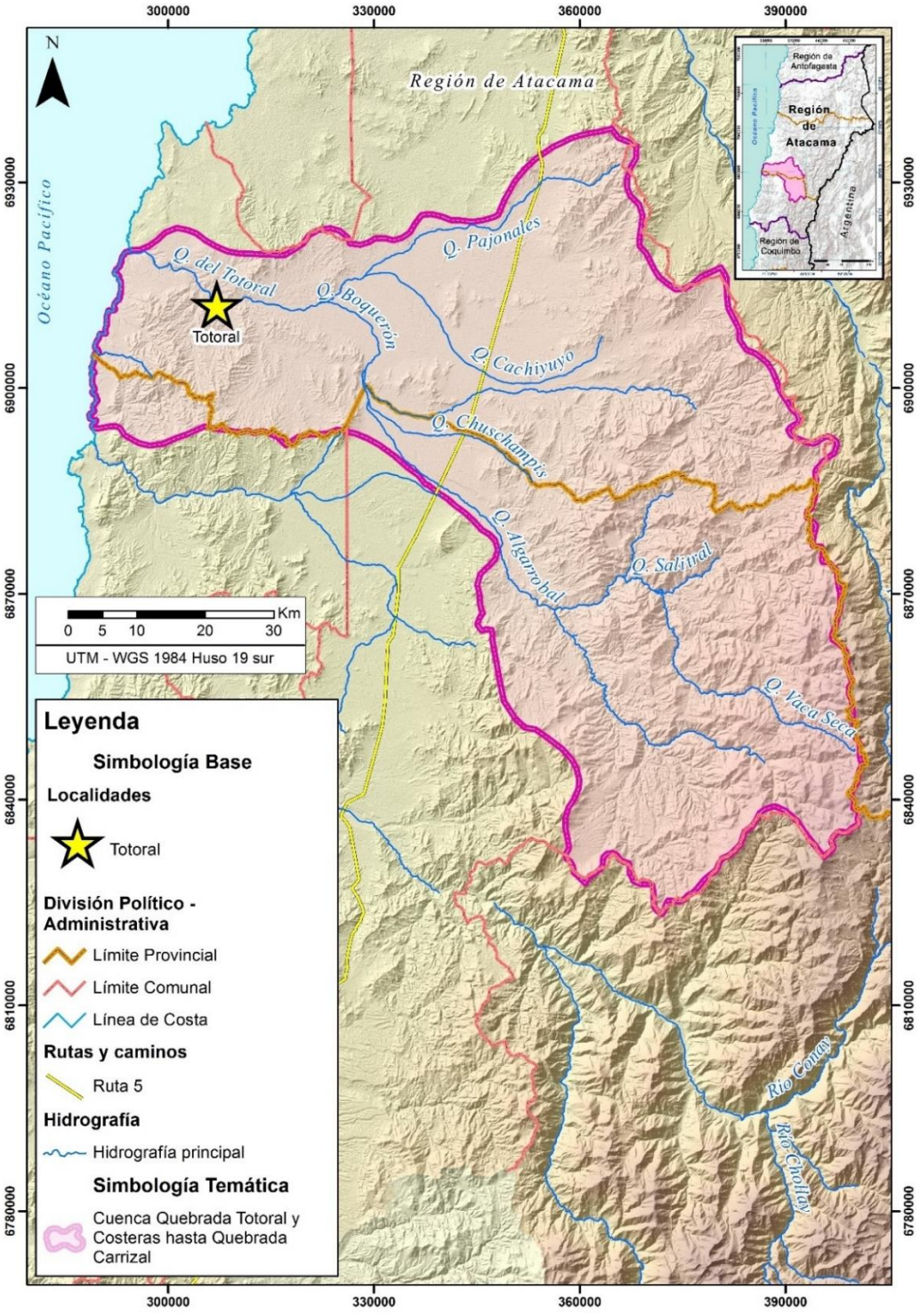
Figura 11-1: Ficha Acción AP MG-4: Capacitación en Nuevo Código de Aguas

12 Ficha Acción AP MG-5: Capacitación en uso del agua

Tabla 12-1: Ficha Acción AP MG-5: Capacitación en uso del agua

Código	AP MG-5
Acción	Capacitación en uso del agua
Origen acción	Propuesto PEGH, Comunidad
Eje temático	Gobernanza y Gestión
Tipología	MG
Tipo	Programa
Objetivo	Capacitar a los usuarios en los elementos básicos para entender la gestión de los recursos hídricos
Plazo	Plazo asignado a la ejecución del estudio en el PEGH
Corto	X
Mediano	
Largo	
Descripción	Corresponde a una capacitación global en el uso del agua, partiendo por el estudio simplificado del ciclo hidrológico, y otros elementos necesarios para el entendimiento de los problemas relacionados con los recursos hídricos. Se considera al menos incluir elementos en: ciclo hidrológico, aprovechamiento de aguas subterráneas, cambio climático, otros que se estime de interés de la comunidad
Brecha que resuelve	Gestión (mejoramiento de las capacidades de los actores locales)
Tipo de Financiamiento	Público
Institución Encargada	DGA DARH
Institución Participante	INDAP-CNR
Beneficiarios	Comunidad local
Costo estimado (millones $)	38
Duración (año)	0,5
Resultados esperados	Transferencia de capacidades a la comunidad

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

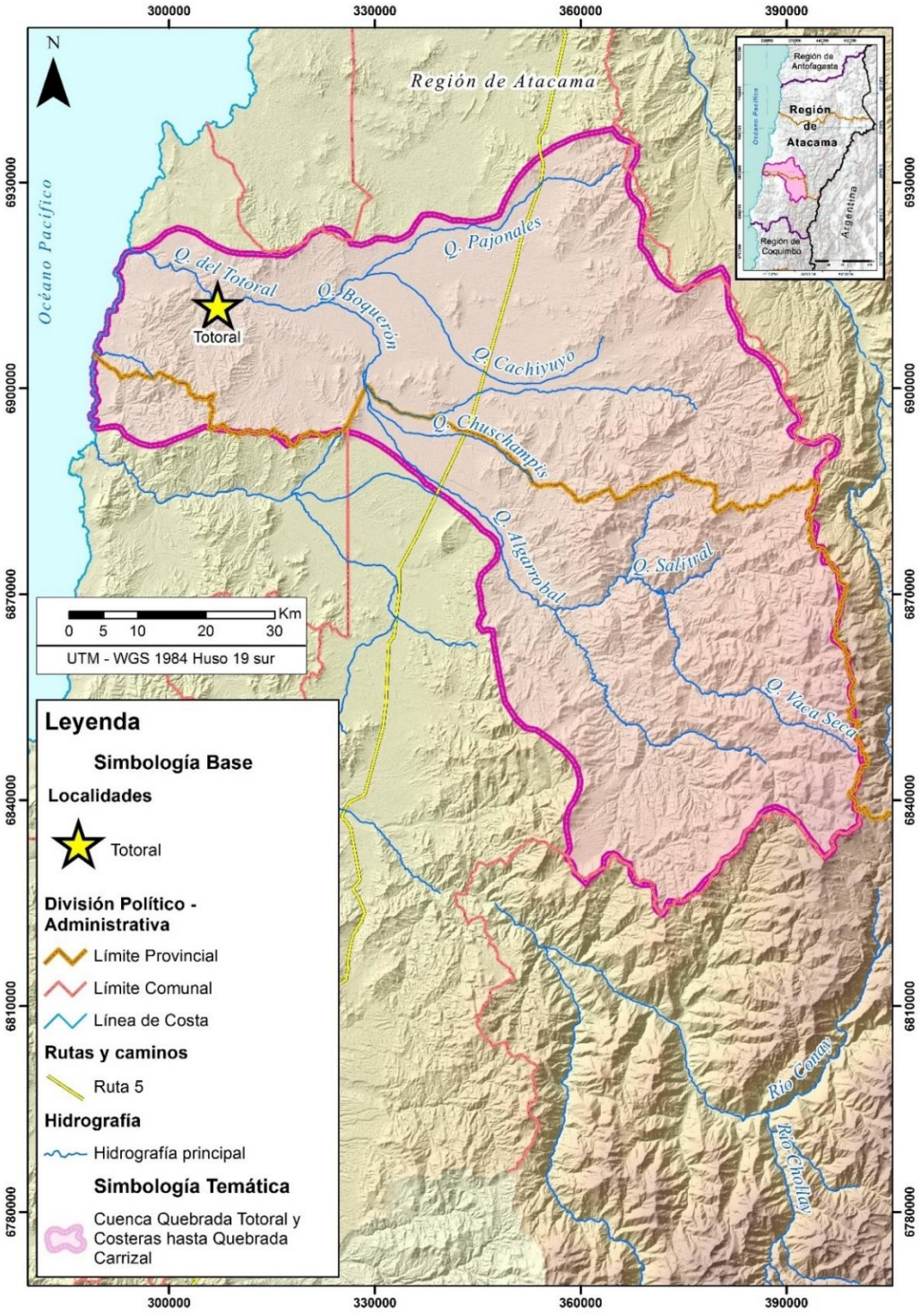
Figura 12-1: Ficha Acción AP MG-5: Capacitación en uso del agua

13 Ficha Acción AP MG-6: Apoyo y formación OUA’s

Tabla 13-1: Ficha Acción AP MG-6: Apoyo y formación OUA’s

Código	AP MG-6
Acción	Apoyo y formación OUA’s
Origen acción	Propuesto PEGH, Comunidad
Eje temático	Gobernanza y Gestión
Tipología	MG
Tipo	Programa
Objetivo	Fortalecer la gestión de los recursos hídricos mediante de la formaciónción de las OUAs y usuarios de aguas.
Plazo	Plazo asignado a la ejecución del estudio en el PEGH
Corto	X
Mediano	
Largo	
Descripción	El presente programa busca proveer la formación de OUA's en el territorio. En el ámbito organizacional incluye acciones que apuntan a mejorar la gestión a través de los titulares de DAA y a los integrantes del equipo de las OUA, tales como: * Revisión y propuesta de mejora de organigrama y estatutos de la OUA. * Formación sobre los derechos y deberes de los usuarios y las OUA. * Actualización de aspectos legales de usuarios y OUA.
Brecha que resuelve	Gestión (mejoramiento de las capacidades de los actores locales)
Tipo de Financiamiento	Público
Institución Encargada	DGA Depto. Organizaciones de usuarios
Institución Participante	INDAP, DGA DARH
Beneficiarios	Comunidad local
Costo estimado (millones $)	176,0
Duración (año)	2,0
Resultados esperados	Transferencia de capacidades a la comunidad

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

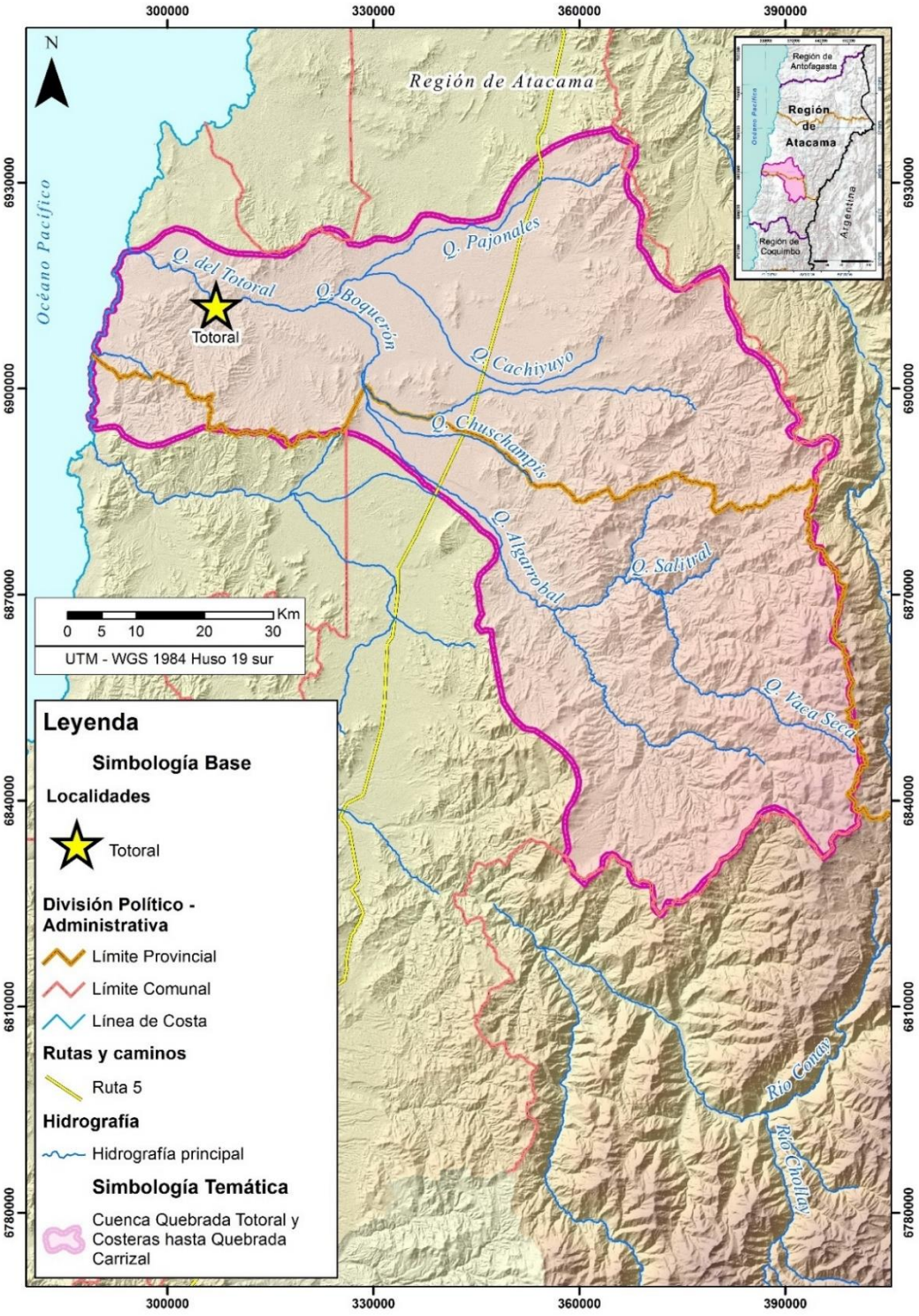
Figura 13-1: Ficha Acción AP MG-6: Apoyo y formación OUA's

14 Ficha Acción AP MG-7: Capacitación OUA's

Tabla 14-1: Ficha Acción AP MG-7: Capacitación OUA's

Código	AP MG-7
Acción	Capacitación OUA's
Origen acción	Propuesto PEGH, Comunidad
Eje temático	Gobernanza y Gestión
Tipología	MG
Tipo	Programa
Objetivo	Fortalecer la gestión de los recursos hídricos mediante de la capacitación de las OUAs y usuarios de aguas.
Plazo	Plazo asignado a la ejecución del estudio en el PEGH
Corto	X
Mediano	
Largo	
Descripción	El presente programa busca proveer mejoras en la gestión mediante la capacitación técnica y jurídica respecto a los DAA, así como los derechos y deberes de los usuarios, y las atribuciones de las OUAS. En el ámbito organizacional incluye acciones que apuntan a mejorar la gestión a través de los titulares de DAA y a los integrantes del equipo de las OUA, tales como: * Revisión y propuesta de mejora de organigrama y estatutos de la OUA. * Formación sobre los derechos y deberes de los usuarios y las OUA. * Actualización de aspectos legales de usuarios y OUA. En el ámbito tecnológico incluye acciones que apuntan a mejorar la gestión a través de la operación y uso de tecnologías, tales como: * Consideraciones técnicas para la operación de una OUA apuntando a los derechos y deberes de usuarios y OUA. * Sistemas de gestión y plataformas de información. * Tecnologías asociadas al monitoreo y control del recurso.
Brecha que resuelve	Gestión (mejoramiento de las capacidades de los actores locales)
Tipo de Financiamiento	Público
Institución Encargada	DGA Depto. Organizaciones de usuarios
Institución Participante	INDAP, DGA DARH
Beneficiarios	Comunidad local
Costo estimado (millones $)	28
Duración (año)	0,5
Resultados esperados	Transferencia de capacidades a la comunidad

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

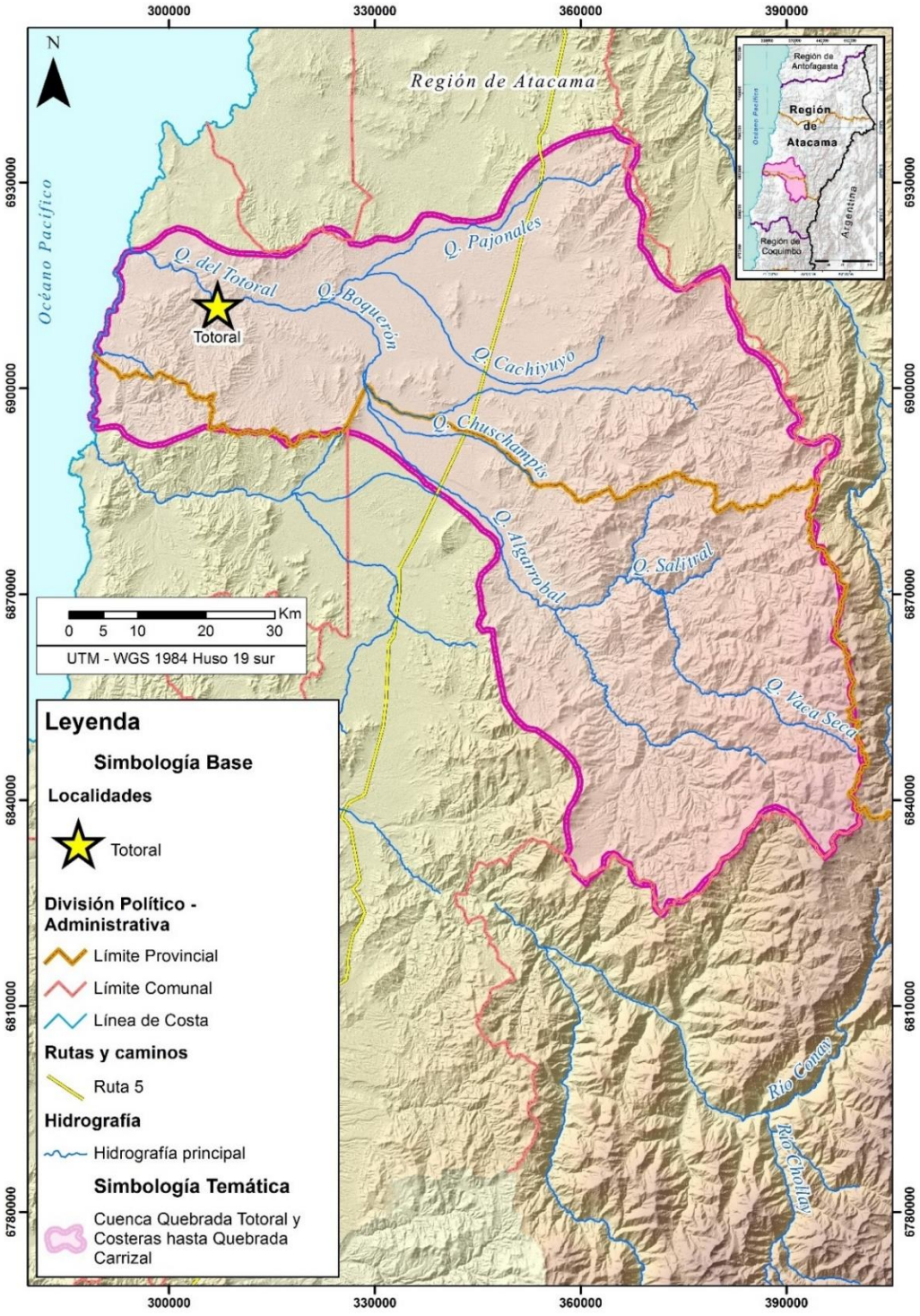
Figura 14-1: Ficha Acción AP MG-7: Capacitación OUA's

15 Ficha Acción AP MG-8: Capacitación en desarrollo agropecuario a usuarios

Tabla 15-1: Ficha Acción AP MG-8: Capacitación en desarrollo agropecuario a usuarios

Código	AP MG-8
Acción	Capacitación en desarrollo agropecuario a usuarios
Origen acción	Propuesto PR Huasco
Eje temático	Gobernanza y Gestión
Tipología	MG
Tipo	Programa
Objetivo	Transferir capacidades para el mejoramiento en el desarrollo agroproductivo en el territorio
Plazo	Plazo asignado a la ejecución del estudio en el PEGH
Corto	
Mediano	
Largo	X
Descripción	La escasez hídrica corresponde a uno de los factores limitantes para la productividad agrícola, limitando la superficie cultivable y generando baja eficiencia en el riego. Los objetivos de este programa es validar sistemas de riego utilizados, además de capacitar a los usuarios en la implementación de estos (tiempos y frecuencia de riego, tipo de cultivo, características de los suelos etc.), como alternativa para el mejor aprovechamiento de los recursos hídricos.
Brecha que resuelve	Gestión (mejoramiento de las capacidades de los actores locales)
Tipo de Financiamiento	Público
Institución Encargada	INDAP
Institución Participante	CNR
Beneficiarios	Comunidad local
Costo estimado (millones $)	38
Duración (año)	0,5
Resultados esperados	Transferencia de capacidades a la comunidad

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

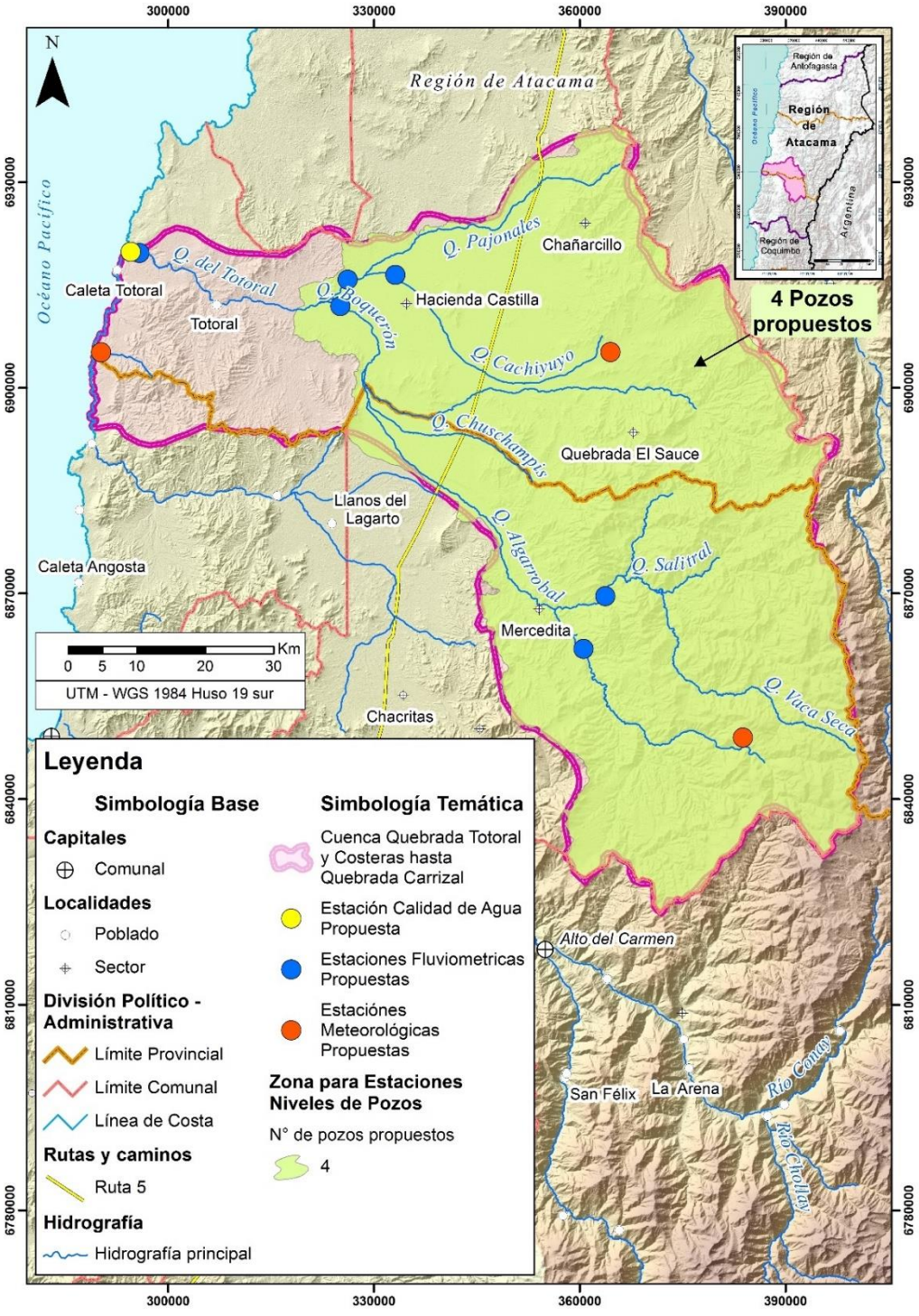
Figura 15-1: Ficha Acción AP MG-8: Capacitación en desarrollo agropecuario a usuarios

16 Ficha Acción AP OH-6: Mejoramiento de red de control (Fluviometría, meteorología, calidad y nivel de aguas subterráneas)

Tabla 16-1: Ficha Acción AP OH-6: Mejoramiento de red de control (Fluviometría, meteorología, calidad y nivel de aguas subterráneas)

Código	AP OH-6
Acción	Mejoramiento de red de control (Fluviometría, meteorología, calidad y nivel de aguas subterráneas)
Origen acción	Propuesto PEGH
Eje temático	Monitoreo
Tipología	OH
Tipo	Proyecto
Objetivo	Ampliar la red hidrometeorológica existente en el territorio
Plazo	Plazo asignado a la ejecución del estudio en el PEGH
Corto	
Mediano	X
Largo	
Descripción	Corresponde al mejoramiento integral de la red de control. Preliminarmente se estima necesario instalar estaciones de control fluviométrico y de niveles de aguas subterráneas
Brecha que resuelve	Información: permite disponer de información de mejor calidad en el territorio
Tipo de Financiamiento	Público
Institución Encargada	DGA Hidrología
Institución Participante	N/A
Beneficiarios	Comunidad local, universidades, consultores, usuarios privados
Costo estimado (millones $)	397,5
Duración (año)	3
Resultados esperados	Redes operativas entregando iunformación a usuarios y DGA

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16-1: Ficha Acción AP OH-6: Mejoramiento de red de control (Fluviometría, meteorología, calidad y nivel de aguas subterráneas)

ANEXO L

PRESENTACIÓN FINAL

En formato electrónico