



**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

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.

ÍNDICE

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO | 1 |
| 1.1 | INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.2 | OBJETIVO GENERAL | 2 |
| 1.3 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 2 |
| 2 | CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA..... | 5 |
| 2.1 | DIMENSIÓN FÍSICA | 5 |
| 2.1.1 | <i>Geomorfología</i> | <i>7</i> |
| 2.1.2 | <i>Geología</i> | <i>10</i> |
| 2.1.3 | <i>Suelos</i> | <i>13</i> |
| 2.1.4 | <i>Drenaje.....</i> | <i>16</i> |
| 2.1.5 | <i>División político-administrativa.....</i> | <i>20</i> |
| 2.1.6 | <i>Demografía</i> | <i>22</i> |
| 2.1.7 | <i>Actividad económica</i> | <i>23</i> |
| 2.2 | CLIMA | 26 |
| 2.2.1 | <i>Caracterización Climática</i> | <i>26</i> |
| 2.2.2 | <i>Eventos extremos y variabilidad climática.....</i> | <i>29</i> |
| 2.2.3 | <i>Escenarios de cambio climático</i> | <i>33</i> |
| 2.3 | DIMENSIÓN AMBIENTAL..... | 41 |
| 2.3.1 | <i>Ecosistemas terrestres.....</i> | <i>41</i> |
| 2.3.2 | <i>Ecosistemas hídricos: humedales</i> | <i>48</i> |
| 2.3.3 | <i>Áreas bajo protección oficial y otras figuras de conservación.....</i> | <i>52</i> |
| 2.3.4 | <i>Amenazas a la biodiversidad.....</i> | <i>58</i> |
| 2.4 | INFRAESTRUCTURA HÍDRICA | 59 |
| 2.4.1 | <i>Agua Potable Urbana</i> | <i>60</i> |
| 2.4.2 | <i>Servicios Sanitarios Rurales.....</i> | <i>60</i> |
| 2.4.3 | <i>Redes de control</i> | <i>62</i> |
| 2.4.4 | <i>Riego.....</i> | <i>72</i> |
| 2.5 | NUEVAS FUENTES EXISTENTES..... | 74 |
| 2.5.1 | <i>Cosecha de Nubes</i> | <i>74</i> |
| 2.5.2 | <i>Desalinización.....</i> | <i>80</i> |
| 2.5.3 | <i>Uso aguas servidas tratadas</i> | <i>82</i> |

| | | |
|--------------|---|------------|
| 2.6 | GOBERNANZA DEL AGUA A NIVEL DE CUENCA | 82 |
| 2.6.1 | <i>Mapa de Actores</i> | 82 |
| 2.6.2 | <i>Síntesis de Reuniones PAC</i> | 95 |
| 2.6.3 | <i>Brechas de coordinación</i> | 100 |
| 2.6.4 | <i>Brechas de información</i> | 101 |
| 3 | DEMANDA FÍSICA Y LEGAL DIFERENTES USOS | 105 |
| 3.1 | USO HUMANO | 105 |
| 3.1.1 | <i>AP Urbana, histórica y proyectada</i> | 105 |
| 3.1.2 | <i>AP Rural, histórica y proyectada</i> | 105 |
| 3.2 | NECESIDADES MÍNIMAS AMBIENTALES | 106 |
| 3.3 | DEMANDA AGRÍCOLA | 107 |
| 3.4 | DEMANDA MINERA Y DERECHOS | 108 |
| 3.5 | DEMANDA INDUSTRIAL Y DERECHOS | 108 |
| 3.6 | DEMANDA PECUARIA | 108 |
| 3.7 | OTRAS DEMANDAS | 109 |
| 3.8 | RESUMEN DE DEMANDAS | 109 |
| 3.9 | MERCADO DE AGUAS | 109 |
| 4 | OFERTA HÍDRICA | 111 |
| 4.1 | AGUA SUPERFICIAL | 111 |
| 4.1.1 | <i>Fuentes</i> | 111 |
| 4.1.2 | <i>Oferta en la fuente</i> | 111 |
| 4.1.3 | <i>Oferta en la fuente proyectada</i> | 112 |
| 4.1.4 | <i>Calidad actual de fuentes</i> | 113 |
| 4.1.5 | <i>Fuentes de contaminación</i> | 113 |
| 4.1.6 | <i>Derechos concedidos</i> | 113 |
| 4.2 | AGUA SUBTERRÁNEA | 114 |
| 4.2.1 | <i>Identificación</i> | 114 |
| 4.2.2 | <i>Stock, recarga y niveles</i> | 118 |
| 4.2.3 | <i>Calidad actual</i> | 121 |
| 4.2.4 | <i>Fuentes de contaminación</i> | 142 |
| 4.2.5 | <i>Derechos concedidos</i> | 144 |
| 4.2.6 | <i>Zonas de Prohibición</i> | 150 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5 | BALANCE DE AGUA | 153 |
| 5.1 | MODELO DE SIMULACIÓN | 153 |
| 5.1.1 | <i>Situación actual.....</i> | <i>153</i> |
| 5.1.2 | <i>Situación proyectada.....</i> | <i>159</i> |
| 5.2 | BRECHAS | 160 |
| 5.2.1 | <i>Resultados de escenario Caso Base (CB).....</i> | <i>160</i> |
| 5.2.2 | <i>Resultados de escenario Cambio Climático seleccionado (VF)...</i> | <i>166</i> |
| 5.2.3 | <i>Síntesis de brechas entre oferta y demanda.....</i> | <i>170</i> |
| 5.3 | SUSTENTABILIDAD..... | 172 |
| 5.3.1 | <i>Oferta Hídrica Sustentable Superficial.....</i> | <i>172</i> |
| 5.3.2 | <i>Sustentabilidad de sectores acuíferos DGA</i> | <i>177</i> |
| 5.4 | INDICADORES HÍDRICOS DE LA CUENCA | 181 |
| 5.4.1 | <i>Resultados de los indicadores</i> | <i>182</i> |
| 5.4.2 | <i>Comparación de indicadores</i> | <i>183</i> |
| 5.5 | ESCENARIOS DE GESTIÓN ESPECÍFICOS..... | 184 |
| 5.5.1 | <i>Definición de escenarios.....</i> | <i>185</i> |
| 5.5.2 | <i>Resultados de escenarios de gestión</i> | <i>188</i> |
| 6 | ACCIONES..... | 199 |
| 6.1 | PROBLEMAS ADOPTADOS | 199 |
| 6.2 | EJES TEMÁTICOS Y TIPOLOGÍAS ADOPTADAS..... | 205 |
| 6.3 | ACCIONES PROPUESTAS SEGÚN EJE TEMÁTICO Y PROBLEMA IDENTIFICADO..... | 205 |
| 6.4 | ACCIONES PROPUESTAS..... | 206 |
| 6.4.1 | <i>Ficha Acción AP OH-1: Ampliación SSR Total.....</i> | <i>207</i> |
| 6.4.2 | <i>Ficha Acción AP OH-2: Mejoramiento abastecimiento localidades menores</i> <i>209</i> | |
| 6.4.3 | <i>Ficha Acción AP NF-1: Evaluación potencial cosecha de nubes en la cuenca</i> <i>211</i> | |
| 6.4.4 | <i>Ficha Acción AP MG-1: Fomentar la gestión público-privada para el uso de</i> <i>desalación como fuente de abastecimiento</i> | <i>213</i> |
| 6.4.5 | <i>Ficha Acción AP OH-3: Identificación Instalación Sistemas de Acumulación</i> <i>215</i> | |
| 6.4.6 | <i>Ficha Acción AP OH-4: Identificación Mejoramiento Sistemas de</i> <i>Distribución</i> | <i>217</i> |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 6.4.7 | <i>Ficha Acción AP OH-5: Tecnificación del riego</i> | 219 |
| 6.4.8 | <i>Ficha Acción AP OM-1: Monitoreo ambiental de humedales</i> | 221 |
| 6.4.9 | <i>Ficha Acción AP MG-2: Plan de fiscalización de extracciones</i> | 223 |
| 6.4.10 | <i>Ficha Acción AP MG-3: Aplicación Art 62 para limitar el uso de los derechos concedidos</i> | 225 |
| 6.4.11 | <i>Ficha Acción AP MG-4: Capacitación en Nuevo Código de Aguas</i> | 227 |
| 6.4.12 | <i>Ficha Acción AP MG-5: Capacitación en uso del agua</i> | 229 |
| 6.4.13 | <i>Ficha Acción AP MG-6: Apoyo y formación OUA's</i> | 231 |
| 6.4.14 | <i>Ficha Acción AP MG-7: Capacitación OUA's</i> | 233 |
| 6.4.15 | <i>Ficha Acción AP MG-8: Capacitación en desarrollo agropecuario a usuarios</i> | 235 |
| 6.4.16 | <i>Ficha Acción AP OH-6: Mejoramiento de red de control (Fluviometría, meteorología, calidad y nivel de aguas subterráneas)</i> | 237 |
| 7 | EVALUACIÓN DE LA CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTAS | 239 |
| 7.1 | EVALUACIÓN Y RANKING DE LAS ACCIONES PROPUESTAS | 239 |
| 7.2 | REORDENAMIENTO DE LAS ACCIONES Y ASIGNACIÓN DE PLAZO PARA LA FORMULACIÓN DEL PEGH | 243 |
| 7.3 | CLASIFICACIÓN DE ACCIONES SEGÚN PLAZO DE EJECUCIÓN | 247 |
| 7.4 | VALORIZACIÓN ECONÓMICA DEL PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA | 251 |
| 7.4.1 | <i>Acciones a Ejecutar por Actor</i> | 251 |
| 7.4.2 | <i>Distribución de Valor Actualizado de Costos por Eje PEGH</i> | 253 |
| 8 | IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN | 255 |
| 8.1 | ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN | 255 |
| 8.1.1 | <i>Aspectos a Considerar</i> | 255 |
| 8.1.2 | <i>Pasos para la Implementación del PEGH</i> | 259 |
| 8.2 | ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN | 265 |
| 9 | MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN | 267 |
| 9.1 | PLAN DE MONITOREO | 267 |
| 9.1.1 | <i>Indicadores del PEGH Totoral</i> | 268 |
| 9.1.2 | <i>Seguimiento</i> | 268 |
| 9.2 | MECANISMOS PARA EL ANÁLISIS Y TOMA DE DECISIONES | 269 |
| 10 | CONCLUSIONES | 271 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2-1: Ubicación área de estudio | 6 |
| Figura 2-2: Geomorfología en el área de estudio | 9 |
| Figura 2-3: Distribución espacial de las principales unidades de relleno sedimentario y del conjunto de rocas existentes en la cuenca de Totoral | 11 |
| Figura 2-4: Altitud en la cuenca..... | 12 |
| Figura 2-5: Figura de Cobertura de Suelos..... | 15 |
| Figura 2-6: Hidrografía del área de estudio | 17 |
| Figura 2-7: Subcuencas en el área de estudio | 19 |
| Figura 2-8: División Político-Administrativa del área de estudio | 21 |
| Figura 2-9: Clasificación Climática de Koppen-Geiger | 28 |
| Figura 2-10: Resumen de eventos extremos importantes. Periodo 1970 – 2014 | 30 |
| Figura 2-11: Estaciones meteorológicas de temperatura seleccionadas..... | 32 |
| Figura 2-12: Temperaturas medias registradas. Periodo 1993 – 2010 | 33 |
| Figura 2-13: Temperatura media proyectada hacia 2020 – 2060 por MCG | 35 |
| Figura 2-14: Flujos hidrológicos proyectados hacia 2020 – 2060. Escenario CCSM4 .. | 35 |
| Figura 2-15: Flujos hidrológicos proyectados hacia 2020 – 2060. Escenario CSIRO ... | 36 |
| Figura 2-16: Flujos hidrológicos proyectados hacia 2020 – 2060. Escenario IPSL..... | 36 |
| Figura 2-17: Flujos hidrológicos proyectados hacia 2020 – 2060. Escenario MIROC... 37 | |
| Figura 2-18: Distribución espacial de la temperatura media anual en periodo histórico y cambio futuro según proyecciones MCG seleccionados | 40 |
| Figura 2-19: Distribución espacial de la precipitación media anual en periodo histórico y cambio futuro según proyecciones MCG seleccionados | 40 |
| Figura 2-20: Esquema dimensión ambiental..... | 41 |
| Figura 2-21: Distribución de los pisos vegetacionales de la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal. | 45 |

| | |
|---|-----|
| Figura 2-22: Distribución de los humedales en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal..... | 50 |
| Figura 2-23: Vista panorámica del Humedal Costero Totoral | 51 |
| Figura 2-24: Áreas de protección por piso vegetacional en la cuenca..... | 56 |
| Figura 2-25: Distribución de los sitios prioritarios y pisos vegetacionales en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal | 57 |
| Figura 2-26: Representatividad de las figuras de protección en los pisos vegetacionales de la cuenca de la Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal. | 58 |
| Figura 2-27: Ubicación Servicios Sanitarios Rurales | 61 |
| Figura 2-28: Ubicación de Estaciones Meteorológicas | 63 |
| Figura 2-29: Ubicación Red de Niveles de Pozos DGA | 65 |
| Figura 2-30: Ubicación red de calidad de Aguas Subterráneas | 67 |
| Figura 2-31: Estaciones Propuestas | 71 |
| Figura 2-32: Ubicación Sistemas de Riego en el Territorio..... | 73 |
| Figura 2-33: Franjas de Altitud..... | 75 |
| Figura 2-34: Clasificación de pendientes..... | 76 |
| Figura 2-35: Clasificación de orientación del territorio | 77 |
| Figura 2-36: Zonas identificadas desde la costa..... | 78 |
| Figura 2-37: Territorios con potencial para cosecha de nubes..... | 79 |
| Figura 2-38: Proyecto Minero El Morro | 81 |
| Figura 2-39: Mapa de Actores (Disposición/Influencia) | 87 |
| Figura 2-40: Mapa de Actores – Relaciones..... | 93 |
| Figura 4-1: Elevación de la capa de basamento rocoso | 115 |
| Figura 4-2: Modelo de Capas, representación gráfica en 3D | 116 |
| Figura 4-3: Curva de embalse del acuífero | 117 |
| Figura 4-4: Modelo Conceptual 3D | 118 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4-5: Niveles aguas subterráneas históricos: Pozo Boquerón Chañar | 119 |
| Figura 4-6: Niveles aguas subterráneas históricos: Pozo Estación Algarrobal | 120 |
| Figura 4-7: Niveles de aguas subterráneas históricos: Pozo Quebrada Algarrobal ... | 120 |
| Figura 4-8: Pozos muestreados que superan y que no superan la Norma de agua potable y la de riego en al menos uno de los parámetros analizados | 125 |
| Figura 4-9: Pozos muestreados que superan y que no superan la Norma de agua potable en al menos uno de los parámetros analizados..... | 127 |
| Figura 4-10: Pozos muestreados que superan y que no superan la Norma de agua riego en al menos uno de los parámetros analizados..... | 129 |
| Figura 4-11: Diagrama de Piper para el territorio..... | 133 |
| Figura 4-12: Diagramas de Stiff para la Cuenca de Carrizal..... | 135 |
| Figura 4-13: Diagramas de Stiff para la Cuenca de Totoral | 137 |
| Figura 4-14: Ubicación puntos de muestreo Isotópico (Cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal)..... | 139 |
| Figura 4-15: Ubicación puntos de muestreo Isotópico (Cuenca Quebrada Carrizal y Costeras hasta Río Huasco) | 140 |
| Figura 4-16: Deuterio vs Oxígeno 18 de muestras de aguas subterráneas de las cuencas de Carrizal y Totoral | 141 |
| Figura 4-17: Ubicación Tranques de Relave en la Cuenca..... | 143 |
| Figura 4-18: Figura Derechos Aprovechamiento de Agua del CPA | 146 |
| Figura 4-19: Figura Derechos Aprovechamiento Concedidos Adoptados | 149 |
| Figura 4-20: Zonas de Restricción y Prohibición..... | 151 |
| Figura 5-1: Delimitación del sector de acople WEAP – MODFLOW..... | 154 |
| Figura 5-2: Puntos de interés para calibración superficial sintética | 156 |
| Figura 5-3: Diagrama de dispersión de niveles freáticos observados y simulados.... | 159 |
| Figura 5-4: Resultados calibración en punto de control Totoral Alto..... | 161 |
| Figura 5-5: Resultados calibración en punto de control Totoral Medio | 162 |

| | |
|---|-----|
| Figura 5-6: Resultados calibración en punto de control Totoral Desembocadura..... | 163 |
| Figura 5-7: Balances hídricos por componentes en sector del acuífero ubicado en cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal..... | 165 |
| Figura 5-8: Variación del volumen del acuífero en el sector Totoral | 166 |
| Figura 5-9: Variación futura de la escorrentía superficial en puntos de control..... | 168 |
| Figura 5-10: Balance hídrico futuro por componentes en sector del acuífero ubicado en cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal | 169 |
| Figura 5-11: Requerimiento de agua en la cuenca por tipo (panel superior) y como porcentaje del total (panel inferior)..... | 171 |
| Figura 5-12: Curva de variación estacional en puntos de control..... | 174 |
| Figura 5-13: Esquema de Indicadores Hídricos subterráneos | 182 |
| Figura 5-14: Comparación de Indicadores Hídricos adimensionales en escenarios Caso Base (CB) y Ventana Futura (VF)..... | 184 |
| Figura 5-15: Esquema de árbol de escenarios modelados en WEAP | 185 |
| Figura 5-16: Satisfacción de la demanda de los titulares proyectada | 190 |
| Figura 5-17: Curva Volumen demandado – Satisfacción de la demanda..... | 191 |
| Figura 5-18: Demanda de agua en la cuenca por tipo (panel superior) y como porcentaje del total (panel inferior) en escenario futuro G2 | 194 |
| Figura 5-19: Demanda de agua en la cuenca por tipo (panel superior) y como porcentaje del total (panel inferior) en escenario futuro G3 | 195 |
| Figura 5-20: Comparación de Indicadores Hídricos adimensionales en escenarios Caso Base (CB) y Gestión 2 (G2)..... | 197 |
| Figura 5-21: Comparación de Indicadores Hídricos adimensionales en escenarios Caso Base (CB) y Gestión 3 (G3)..... | 198 |
| Figura 6-1: Ficha Acción AP OH-1: Ampliación SSR Totoral | 208 |
| Figura 6-2: Ficha Acción AP OH-2: Mejoramiento abastecimiento localidades menores | 210 |

| | |
|--|-----|
| Figura 6-3: Ficha Acción AP NF-1: Evaluación potencial cosecha de nubes en la cuenca | 212 |
| Figura 6-4: Ficha Acción AP MG-1: Fomentar la gestión público-privada para el uso de desalación como fuente de abastecimiento | 214 |
| Figura 6-5: Ficha Acción AP OH-3: Identificación Instalación Sistemas de Acumulación | 216 |
| Figura 6-6: Ficha Acción AP OH-4: Identificación Mejoramiento Sistemas de Distribución | 218 |
| Figura 6-7: Ficha Acción AP OH-5: Tecnificación del riego | 220 |
| Figura 6-8: Ficha Acción AP OM-1: Monitoreo ambiental de humedales..... | 222 |
| Figura 6-9: Ficha Acción AP MG-2: Plan de fiscalización de extracciones | 224 |
| Figura 6-10: Ficha Acción AP MG-3: Aplicación Art 62 para limitar el uso de los derechos concedidos..... | 226 |
| Figura 6-11: Ficha Acción AP MG-4: Capacitación en Nuevo Código de Aguas..... | 228 |
| Figura 6-12: Ficha Acción AP MG-5: Capacitación en uso del agua | 230 |
| Figura 6-13: Ficha Acción AP MG-6: Apoyo y formación OUA's..... | 232 |
| Figura 6-14: Ficha Acción AP MG-7: Capacitación OUA's | 234 |
| Figura 6-15: Ficha Acción AP MG-8: Capacitación en desarrollo agropecuario a usuarios | 236 |
| Figura 6-16: Ficha Acción AP OH-6: Mejoramiento de red de control (Fluviometría, meteorología, calidad y nivel de aguas subterráneas)..... | 238 |
| Figura 7-1: Cronograma Propuesto PEGH Totoral..... | 249 |
| Figura 7-2: Distribución Costos por Actor Institucional | 251 |
| Figura 7-3: Distribución Valor Actualizado de Costos por Plazo Ejecución | 252 |
| Figura 7-4: Distribución VAC (millones \$) por Tipología, Entidad Encargada y Plazo de Ejecución..... | 252 |
| Figura 7-5: Distribución VAC (millones \$) por Eje Temático, Plazo y Tipología | 253 |

| | |
|---|-----|
| Figura 8-1: Esquema Simplificado de los Pasos de Implementación del PEGH Totoral | 262 |
| Figura 8-2: Identificación de actores participantes en la Gobernanza propuesta para el PEGH Totoral | 263 |
| Figura 8-3: Esquema de gobernanza propuesto | 264 |
| Figura 8-4: Detalle Gobernanza Propuesta | 264 |
| Figura 9-1: Esquema de revisión del PEGH | 267 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 2-1: Tipo de suelo en la Región de Atacama | 13 |
| Tabla 2-2: Códigos BNA y Superficie de las cuencas y subcuencas del área de estudio | 18 |
| Tabla 2-3: Superficie comunal y porcentaje respecto a la cuenca | 20 |
| Tabla 2-4: Fluctuación habitantes en poblados del área de estudio entre periodos intercensales..... | 22 |
| Tabla 2-5: Variación PIBR entre años 2013 y 2020 | 23 |
| Tabla 2-6 Faenas mineras según material y estado de actividad | 24 |
| Tabla 2-7: Proyectos ingresados al SEA identificados por comuna, sector económico, inversión y N° de proyectos | 26 |
| Tabla 2-8: Estaciones seleccionadas para caracterizar temperatura media | 31 |
| Tabla 2-9: Temperaturas medias mensuales (°C). Periodo común 1993 – 2010..... | 31 |
| Tabla 2-10: MCG seleccionados para proyecciones de cambio climático | 34 |
| Tabla 2-11: Principales flujos hidrológicos para la cuenca en estudio bajo diferentes escenarios de cambio climático..... | 37 |
| Tabla 2-12: Resumen de variaciones porcentuales de principales flujos hidrológicos para la cuenca en estudio | 38 |
| Tabla 2-13: Pisos vegetacionales presentes en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal | 44 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 2-14: Representatividad en superficie de los Pisos vegetacionales presentes en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal. | 44 |
| Tabla 2-15: Humedales de la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal | 49 |
| Tabla 2-16: Áreas de protección en pisos vegetacionales para las Cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal..... | 53 |
| Tabla 2-17: Figuras de protección oficial y sitios prioritarios en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal..... | 55 |
| Tabla 2-18: Características SSR Concentrados Identificados en la Cuenca | 60 |
| Tabla 2-19: Estaciones Meteorológicas DGA en el territorio | 62 |
| Tabla 2-20: Red de Niveles de pozos DGA | 64 |
| Tabla 2-21: Sondaje nuevo..... | 64 |
| Tabla 2-22: Estación DGA Calidad de Aguas Subterráneas en la Cuenca | 66 |
| Tabla 2-23: Valores Mínimos Recomendados de Densidad de Estaciones (superficie, en km ² por estación) | 68 |
| Tabla 2-24: Índice de Densidad Estaciones Pluviométricas Calculado a nivel de cuenca | 69 |
| Tabla 2-25: Índice de Densidad Estaciones Fluviométricas Calculado a nivel de subcuenca | 69 |
| Tabla 2-26: Índice de Densidad Estaciones Calidad de Aguas Calculado..... | 70 |
| Tabla 2-27: Índice de Densidad Estaciones de Niveles Calculado | 72 |
| Tabla 2-28: Antecedentes disponibles de Canales | 74 |
| Tabla 2-29: Problemáticas y su descripción..... | 95 |
| Tabla 2-30: Resultados Priorización de problemáticas | 97 |
| Tabla 2-31: Problemáticas adicionales identificadas | 98 |
| Tabla 2-32: Reuniones Finales..... | 99 |
| Tabla 3-1: Antecedentes Demandas de Agua Sistema Totoral | 105 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 3-2: Demandas a Nivel de Usuario | 106 |
| Tabla 3-3: Necesidades mínimas ecológicas definidas como caudales ecológicos (l/s) en puntos de interés de la cuenca | 107 |
| Tabla 3-4: Demandas de Riego (l/s) | 108 |
| Tabla 3-5: Derechos Superficiales Concedidos para Minería..... | 108 |
| Tabla 3-6: Demandas Pecuarias a Nivel Territorial | 109 |
| Tabla 3-7: Resumen demandas (m ³ /año) | 109 |
| Tabla 3-8: Análisis Mercado del Agua | 110 |
| Tabla 4-1: Oferta natural de la fuente superficial (m ³ /s), periodo 1990 – 2019..... | 112 |
| Tabla 4-2: Oferta natural de la fuente superficial, periodo 2021 – 2050..... | 113 |
| Tabla 4-3: Derechos Superficiales Concedidos | 113 |
| Tabla 4-4: Volumen almacenado en el acuífero..... | 115 |
| Tabla 4-5: Volumen almacenado respecto a profundización de niveles piezométricos | 117 |
| Tabla 4-6: Información de calidad disponible | 121 |
| Tabla 4-7: Análisis Calidad de Aguas para Uso Potable. Comparación con Norma NCh 409 Of/84 | 122 |
| Tabla 4-8: Análisis Calidad de Aguas para Uso Riego. Comparación con Norma NCh 1.133 Of/78 | 123 |
| Tabla 4-9: Catastro Tranques de Relave en el Territorio | 142 |
| Tabla 4-10: Tipos de referencias cartográficas existentes en el CPA | 145 |
| Tabla 4-11: Derechos de Aguas Subterráneos en el Territorio | 147 |
| Tabla 4-12: Áreas de Restricción y Zonas de Prohibición a nivel Territorial..... | 150 |
| Tabla 5-1: Indicadores de calidad de calibración del modelo en periodo histórico (1990 – 2019)..... | 157 |
| Tabla 5-2: Estadígrafos de calibración del sistema subterráneo | 158 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 5-3: Resumen estadístico de series fluviométricas simuladas en escenario CB (1990 – 2019)..... | 164 |
| Tabla 5-4: Balance hidrogeológico (l/s) en acuífero Escenario CB..... | 165 |
| Tabla 5-5: Resumen estadístico de variación de series fluviométricas proyectadas en escenario VF (2021 – 2050)..... | 167 |
| Tabla 5-6: Balance hidrogeológico (l/s) en acuífero Escenario VF | 169 |
| Tabla 5-7: Síntesis de requerimientos de agua en cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal..... | 171 |
| Tabla 5-8: Caudales ecológicos (l/s) en puntos de interés..... | 175 |
| Tabla 5-9: Balance hídrico para el sector Totoral Alto (m ³ /s)..... | 176 |
| Tabla 5-10: Balance hídrico para el sector Totoral Medio (m ³ /s) | 176 |
| Tabla 5-11: Balance hídrico para el sector Totoral Desembocadura (m ³ /s) | 177 |
| Tabla 5-12: Estado actual de SHACs de la cuenca..... | 178 |
| Tabla 5-13: Resultados de criterio volumen sustentable | 179 |
| Tabla 5-14: Resultados de criterio interferencia río-acuífero..... | 179 |
| Tabla 5-15: Resultados de criterio satisfacción de la demanda | 180 |
| Tabla 5-16: Indicadores Hídricos para la sustentabilidad del acuífero. Periodos 1990 – 2019 (CB) y 2021 – 2050 (VF) | 183 |
| Tabla 5-17: Volumen subterráneo demandado en escenarios de explotación | 186 |
| Tabla 5-18: Superficies agrícolas de riego (ha) proyectadas para distintos grupos de cultivo en cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal | 187 |
| Tabla 5-19: Balance hídrico subterráneo (l/s) de sub – escenarios Art 62 CdA..... | 189 |
| Tabla 5-20: Satisfacción de demandas promedio en periodo 2021 – 2050..... | 190 |
| Tabla 5-21: Comparación balance subterráneo, periodo futuro y último año..... | 192 |
| Tabla 5-22: Síntesis de demanda de agua y brecha hídrica en escenario G2 | 193 |
| Tabla 5-23: Síntesis de demanda de agua y brecha hídrica en escenario G3 | 193 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 5-24: Indicadores Hídricos para la sustentabilidad del acuífero. Periodos 1990 – 2019 (CB) y 2021 – 2050 (G2)..... | 196 |
| Tabla 5-25: Indicadores Hídricos para la sustentabilidad del acuífero. Periodos 1990 – 2019 (CB) y 2021 – 2050 (G3)..... | 196 |
| Tabla 6-1: Problemáticas adoptadas para la formulación de PEGH | 201 |
| Tabla 6-2: Ejes Temáticos Adoptados PEGH Totoral | 205 |
| Tabla 6-3: Relación Problemas-Ejes Temáticos | 205 |
| Tabla 6-4: Tipologías de Obras PEGH Totoral | 206 |
| Tabla 6-5: Ficha Acción AP OH-1: Ampliación SSR Totoral | 207 |
| Tabla 6-6: Ficha Acción AP OH-2: Mejoramiento abastecimiento localidades menores | 209 |
| Tabla 6-7: Ficha Acción AP NF-1: Evaluación potencial cosecha de nubes en la cuenca | 211 |
| Tabla 6-8: Ficha Acción AP MG-1: Fomentar la gestión público-privada para el uso de desalación como fuente de abastecimiento | 213 |
| Tabla 6-9: Ficha Acción AP OH-3: Identificación Instalación Sistemas de Acumulación | 215 |
| Tabla 6-10: Ficha Acción AP OH-4: Identificación Mejoramiento Sistemas de Distribución | 217 |
| Tabla 6-11: Ficha Acción AP OH-5: Tecnificación del riego | 219 |
| Tabla 6-12: Ficha Acción AP OM-1: Monitoreo ambiental de humedales | 221 |
| Tabla 6-13: Ficha Acción AP MG-2: Plan de fiscalización de extracciones | 223 |
| Tabla 6-14: Ficha Acción AP MG-3: Aplicación Art 62 para limitar el uso de los derechos concedidos..... | 225 |
| Tabla 6-15: Ficha Acción AP MG-4: Capacitación en Nuevo Código de Aguas..... | 227 |
| Tabla 6-16: Ficha Acción AP MG-5: Capacitación en uso del agua | 229 |
| Tabla 6-17: Ficha Acción AP MG-6: Apoyo y formación OUA's..... | 231 |
| Tabla 6-18: Ficha Acción AP MG-7: Capacitación OUA's | 233 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 6-19: Ficha Acción AP MG-8: Capacitación en desarrollo agropecuario a usuarios | 235 |
| Tabla 6-20: Ficha Acción AP OH-6: Mejoramiento de red de control (Fluviometría, meteorología, calidad y nivel de aguas subterráneas)..... | 237 |
| Tabla 7-1: Resultados Evaluación de Iniciativas..... | 241 |
| Tabla 7-2: Ranking Evaluación Iniciativas | 245 |
| Tabla 7-3: Distribución VAC (millones \$) por Eje PEGH..... | 254 |
| Tabla 8-1: Caracterización de difusión propuesta según tipo de actor en su relación a la toma de decisiones en la gestión de recursos hídricos | 266 |

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.1 Introducción

El desarrollo de “Planes Estratégicos de Gestión Hídrica” (PEGH) para las cuencas existentes en el territorio nacional tiene como marco general el recrudescido contexto de cambio climático y escasez hídrica a nivel nacional y global. Planificar el desarrollo de los recursos hídricos del país requiere avanzar en materia de políticas públicas que consideren la gestión integrada de cuencas hidrográficas, para esto, es indispensable diagnosticar en profundidad la situación actual de la brecha hídrica existente a nivel nacional, caracterizando los usos del recurso y la naturaleza de las demandas en cada sistema hídrico. Estos PEGH conformarán instrumentos indicativos de gestión, orientadores de un uso sustentable y sostenible del agua, para las diversas y crecientes demandas provenientes tanto de los sectores productivos de la economía nacional como del consumo humano, considerando también la necesidad de propiciar un nuevo diseño para la gobernanza hídrica.

La Dirección General de Aguas como institución pública responsable de la gestión, verificación y difusión de la información hídrica del país, especialmente en lo que refiere a volumen y calidad del recurso, ha puesto en marcha la elaboración de Planes de Gestión que consideran un enfoque de integración entre la modelación hidrológica superficial y subterránea, por medio de una sola plataforma de cálculo. Esto posibilita una representación física más precisa del ciclo hidrológico, sumado a una pormenorizada caracterización de la demanda hídrica, permitiendo planificar y proyectar el desarrollo hídrico de las cuencas. La modelación hidrológica en los PEGH pretende aportar un método de gestión rápida de información una vez construido y calibrado dicho modelo, por ello es fundamental que consideren un estándar de flexibilidad de operación y procesamiento de los resultados. La alta relevancia de este tipo de innovación en el ámbito de la gestión pública en materias de información hídrica está dada por la posibilidad de modelar escenarios en función de la integración de datos de distinta naturaleza y origen, que a su vez propicien el diseño de planes que conformen una cartera de acciones pertinentes para minimizar la brecha hídrica existente.

En cuencas prácticamente sin disponibilidad de recursos superficiales, como es la cuenca de la quebrada Totoral, surge como factor esencial el agua subterránea, extraída mediante pozos desde las napas subterráneas y acuíferos del subsuelo. Por este motivo,

el desarrollo de un plan de gestión hídrica en esta zona de baja pluviometría requiere de un modelo hidrológico, un diagnóstico de la cuenca, y en general cualquier proceso referido a la cuantificación y descripción de la oferta hídrica que incluya el potencial subterráneo de recursos hídricos. En particular en este territorio, del que existe poca información, se hace necesario caracterizar el sistema subterráneo con prospecciones geofísicas que permitan identificar la ubicación y potencial de los recursos subterráneos disponibles.

En definitiva, la información que se recopile, permitirá caracterizar en mejor forma la brecha hídrica existente, es decir, la diferencia entre la oferta y la demanda, tanto a nivel espacial como temporal. Para esto se considera recopilar diferentes tipos de información: hidrología, infraestructura, uso del agua, gobernanza, etc. Con toda la información recopilada se formulará un modelo de simulación hidrológico-hidrogeológico de la cuenca. El modelo será operado bajo tres condiciones: actuales, esperada a futuro y de cambio climático, con un horizonte de análisis a 30 años. Esta herramienta cuantificará la brecha hídrica existente. Por último, se presentará un conjunto de acciones que permitan por una parte mejorar el conocimiento hídrico del territorio, y por otra ayudar a mitigar la brecha hídrica y de gestión, las que serán la columna vertebral del PEGH, el que será entregado a los actores de la cuenca, tanto públicos como privados.

1.2 Objetivo general

Proponer un plan estratégico de gestión hídrica indicativo en las cuencas de la 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.

1.3 Objetivos específicos

Los Objetivos Específicos (OE) a cumplir son los siguientes:

- ♦ **OE 1:** Describir el estado hídrico actual del área de estudio.
- ♦ **OE 2:** Caracterizar la hidrogeología del área de estudio con técnicas geofísicas, pruebas hidráulicas, y muestras en terreno.

-
- ✦ **OE 3:** Construir un modelo hidrogeológico conceptual que sirva como base para el desarrollo futuro de un modelo numérico de aguas subterráneas.
 - ✦ **OE 4:** Construir un modelo de simulación hidrológico superficial-subterráneo, acoplado en la plataforma WEAP-MODFLOW, para simular la hidrología histórica, adaptación al cambio climático, y escenarios de gestión.
 - ✦ **OE 5:** Diagnosticar el estado hídrico del área de estudio para obtener los contenidos del plan estratégico de gestión hídrica.
 - ✦ **OE 6:** 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.
 - ✦ **OE 7:** Formular un plan estratégico de gestión hídrica que contemple un portafolio de acciones que promuevan la seguridad hídrica y sostenibilidad de uso del agua en el área de estudio.
 - ✦ **OE 8:** Compilar avances y productos finales en un sistema de información geográfico, informes, y actividades de difusión.

2 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

En este capítulo se presenta la caracterización de la cuenca desde un punto de vista multi-dimensional, es decir, desde diferentes perspectivas, esto es: caracterización física, clima, ambiental, infraestructura hídrica existente, nuevas fuentes posibles y gobernanza.

2.1 Dimensión Física

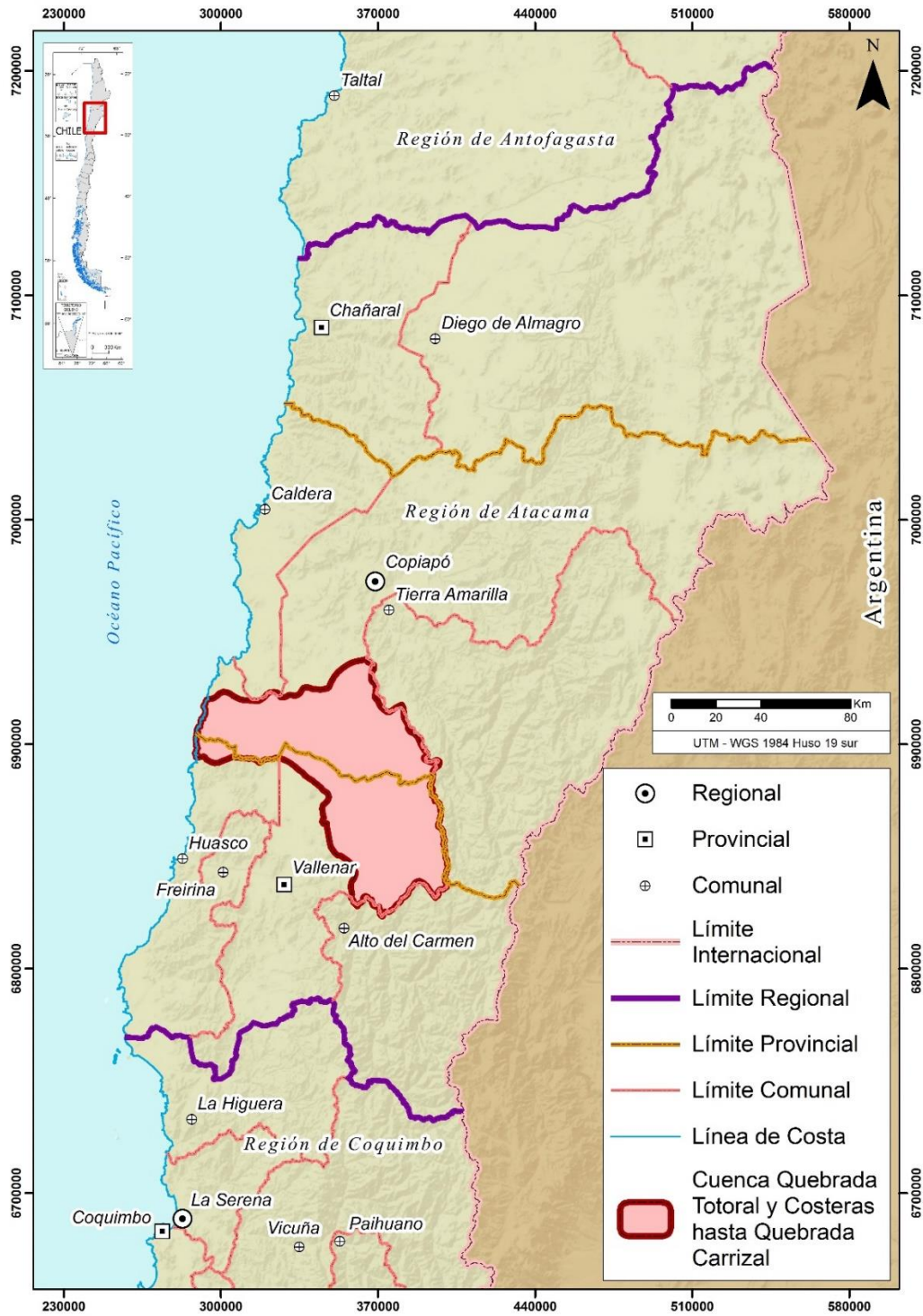
La Región de Atacama limita al sur con la Región de Coquimbo y al norte con la Región de Antofagasta. La Región de Atacama es una zona de transición entre el clima árido representativo del Norte Grande del país y el clima semiárido representativo del Norte Chico y pertenece al Sistema Hidrográfico Pacífico Seco que se caracteriza por ser el área más árida de Latinoamérica.

Uno de los fenómenos representativos de estas características de transición es el Desierto Florido, donde en un ambiente de árido a semiárido se producen lluvias que propician la aparición de vegetación estacional, sin embargo, este no es un fenómeno constante y depende que se supere cierto rango de precipitaciones.

La cuenca del presente estudio denominada por DGA como cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal se ubica en la Región de Atacama, entre los 27°40' a 28°42' latitud sur y 70°2' a 71°10' longitud oeste (Figura 2-1). La cuenca es del tipo exorreica, significando que las aguas que recorren la cuenca vierten sus aguas en el mar. Respecto a las dimensiones del área de estudio, la cuenca posee un área de 5.944 km² y un perímetro de 443 km, aproximadamente.

La topografía en el área de estudio varía básicamente por la inclusión de zonas andinas, de esta forma la altura promedio de la cuenca es de 1.350 m s.n.m. En cuanto a las precipitaciones, estas ocurren en la zona de llano y en la zona costera debido a la influencia de la misma y se concentran en la temporada de invierno.

Los cauces de la cuenca son de carácter efímero y solo con lluvias intensas logran llevar aguas hasta el mar. Se destaca la Quebrada Totoral dado el complejo sistema de drenes que tributan en dichas quebradas. También se destaca la Quebrada Algarrobal, cauce principal del área pre andina del estudio y que conecta con la quebrada mencionada.



Fuente: Elaboraci3n propia.

Figura 2-1: Ubicaci3n 3rea de estudio

La cuenca abarca las comunas de Huasco, Vallenar y Copiapó, perteneciendo las dos primeras comunas a la provincia de Huasco y la última a la provincia de Copiapó. La zona se caracteriza por su baja densidad de habitantes y la inexistencia de grandes urbes. De hecho, en el sector oriente de la cuenca no se identifican caseríos, esto según el último Censo poblacional (2017). En la zona, el poblado de Totoral es el que concentra mayor población, mientras que en la zona costera se encuentra el caserío Caleta Totoral.

2.1.1 Geomorfología

La geomorfología del área de estudio puede caracterizarse a gran escala en cuatro unidades, siendo de este a oeste, Cordillera Principal, Depresión intermedia, Cordillera de la Costa y Planicie Costera. Börgel (1983) realizó una descripción geomorfológica nacional y para el área de estudio identificó estas 4 unidades, sin embargo, el autor detalló las características que diferencian unidades geomorfológicas parecidas según ubicación geográfica. Además, añade una quinta unidad que bajo las descripciones básicas del territorio no son señaladas.

De esta manera, Börgel (1983) describe 5 Unidades Geomorfológicas Homogéneas (UGH): Sierras transversales del tronco maestro andino, Pampa transicional, Cordillera de la Costa, Llanos de sedimentación fluvial o aluvional y Planicie marina o fluviomarina. Ante esta clasificación se entiende que el área de estudio es una zona de tránsito entre las UGH representativas del Norte de Chile y las UGH de la zona Central. Esto se demuestra a través de la Pampa transicional, siendo el último remanente del ambiente pampeano como unidad característica de la Depresión Intermedia entre la Cordillera de Los Andes y de la Costa, dando paso más al sur a los Valles Centrales. También, se inicia la interrupción del Farellón Costero, elemento característico del norte de Chile, dando paso a angostas Planicies Litorales. Finalmente, la aparición de pequeños Llanos de sedimentación fluvial o aluvional, demuestran la presencia de cursos de agua o lluvias de mayor magnitud, que fueron capaces de modelar otros ambientes, situación que se desarrolla en los Valles Centrales.

En la Figura 2-2 se presentan las UGH presentes en el territorio que serán descritas a continuación:

-Sierras transversales del tronco maestro andino: Esta UGH se encuentra al sureste de la zona de estudio. Se caracteriza por ser una zona de mayor altitud en comparación con el resto de unidades, variando su altitud entre los 800 m hasta los

4.400 m. Como su nombre lo indica, en esta unidad dominada por sierras se desarrollan una serie de quebradas como red de drenaje, destacándose la Quebrada Algarrobal que es el curso final de las quebradas presentes en este ambiente y a través de esta logran llegar hasta la Depresión Intermedia.

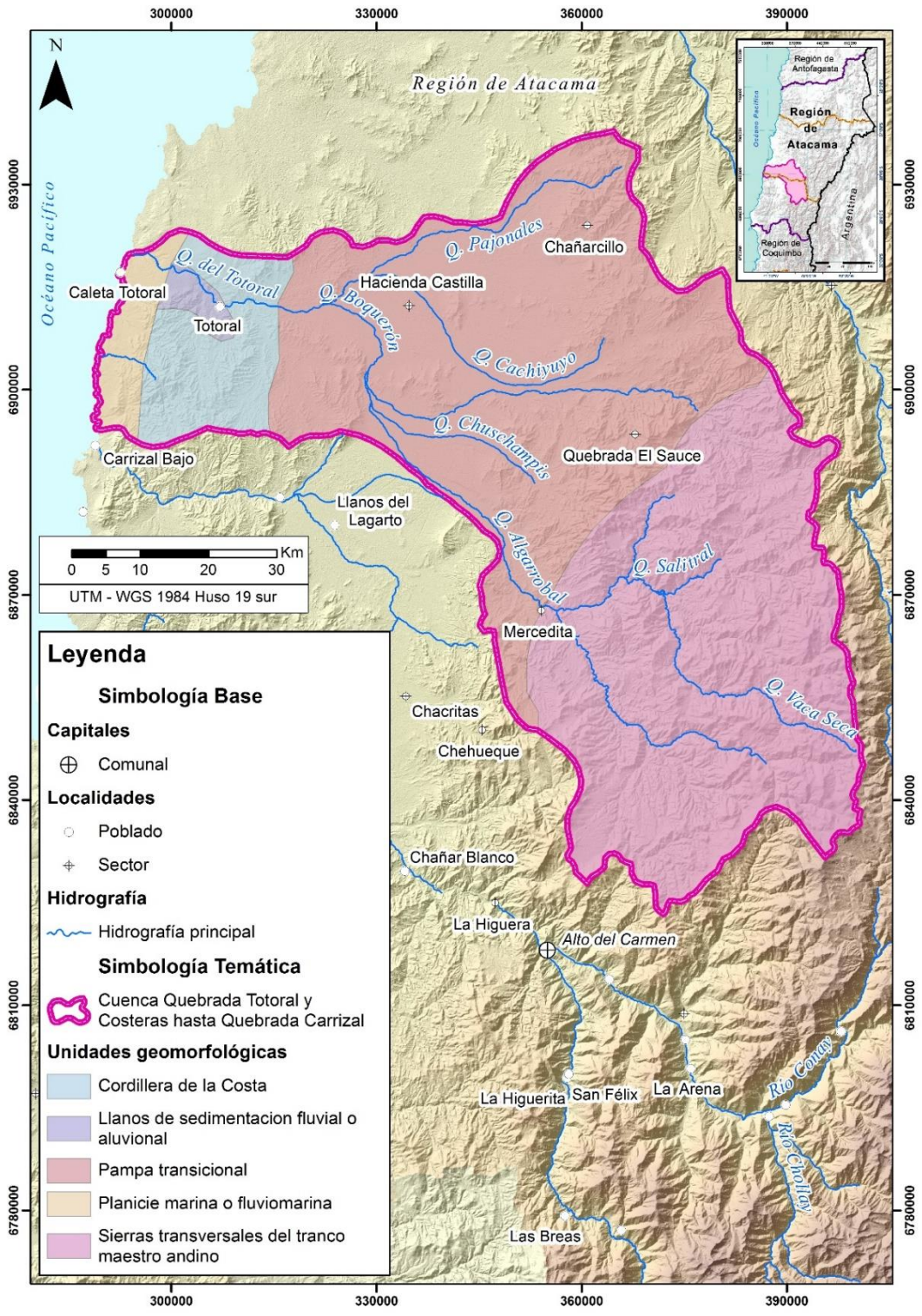
-Pampa transicional: Unidad dominante ubicada en la Depresión Intermedia en el centro del área de estudio. El origen de este ambiente guarda relación con procesos erosivos que generaron pampas y llanos áridos. Destaca su altitud, entre los 500 m y los 1.500 m. Es la Unidad de mayor extensión en la cuenca, destacando su inexistencia de aldeas, aunque destaca el sector de Hacienda Castilla.

-Cordillera de la Costa: Esta UGH se ubica hacia el oeste del área de estudio. De menor envergadura que las Sierras transversales, este ambiente varía su altura entre los 100 m y 900 m. Es en esta zona donde la Cordillera de la Costa vuelve a ser continua, dado que kilómetros al norte se había visto interrumpida por una planicie fluvio-marina. Sirve como biombo climático separando el ambiente marino de la Depresión intermedia

-Llanos de sedimentación fluvial o aluvional: A través de la Cordillera de la Costa se forman los Llanos de sedimentación. La formación de esta unidad tiene que ver con la lluvia por influencia marina que permitió una mayor activación de las quebradas, tanto la principal (Totoral) que permitió una acción fluvial, como las provenientes de las distintas cumbres de la Cordillera de la Costa que permiten una acción aluvional.

La caracterización de esta zona del país como un área de transición radica por la aparición de UGHs no observadas en el Norte Grande. Esto se debe a diferentes condiciones climáticas que permitieron, en comparación, un mayor flujo de agua que modeló de forma distinta el paisaje. Así, se logran formar llanos de sedimentación fluvial o aluvional.

Finalmente destaca la presencia del poblado de Totoral, además del surgimiento de humedales asociados a aguas emergentes.



Fuente: Elaboración propia en base a Börgel (1983).

Figura 2-2: Geomorfología en el área de estudio

-Planicie marina o fluvio marina: Se ubican al extremo oeste de la cuenca. La acción marina ha moldeado las planicies sumando los aportes realizados por las quebradas, sobre todo la quebrada Totoral. Hay que añadir la importancia de la acción tectónica en esta zona, que ha permitido elevar el área, impidiendo que la Cordillera de la Costa tenga contacto con la costa y no transformarse en un Farellón Costero. A todos estos procesos se les suma el retroceso marino y constantes periodos intercalados de lluvias y sequías (todo esto ocurrido durante el Cuaternario). El Farellón Costero aparecerá una última vez en la región de Coquimbo, para que después la zona de costa quede dominada por las Planicies marinas o fluvio marinas.

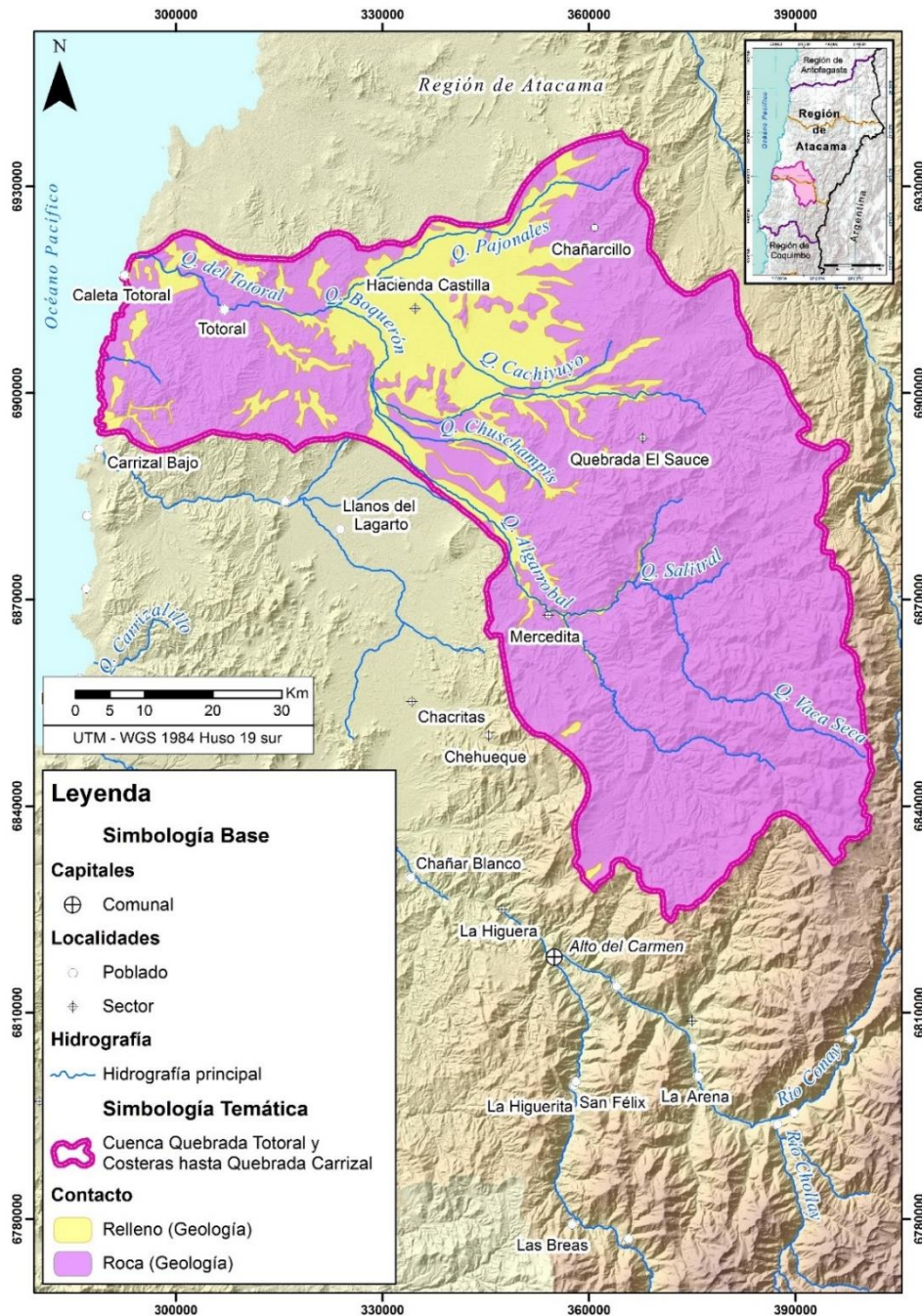
Estas planicies han permitido la formación de pueblos costeros. En la zona destaca la Caleta Totoral.

2.1.2 Geología

Las unidades geológicas presentes al interior de la cuenca en estudio corresponden básicamente a unidades de relleno sedimentario con diversos grados de consolidación y rocas de diverso tipo u origen [sedimentaria, volcanosedimentaria, ígneas intrusivas (ígneas) o extrusivas (volcánica) y metamórficas)]. La Figura 2-3, muestra este grupo de unidades geológicas principales de acuerdo a la Cartografía Geológica a escala 1:1.000.000 de SERNAGEOMIN (2003) para la cuenca. En el Anexo J-01 se muestra el detalle de esta geología para cada una de estas cuencas, georreferenciados los diversos mapas geológicos publicados por SERNAGEOMIN a escala 1:100.000 en el área de la cuenca. En forma complementaria, en la Figura 2-4 se muestra la distribución de alturas con el fin de contextualizar la geología con el relieve.

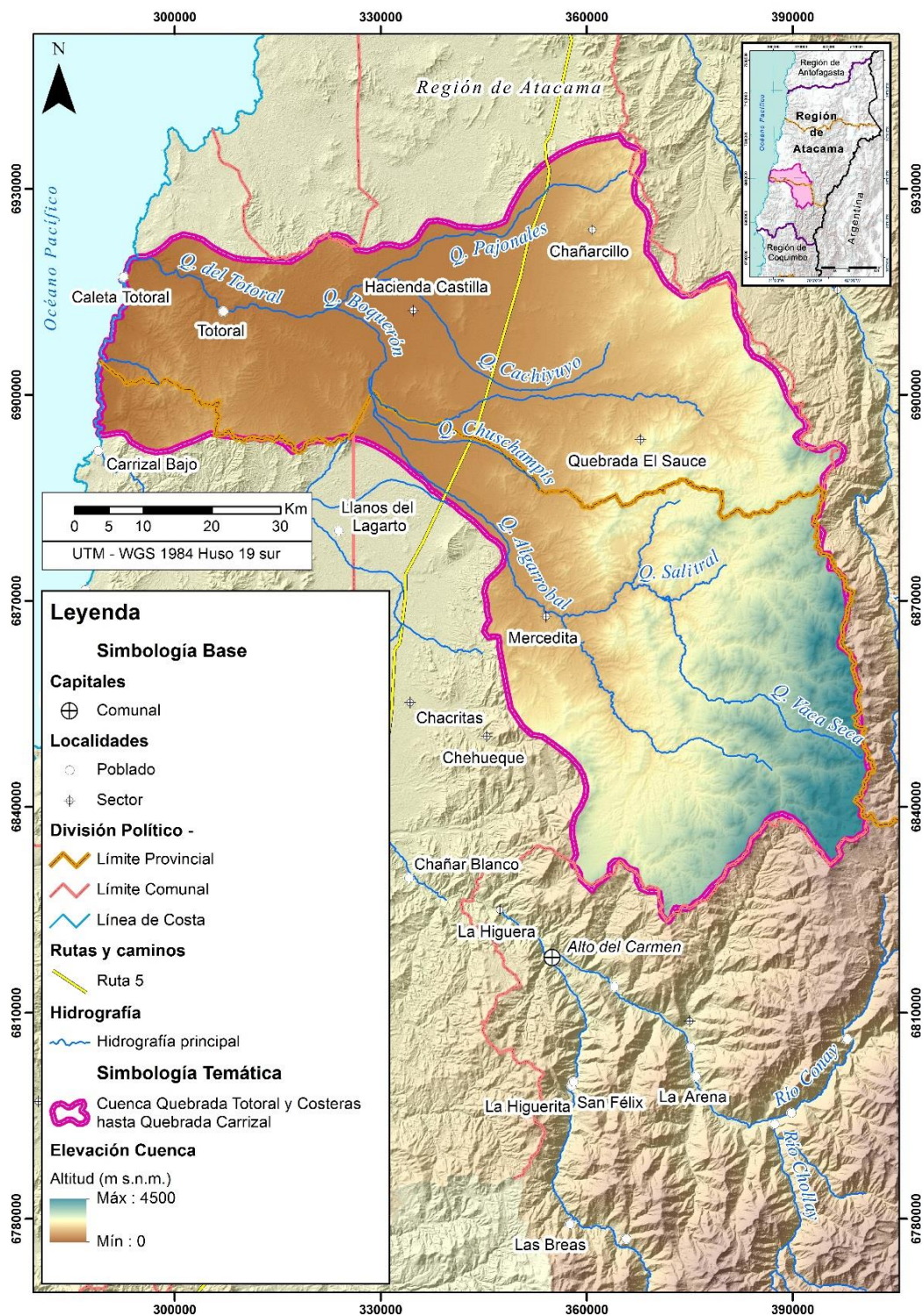
Las unidades de relleno sedimentario, corresponden esencialmente a sedimentos del tipo grava, arena, limo, arcilla y coquinas las cuales se presentan en diferentes proporciones y grado de consolidación según su historia geológica y origen continental (fluvial, aluvial, coluvial, eólico) o marino. Estos sedimentos poseen una edad predominantemente Pleistoceno-Holoceno y en sectores pueden alcanzar hasta el Mioceno. De esta forma, corresponden a las unidades geológicas más jóvenes de las cuencas en estudio. Hacia los sectores donde su espesor sedimentario es mayor concentran la presencia de pozos excavados o perforados, tal como se deduce de la información del catastro de pozos de la DGA (pozos con estratigrafía, con información de profundidades del agua subterránea, pozos profundos, pozos con pruebas de bombeo). En cambio, hacia los sectores donde

el espesor sedimentario es menor, generalmente no es posible reconocer un nivel saturado o el desarrollo acuífero es prácticamente despreciable o muy local.



Fuente: Elaboración propia usando SERNAGEOMIN (2003).

Figura 2-3: Distribución espacial de las principales unidades de relleno sedimentario y del conjunto de rocas existentes en la cuenca de Totoral



Fuente: Elaboración propia en base a CIREN (2019).

Figura 2-4: Altitud en la cuenca

Por otro lado, las rocas presentes en la cuenca, en general, se presentan consolidadas, con bajo grado de fracturamiento y con una muy baja a nula concentración de pozos. Presentan un amplio rango de edades, esencialmente entre el Mioceno y el Carbonífero, representando las rocas más antiguas del sector. Para efectos de este estudio y con la información disponible a la fecha, estas rocas se pueden considerar de baja a muy baja permeabilidad, conformando así el basamento de este relleno y de la cuenca hidrogeológica. Sin embargo, dada la escasa información asociada a estructuras geológicas, no se descarta que en futuras exploraciones puedan ser reconocidos sectores con niveles de roca saturados de agua subterránea, posiblemente asociados a aumentos en la permeabilidad producto de estructuras geológicas del tipo falla o pliegues presentes en el área de estudio. Mayores detalles de las estructuras presentes en la región de estudio se describen en el Anexo J-01.

2.1.3 Suelos

Los suelos de la Región de Atacama se encuentran formados por un agregado de minerales no consolidados y por partículas orgánicas originadas por diferentes factores (viento, agua y desintegración de seres vivos). Según la clasificación FAO-UNESCO existen 9 categorías de suelo, presentándose en la Tabla 2-1 su distribución para la Región de Atacama. De esta forma, los xerosoles cálcicos y litosoles son los de mayor superficie en la región, seguido por los cambisoles ócricos y los Regosoles con costras salinas.

Tabla 2-1: Tipo de suelo en la Región de Atacama

| Suelo | Área (km²) | Prop. Región |
|---------------------------------|------------------------------|---------------------|
| Xerosoles cálcicos y litosoles | 23.917 | 31,7% |
| Cambisoles ócricos | 15.326 | 20,3% |
| Regosoles con costras salinas | 13.775 | 18,2% |
| Xerosoles cálcicos | 5.903 | 7,8% |
| Yermosoles cálcicos | 4.351 | 5,8% |
| Histosoles y litosoles | 4.267 | 5,7% |
| Litosoles | 3.497 | 4,6% |
| Fluvisoles | 2.835 | 3,7% |
| Protosuelos con costras salinas | 1.637 | 2,2% |

Fuente: Elaboración propia en base a Ulloa y Ortiz (1989).

A nivel del área de estudio, los suelos se encuentran definidos según las unidades geográficas básicas del territorio. Así, los suelos predominantes según unidad son:

-
- Precordillera de los Andes: Xerosoles cálcicos y litosuelos
 - Llano Central y Cordillera de la Costa (norte): Xerosoles cálcicos
 - Cordillera de la Costa (sur): Cambisoles ócricos
 - Planicie Litoral: Yermosoles cálcicos.

Los Xerosoles cálcicos y litosuelos es el tipo de suelo que se da a lo largo de la Precordillera y Cordillera de los Andes, siendo esta la razón de su dominio en cuanto a superficie. Los Xerosoles cálcicos que están en el área de estudio, son los únicos presentes en la región, destacando su homogeneidad entre dos unidades geográficas como la Cordillera de la Costa y el Llano Central. Los Cambisoles ócricos se dan en el área correspondiente a la Cordillera de la Costa, tanto dentro del área de estudio como en el resto de la región, siendo la única excepción la situación descrita en cuanto a Xerosoles cálcicos. Los Yermosoles cálcicos es el tipo de suelo que se desarrolla en las zonas costeras de toda la región.

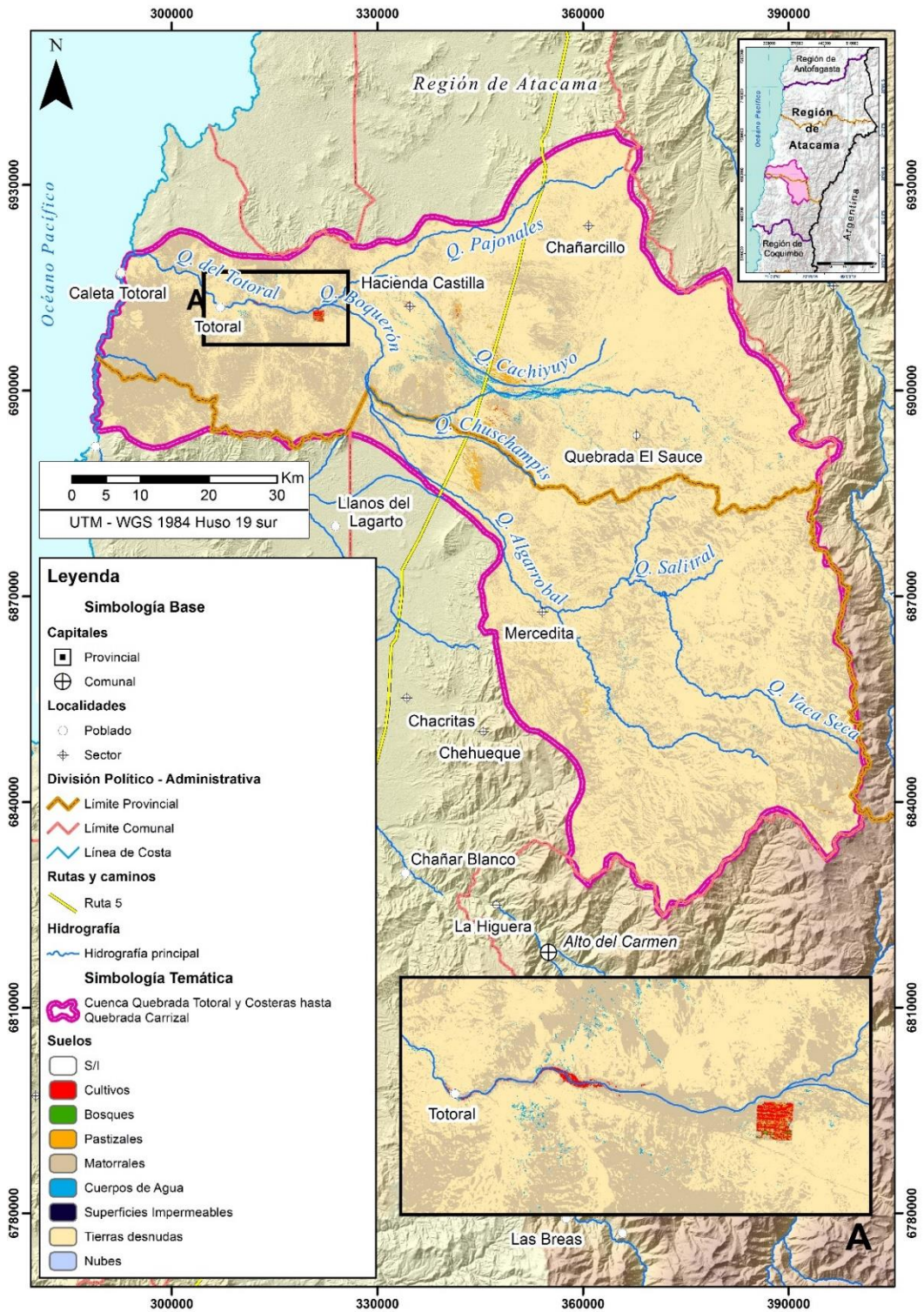
En cuanto a los horizontes de suelos, en la Región de Atacama los suelos no superan los 60 cm debido a su régimen de temperaturas y su marcada aridez. Los horizontes A son color pardo amarillento, pudiendo ser en ciertos casos pardos oscuros y pardos rojizo, debido a segregación de óxido de hierro.

Cobertura de suelo

La cobertura de suelo (Figura 2-5) en el área de estudio está dominada por las tierras desnudas, como también por los Matorrales. De hecho, ambas categorías corresponden a un 99% del territorio. En el resto de superficie se pueden encontrar:

- Cuerpos de agua: asociados a aguas surgentes y formación de humedales
- Cultivos: asociados a los pequeños poblados presentes en la zona.
- Pastizales: ubicados en la zona del Llano Central.

Cabe destacar la inexistencia de superficies impermeables (asociadas a las ciudades), ya que en el territorio dominan los pequeños asentamientos rurales. También, la distribución de matorrales hacia el oeste del área de estudio guarda relación con otras características del territorio como clima y geomorfología (Acápite 2.2 y 2.1.1, respectivamente) que permitieron el desarrollo de esta cobertura de suelo.



Fuente: Elaboración propia en base a Hernández, Galleguillos & Estades (2016).

Figura 2-5: Figura de Cobertura de Suelos

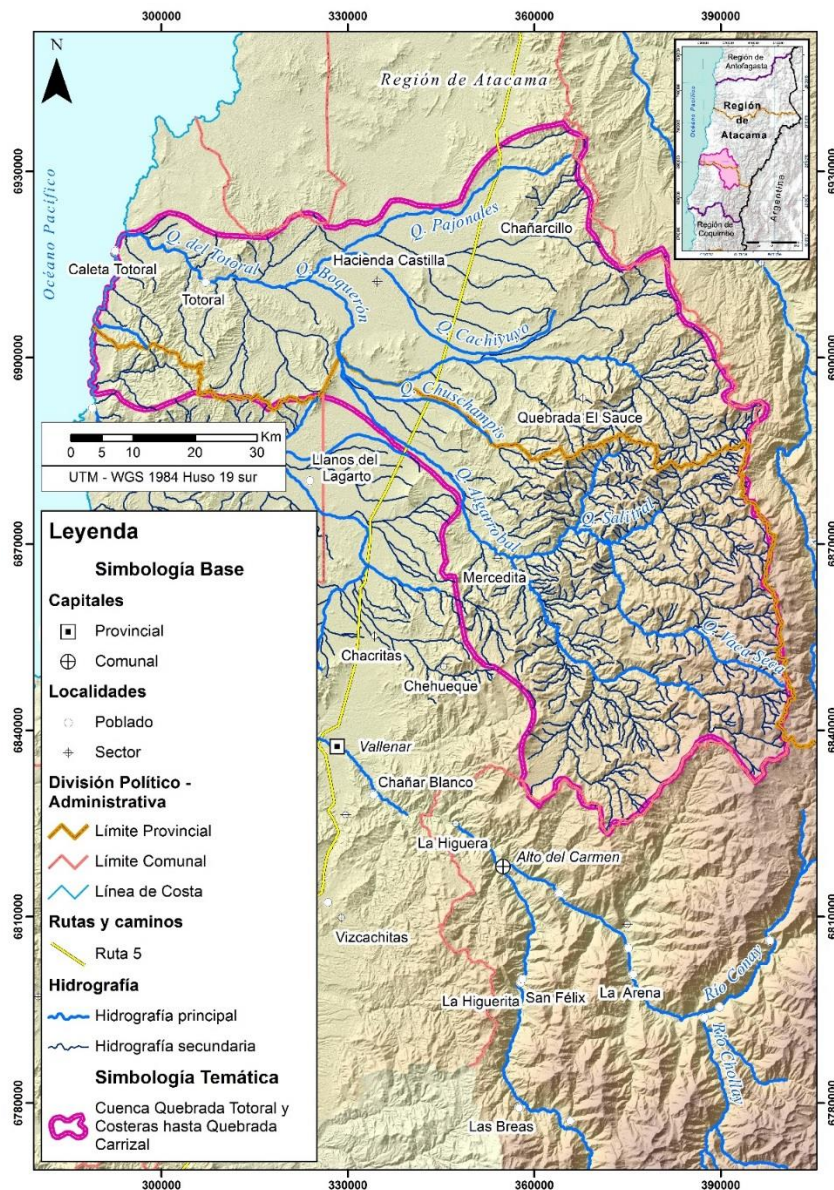
Además, en la Figura 2-5 se presenta un acercamiento a un sector relacionado con una predominancia de la cobertura "cultivo". Esto ocurre en las cercanías del poblado de Totoral, estando asociada esta área al cauce de la inactiva quebrada Totoral, mientras que, hacia el este de este sector, se observa otra zona de cultivo, perteneciente a la empresa Agrogénesis.

En el Anexo J-02 (Clasificación supervisada) se encuentra un análisis multitemporal (1991, 2008 y 2021) realizado en la zona. Los datos tienen ciertas diferencias respecto a lo mostrado en la Figura 2-5 debido principalmente a diferencias de resolución respecto a las imágenes satelitales utilizadas, sin embargo, el análisis multitemporal tiene como objetivo evidenciar los cambios de cobertura de suelo ocurridos en el lapso de tiempo señalado. Finalmente, el análisis multitemporal realizado a través de la clasificación supervisada obtuvo que ha existido una constante disminución de "humedales" y "vegetación" en la cuenca, aumentando de esta manera la "tierra desnuda".

2.1.4 Drenaje

Debido a las características topográficas y climáticas de las cuencas estudiadas, la hidrografía está asociada a quebradas sin escorrentía superficial permanente, siendo activadas por lluvias invernales o de influencia costera. Si bien existe un número importante de quebradas, tres destacan por su longitud, trayecto y número de aportaciones recibidas: la quebrada Algarrobal, quebrada Pajonales y la quebrada del Totoral (o Totoral simplemente) (Figura 2-6).

La quebrada Algarrobal se ubica principalmente en el sector cordillerano, al este del área de estudio. Tiene una extensión de 70 km aproximadamente hasta su llegada al llano central, siendo una de las pocas quebradas cordilleranas que llega hasta dicho sector, por lo que varios cauces tributan en la quebrada Algarrobal. Las quebradas Vaca Seca y del Salitral se encuentran ubicadas al sur oriente de la zona de estudio y su nacimiento se vincula con cerros del sector que superan los 2.000 m s.n.m. Sus cauces adquieren aportaciones de pequeñas quebradas que surgen del ambiente cordillerano del sector y finalmente tributan en la quebrada Las Cuñas. Esta nace al extremo oriente de la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal e igualmente recibe tributaciones de pequeñas quebradas. Luego, aproximadamente en el Km 45 de la quebrada Algarrobal, la quebrada Las Cuñas tributa su cauce, provocando la unión de los principales cauces del sector cordillerano del estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-6: Hidrografía del área de estudio

Por otro lado, al ingresar al llano central, la quebrada Algarrobal continúa circulando en dirección norponiente uniéndose con otras quebradas de menor extensión y de origen pre andino. De esta forma, con la unión de las quebradas Algarrobal, Chuschampis y Yervas Buenas, se da nacimiento a la quebrada Boquerón, la cual tendrá una corta extensión y que finalmente tributará en la quebrada del Totoral.

En el sector nororiente, el ambiente cordillerano no es dominante como al suroriente y oriente del área de estudio, sin embargo, existen algunas cumbres que son las divisorias de agua que delimitan la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal. A partir de estos cerros se generan algunos cauces como la quebrada Cachiyuyo, quebrada el Molle o quebrada Romero. En la divisoria nororiente nace la quebrada Pajonales, la cual recibirá como aportantes las quebradas recientemente mencionadas, y luego, se unirá con la quebrada Boquerón y nacerá la quebrada del Totoral.

De esta forma, la quebrada del Totoral nace en el llano central, continuando la red de quebradas originadas en los ambientes cordilleranos y precordilleranos. La quebrada Totoral atraviesa la Cordillera de la Costa abriéndose camino hasta su desembocadura en la costa. Además, se puede encontrar una zona de afloramiento, donde se han desarrollado actividades agrícolas y junto con ello la formación de poblados. Cabe señalar que este fenómeno ocurre en la transición entre el ambiente de llano central y cordillerano costero.

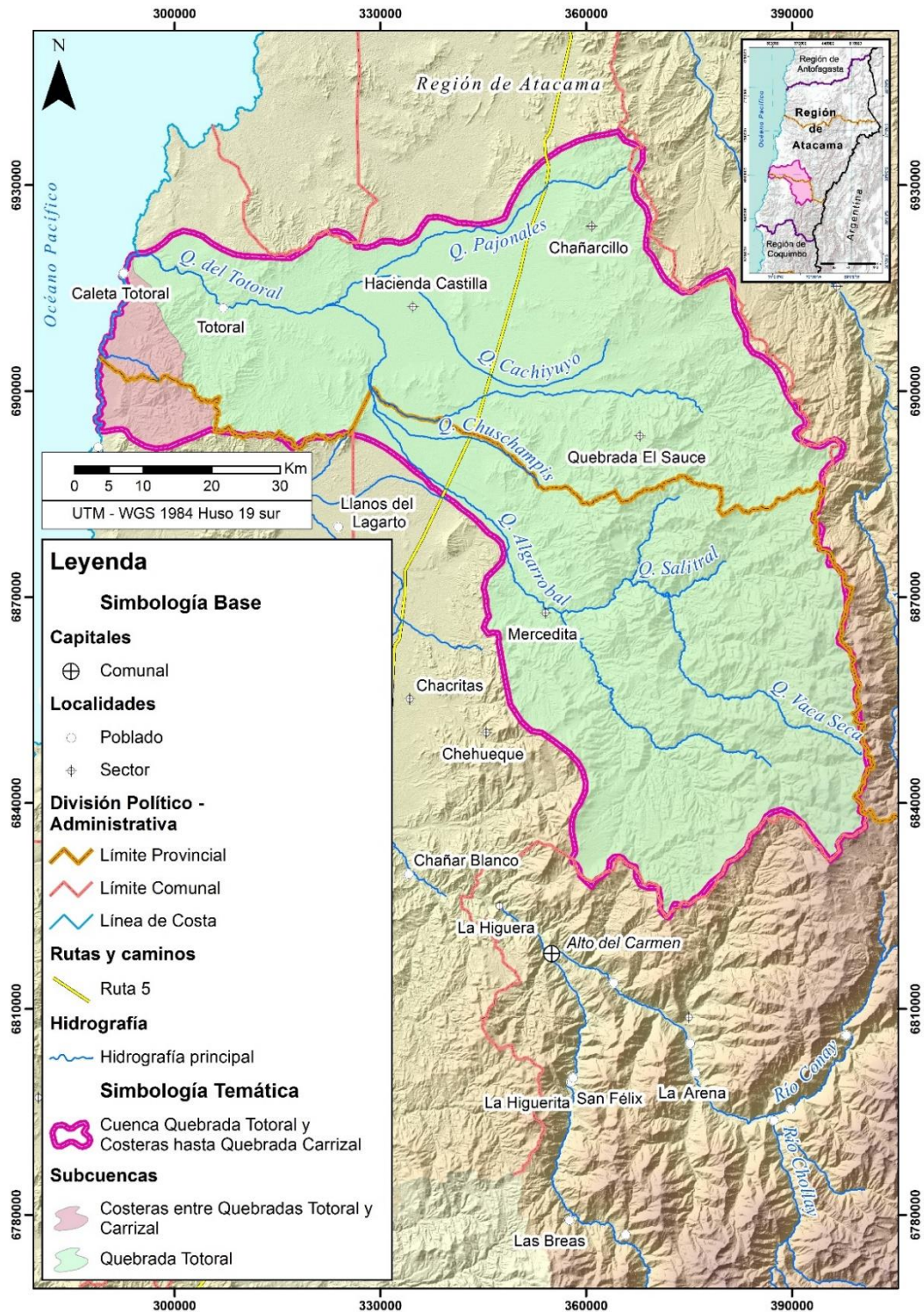
Por último, cabe destacar algunos sistemas de quebradas formadas en el ambiente cordillerano costero del área de estudio que no tributan en la quebrada del Totoral. La Quebrada Matamoros es el flujo principal, formando al oeste de la cuenca un sistema aparte al descrito desarrollándose entre la Cordillera de la Costa y las Planicies Litorales.

En la Tabla 2-2 se observa los códigos BNA y superficie de cada cuenca y subcuenca, mientras que en la Figura 2-7 se espacializa dicha información.

Tabla 2-2: Códigos BNA y Superficie de las cuencas y subcuencas del área de estudio

| Código BNA | Cuenca | Código BNA | Subcuenca | Superficie (km²) |
|-------------------|--|-------------------|---|------------------------------------|
| 036 | Cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal | 0360 | Costeras entre Quebradas Totoral y Carrizal | 258,43 |
| | | 0361 | Quebrada Totoral | 5.685,56 |

Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2019e).



Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2019e).

Figura 2-7: Subcuencas en el área de estudio

2.1.5 División político-administrativa

La cuenca abarcada en el PEGH se encuentra íntegramente en la Región de Atacama y abarca las Provincias de Huasco y Copiapó. El sector norte de la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal se ubica en la Provincia de Copiapó y Huasco encontrándose las comunas homónimas a dichas provincias en el lugar, mientras tanto, el sector sur se ubica en la provincia de Huasco, abarcando únicamente la comuna de Vallenar. De esta forma, en el área de estudio se encuentran las comunas de Huasco, Vallenar y Copiapó (Figura 2-8).

En la Tabla 2-3 se presentan los porcentajes de superficie de cada comuna respecto a la superficie total de cada cuenca.

Tabla 2-3: Superficie comunal y porcentaje respecto a la cuenca

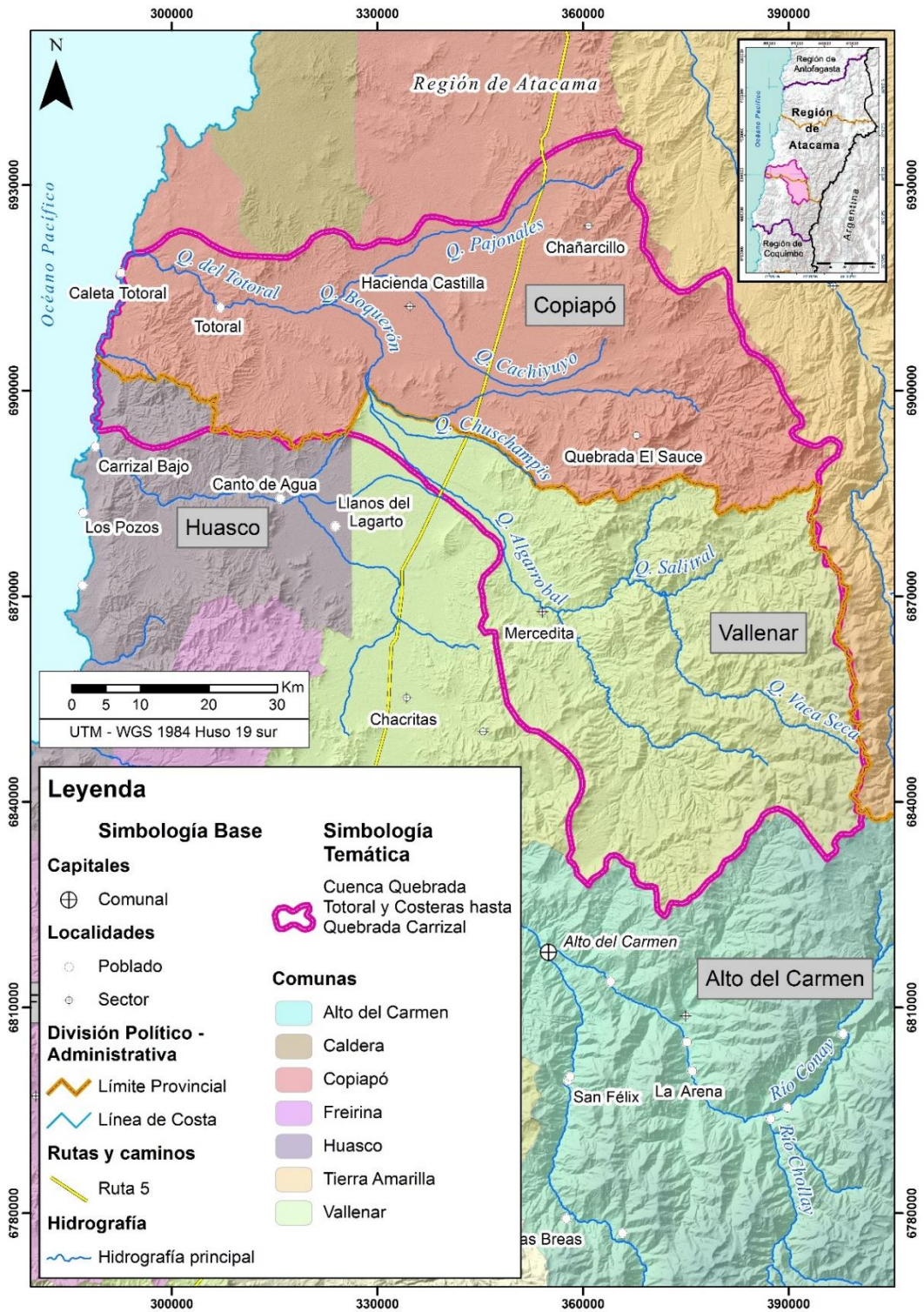
| Provincia | Comuna | Superficie (km²) | Porcentaje Superficie de la comuna en la Cuenca |
|------------------|---------------|------------------------------------|--|
| Copiapó | Copiapó | 3.076,52 | 38% |
| Huasco | Huasco | 1.344,9 | 17% |
| Huasco | Vallenar | 3.606,6 | 45% |

Fuente: Elaboración propia.

El área de estudio se caracteriza por no poseer grandes asentamientos urbanos y tampoco por poseer una gran cantidad de pequeños poblados repartidos por el territorio. El poblado Totoral es la principal referencia de la cuenca.

Existen algunas zonas de la cuenca denominada sectores, ya que, pese a no encontrarse ningún poblado, dicha área es asociada con ese nombre debido a antiguos poblados o hitos (como estaciones de trenes) que hubo en dicho lugar. Bajo este punto destaca la Hacienda Castilla ubicada en el centro norte de la cuenca. Al oriente del área de estudio no se identifican poblados.

En términos de ordenamiento territorial, se tiene que el Plan Regulador Intercomunal Costero de Atacama es el instrumento de ordenamiento territorial que se encuentra presente en el área de estudio. La memoria del Plan destaca la importancia ambiental del sector costero. Sin embargo, la zonificación propuesta es muy poco restrictiva, dominando la ZUI-7 de apoyo a los centros poblados, que permite construcción tipo vivienda o equipamiento. Existen zonas denominadas ZUI-2 relacionadas con poblados pequeños, sin embargo, en la cuenca Totoral no hay zonas de protección ambiental.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-8: División Político-Administrativa del área de estudio

2.1.6 Demografía

El censo de población realizado en 2017 establece que en la Región de Atacama se superan los 280.000 habitantes, siendo la comuna de Copiapó donde se concentra la mayor población (154.000 habitantes aproximadamente). En la cuenca según el mismo indicador habitan 196 personas, concentradas en el poblado de Totoral (41 personas).

En la Tabla 2-4 se hace una comparación respecto al número de habitantes en las localidades del área de estudio entre tiempos censales. Destaca la disminución de habitantes en Totoral.

Tabla 2-4: Fluctuación habitantes en poblados del área de estudio entre periodos intercensales

| Localidad | Censo (habitantes) | |
|----------------|-----------------------|------|
| | 2002 | 2017 |
| Caleta Totoral | 8 | 11 |
| Totoral | 69 | 41 |

Fuente: Elaboración propia en base a INE (2002) e INE (2017).

Cabe destacar la brecha de información del censo en relación a otros índices. Por ejemplo, en relación al sexo, se registraron 64 hombres y 44 mujeres, habiendo 88 personas registradas en la zona sin determinar este dato. Algo similar ocurre respecto a los rangos etarios, registrándose 104 personas entre 15 a 64 años, 4 personas en 6 a 14 años y 16 adultos mayores, resultando 72 personas sin edad determinada.

En relación a la presencia indígena del territorio, hay que señalar que 90 personas se sienten pertenecientes a un pueblo indígena, siendo una 46% del total de población. Para las comunas presentes en la cuenca, la CONADI tiene registradas 55 comunidades indígenas (CONADI, 2022), estando 44 en Copiapó, 8 en Vallenar y 3 en Huasco. Si bien para toda la cuenca de Quebrada Totoral no se observan comunidades indígenas registradas, a través de las reuniones sostenidas con la comunidad se conoció la presencia de la etnia Diaguita en el poblado de Totoral.

También en dichas reuniones con la comunidad, se ha evidenciado en el poblado de Totoral un aumento en la población flotante en época estival. Si bien no existe una cifra estimativa, la importancia de este suceso radica en el colapso que este fenómeno está produciendo en el Sistema de Saneamiento Rural (SSR).

2.1.7 Actividad económica

2.1.7.1 Nivel Regional

El índice que resume la situación económica de la región es el Producto Interno Bruto Regional (PIBR). El Banco Central en sus estadísticas presenta los datos entre 2013 y 2020 (Tabla 2-5), donde se puede apreciar en dicho periodo una constante baja en el monto anual, siendo solo entre 2015 y 2016 cuando hubo un aumento en las cifras. A nivel nacional, la Región de Atacama es la única que presenta esta situación, ya que ninguna otra presenta tasas de decrecimiento tan constantes.

Tabla 2-5: Variación PIBR entre años 2013 y 2020

| Años | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Miles de millones de pesos | 3.736 | 3.460 | 3.446 | 3.562 | 3.434 | 3.379 | 3.266 | 3.175 |
| Variación porcentual anual | | -7,4 | -0,4 | 3,4 | -3,6 | -1,6 | -3,4 | -2,8 |

Fuente: Banco Central de Chile (2021).

Por otro lado, ya a escala regional, se pueden observar el peso que tiene cada actividad económica en su aporte al PIBR. Para este caso, el Banco Central posee datos del periodo 2013-2019, destacándose el sector minero como el principal aportante al PIBR con un aporte promedio mayor al 30%. En nivel de importancia para este periodo siguen las actividades de Construcción y Servicios financieros y empresariales, con un 15% y 14% respectivamente. Haciendo la comparación entre los años del periodo, solamente la actividad Electricidad, gas y gestión de desechos ha aumentado su aporte sostenidamente en el tiempo, siendo 4% en 2013, 7% en 2017 y 9% en 2019, promediando un 7% para todo el periodo.

En base a los Boletines Trimestrales de Empleo para la Región de Atacama generados por el INE, se puede generar una caracterización de la ocupación laboral en la región. Este tema se ve afectado por la pandemia del COVID-19, ya que la tasa de desocupación hasta diciembre de 2019 no superaba el 10%. Para el 2020, desde el segundo trimestre la Tasa de desocupación alcanzó las dos cifras, llegando a un peak de 12,9%. En el año 2021, junto con la apertura y estabilización post cuarentenas, la cifra ha empezado a decrecer, manteniéndose sin embargo sobre el 10%. No obstante, hay que señalar que previo a la pandemia, la Tasa de desocupación venía aumentando sostenidamente desde

finés de 2018. Respecto a la incidencia de las ramas de la economía en el empleo, para 2019 Transporte, Agricultura y pesca y Servicios administrativos eran las actividades que daban más empleo, mientras que Enseñanza y Minería eran las principales actividades que aportaban desocupados.

De esta manera, la minería es la principal actividad económica en la región dada su importancia en el PIBR. La agricultura mientras tanto basa su importancia en las zonas rurales de la región, sobre todo en el área de estudio. Además, aunque no se destaque en las estadísticas, existe una incipiente actividad turística en la zona (GORE Atacama, 2015). Estas tres actividades económicas serán caracterizadas a continuación, teniendo el detalle para las cuencas del estudio.

2.1.7.2 Nivel de cuenca

a) Actividad Minera

La Cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal tiene 97 faenas, siendo 58 de ellas cobre (activas). Otros minerales como oro y hierro también son explotados en el área de estudio, mientras que recursos como la plata, el molibdeno y los carbonatos de calcio representan menos del 10% de las faenas, tal como se muestra en la Tabla 2-6. Las faenas corresponden mayoritariamente personas naturales que a empresas constituidas (jurídicas), notándose la mayor diferencia en las faenas activas.

Tabla 2-6 Faenas mineras según material y estado de actividad

| Q. Totoral y Costeras hasta Q. Carrizal | | | | | | | |
|---|---------|----------|-----------|----------|-------------|----------|-------|
| Tipo | Activas | | Inactivas | | Irregulares | | Total |
| Material | Natural | Jurídica | Natural | Jurídica | Natural | Jurídica | |
| Plata | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Oro | 7 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 12 |
| Molibdeno | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Hierro | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 4 |
| Cobre | 45 | 13 | 10 | 8 | 1 | 0 | 77 |
| Carbonatos de Calcio | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Total | 52 | 19 | 12 | 11 | 2 | 1 | 97 |

Fuente: Elaboración propia en base a Ministerio de Minería (2019).

Para mayor detalle respecto a los derechos de aprovechamiento de agua otorgados a la minería revisar acápite 3.4.

b) Actividad agrícola

Total es el poblado en el área de estudio que se identifican como comunidad agrícola. El nivel de detalle de la información del Censo agropecuario 2007 no permite identificar individualmente las características agrícolas de cada poblado, sin embargo, al no identificarse otros poblados o plantaciones agrícolas a través de imágenes satelitales de la época, se entiende que el distrito Totoral agrupa la información de los poblados de la cuenca.

El distrito Totoral posee 13,9 ha de superficie de riego. Existen otros distritos como Cerro Blanco, Punta Díaz y Las Cuñas que no superan las 5,5 ha de riego, mientras la Hacienda Castilla, emblemático punto en el área de estudio, cuenta con una superficie de riego de 37,8 ha.

Si bien los datos en la zona respecto a la agricultura como actividad económica son escasos, existe evidencia reciente de acciones gubernamentales que dan cuenta de la importancia de la agricultura en la zona. El INDAP ha desarrollado una serie de programas y ayudas con las distintas comunidades de la zona, otorgando ayuda técnica e infraestructura relacionada con potenciar la agricultura.

c) Actividad turística

La actividad turística emerge tímidamente en la cuenca, siendo el poblado de Totoral su principal eje. Han surgido en el lugar emprendimientos relacionados con la hospedería y servicios de alimentación, los cuales se centran en las características del territorio.

Respecto a los ecosistemas de interés, en el área de estudio destaca el Parque Nacional Llanos de Challe como el recientemente declarado Santuario Natural Humedal Costero de Totoral. También se puede incluir en esta categoría al fenómeno periódico del Desierto Florido. Los dos primeros atraen al turismo regional, mientras que el Desierto Florido atrae turistas de diversas partes del país, e incluso del extranjero (GORE Atacama, 2015).

2.1.7.3 Actividad económica potencial

El 80% de los proyectos ingresados al SEA en la cuenca Totoral son del sector minero, siendo el sector económico con mayor número de proyectos y de inversión en la zona (Tabla 2-7). Cabe destacar que, si bien se mencionan comunas que no pertenecen al área de estudio, estas son las informadas por el SEA, sin embargo, se corroboró la

ubicación del proyecto mediante coordenadas geográficas. De esta forma, destaca en el extremo noroeste de la cuenca un proyecto pesquero. La comuna de Huasco, la de menor territorio en la cuenca, destaca como el área donde se desarrollan más proyectos, además de ubicarse el único proyecto de Saneamiento Ambiental. Finalmente, el proyecto de Infraestructura portuaria (Copiaport-e) es el de mayor inversión por gran diferencia, siendo lo más significativo que pese a que las inmediaciones del proyecto ocurren fuera de la cuenca, este tiene contemplado utilizar aguas pertenecientes a la cuenca Totoral.

Tabla 2-7: Proyectos ingresados al SEA identificados por comuna, sector económico, inversión y N° de proyectos

| Comunas | Inversión en millones de dólares (N° de proyectos) | | | | |
|-----------------|--|---------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|
| | Minería | Pesca y Acuicultura | Saneamiento Ambiental | Infraestructura Portuaria | Total general |
| Caldera | - | 0,01 (1) | - | 450.000 (1) | 450.000,01 (2) |
| Copiapó | 104,56 (5) | - | 0,22 (1) | - | 104,78 (6) |
| Huasco | 110 (1) | - | - | - | 110 (1) |
| Tierra Amarilla | 0,36 (1) | - | - | - | 0,36 (1) |
| Vallenar | 11 (1) | - | - | - | 11 (1) |
| Total general | 225,92 (8) | 0,01 (1) | 0,22 (1) | 450.000 (1) | 450.226,15 (11) |

Fuente: Elaboración propia con datos SEA (2022).

2.2 Clima

En este acápite se presenta una caracterización climática general de la cuenca, para luego presentar el historial de eventos climáticos identificados, para finalmente presentar escenarios de cambio climático posibles para el territorio, los que son posteriormente usados para la modelación de la cuenca.

2.2.1 Caracterización Climática

La Región de Atacama es una zona de transición entre la árida Región de Antofagasta y la semiárida Región de Coquimbo. En los 27° latitud sur se identifica como el punto culmine de esta transición, con la aparición de los valles transversales. De esta forma,

al norte de este punto, las temperaturas son altas y las precipitaciones escasas, mientras que hacia el sur existe un aumento de precipitaciones y disminución de temperaturas.

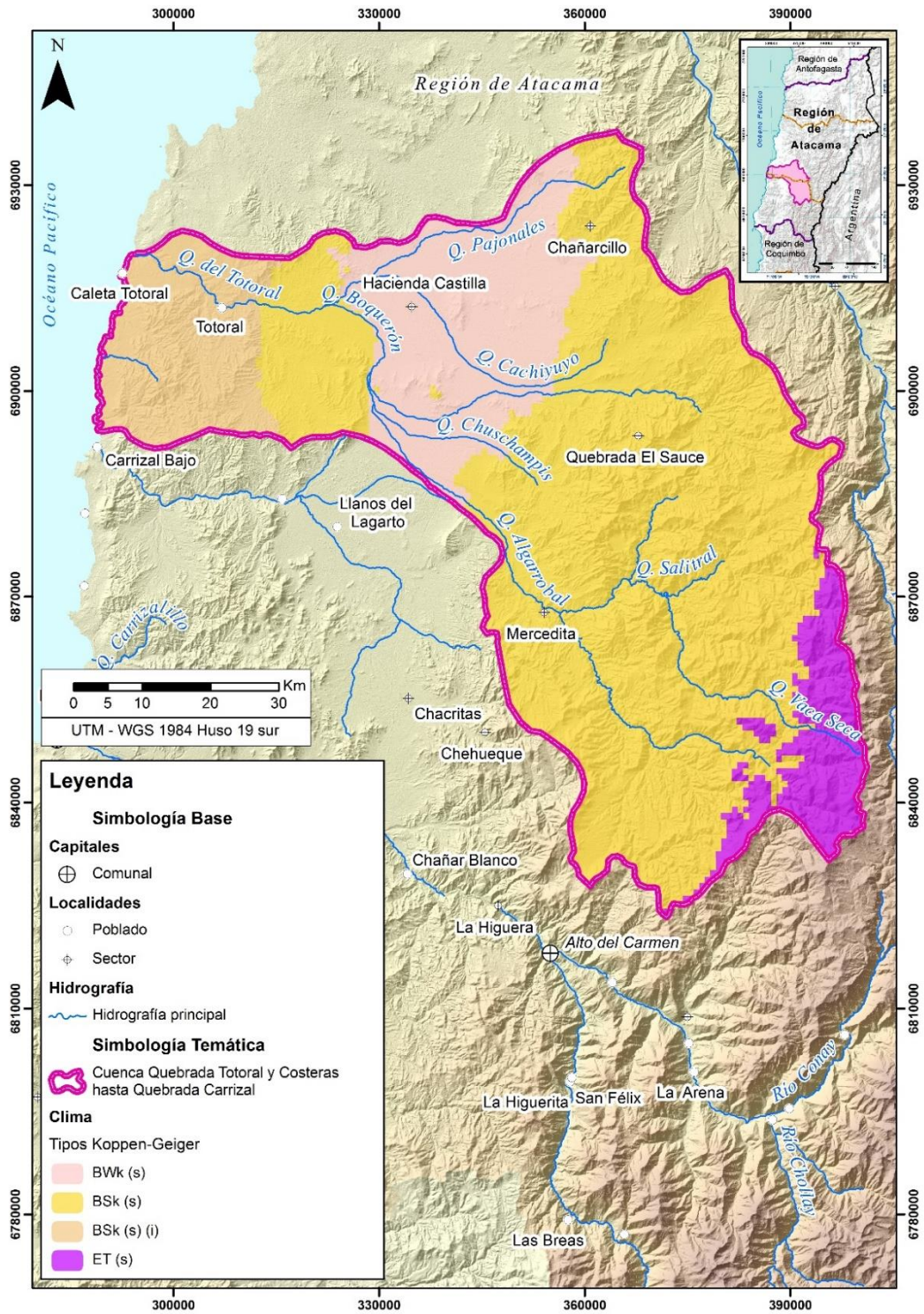
Para entender las condiciones climáticas de la Región de Atacama hay que señalar el contexto climático de la zona. El Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur (ASPS) modera la presencia de los Vientos del Oeste y bloquea la llegada de frentes climáticos, generando una zona de baja nubosidad. La corriente fría de Humboldt por su parte disminuye la capacidad de evaporación de aguas del océano Pacífico a la atmósfera y la Cordillera de los Andes impide una mayor penetración de los Vientos Alisios (o del Este) provenientes del Amazonas, la cual viene con lluvias estivales.

Estos elementos son los causantes de las bajas precipitaciones en la región, sin embargo, se dan también otros fenómenos. El ASPS genera baja nubosidad al interior del continente debido a la subsidencia del aire seco calentado adiabáticamente, sin embargo, este mismo proceso genera el umbral de acción para la aparición de una densa capa de neblina a nivel costero, llegando hasta altitudes entre 1.000 a 1.500 m s.n.m. Este proceso disminuye en intensidad en sentido norte-sur. Por otro lado, el ciclo anual de oscilación del ASPS permite que en invierno el anticiclón avance latitudinalmente hacia el norte permitiendo el ingreso de los Vientos del Oeste y junto con ello de las precipitaciones. También, la expansión territorial de los Vientos del Este en época estival, permiten la ocurrencia del fenómeno de las lluvias convectivas estivales en el ambiente cordillerano.

Como se pudo observar con la Cordillera de Los Andes, el relieve tiene una importante influencia en el clima. La topografía se constituye como una barrera para que las influencias marinas ingresen al interior del continente, como también la umbría generada por las cumbres en los valles estrechos altera la temperatura en el sector.

Considerando los factores existentes en diversas escalas se puede identificar zonas que comparten características de esta índole. Sarricolea et al. (2017) clasificó el clima en Chile continental actualizando lo propuesto en la Clasificación climática de Köppen-Geiger. En la Figura 2-9 se muestra la Clasificación de Köppen-Geiger aplicada en el área de estudio. Las categorías presentes en la cuenca serán descritas a continuación:

-Clima desértico frío de lluvia invernal (BWk(s)): representativo de zonas más septentrionales, es uno de los remanentes del desierto característicos de esta zona de transición.



Fuente: Elaboración propia en base a Sarricolea (2017).

Figura 2-9: Clasificación Climática de Koppen-Geiger

-Clima semiárido de lluvia invernal (BSk(s)): esta categoría es la dominante en el área de estudio, ya que domina la zona andina y pre andina y se encuentra en gran parte del llano central. Las lluvias son impulsadas por el retroceso de ASPS y el avance de los Vientos del Oeste, siendo más frecuentes que en sectores boreales.

-Clima semiárido de lluvia invernal e influencia costera (BSk(s)(i)): domina el sector poniente del área de estudio, relacionado con la Cordillera de la Costa y unas angostas planicies marinas, donde obviamente existe y prevalece la influencia marina. Dado al rol termorregulador del océano, las temperaturas no son extremas.

-Clima de tundra de lluvia invernal (ET(s)): en el extremo suroriente del área de estudio, se encuentra esta categoría. Guarda relación con ambientes andinos que logran ser alcanzados por la influencia invernal de los Vientos del Oeste, provocando de esta forma precipitaciones en la zona. Estas ocurren por la influencia orográfica del sector que afectan los movimientos atmosféricos a pequeña escala.

2.2.2 Eventos extremos y variabilidad climática

La base de datos de eventos extremos empleada en este estudio corresponde a la plataforma DesInventar (LA RED, 2009), una herramienta conceptual y metodológica para la generación de Inventarios Nacionales de Desastres y la construcción de bases de datos de daños, pérdidas y en general los efectos de los desastres. Posee una lista de 36 tipos de eventos predefinidos, cuya selección se basa en la consulta de diversos diccionarios y glosarios técnicos.

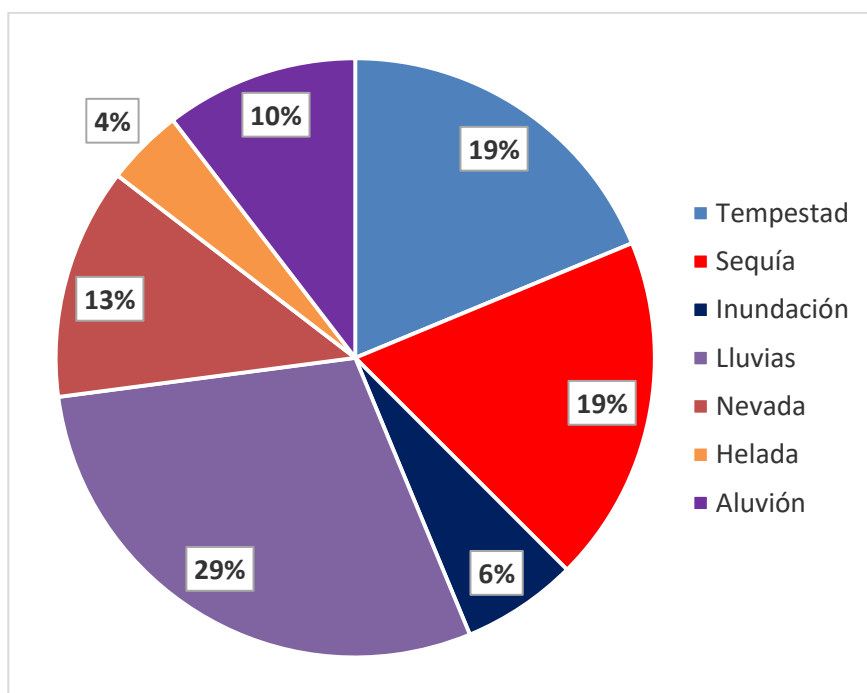
En el presente análisis, se involucraron 10 tipos de eventos extremos asociados a la variabilidad climática, con el fin de servir como indicadores de lo que ha sido registrado históricamente en la cuenca producto de las precipitaciones y temperaturas, los que se listan a continuación:

- ✦ Aluvión.
- ✦ Avenida torrencial.
- ✦ Granizada.
- ✦ Helada.
- ✦ Inundación.
- ✦ Lluvias.
- ✦ Nevada.
- ✦ Ola de calor.

- ♦ Sequía.
- ♦ Tempestad.

En el Anexo C se presentan las definiciones de estos eventos señaladas por La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED, 2009).

Se identificaron un total de 48 eventos diferentes en el periodo 1970 – 2014 para las tres comunas que abarcan la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal (Huasco, Vallenar y Copiapó). En la Figura 2-10 se muestra un resumen por tipo de eventos, siendo los asociados a lluvias los más comunes con un 29% del total, seguido por sequías y tempestad (19%). Eventos extremos poco frecuentes corresponden a inundaciones (6%) y heladas (4%), mientras que eventos sin ocurrencia registrada son: avenida torrencial, granizada y ola de calor.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes LA RED (2009).

Figura 2-10: Resumen de eventos extremos importantes. Periodo 1970 – 2014

Para el periodo comprendido entre 2015 hasta la actualidad, no se encontraron fuentes de información sistemática que recopilen registros de eventos extremos para la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal.

La caracterización de la temperatura y variabilidad climática utilizan las estaciones de Huasco Bajo, Canto de Agua, Lautaro Embalse e Iglesia Colorada, debido a que son las estaciones con amplia cantidad de registros, resultando un mayor grado de representatividad. Se destaca que dentro de la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal no existen estaciones meteorológicas que registren temperatura, por lo que la totalidad de estas estaciones se emplazan fuera de la cuenca en estudio, tal como se muestra en la Figura 2-11.

La estación de menor altitud es Huasco Bajo (50 m s.n.m.), por lo que es adecuada para caracterizar el sector bajo de la cuenca. Canto de Agua (330 m s.n.m.) se considera como representativa del sector medio. Finalmente, Lautaro Embalse (1.100 m s.n.m.) e Iglesia Colorada (1.500 m s.n.m.) se consideran como representativas de la zona alta de la cuenca. La Tabla 2-8 muestra algunas características de las estaciones utilizadas.

Tabla 2-8: Estaciones seleccionadas para caracterizar temperatura media

| Código BNA | Nombre | Cota (m s.n.m.) | Sector | Registro |
|-------------------|------------------|------------------------|---------------|-----------------|
| 03414002-2 | Iglesia Colorada | 1.550 | Alto | 1993 – 2020 |
| 03430006-2 | Lautaro Embalse | 1.100 | Alto | 1979 – 2020 |
| 03701001-4 | Canto de Agua | 330 | Medio | 1987 – 2019 |
| 03826003-0 | Huasco Bajo | 50 | Bajo | 1993 – 2010 |

Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA.

A continuación, se presenta en la Tabla 2-9 y Figura 2-12 la estadística mensual de temperaturas medias de las estaciones seleccionadas.

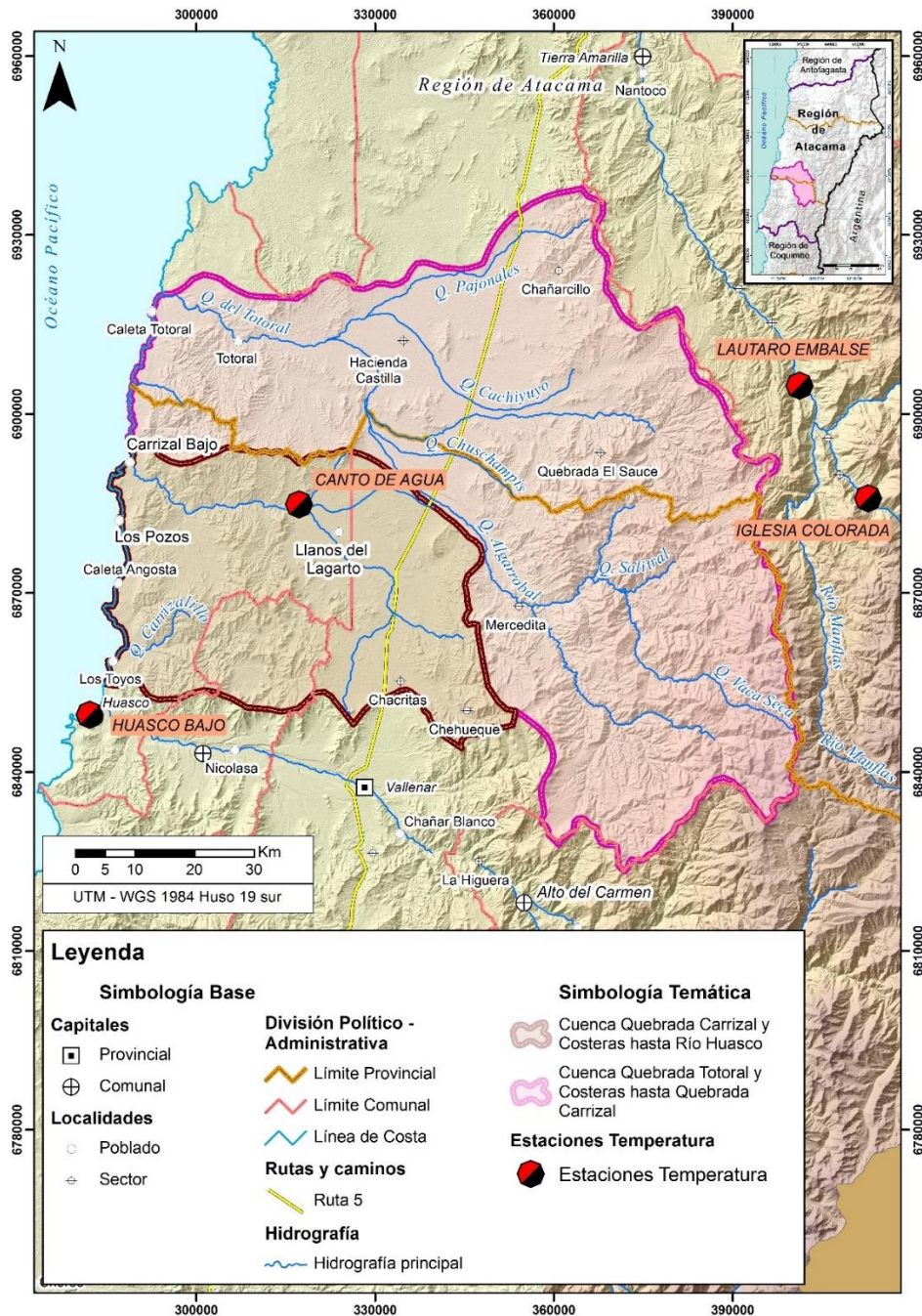
Tabla 2-9: Temperaturas medias mensuales (°C). Periodo común 1993 – 2010

| Código | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR |
|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 03414002-2 | 19,0 | 17,0 | 15,8 | 15,4 | 16,4 | 16,9 | 18,7 | 19,6 | 20,6 | 20,9 | 21,0 | 20,3 |
| 03430006-2 | 19,3 | 17,7 | 16,9 | 16,8 | 17,8 | 18,1 | 19,1 | 20,0 | 20,9 | 21,6 | 21,8 | 21,0 |
| 03701001-4 | 17,3 | 15,1 | 13,1 | 12,9 | 14,3 | 15,5 | 16,5 | 17,9 | 19,0 | 20,5 | 20,1 | 19,7 |
| 03826003-0 | 15,3 | 13,3 | 12,1 | 11,5 | 12,2 | 12,9 | 14,2 | 15,7 | 17,0 | 18,4 | 18,5 | 17,5 |

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA.

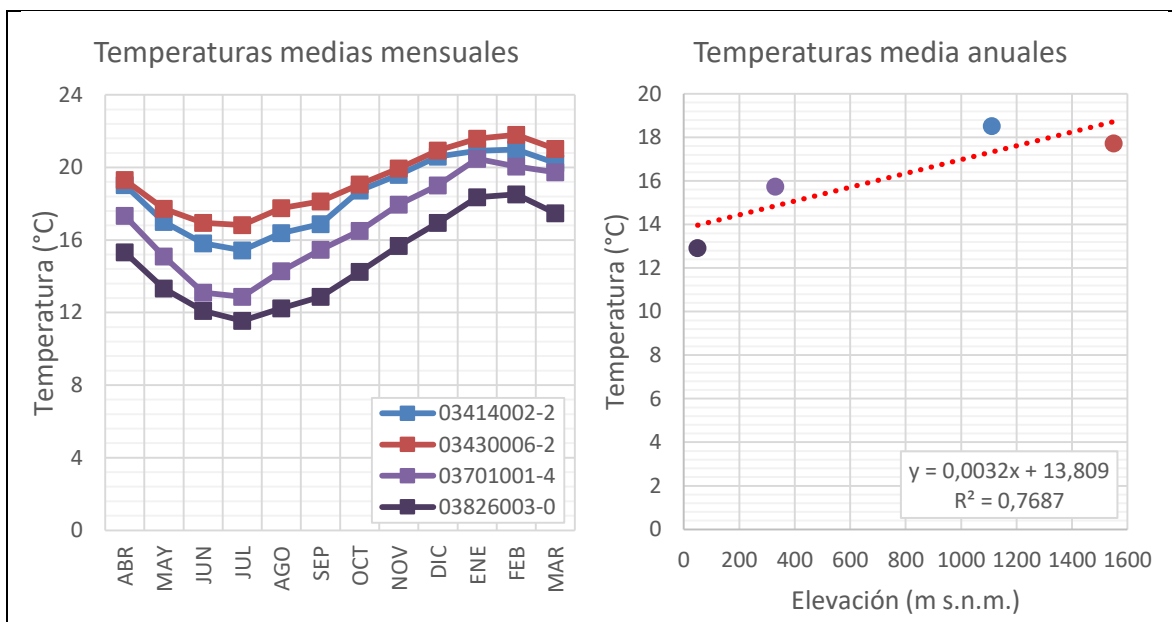
La Figura 2-12 muestra que la señal climática de la temperatura se mantiene constante, con las menores temperaturas en los meses que abarcan desde junio hasta agosto y las mayores entre enero y febrero. Las mínimas ocurren para el sector bajo de la cuenca, llegando a los 11 °C, mientras que la máxima es cercana a 23 °C para el sector medio-alto. Contrario al comportamiento típico del gradiente de temperaturas, en este caso a

medida que se asciende la temperatura aumenta, sin embargo, al superar la cota 1.500 m s.n.m. la temperatura comienza a disminuir. Esto ocurre por la condición climática que impone el océano sobre los territorios costeros.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-11: Estaciones meteorológicas de temperatura seleccionadas



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA.

Figura 2-12: Temperaturas medias registradas. Periodo 1993 – 2010

2.2.3 Escenarios de cambio climático

Las proyecciones de cambio climático dependen de los modelos de circulación general (MCG) seleccionados, por tanto, la elección de los MCG 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 ante las variaciones de temperatura y de concentraciones de CO₂. 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 2-10. Como se puede ver, los modelos agrupan 4 condiciones de sensibilidad, desde una baja extrema hacia una alta extrema.

Tabla 2-10: MCG seleccionados para proyecciones de cambio climático

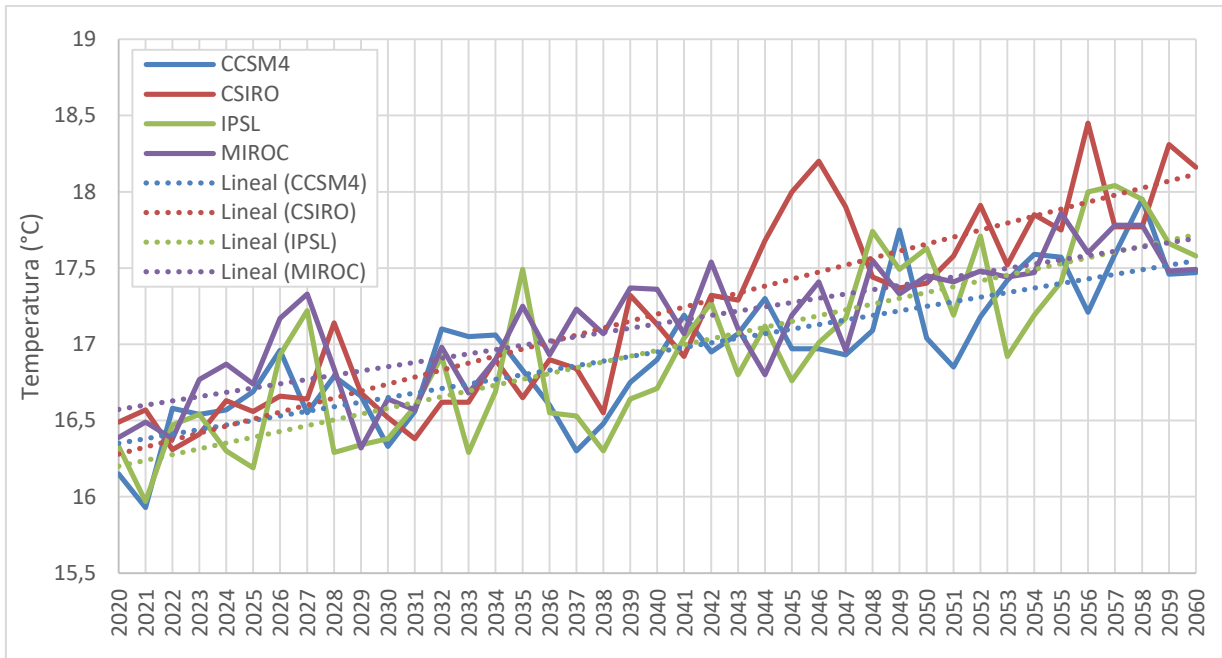
| Modelo | Institución | Sensibilidad climática |
|---------------|---|-------------------------------|
| CSIRO-MK3-6-0 | Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization in collaboration with Queensland Climate Change Centre of Excellence, Australia | Baja Extrema |
| CCSM4 | National Center 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).

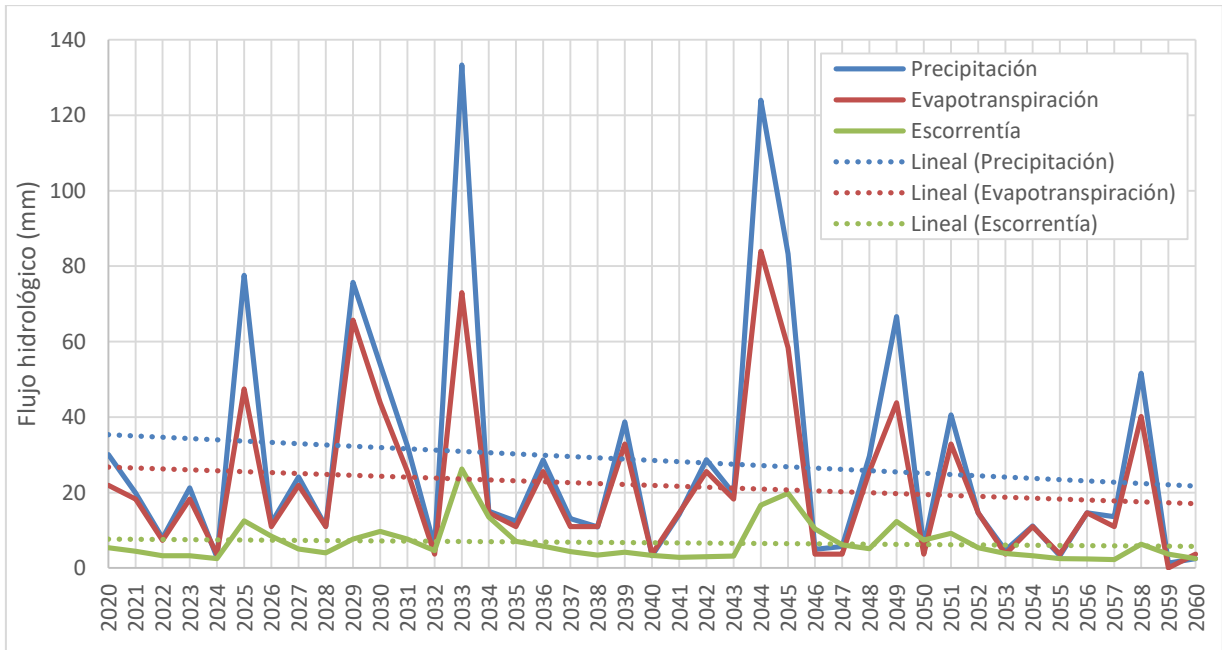
Los cambios a nivel de cuenca son entonces variados conforme se aumenta la latitud, no existiendo un único modelo que siempre muestre una tendencia marcada al ascenso o aumento, por ejemplo, de las precipitaciones.

En particular, para la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal los cuatro MCG considerados en el análisis se muestran en la Figura 2-13 las proyecciones de temperatura media, y desde la Figura 2-14 hasta la Figura 2-17 las series temporales de los principales flujos hidrológicos.



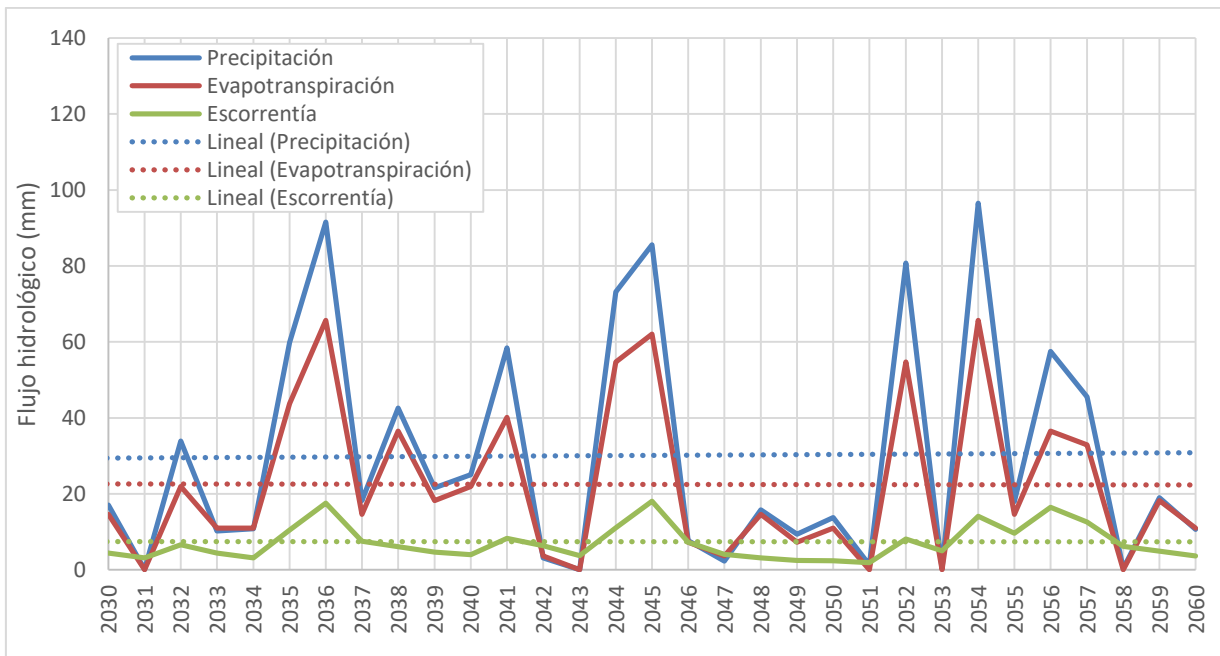
Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a).

Figura 2-13: Temperatura media proyectada hacia 2020 – 2060 por MCG



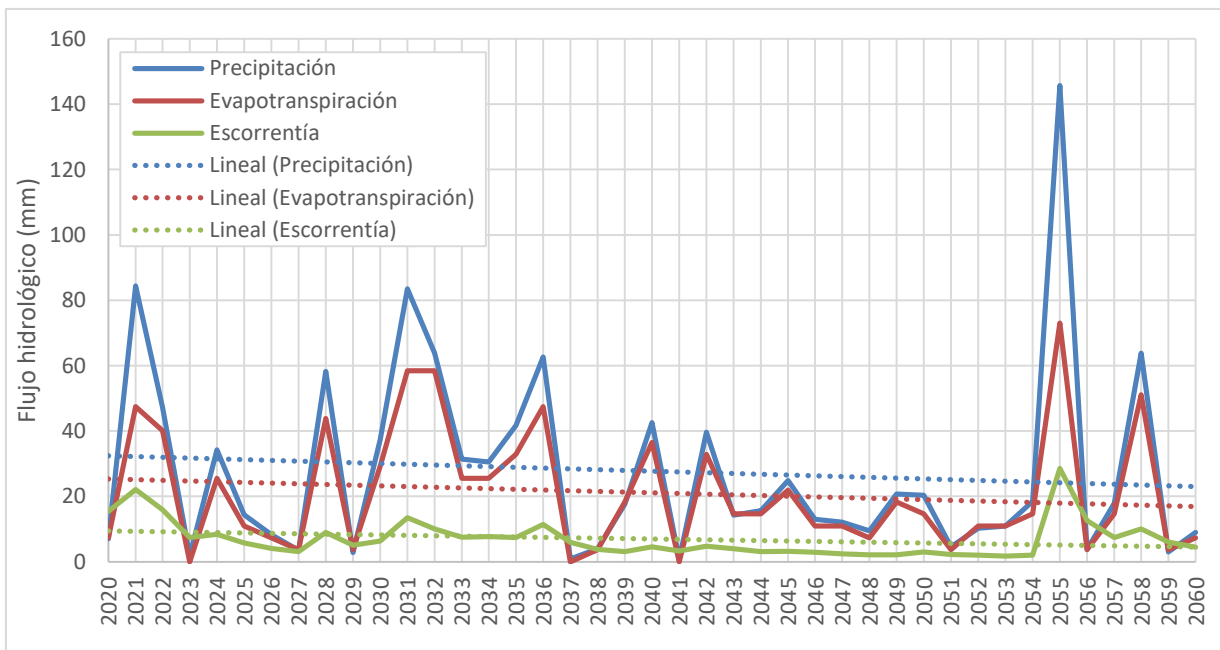
Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a).

Figura 2-14: Flujos hidrológicos proyectados hacia 2020 – 2060. Escenario CCSM4



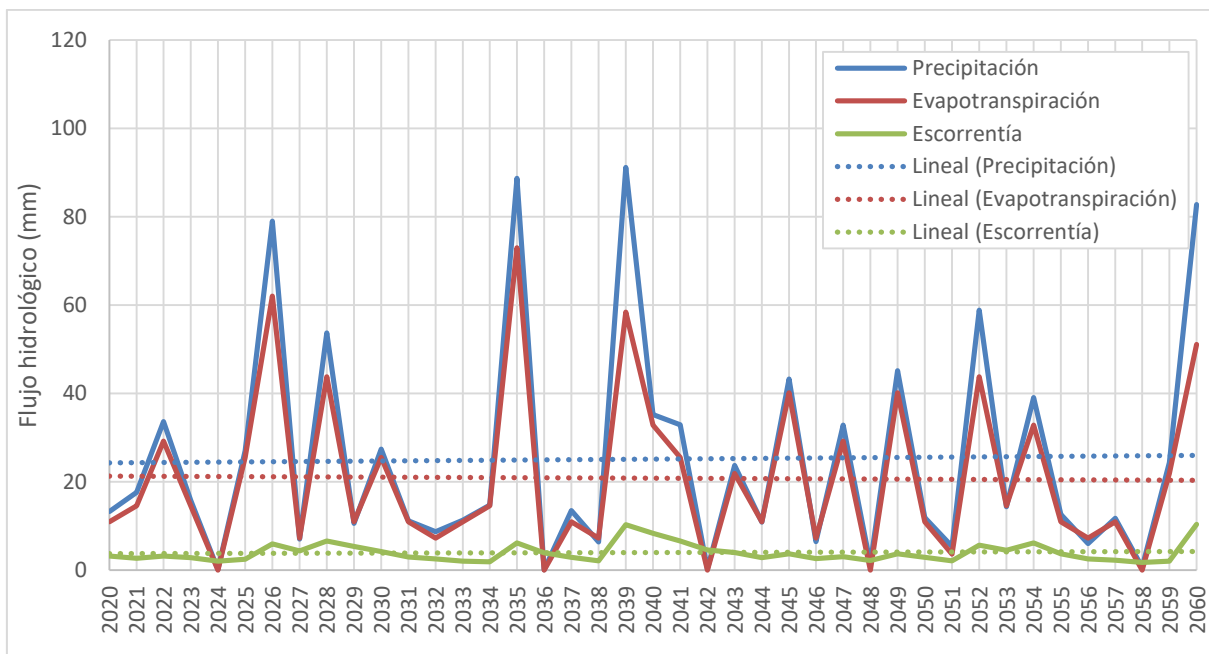
Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a).

**Figura 2-15: Flujos hidrológicos proyectados hacia 2020 – 2060.
Escenario CSIRO**



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a).

**Figura 2-16: Flujos hidrológicos proyectados hacia 2020 – 2060.
Escenario IPSL**



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a).

Figura 2-17: Flujos hidrológicos proyectados hacia 2020 – 2060. Escenario MIROC

La Tabla 2-11 presenta el resumen por flujo y periodo para las cuatro simulaciones de cambio climático. 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).

Tabla 2-11: Principales flujos hidrológicos para la cuenca 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 |

| Flujo (mm/año) | Periodo | | | | |
|---------------------|---------|-------|-------|-------|-------|
| | 85-15 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 30-60 |
| 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 |
| Promedio MCG | | | | | |
| Precipitación | 33,5 | 32,5 | 26,8 | 24,6 | 28,0 |
| Escorrentía | 6,8 | 6,8 | 5,7 | 6,0 | 6,2 |
| Evapotranspiración | 25,8 | 25,4 | 21,4 | 18,4 | 21,8 |
| Demanda riego | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a).

La Tabla 2-12 muestra un resumen con los cambios porcentuales por tipo de escenario. Mayor detalle de los antecedentes de los escenarios climáticos y resultados de las proyecciones se puede consultar en el informe DGA (2018a).

Tabla 2-12: Resumen de variaciones porcentuales de principales flujos hidrológicos para la cuenca en estudio

| Flujo | MCG | | | |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|
| | CSIRO | CCSM4 | MIROC | IPSL |
| Precipitación | -6,7% | -13,8% | -31,7% | -14,2% |
| Escorrentía | 28,1% | -14,3% | -40,9% | -6,1% |
| Evapotranspiración | -12,8% | -9,0% | -27,0% | -12,8% |
| Demanda riego | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |

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

Los resultados de la Tabla 2-12 confirman que los modelos representan condiciones dispares. MIROC-ESM se cataloga como el modelo más pesimista ya que pronostica disminuciones en la precipitación futura de un 32%, mientras que CSIRO-MK3-6-0 es el más optimista, donde la proyección de precipitación disminuirá en un 7% en promedio. Finalmente, los modelos CCSM4 y IPSL-CM5A-LR imponen condiciones intermedias, aunque conservadoras, con disminución de la precipitación cercana al 14%.

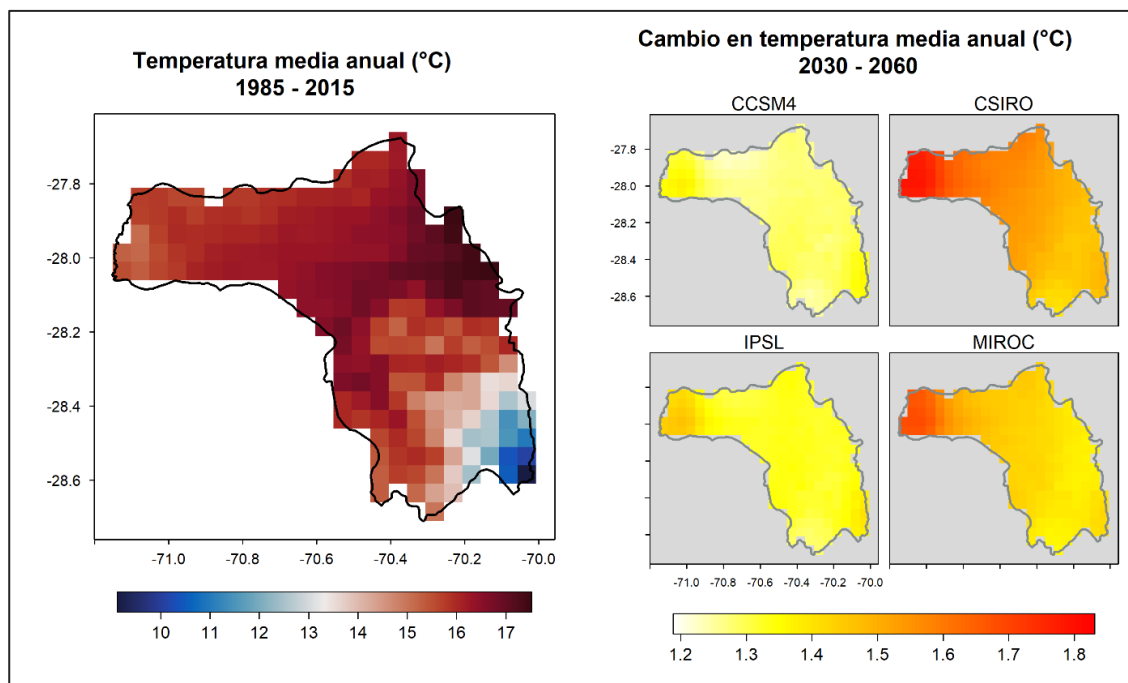
En particular, el flujo evapotranspirativo exhibe diferentes variaciones en todas las proyecciones, mientras que la demanda de riego se mantiene constante. Esto podría malinterpretarse como alguna falla sistemática en la metodología debido a la estrecha relación entre estos flujos. Sin embargo, se explica porque en este territorio las superficies agrícolas de riego son mínimas, alcanzando coberturas que rondan el 1,5% (DGA, 2017a).

El modelo hidrológico utilizado para generar las proyecciones de cambio climático corresponde a VIC (Liang et al., 1994) y conceptualiza el flujo de evaporación como la suma de tres componentes:

- (i) Evaporación desde el follaje debido a la intercepción de precipitación.
- (ii) Transpiración de la vegetación.
- (iii) Evaporación desde el suelo desnudo.

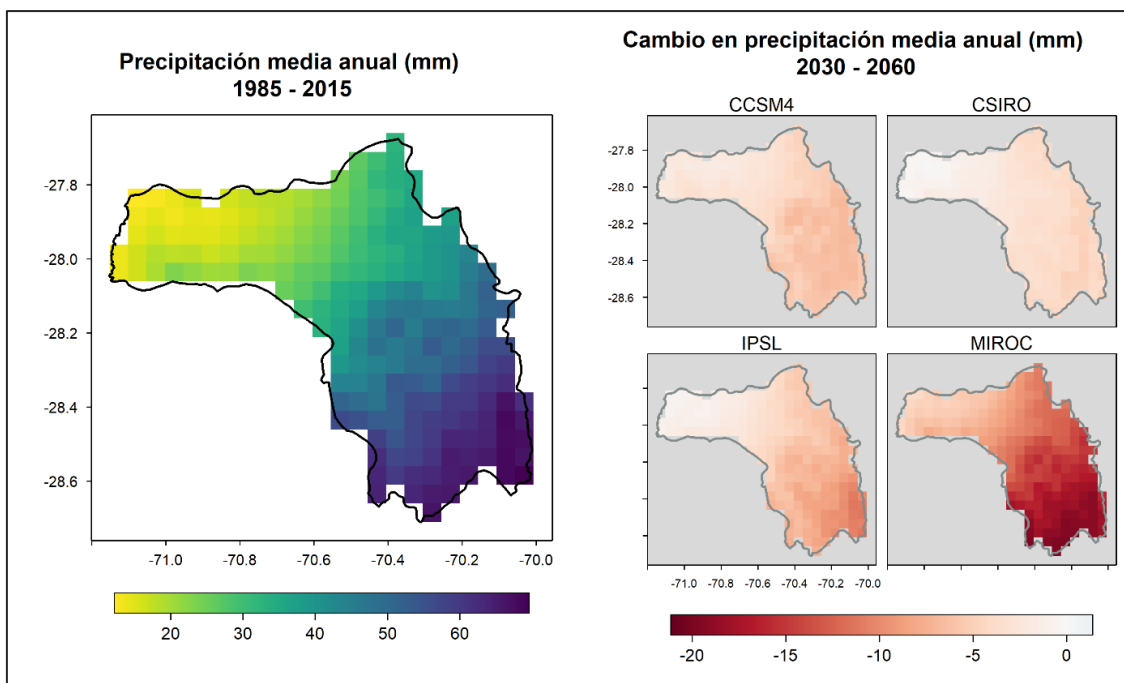
Como las áreas agrícolas de riego son mínimas, la componente de flujo (ii) ejerce una influencia baja sobre el monto total de evaporación. Por las características climáticas (Hiperárida; índice de aridez 47,4), el proceso dominante de la evaporación se ajusta a la componente de flujo (iii), que depende de la precipitación, temperatura, tasa de infiltración, entre otros y no de las demandas de riego.

Finalmente, la distribución espacial de proyecciones de temperatura y precipitación sobre la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal se muestran en la Figura 2-18 y Figura 2-19, respectivamente.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a).

Figura 2-18: Distribución espacial de la temperatura media anual en periodo histórico y cambio futuro según proyecciones MCG seleccionados



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a).

Figura 2-19: Distribución espacial de la precipitación media anual en periodo histórico y cambio futuro según proyecciones MCG seleccionados

2.3 Dimensión ambiental

Para este componente se indican primeramente generalidades para la región de Atacama y luego se detalla lo referente a la cuenca en estudio, denominada Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal. De acuerdo con la clasificación de cuencas de la Dirección General de Aguas, DGA, corresponde a la N°036. En esta se especifican las unidades ecosistémicas terrestres y acuáticas como también las áreas de conservación oficial y privadas existentes (Figura 2-20).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-20: Esquema dimensión ambiental

2.3.1 Ecosistemas terrestres

La Región de Atacama (26°S-29°S) se encuentra en la Región de la Estepa Alto Andina, que comprende la Cordillera de los Andes, árida y semiárida desde el extremo norte, en el Límite con Perú y Bolivia. La Región de la Estepa Alto Andina se divide en dos sub-regiones: i) Altiplano y la Puna y, ii) Los Andes Mediterráneos. La vegetación es muy variable dada sus condiciones climáticas, con precipitaciones escasas concentradas principalmente en los meses de invierno, con influencia marina que origina una intensa neblina en la zona costera y temperaturas altas, donde se manifiesta una vegetación altamente dependiente de la altitud y de la distancia a la costa (Juliá. C, *et al.* 2008).

En esta región está inserto el desierto de Atacama, caracterizado por un alto endemismo, siendo la parte más boreal del hotspot de biodiversidad de Chile mediterráneo (Arroyo, 1999). En este se expresa el desierto florido constituido por plantas vasculares, en la zona costera y central de la región, asociados a variación interanual de las precipitaciones, que es parte de los eventos climáticos conocidos como fluctuaciones ENSO (El Niño, Southern Pacific Oscillation). También se manifiestan años secos y fríos “La Niña” con reducidas floraciones. Se contemplan registros de flora de alrededor de 1.100 especies, con 980 nativas (Arcadis Geotecnia, 2008), y cerca de un 60% de endemismo (Squeo *et al.*, 2008). Las unidades ecosistémicas presentes en el área de estudio corresponden a ecosistemas terrestres y acuáticos los que están representados por humedales en forma de lagunas.

La cuenca Quebrada Totoral posee una cota de alrededor de 140 msnm localizada a 15 Km de la desembocadura, sobre los depósitos aluviales del fondo de la quebrada.

2.3.1.1 Caracterización de la flora y vegetación

Se indica a continuación una caracterización de la flora y vegetación junto a su estado de conservación.

La vegetación se caracteriza por los pisos vegetacionales, los cuales se definen como la unidad básica de un tipo de vegetación natural, establecido por las comunidades vegetales zonales de estructura y fisionomía uniforme, que se manifiestan bajo condiciones climáticas homogéneas, posicionada a lo largo de un gradiente de elevación a escala espacio temporal, formando parte de los ecosistemas (Luebert y Pliscoff, 2017). En base a los pisos vegetacionales se puede evaluar la representatividad ecológica, dado que la vegetación contiene la mayor proporción de biomasa de los ecosistemas.

La región de Atacama presenta 20 ecosistemas terrestres con 14 pisos vegetacionales, que abarcan una superficie de 7.342.083 ha aproximadamente, con variada representación de superficie remanente, que consisten en desiertos y estepas. Presenta macroclimas tropical (pluviestacional, xérico, desértico e hiperdesértico) y mediterráneo (hiperdesértico y desértico-oceánico), y sectores sin vegetación, que mayoritariamente caen dentro del bioclima hiperdesértico (Luebert y Pliscoff, op.cit.).

Se distingue desiertos, estepas y áreas desprovista de vegetación (GORE, 2014).

-
- ♦ Desiertos: montano (1); floridos (2), interior (en este 1 alto andino y 2 esteparios).
 - ♦ Estepa desértica y alto andina.
 - ♦ Área muy restringida sin vegetación en la alta cordillera.

La región de Atacama contiene una flora con un total de 1.099 especies, con 980 especies nativas, y 119 introducidas naturalizadas. Del total de las nativas un 56,2% se clasificaron en alguna de las categorías de conservación (En peligro, 26 sp; Vulnerables, 68 sp, Fuera de peligro, 457), un 41,9% como insuficientemente conocida (411 sp), y un 1,8% no evaluadas (18 sp), por no disponer de información. La región posee un 54,3% de endemismo, con un 13,7% en problemas de conservación. La provincia de Huasco posee la mayor cantidad de especies nativas (737 especies), le sigue Copiapó (669 especies) y Chañaral (con 467 especies). La comuna de Chañaral es la que presenta la mayor proporción de especies con problemas de conservación, seguida por Freirina y Caldera (Squeo *et al.*, 2008).

Específicamente en la zona de estudio correspondiente a la cuenca Quebrada Totoral, se distinguen formaciones de matorral desértico, matorral bajo de altitud, matorral bajo desértico y herbazal de altitud, que corresponden a ocho pisos vegetacionales (P) que representan ecosistemas, con los siguientes códigos P13, P14, P15, P18, P108, P109, P117 y P26, según Luebert y Plisscoff, (2017); MMA, (2019), indicados en la Tabla 2-13.

La distribución de los pisos vegetacionales de la cuenca Quebrada Totoral se muestra en la Figura 2-21.

A continuación, se describen las características generales de los ocho pisos vegetacionales mencionados, cuyo detalle se especifica en el Anexo J05 – Pisos Vegetacionales, y se muestra la representatividad de estos en la Tabla 2-14.

Se presenta en la cuenca el piso de código P13 “Matorral desértico mediterráneo costero de *Heliotropium floridum* y *Atriplex clivicola*” con una representatividad de 0,76%. Se ubica en el sector costero donde las condiciones climáticas y geomorfológicas modelan la presencia de una vegetación abierta, que se distribuye entre los 0 a 200 m de altitud. Los aportes de humedad por neblina o “camanchaca” costera, se producen en las zonas de mayor altitud el desarrollo de un tapiz de vegetación, presenta vegetación endémica, y arbustos que dominan con una altura bajo 50 cm, manifestándose el desierto florido

(Arcadis Geotecnia, 2008). Se presenta como una de las amenazas la construcción de caminos y complejos turísticos a futuro (MMA, 2020 a).

Tabla 2-13: Pisos vegetacionales presentes en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal

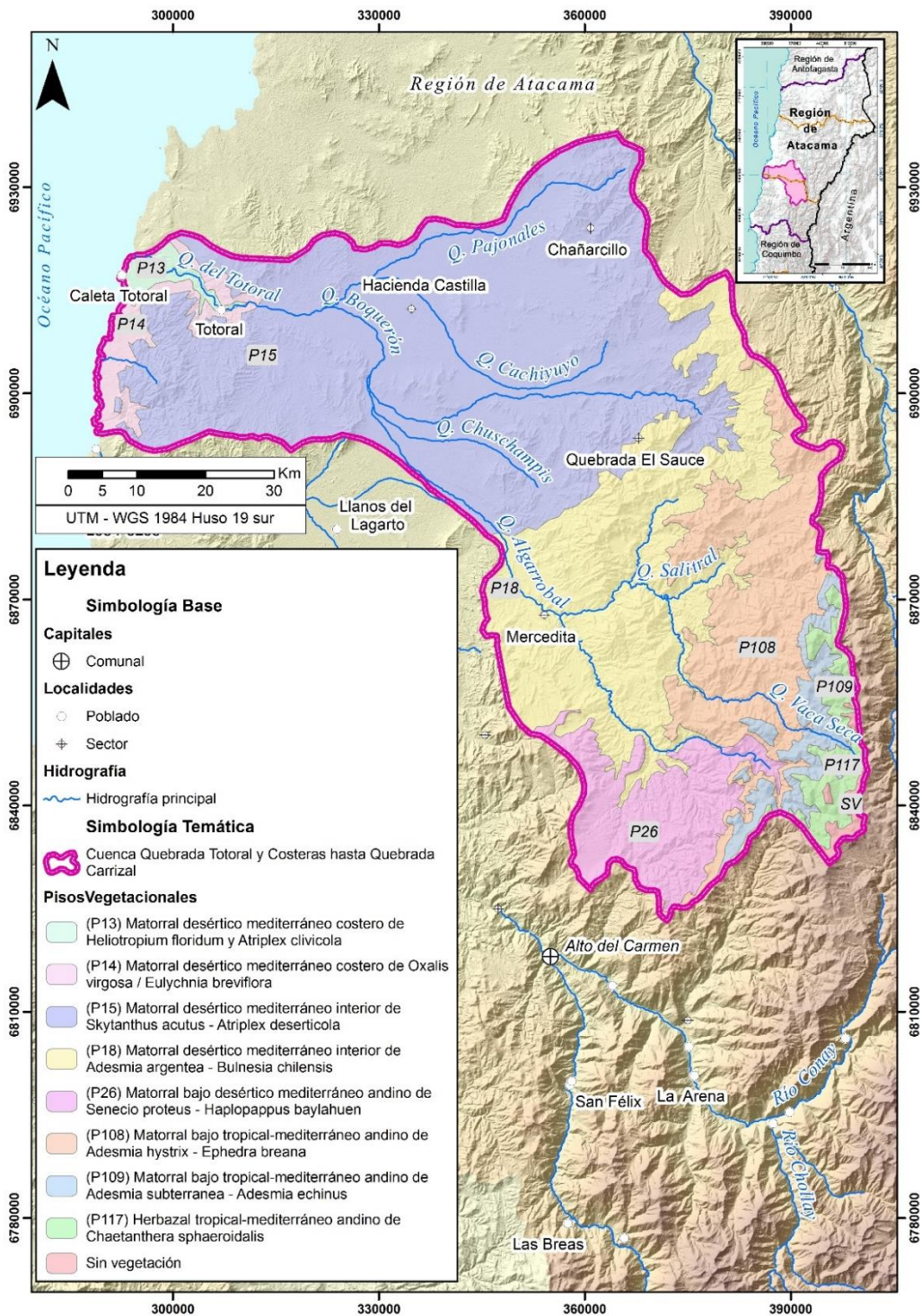
| Código N° Piso | Piso vegetacional | Formación |
|-----------------------|--|--------------------------|
| 13 | Matorral desértico mediterráneo costero de <i>Heliotropium floridum</i> y <i>Atriplex clivicola</i> . | Matorral desértico |
| 14 | Matorral desértico mediterráneo costero de <i>Oxalis virgosa</i> / <i>Eulychnia breviflora</i> . | Matorral desértico |
| 15 | Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Skytanthus acutus</i> / <i>Atriplex deserticola</i> . | Matorral desértico |
| 18 | Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Adesmia argénte</i> a/ <i>Bulnesia chilensis</i> . | Matorral desértico |
| 108 | Matorral bajo tropical-mediterráneo andino de <i>Adesmia hystrix</i> / <i>Ephedra breana</i> . | Matorral bajo de altitud |
| 109 | Matorral bajo tropical-mediterráneo andino de <i>Adesmia subterránea</i> / <i>Adesmia</i> . | Matorral bajo de altitud |
| 117 | Herbazal tropical mediterráneo andino de <i>Chaetanthera sphaeroidalis</i> . | Herbazal de altitud |
| 26 | Matorral bajo desértico mediterráneo andino de <i>Senecio proteus</i> / <i>Haplopappus bailahuén</i> . | Matorral bajo desértico |
| 9 | Sin vegetación | - |

Fuente Elaboración propia basado en Luebert y Pliscoff (2017), CIREN (2013) y MMA (2016).

Tabla 2-14: Representatividad en superficie de los Pisos vegetacionales presentes en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal.

| Código Piso vegetacional | Piso vegetacional | Superficie (km²) | Superficie (%) |
|---------------------------------|--|------------------------------------|-----------------------|
| P13 | Matorral desértico mediterráneo costero de <i>Heliotropium floridum</i> y <i>Atriplex</i> | 63,24 | 0,76 |
| P14 | Matorral desértico mediterráneo costero de <i>Oxalis virgosa</i> / <i>Eulychnia breviflora</i> . | 153,3 | 1,83 |
| P15 | Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Skytanthus acutus</i> / <i>Atriplex deserticola</i> | 2.796,47 | 33,46 |
| P18 | Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Adesmia argénte</i> a/ <i>Bulnesia chilensis</i> | 1.331,32 | 15,93 |
| P108 | Matorral bajo tropical-mediterráneo andino de <i>Adesmia hystrix</i> / <i>Ephedra breana</i> | 768,69 | 9,2 |
| P109 | Matorral bajo tropical-mediterráneo andino de <i>Adesmia subterránea</i> / <i>Adesmia</i> | 183,93 | 2,20 |
| P117 | Herbazal tropical mediterráneo andino de <i>Chaetanthera sphaeroidalis</i> | 150,79 | 1,80 |
| P26 | Matorral bajo desértico mediterráneo andino de <i>Senecio proteus</i> - <i>Haplopappus baylahuen</i> | 459,08 | 5,49 |
| NA | Sin vegetación | 36,99 | 0,44 |

Fuente: Elaboración propia en base a Pliscoff y Luebert (2017).



Fuente: Elaboración propia en base a Plisoff y Luebert (2017).

Figura 2-21: Distribución de los pisos vegetacionales de la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal.

Un segundo piso es el P14, correspondiente a "Matorral desértico mediterráneo costero de *Oxalis virgosa* / *Eulychnia breviflora*", con una representatividad de un 1,83 %. Se distribuye desde Antofagasta a Coquimbo, y se encuentra en diversos hábitats, tales como desierto, oasis de niebla, mediterráneo y matorral costero. Se presentan especies endémicas, con categoría de conservación, de amplia distribución, desde la provincia de Huasco (Región de Atacama) hasta Quillota (Región de Valparaíso), dispuesta en diversos hábitats, tales como laderas secas y arenosas y zonas costeras rocosas desde los 5 a 1.200 m s.n.m. (Squeo et al., 2008).

Un tercer piso es el P15 "Matorral desértico mediterráneo interior de *Skytanthus acutus*/*Atriplex desertícola*", con una representatividad de 33,5 %. Dominan los arbustos bajos, que dependen de las precipitaciones ocasionales, con resistencia a temporadas prolongadas de sequía. Se distribuyen desde el sur de la Región de Antofagasta hasta la Región de Atacama, entre 200 y 1.500 m s.n.m. (Arcadis Geotecnia, op.cit).

Un cuarto piso es el P18 "Matorral desértico mediterráneo interior de *Adesmia argentea* - *Bulnesia chilensis*", con una representatividad de 16 %. Este piso se compone de un matorral abierto con arbustos altos y bajos, con presencia de abundantes herbáceas ante precipitaciones, y presenta especies endémicas con categoría de conservación, fuera de peligro (FP) (Squeo et al., 2008). Se distribuye entre los 300 a 1800 m s.n.m., en Tarapacá, en el sector Sur de Atacama se presenta el desierto florido.

Un quinto piso es el P108, "Matorral bajo tropical-mediterráneo andino de *Adesmia hystrix*/*Ephedra breana*", con una representatividad de 9,2 %. Consta de un matorral baja altitud, espinoso, xeromórfico, que alcanza coberturas mayores a 40%, con presencia de especies endémicas, con categoría Fuera de peligro. No existen antecedentes sobre la dinámica natural, pero por su posición ecológica y fisionomía es probable que tenga algunos rasgos comunes con el resto de los matorrales bajos supramediterráneos. Se distribuye en laderas medias andinas entre los 3.000-4.000 m s.n.m., formaciones vegetacionales de la estepa desértica de los salares andinos y desierto estepario (CIREN, 2013).

Un sexto piso es el P109, "Matorral bajo tropical-mediterráneo andino de *Adesmia subterranea*/*Adesmia echinus*", con una representatividad de 2,2 %. Este consta de un matorral de baja altitud, abierto, con presencia de hierbas. Poco se conoce de la dinámica de este piso de vegetación. Se distribuye en las laderas altas de la cordillera andina entre 3.900-4.500 m s.n.m. (Arcadis Geotecnia, op.cit).

Un séptimo piso es el P117, "Herbazal tropical mediterráneo andino de *Chaetanthera sphaeroidalis*", con una representatividad de 1,8 %. Consta de Herbazal de altitud, desierto de altura muy abierto. No existen datos directos de su dinámica, se distribuye en las partes altas de la cordillera de Los Andes y sur de Antofagasta, sobre 4.500 m s.n.m. (Arcadis Geotecnia, op.cit; CIREN 2013).

Un octavo piso es el P26, y corresponde a "Matorral bajo desértico mediterráneo andino de *Senecio proteus* - *Haplopappus baylahuen*", con una representatividad de 5,5 %. Consta de matorral, con presencia de endemismos y especies y también de especies herbáceas. Se distribuye en el sector subandino del norte de la Región de Coquimbo, entre 1.800 y 2.800 m s.n.m. (MMA, 2018; CIREN, 2013).

Una parte de la cuenca en la parte más andina, carece de vegetación con un área de un 0,44%.

2.3.1.2 Caracterización de la fauna

En general la fauna no es abundante, por las condiciones geográficas y climáticas de amplia oscilación térmica y aridez del suelo. Se presenta un alto grado de endemismo, con la presencia de 246 especies, de estas, 62 poseen problemas de conservación (GORE, 2013). Se destaca la región de Atacama por ser el límite norte de distribución geográfica de un grupo importante de especies de animales mamíferos, reptiles y aves. En las especies de reptiles, 16 de las 17 están descritas como endémicas de Chile y 4 de ellas sólo en Atacama; en cambio las aves son el grupo que presenta el menor número de endemismos regionales, con 1,5% a nivel de subespecies (Arcadis Geotecnia, op.cit).

Se distingue vegetación correspondiente al desierto costero, franja costera y estepa interior. Respecto al desierto costero en este abundan las neblinas y camanchaca, lo cual favorece el desarrollo vegetacional con arbustos de baja altura, contrario a la estepa interior. La franja costera se desarrolla en la línea de costa, con un clima que depende de la influencia marina, de alta radiación solar, y de alta productividad reflejado en el desarrollo de las comunidades costeras, donde prepondera el intermareal rocoso.

En el sector donde se desarrolla una estepa interior, se presenta una topografía de cerros y valles con crecimiento de vegetación adaptada a la aridez, matorral de baja altura y ralo, donde la riqueza de especies aumenta en dirección Sur por la disponibilidad de precipitaciones. Es una zona donde no hay abundancia de oferta alimentaria por lo que obliga a la fauna terrestre como por ejemplo a mamíferos (zorros, guanacos) a realizar

grandes desplazamientos, y los mamíferos pequeños (roedores) más bien concentran su actividad en quebradas, con cobertura vegetal. Las aves abundan en períodos anuales en períodos de precipitaciones y son escasas en períodos de sequías. Los reptiles por el contrario son los más abundantes (Arcadis Geotecnia, op.cit).

A continuación, se indican especies de fauna identificadas en la zona costera y estepa interior que abarca en parte las cuencas en estudio. Para la faja costera se registraron 24 especies, de las cuales una especie corresponde a reptil, tres a mamíferos y veinte a aves. En el matorral costero se han identificado 16 especies, de las cuales cuatro corresponden a reptiles, siete aves, y cinco mamíferos. En el matorral interior se identificaron 19 especies, cuatro reptiles, ocho aves y siete mamíferos.

Se revisó y actualizó la información según estado de conservación, considerando el Listado de especies clasificadas en los procesos de clasificación del Ministerio de Medio Ambiente (MMA, 2020^a) que abarca hasta el último proceso finalizado de resolución de clasificación de especie (RCE) (17 ° proceso RCE, 2020-2021), expuesto en el Anexo J-05 - Fauna.

En materia de Biodiversidad en la Región de Atacama se está trabajando en cuatro Planes de Recuperación, Conservación y Gestión de Especies, de las siguientes especies: Chinchilla de Cola Corta, Garra de León, Flora Costera del Norte de Chile y Golondrinas de Mar del Norte de Chile (GORE, 2020).

2.3.2 Ecosistemas hídricos: humedales

Existe una amplia variedad de definiciones sobre humedales, y Chile adoptó la Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional (RAMSAR), que los define como "extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobre o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros" (MMA, 2018). Específicamente los humedales continentales de la región de Atacama abarcan un total de 18.745 ha (MMA, op. cit). De acuerdo con la Estrategia Nacional para la conservación y uso racional de los humedales en Chile (CONAMA, 2005), se clasifican en tres clases: evaporación, afloramientos subterráneos y de escorrentía. Los humedales son sistemas de gran valor ambiental, importantes por su biodiversidad, por los bienes y servicios que prestan al bienestar humano, necesarios de proteger. De tal manera que deben planificarse dentro

del manejo de cuencas hidrográficas, para integrar la gestión de los recursos hídricos con la conservación de estos, bajo la noción que el agua forma parte del ecosistema y constituye tanto un recurso natural, social y económico, donde tanto su calidad como cantidad determinan la naturaleza de su uso (MMA, 2020b).

En la cuenca Quebrada Totoral, se distinguen tres sistemas hídricos: el Humedal Totoral, Humedal Caleta Totoral y un conjunto de cuerpos de agua emergentes (MMA, 2020b).

En la Tabla 2-15 se indican los humedales junto a la superficie involucrada, y su distribución se muestra en la Figura 2-22.

Tabla 2-15: Humedales de la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal

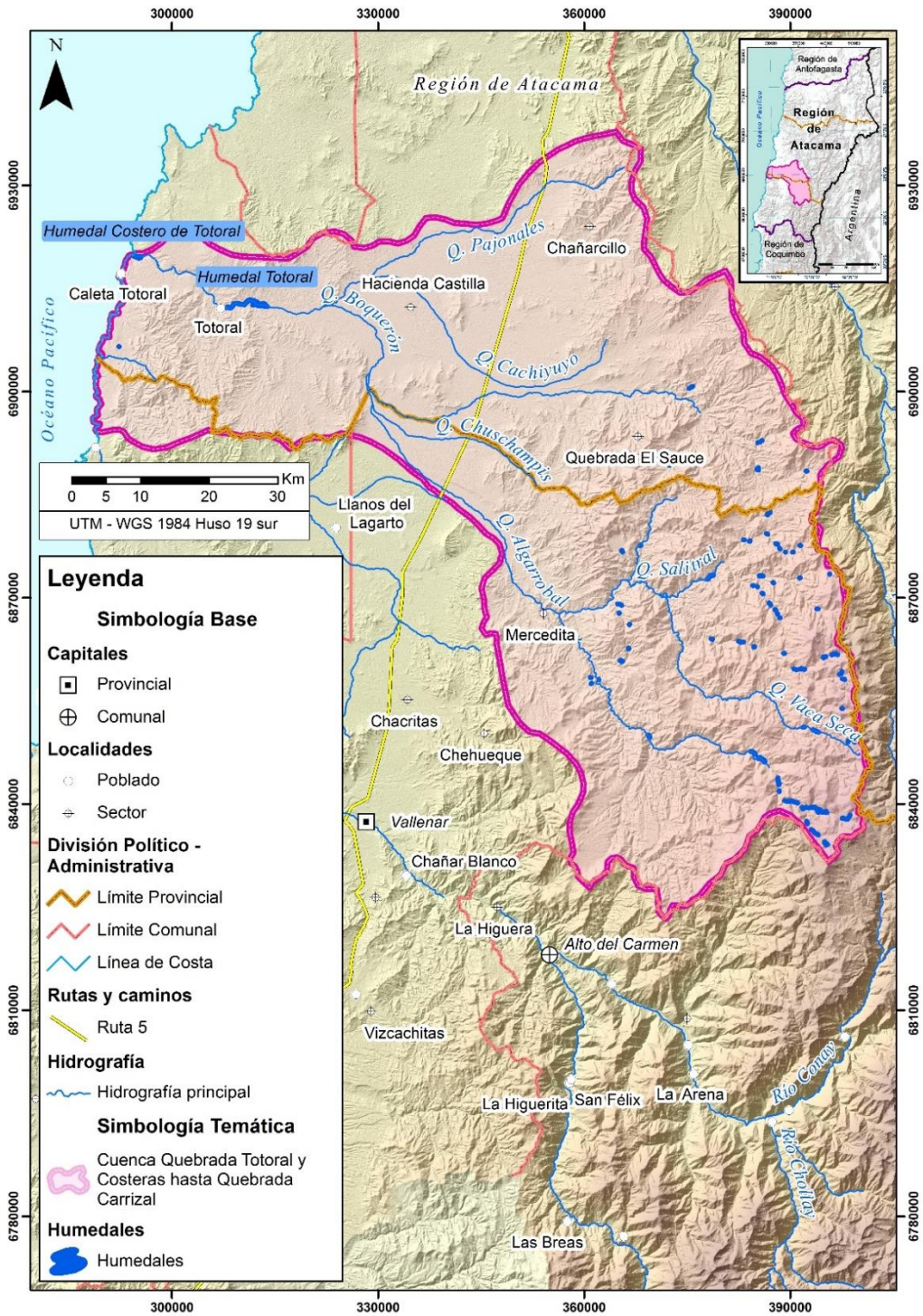
| Humedales | N° cuerpos de agua | Superficie (ha) |
|------------------------------------|---------------------------|------------------------|
| Humedal Costero Totoral | 20 | 368 |
| Humedal Totoral | 1 | 100,6 |
| Humedales continentales emergentes | 80 | 146,9 |

Fuente: Elaboración propia en base a inventario nacional humedales; MMA (2020b) y Decreto 13 MMA (2021a).

A continuación, se realiza una descripción del humedal costero Totoral, del cual se dispone de información.

El "Humedal Costero Totoral" (Figura 2-23) se declaró Santuario de la Naturaleza (Decreto 13, Sept. 2021) (MMA, 2021a), lo cual fue parte del Plan Regional de Atacama (PROT, 2019), y es uno de los humedales priorizados del Plan Nacional de Protección de Humedales 2018-2022 (MMA, 2018). Se localiza a 89 km aproximadamente al sur de Copiapó, con una superficie de 368 ha. El humedal se destaca por su riqueza biológica y patrimonial que presenta, es parte de la ruta de humedales costeros del norte chico, y aves migratorias, formando parte de la Comunidad Agrícola de Totoral.

Se considera un ecosistema vulnerable, con objetos potenciales a conservar tal como lo son: avifauna, fauna amenazada, flora de desierto florido, cactáceas, red hídrica, paisaje, patrimonio arqueológico y paleontológico y especies en categoría de conservación (MMA, 2020).



Fuente: Elaboración propia en base a MMA (2020b).

Figura 2-22: Distribución de los humedales en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal



Fuente: MMA (2020).

Figura 2-23: Vista panorámica del Humedal Costero Totoral

Presenta vegetación azonal y formaciones xerofíticas. El área comprende el matorral desértico costero, con 0,02 % de superficie protegida a nivel nacional. Su flora contempla 112 especies con un 40 % de endemismo, y una fauna de 151 especies (72 vertebrados; 58 aves; 3 reptiles; 11 mamíferos), de carácter singular por su endemismo.

Respecto a la flora, hay especies en categoría de conservación tales como:

- ♦ Categoría vulnerable: *Senecio microtis* Phil., *Suaeda multiflora* Phil.
- ♦ Casi Amenazadas (NT): *Cordia decandra* (arbusto carbonillo), arbusto suculento Copiapoa (aff. Echinoides).
- ♦ Preocupación menor (LC): *Cumulopuntia sphaerica*, *Eulychnia breviflora* Phil., y *Miqueliopuntia miquelii*.
- ♦ Especies de desierto florido: garra de león amarilla y la ñañauca amarilla; así como cactáceas columnares y globosas.

Respecto a la fauna, se identifican especies en categoría de conservación:

- ♦ Categoría en peligro (EN): *Coscoroba coscoroba* Cisne coscoroba.
- ♦ Categoría vulnerable: *Leucophaeus modestus* (Gaviota Garuma), *Phalacrocorax bougainvillii* (Guanay), *Lama Guanico* (Guanaco).
- ♦ Casi Amenazadas (NT): *Liolaemus nigromaculatus* (Lagartija de mancha negra), *Callopistes maculatus* (Iguana Chilena), *Myotis atacamensis* (Murciélago de Atacama), *Leopardus colocolo* (Gato Colo-colo), *Oreopholus ruficollis* (el Chorlo de campo), *Charadrius nivosus* (el Chorlo nevado).

-
- ♦ Categoría preocupación Menor: *Spalacopus cyanus* (Cururo), *Pseudalopex griseus* (zorro chilla).

2.3.3 Áreas bajo protección oficial y otras figuras de conservación

Chile suscribió el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) de las Naciones Unidas en 1992, instrumento internacional para un desarrollo sostenible, donde se propuso como estrategia proteger al menos oficialmente el 10 % de la superficie de los ecosistemas al año 2010 lo cual actualmente no se ha cumplido (Squeo *et al.*, 2008; MMA, 2019).

Se cuenta en el país con un Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado, SNASPE administrado por CONAF, cuyo objetivo es el conservar el patrimonio ambiental, de acuerdo con estándares internacionales y así poder tutelar la preservación de la naturaleza y asegurar la diversidad biológica. Por otra parte, están otras figuras como los sitios prioritarios que son áreas de valor ecológico, por su representación de ecosistemas, su singularidad ecológica, o por disponer de hábitat de especies amenazadas, priorizadas para conservar la biodiversidad. Esto fue propuesto producto de los Comités Regionales de Biodiversidad que para Atacama se inició el año 2002 con la Estrategia Regional para la Conservación y uso sustentable de la Biodiversidad, la cual fue revisada posteriormente (Comité regional de Biodiversidad CRB, 2009). También sobre estos sitios se aplican los procedimientos del Servicio de Evaluación Ambiental, de acuerdo a la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente 19.300 art. 11, letra d.

La Región de Atacama es de gran relevancia, pues constituye el límite norte de uno de los 34 "Hotspots" de biodiversidad a nivel mundial. Presenta especies endémicas, y potencialmente extintas, dado que no se han vuelto a coleccionar algunos ejemplares en al menos 50 años. A pesar de su importancia la información es escasa y fundamentalmente disponible en publicaciones de Squeo *et al.* (2008), donde indica que la región alberga alrededor de un 19% de las especies presentes en la flora de Chile continental, con especies nativas (980 especies) e introducida naturalizada (con 119 especies).

Respecto a la fauna también la información es muy limitada, y se ha obtenido principalmente de estudios ambientales del SEIA.

Como área protegida, están los SNASPE (categorías de Parque Nacional, Reserva nacional y Monumento Natural) y los Bienes Nacionales Protegidos, sitios Ramsar y

Santuarios de la Naturaleza. Se releva en esta cuenca el ecosistema de Desierto Florido, con superficie protegida por SNASPE y sitio prioritario (CRB, 2009).

A continuación, se indica para la cuenca a nivel de piso vegetacional (P) la superficie cubierta por alguna figura de protección, considerando las áreas protegidas oficiales SNASPE (Parque nacional, Santuario de la naturaleza) y los sitios prioritarios. De los ocho pisos vegetacionales presentes, se destacan solo dos con áreas protegidas, que son los de mayor superficie representada en la cuenca: el P15 y P18. Primeramente, el P15 "Matorral desértico mediterráneo interior de *Skytanthus acutus/Atriplex desertícola*" posee una superficie de 2.796 km², y presenta la mayor área de protección, con un 89,4%; luego le sigue el piso P18 "Matorral desértico mediterráneo interior de *Adesmia argéntea/ Bulnesia chilensis*" con una superficie de 1.331 km², que representa aproximadamente un 10%. El resto de los pisos vegetacionales bajo el 1%, así se tiene el P 14 "Matorral desértico mediterráneo costero de *Oxalis virgosa / Eulychnia breviflora*" con una superficie de 153 km² con 0,41% protegido, el P13 "Matorral desértico mediterráneo costero de *Heliotropium floridum y Atriplex clivicola*" posee una superficie de 63 km² con 0,14% protegido, y P108 "Matorral bajo tropical-mediterráneo andino de *Adesmia hystrix/Ephedra breana*" con una superficie de 769 km², con 0,11% de protección. El resto de los pisos de la cuenca P109, P117 y P26 carecen de áreas de protección, Tabla 2-16, mostrado en la Figura 2-24.

Para la cuenca se detalla en la Tabla 2-17 la figura de protección y referencia normativa, estas consisten en el Parque Nacional "Llanos de Challe", el Santuario de la Naturaleza "Humedal Costero Totoral" los que poseen protección legal; y tres sitios prioritarios, que son, Zona desierto florido, Llanos de Challe y Quebrada Algarrobal.

Tabla 2-16: Áreas de protección en pisos vegetacionales para las Cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal.

| Código | Piso vegetacional | Superficie | | Áreas de protección | | | | | |
|--------|--|--------------------|-----|---------------------|-----|---------------------|------|--------------------|------|
| | | (km ²) | (%) | Parque y Reserva | | Sitios prioritarios | | TOTAL | |
| P.V. | | | | (km ²) | (%) | (km ²) | (%) | (km ²) | (%) |
| P13 | Matorral desértico mediterráneo costero de <i>Heliotropium floridum y Atriplex</i> | 63 | 1 | 0 | 0 | 4 | 0,14 | 4 | 0,14 |
| P14 | Matorral desértico mediterráneo costero de <i>Oxalis virgosa / Eulychnia breviflora.</i> | 153 | 3 | 11 | 26 | 0 | 0 | 11 | 0,41 |

| Código | Piso vegetacional | Superficie | | Áreas de protección | | | | | |
|--------|---|--------------------|-----|---------------------|-----|---------------------|-------|--------------------|------|
| | | (km ²) | (%) | Parque y Reserva | | Sitios prioritarios | | TOTAL | |
| | | | | (km ²) | (%) | (km ²) | (%) | (km ²) | (%) |
| P15 | Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Skytanthus acutus/Atriplex deserticola</i> | 2.796 | 47 | 32 | 74 | 2.444 | 89,65 | 2.477 | 89,4 |
| P18 | Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Adesmia argéntea/ Bulnesia chilensis</i> | 1.331 | 22 | 0 | 0 | 275 | 10,1 | 275 | 9,94 |
| P108 | Matorral bajo tropical-mediterráneo andino de <i>Adesmia hystrix/Ephedra breana</i> | 769 | 13 | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0,11 |
| P109 | Matorral bajo tropical-mediterráneo andino de <i>Adesmia subterránea/Adesmia</i> | 184 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| P117 | Herbazal tropical mediterráneo andino de <i>Chaetanthera sphaeroidalis</i> | 151 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| P26 | Matorral bajo desértico mediterráneo andino de <i>Senecio proteus - Haplopappus baylahuen</i> | 459 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fuente: Elaboración propia en base a Luebert y Pliscoff (2017), Comité Regional de Biodiversidad (2009); y MMA (2016).

En la Figura 2-24, se indica por cada piso vegetacional la superficie protegida, destacando por su mayor área el P15 "Matorral desértico mediterráneo interior de *Skytanthus acutus/Atriplex deserticola*" seguido del P18 "Matorral desértico mediterráneo interior de *Adesmia argéntea/ Bulnesia chilensis*".

La distribución de las figuras SNASPE y sitios prioritarios se muestra en la Figura 2-25, y en el Anexo J-05 – Fichas RNAP se incorporó por cada figura una Ficha descriptiva proveniente del Registro Nacional de Áreas Protegidas (MMA, 2016; MMA, 2021b).

Las áreas protegidas se concentran en cinco pisos vegetacionales que son los siguientes: en primer lugar, se destaca el P15 "Matorral desértico mediterráneo interior de *Skytanthus acutus/Atriplex deserticola*", con tres figuras de protección con una representatividad a partir del 70 %, donde destaca el SP Desierto florido con un 93 %. Le sigue el P18 "Matorral desértico mediterráneo interior de *Adesmia argéntea/ Bulnesia chilensis*" con presencia de dos figuras con una representatividad entre 7% y de 100 % para el SP Quebrada Algarrobal. Luego se puede ver que el P13 "Matorral desértico

mediterráneo costero de *Heliotropium floridum* y *Atriplex clivicola*” está preferentemente representado en el SN Humedal Costero Totoral en un 100 % (recientemente declarado) y muy menor para SP Llanos Challe con un 2 %. Finalmente está el P108 “Matorral bajo tropical-mediterráneo andino de *Adesmia hystrix/Ephedra breana*” con baja representatividad de sólo un 0,1 % para SP desierto Florido (Figura 2-26).

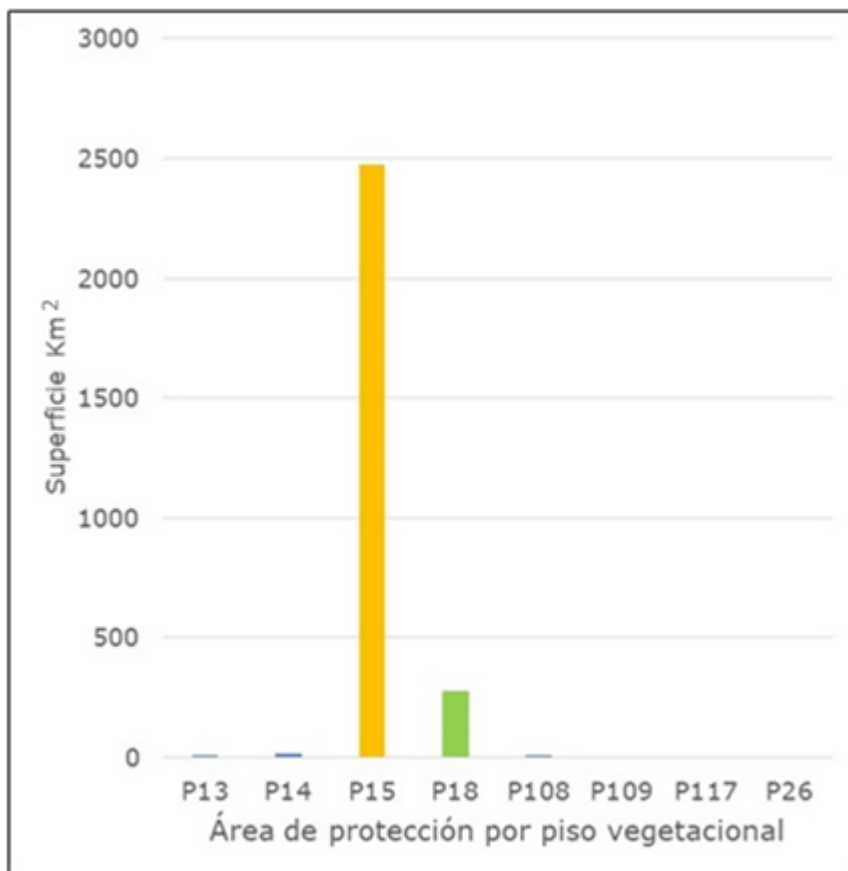
Tabla 2-17: Figuras de protección oficial y sitios prioritarios en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal.

| Nombre | Figura | Área (km ²) | Referencia Normativa |
|--------------------------------|----------------------|-------------------------|---|
| Llanos de Challe | PN WDPA-032 | 43,8 | D.S 946/1994, Min. Bienes Nacionales |
| Humedal Costero Caleta Totoral | Santuario Naturaleza | 3,64 | Decreto 13.065, 29/09/2021; CVE 2015943. (MMA, 2021a) |
| Zona desierto florido | SP1-055 | 2.484 | Decreto 40/2013, MMA. SEA (SP64) Propuesto por L.R. Atacama (2008). |
| Llanos de Challe | SP1-132 | 200 | Estrategia Regional Biodiversidad (2002). |
| Quebrada Algarrobal | SP2-140 | 103 | Estrategia Regional Biodiversidad (2002). |

PN: Parque Nacional; SN: Santuario de la Naturaleza; SP Sitio prioritario

Fuente: Elaboración propia en base a E.R.B. Estrategia de la Biodiversidad (2002), L.R: Libro Rojo Atacama (2008), Comité Regional de Biodiversidad (2009), MMA (2016) y MMA (2021a).

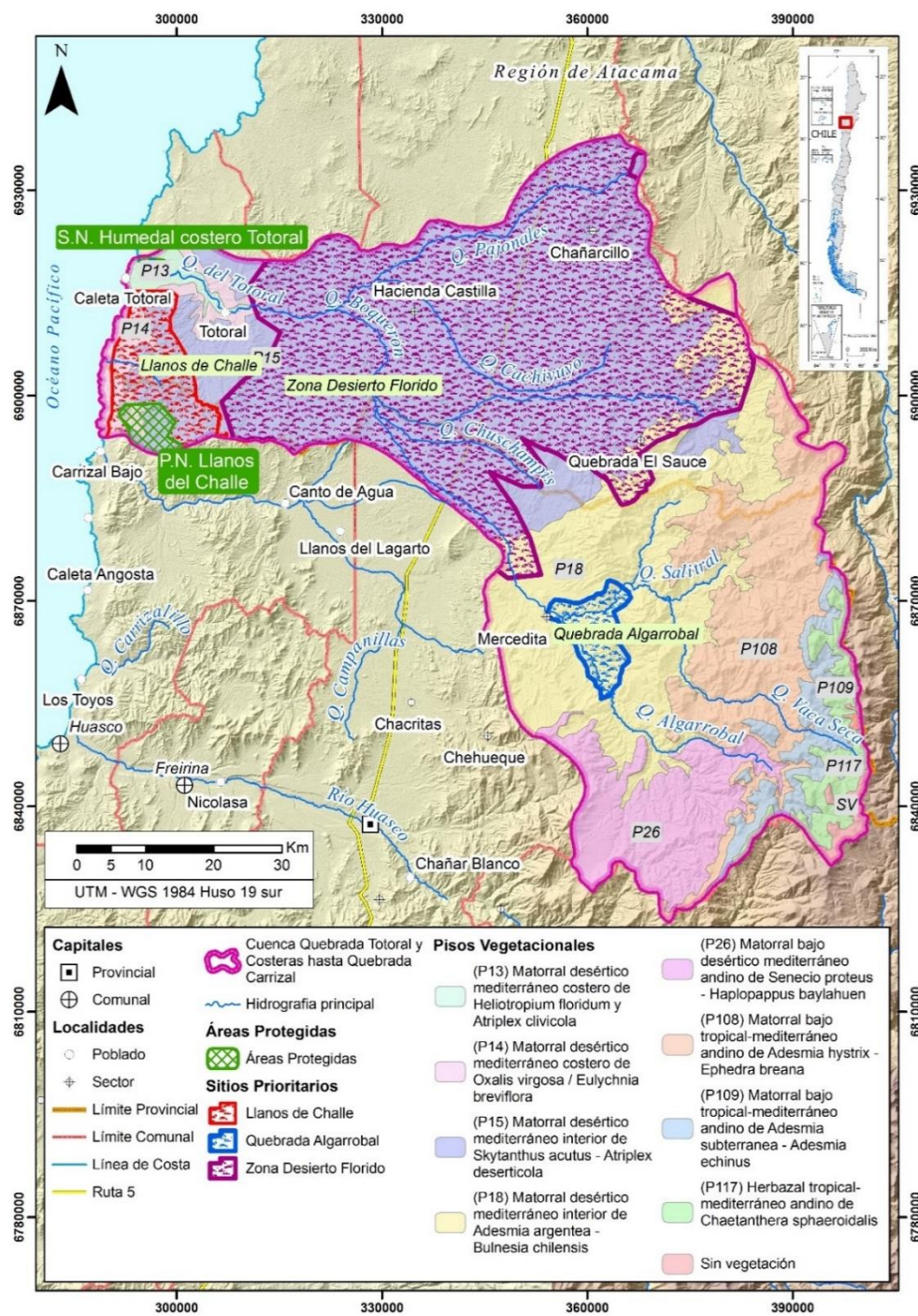
Se ha documentado que en general para esta región los ecosistemas protegidos alcanzan un 16,7 % de superficie (Squeo *et al*, 2008), específicamente para humedales se informa un 7,7 % (MMA, 2019). A estas cifras habría que incorporar al menos dos nuevos aportes de esta cuenca que son el Santuario de la Naturaleza “Humedal costero Totoral” decretado el año 2021 y el sitio prioritario Llano de Challe decretado el año 2013.



P: Piso vegetacional

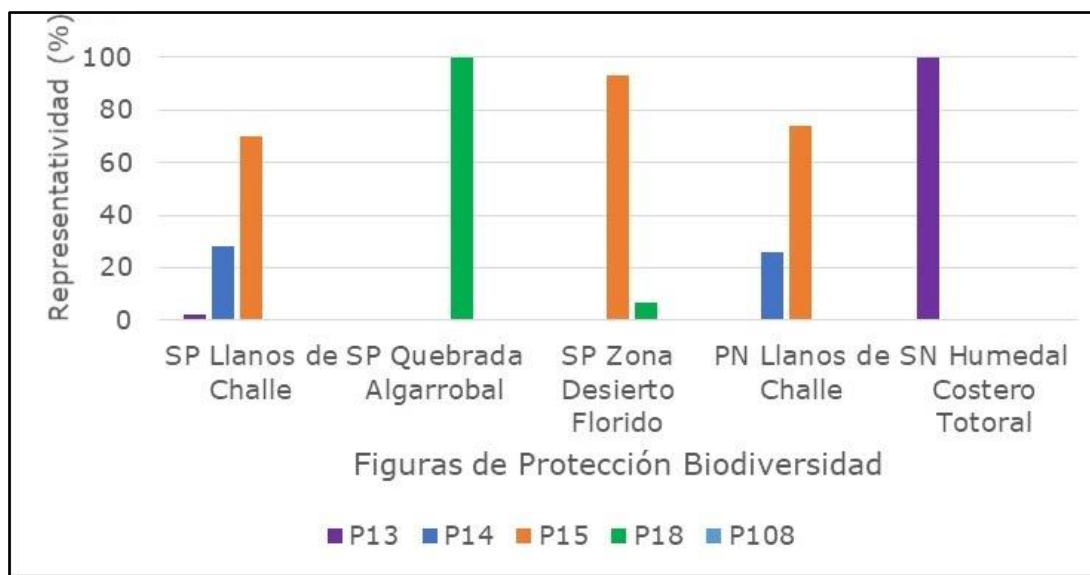
Fuente: MMA (2016).

Figura 2-24: Áreas de protección por piso vegetacional en la cuenca



Fuente. Elaboración propia en basado a Sitios Prioritarios (MMA, 2021c) y Pisos Vegetacionales (MMA, 2016).

Figura 2-25: Distribución de los sitios prioritarios y pisos vegetacionales en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal



Fuente: Elaboración propia en base a MMA (2016) y MMA (2021c).

Figura 2-26: Representatividad de las figuras de protección en los pisos vegetacionales de la cuenca de la Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal.

2.3.4 Amenazas a la biodiversidad

La región de Atacama es de especial interés por constituir un hotspot de biodiversidad a nivel mundial. Su alto endemismo y hábitats se ven alterados por las actividades antrópicas, que, junto a los efectos de cambio climático, aumentan la vulnerabilidad de los ecosistemas de la región.

Es sabida la importancia de la conservación de la biodiversidad considerando un enfoque ecosistémico, donde se integren los factores ecológicos, económicos y sociales dentro del territorio, de tal manera que sea posible brindar los servicios ecosistémicos para el desarrollo de la cuenca.

Considerando la biodiversidad en sus distintos niveles desde genes, especies, ecosistemas hasta paisaje, esta ha sido amenazada en gran parte por presiones producto de perturbaciones antrópicas. De hecho, más del 40% de la economía mundial y alrededor del 80% de las necesidades de la población del mundo derivan de mantener una buena conservación de la diversidad biológica. Sin embargo, es necesario realizar una buena gestión ambiental dirigida a reducir algunas de las presiones, para mejorar

los ecosistemas, aportar a una seguridad hídrica en términos de calidad y cantidad de los recursos hídricos, para los usos que se determinen en la cuenca.

Entre las amenazas reconocidas para la cuenca mencionadas en diversos estudios regionales se encuentran al menos las siguientes:

- ◆ Actividad de minería provoca perforaciones cercanas a figuras de protección.
- ◆ Actividad minera provoca cambio de uso de suelo, posee un alto tránsito vehicular con probabilidad de atropello a fauna y emisiones atmosféricas que puede reducir la vegetación por disminución de su actividad fotosintética.
- ◆ Pastoreo caprino altera la flora y la vegetación sobre todo en época de desierto florido.
- ◆ Competencia por alimento entre la fauna doméstica (perros) y especies nativas (guanacos). Depredación y persecución de especies introducidas sobre las nativas.
- ◆ Aumento de la población flotante en verano provocan un aumento de residuos, y alto tránsito vehicular en lugares con figuras de protección "Santuarios". Esto trae consigo la afectación de aves, destrucción de nidos y atropello.
- ◆ Se produce por parte de la población extracciones de agua subterránea para uso agrícola y humano, en desmedro de la necesaria para la mantención de la flora y vegetación.
- ◆ Períodos de sequía y afectación de la vegetación.
- ◆ Los humedales costeros se encuentran en situación crítica por escasez de recurso hídrico afectando la sobrevivencia de especies nativas.

Para diversas amenazas es posible plantear algunas soluciones para disminuirlas, bajo una gestión integral de los recursos hídricos, considerando un sistema socioecológico. Una alternativa es incorporar propuestas basadas en la naturaleza, propuesta en estudios dirigidos a la seguridad hídrica de cuencas (Fundación Chile, 2019), en las Mesas del Agua para una Política Nacional de Recursos Hídricos (MOP, 2022a) y ya incorporado en el Código de aguas, como una de las acciones para el Plan estratégico de cuencas, entre otras.

2.4 Infraestructura Hídrica

En este acápite se describe la infraestructura relacionada con el uso y aprovechamiento de los recursos hídricos en la cuenca, partiendo por una caracterización de los SSR

(Servicios Sanitarios Rurales), las redes de control hidrográfico y la infraestructura de riego.

2.4.1 Agua Potable Urbana

De acuerdo a lo informado por Nueva Atacama S.A., empresa que opera la concesión de agua potable en la región, en la cuenca no abastecen agua potable, en forma directa, como agua potable urbana, o a través de venta a SSR's rigiéndose por Art. 52 Bis (DFL MOP 382/88).

2.4.2 Servicios Sanitarios Rurales

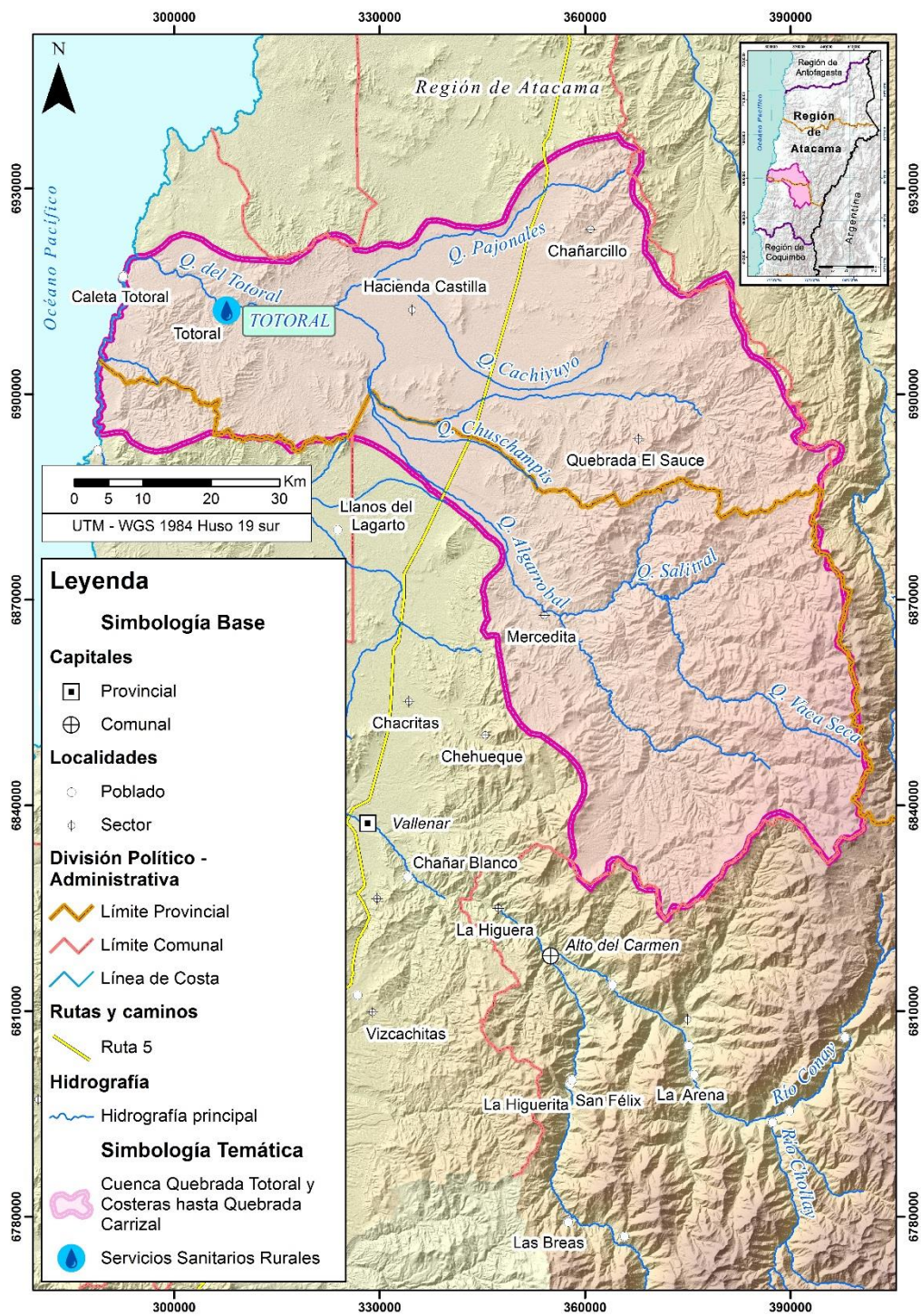
Usando como base el estudio DGA (2017a), además de lo informado en el "Observatorio de la Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico", se identificó 1 sistema de SSR (ex APR), con 95 beneficiarios al año 2021, tal como fue informado en reunión de PAC. Sus características se muestran en la Tabla 2-18, y su ubicación en la Figura 2-27. Se hace notar que se indica como sistema y no como localidad, ya que las características del programa de SSR establecen condiciones de concentración de los habitantes servidos que no necesariamente aplican a toda la localidad, sino que solo a una fracción de ella.

Tabla 2-18: Características SSR Concentrados Identificados en la Cuenca

| Nombre Sistema | Comuna | Año Puesta en Funcionamiento | Beneficiarios 2021 (estimación) | Tipo |
|-----------------------|---------------|-------------------------------------|--|-----------------|
| Totoral | Copiapó | 1980 | 95 | Osmosis Inversa |

Fuente: Elaboración propia en base a "MOP: Observatorio de la Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico". Base SSR (2017).

Usando la información contenida en DIRPLAN (2001), se tiene que el sistema existente consiste en una planta de osmosis inversa, con una capacidad máxima de tratamiento de 1,2 l/s. El agua se capta desde un pozo de 40 m de profundidad con un caudal máximo de 1,6 l/s.



Fuente: Elaboración propia en base a "MOP: Observatorio de la Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico".

Figura 2-27: Ubicación Servicios Sanitarios Rurales

2.4.3 Redes de control

La DGA cuenta con una red de control que permite la caracterización y medición de los recursos hídricos en la cuenca, midiéndose: precipitaciones, temperatura, niveles de aguas subterráneas, y calidad de aguas subterráneas. La información está disponible en el BNA (Banco Nacional de Aguas). No se identificaron estaciones de otros entes públicos o privados en la cuenca.

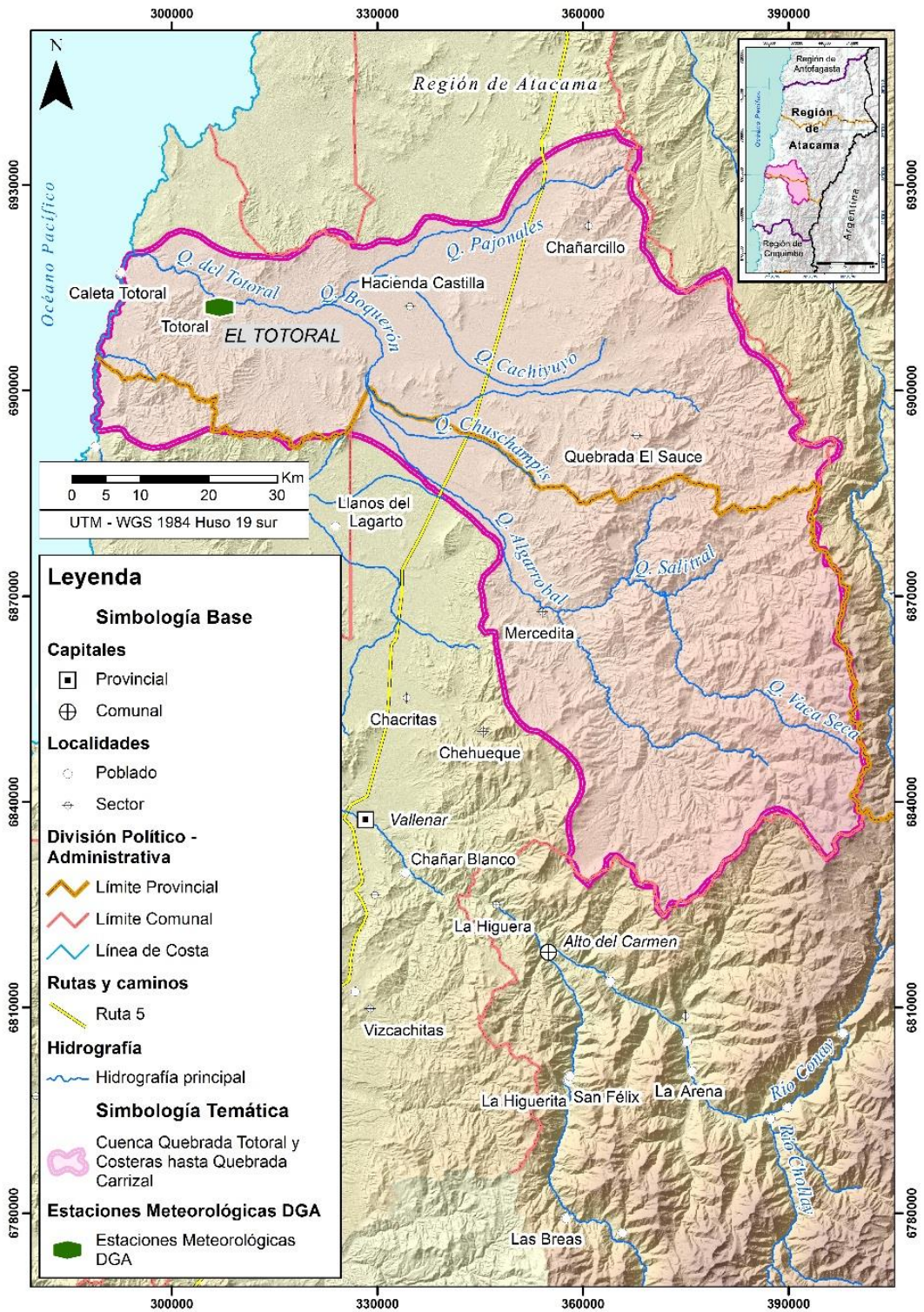
2.4.3.1 Estaciones Meteorológicas

Para el territorio se identificó una estación pluviométrica, tal como se muestra en la Tabla 2-19. Su ubicación se muestra en la Figura 2-28.

Tabla 2-19: Estaciones Meteorológicas DGA en el territorio

| Código BNA | Nombre estación | Coordenadas WGS 84 UTM 19S | | Altitud (m s.n.m.) | PP | T |
|---------------|--------------------|-------------------------------|-----------|-----------------------|----|---|
| | | E (m) | N (m) | | | |
| 03604001-7 | El Ttotal | 306.985 | 6.912.196 | 150 | X | - |

Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA-DGA.



Fuente: Elaboración propia con información BNA-DGA.

Figura 2-28: Ubicación de Estaciones Meteorológicas

2.4.3.2 Estaciones Fluviométricas

Para el territorio no se identificaron estaciones de este tipo.

2.4.3.3 Monitoreo de Niveles de Pozos

La red de monitoreo de aguas subterráneas perteneciente a DGA se compone por 3 pozos vigentes. La Tabla 2-20 detalla algunas características de la red, mientras que la ubicación espacial se muestra en la Figura 2-29. Los registros disponibles no indican si los niveles registrados son estáticos o dinámicos, sin embargo, se aprecia que Boquerón Chañar mide niveles dinámicos, mientras que los otros dos miden niveles estáticos.

Tabla 2-20: Red de Niveles de pozos DGA

| # | Código BNA | Nombre | Coordenadas WGS 84 UTM 19S | | Vigencia |
|---|------------|-------------------------|-------------------------------|-----------|----------|
| | | | E (m) | N (m) | |
| 1 | 03603001-1 | Boquerón Chañar | 332.266 | 6.894.074 | Vigente |
| 2 | 03600001-5 | Pozo Totoral Bajo | 315.350 | 6.912.275 | Vigente |
| 3 | 03603002-K | Quebrada Algarrobal W-2 | 336.497 | 6.887.718 | Vigente |

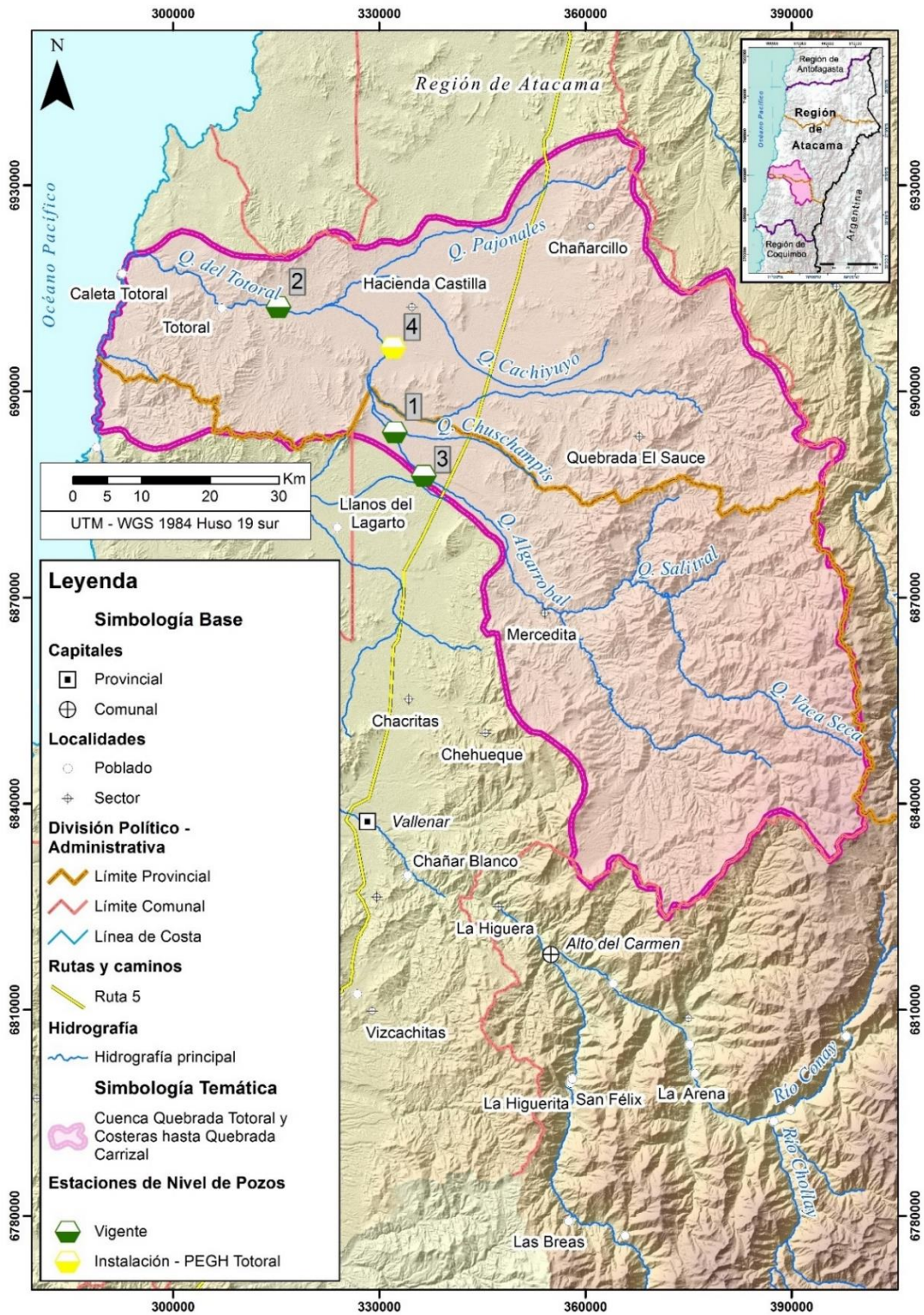
Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA-DGA.

En forma adicional, y como parte del PEGH se perforó un sondaje con el objetivo de ser incorporados a la red de medición, cuyos antecedentes se presentan en la Tabla 2-21, y su ubicación en la Figura 2-29. Mayores antecedentes de estos sondajes se presentan en el Anexo J-09.

Tabla 2-21: Sondaje nuevo

| # | Código BNA | Nombre | Coordenadas WGS 84 UTM 19S | | Vigencia |
|---|---------------|--------|-------------------------------|---------|-----------|
| | | | N (m) | E (m) | |
| 4 | - | ST1 | 6.906.426 | 332.048 | Instalado |

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA-DGA.

Figura 2-29: Ubicación Red de Niveles de Pozos DGA

2.4.3.4 Estaciones de Calidad de Aguas

Dado que no hay cursos superficiales permanentes, no hay estaciones de calidad de aguas superficiales.

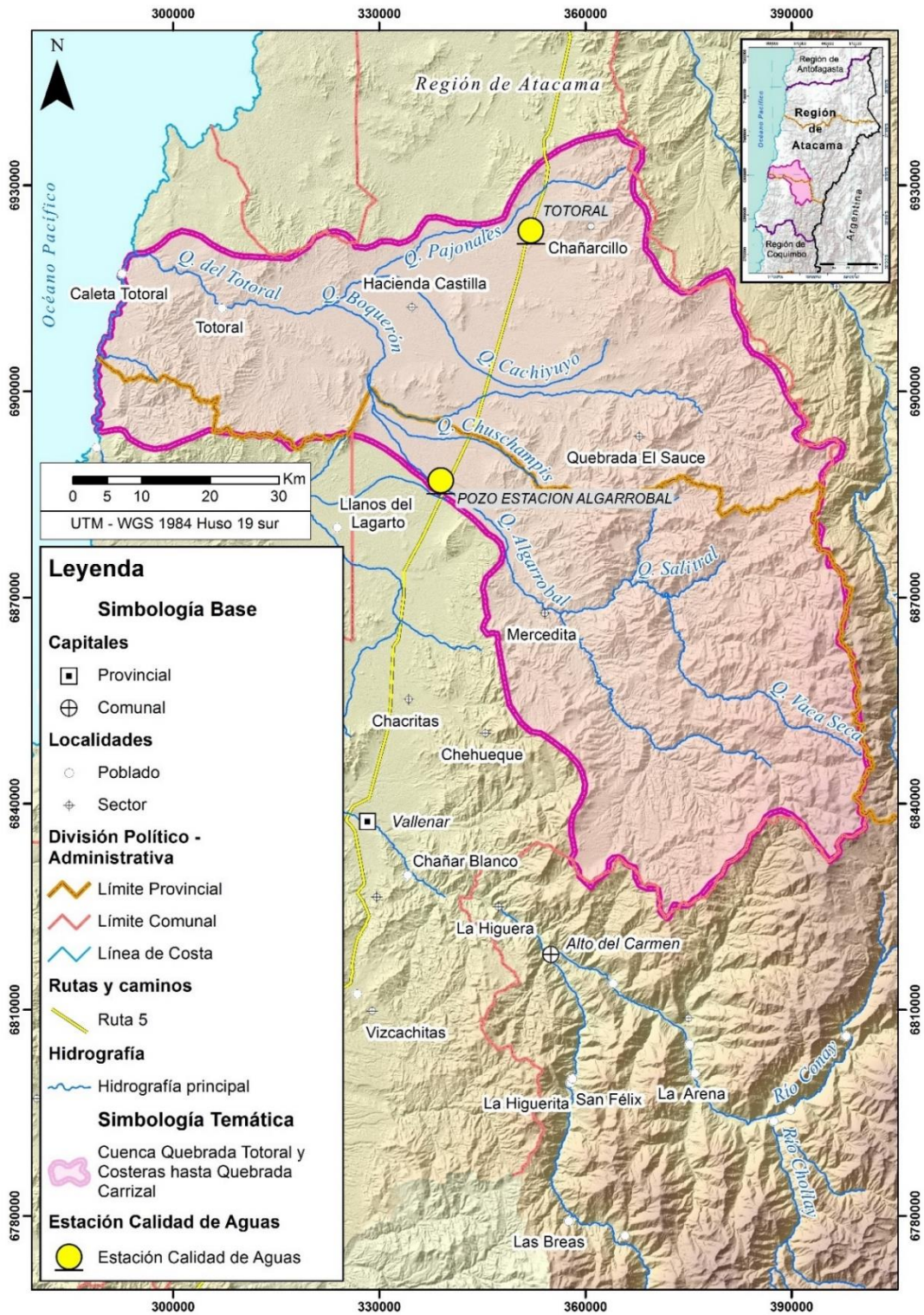
Por otra parte, en el territorio se identificaron 2 estaciones de calidad de aguas subterráneas, tal como se muestra en la Tabla 2-22, y en la Figura 2-30. Se hace notar que aunque la estación Pozo Estación Algarrobal se encuentra fuera de la cuenca, permite caracterizar lo que ocurre en el territorio, por lo que se considera como parte de esta cuenca.

Tabla 2-22: Estación DGA Calidad de Aguas Subterráneas en la Cuenca

| Código BNA | Nombre estación | Coordenadas WGS 84 UTM 19S | | Vigencia | Altitud (m s.n.m.) |
|------------|--------------------------|-------------------------------|-----------|----------|-----------------------|
| | | E (m) | N (m) | | |
| 03602000-8 | Pozo Estación Algarrobal | 338.984 | 6.887.016 | Vigente | S/I |
| 03600002-3 | Total | 352.079 | 6.923.371 | Vigente | S/I |

Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA-DGA.

Para la estación Ttotal no existe información, ya que entró en servicio en mayo 2022.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA-DGA.

Figura 2-30: Ubicación red de calidad de Aguas Subterráneas

2.4.3.5 Red de Monitoreo Propuesta

En primer lugar, se analizó la pertinencia de nuevas estaciones de tipo meteorológico en el territorio. Con este fin, se utilizaron las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) a través de la guía de prácticas hidrológicas (OMM, 2008). En este documento se sugiere una densidad mínima de estaciones pluviométricas asociadas a diferentes unidades fisiográficas, la cual se exhibe en la Tabla 2-23.

Tabla 2-23: Valores Mínimos Recomendados de Densidad de Estaciones (superficie, en km² por estación)

| Unidad Fisiográfica | Precipitación | | Evaporación | Flujo fluvial | Sedimentarias | Calidad del agua |
|---------------------------|------------------|---------------|-------------|---------------|---------------|------------------|
| | No registradoras | Registradoras | | | | |
| Costa | 900 | 9.000 | 50.000 | 2.750 | 18.300 | 55.000 |
| Montaña | 250 | 2.500 | 50.000 | 1.000 | 6.700 | 20.000 |
| Planicie Interior | 575 | 5.750 | 5.000 | 1.875 | 12.500 | 37.500 |
| Montes / ondulaciones | 575 | 5.750 | 50.000 | 1.875 | 12.500 | 47.500 |
| Islas pequeñas | 25 | 250 | 50.000 | 300 | 2.000 | 6.000 |
| Áreas urbanas | - | 10 a 20 | - | - | - | - |
| Polos / tierras áridas | 10.000 | 100.000 | 100.000 | 20.000 | 200.000 | 200.000 |

Fuente: OMM (2008).

En este caso, la única estación meteorológica corresponde a las de precipitación del tipo registradora, mientras que la unidad fisiográfica predominante es la de montaña (Peña, 1983), por lo que el valor mínimo de la densidad de acuerdo con el índice de la OMM debe ser 2.500 km²/estación. Dado que en la cuenca hay una sola estación, se determina una densidad de 5.944 km²/estación, por lo que, a nivel de cuenca, para lograr la densidad requerida se requiere 2 estaciones adicionales. Este análisis puede ser profundizado a nivel de subcuenca en base a la división por sectores establecida por el BNA (Tabla 2-24).

El análisis por subcuencas indica que no se cumple la densidad mínima sugerida por la OMM para ambas subcuencas. En consecuencia, se recomienda instalar tres estaciones pluviométricas según lo mostrado en la Figura 2-31. Específicamente, para la subcuenca Quebrada Totoral, se sugiere instalar una estación en el sector alto de la quebrada Algarrobal y otra en el sector alto de la quebrada Cachiyuyo. En la subcuenca Costeras entre Quebradas Totoral y Carrizal se propone emplazar una estación en la zona costera.

Tabla 2-24: Índice de Densidad Estaciones Pluviométricas Calculado a nivel de cuenca

| Subcuenca | Cantidad Estaciones | | Área cuenca (km ²) | Densidad (km ² /estación) | |
|---|---------------------|-------------|--------------------------------|--------------------------------------|----------|
| | Vigentes | Adicionales | | Actual | Esperada |
| Quebrada Totoral | 1 | 2 | 5.686 | 5.686 | 1.895 |
| Costeras entre Quebradas Totoral y Carrizal | 0 | 1 | 258 | N/A | 258 |

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la distribución territorial de estaciones pluviométricas sigue los mismos lineamientos presentados en la Tabla 2-23, aunque para este caso hay que usar la densidad sugerida para estaciones de flujo fluvial, definido como 1.000 km²/estación. El análisis a nivel de subcuencas en base a la división por sectores establecida por el BNA se detalla en la Tabla 2-25.

Tabla 2-25: Índice de Densidad Estaciones Fluviométricas Calculado a nivel de subcuenca

| Subcuenca | Cantidad Estaciones | | Área cuenca (km ²) | Densidad (km ² /estación) | |
|---|---------------------|-------------|--------------------------------|--------------------------------------|----------|
| | Vigentes | Adicionales | | Actual | Esperada |
| Quebrada Totoral | 0 | 6 | 5.686 | N/A | 947 |
| Costeras entre Quebradas Totoral y Carrizal | 0 | 1 | 258 | N/A | 258 |

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados indican que no se cumple la densidad mínima sugerida por la OMM para ninguna subcuenca, ya que actualmente no existen estaciones pluviométricas. En consecuencia, se recomienda instalar al menos seis estaciones pluviométricas en los siguientes sectores de interés de la subcuenca Quebrada Totoral (Figura 2-31):

- ♦ En quebrada Algarrobal: aguas arriba de la confluencia con la quebrada Salitral.
- ♦ En quebrada Salitral: aguas arriba de la confluencia con la quebrada Algarrobal.
- ♦ En quebrada Cachiyuyo: aguas arriba de la confluencia con la quebrada Pajonales.
- ♦ En quebrada Pajonales: aguas arriba de la confluencia con la quebrada Boquerón.

- ♦ En quebrada Boquerón: aguas arriba de la confluencia con la quebrada Pajonales.
- ♦ En quebrada Totoral: en la desembocadura de la subcuenca.
- ♦ En el caso de la subcuenca Costeras entre Quebradas Totoral y Carrizal, a pesar de que la densidad mínima recomienda emplazar una estación fluviométrica, no se sugiere aquello ya que no se identifica alguna quebrada que encauce los flujos.
- ♦ Se hace notar que son quebradas de flujo eventual, pero que en condiciones de crecida pueden tener caudales de importancia.
- ♦ El análisis de la distribución territorial de estaciones de calidad de aguas sigue los mismos lineamientos que el presentado en Tabla 2-23, aunque para este caso hay que usar la densidad sugerida para estaciones de calidad de aguas, definido como 20.000 km²/estación. El análisis a nivel de subcuencas en base a la división por sectores establecida por el BNA se detalla en la Tabla 2-26.

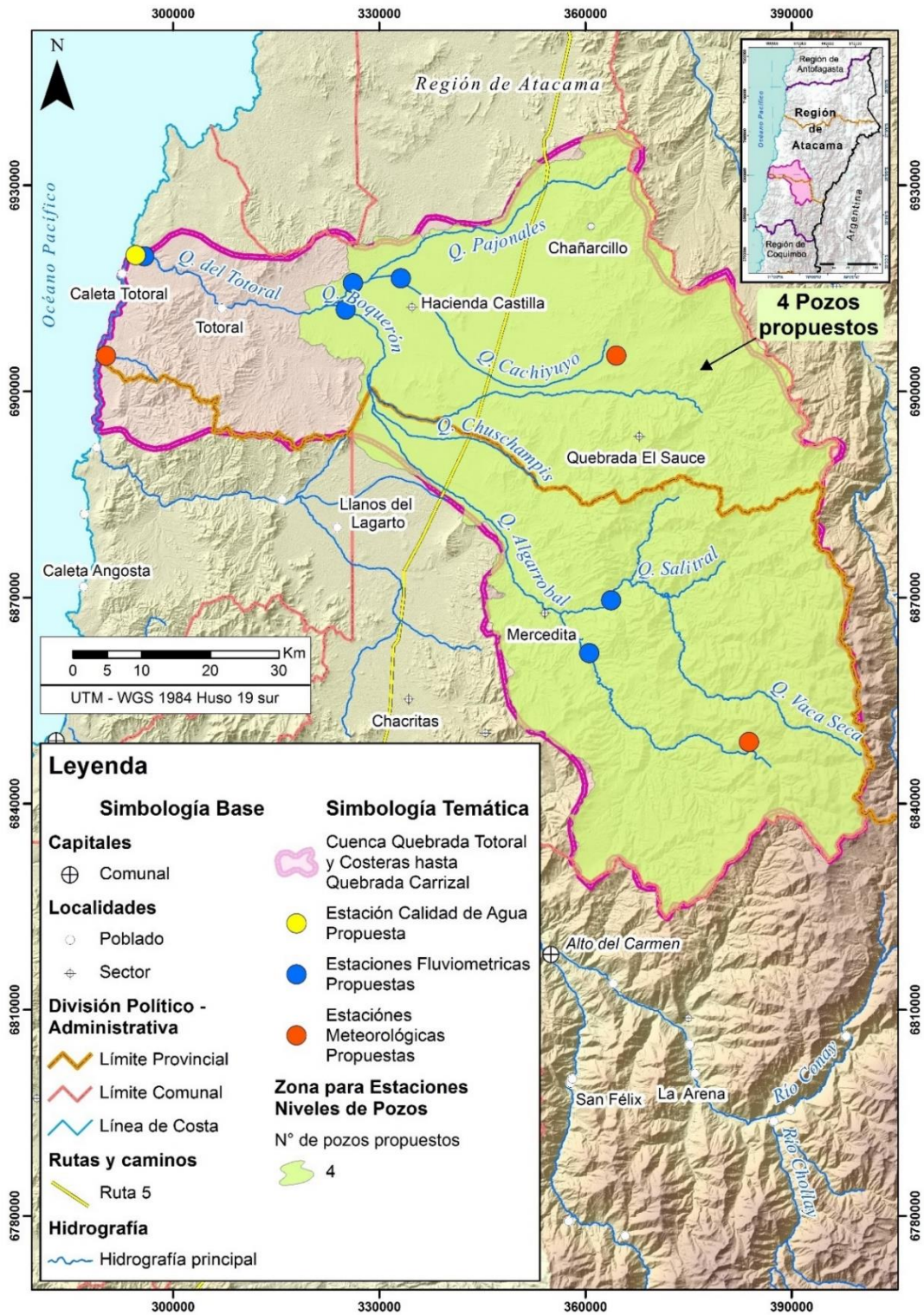
Tabla 2-26: Índice de Densidad Estaciones Calidad de Aguas Calculado

| Subcuenca | Cantidad Estaciones | | Área cuenca (km ²) | Densidad (km ² /estación) | |
|---|---------------------|-------------|--------------------------------|--------------------------------------|----------|
| | Vigentes | Adicionales | | Actual | Esperada |
| Quebrada Totoral | 0 | 1 | 5.686 | N/A | 5.686 |
| Costeras entre Quebradas Totoral y Carrizal | 0 | 1 | 258 | N/A | 258 |

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados indican que no se cumple la densidad mínima sugerida por la OMM para ninguna subcuenca, ya que actualmente no existen estaciones de calidad de aguas. En consecuencia, se recomienda instalar al menos una estación de calidad de agua en la subcuenca Quebrada Totoral, emplazada en el humedal costero de Totoral.

En el caso de la subcuenca Costeras entre Quebradas Totoral y Carrizal, a pesar de que la densidad mínima recomienda emplazar una estación de calidad de agua, no se sugiere aquello ya que no se identifica ningún sector de interés.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-31: Estaciones Propuestas

Para determinar la representatividad de las redes de monitoreo, se usa el índice recomendado por la Agencia Europea del Medioambiente, que aconseja la instalación de un punto de monitoreo por cada 20 o 25 km² (EEA, 2008). Considerando que sólo en la subcuenca Quebrada Totoral existe cuerpo acuífero que puede ser monitoreado, se descarta de este análisis la subcuenca Costeras entre Quebradas Totoral y Carrizal.

El cálculo de la densidad de monitoreo de niveles considera sólo el área que contiene al cuerpo acuífero en la subcuenca Quebrada Totoral (896,5 km²), determinando una densidad actual de 298,8 km²/estación, lo que es mayor a la densidad mínima sugerida. En razón que el umbral propuesto no es un estándar definido, se considera también un valor intermedio 5 veces superior (125 km²/estación). Este análisis se muestra la Tabla 2-27.

Tabla 2-27: Índice de Densidad Estaciones de Niveles Calculado

| Subcuenca | Cantidad Estaciones | | | Área Acuífero cuenca (km ²) | Densidad (km ² /estación) | | |
|------------------|---------------------|------------|-------|---|--------------------------------------|------------|-------|
| | Vigentes | Propuestas | | | Vigentes | Propuestas | |
| | | d=25 | d=125 | | | d=25 | d=125 |
| Quebrada Totoral | 4 | 36 | 8 | 896,5 | 298,8 | 24,9 | 112,1 |

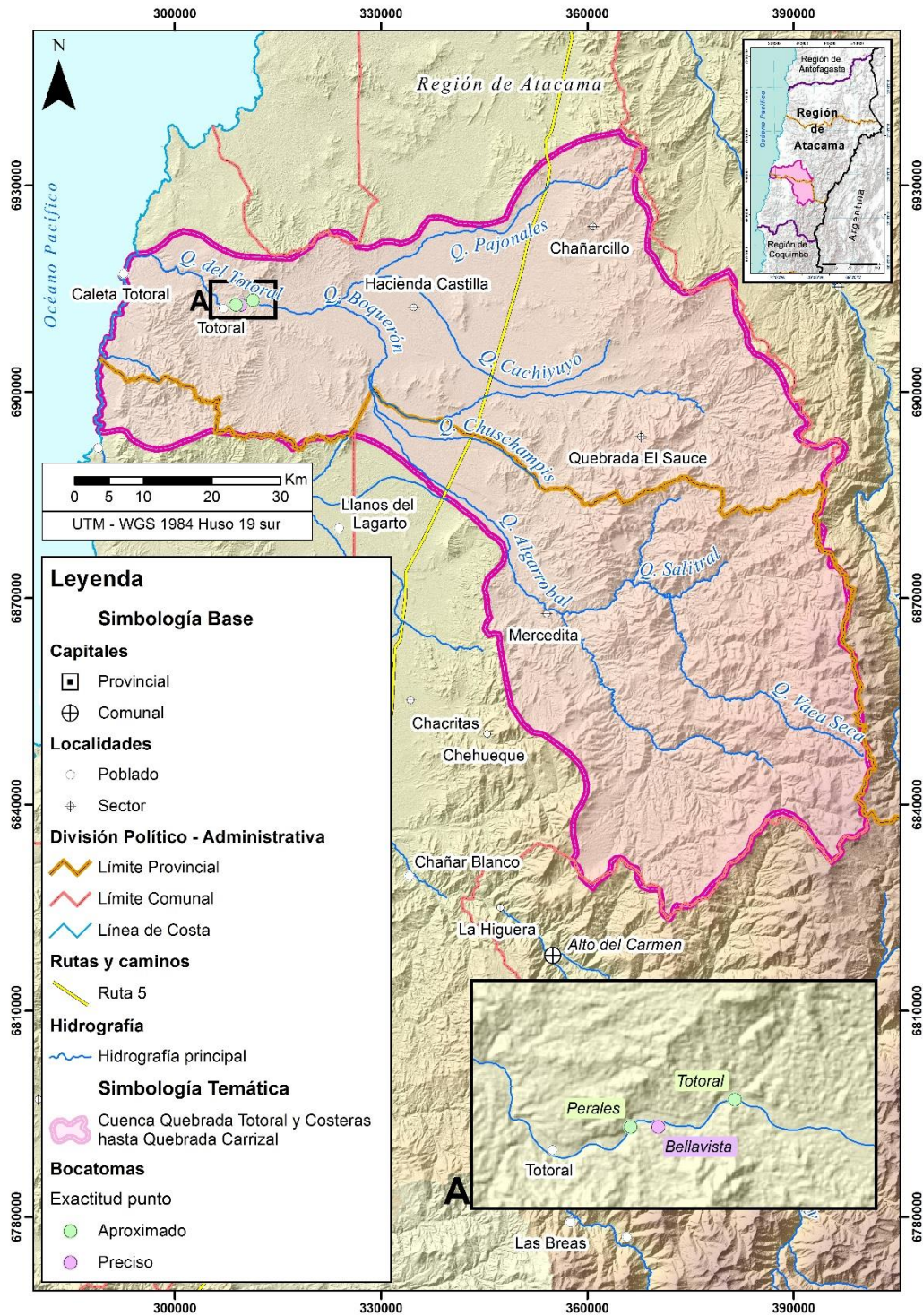
Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA-DGA.

En consecuencia, se recomienda instalar al menos 4 nuevas estaciones de niveles de pozos en el único sector donde existe el cuerpo acuífero, correspondiente al SHAC Totoral Alto. El detalle de la ubicación se presenta en la Figura 2-31.

Para calidad de aguas subterránea, se recomienda considerar al menos una de las estaciones nuevas como estación de calidad de aguas, en la ubicación ya presentada.

2.4.4 Riego

De acuerdo a lo recopilado en actividades PAC, en el territorio existe algún tipo de infraestructura de riego, en la forma de 3 canales, según se muestra en la Tabla 2-28. La ubicación de la bocatoma de estos sistemas se presenta en la Figura 2-32. Se hace notar que en el CPA (Catastro Público de Aguas), no aparece el caudal asignado, y solo el número de acciones. Tampoco se dispone de información relacionada con el desarrollo de los canales. Se determinó que INDAP ha financiado el mejoramiento de algunos de estos canales, junto con la construcción de otras obras, pero no fue posible obtener la información.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-32: Ubicación Sistemas de Riego en el Territorio

Tabla 2-28: Antecedentes disponibles de Canales

| Expediente | Canal | Fecha Ingreso | Fecha Aprobación | Acciones |
|-------------------|--------------|----------------------|-------------------------|-----------------|
| NC-0302-84 | Bellavista | 05-05-1997 | 30-01-1998 | 144 |
| NC-0302-91 | Totoral | 05-05-1997 | 08-02-1999 | 1.200 |
| NC-0302-92 | Perales | 05-05-1997 | 08-02-1999 | 504 |

Fuente: Elaboración propia con antecedentes CPA-DGA.

2.5 Nuevas fuentes existentes

En este acápite se presentan posibles nuevas fuentes de abastecimiento de agua para el territorio, como es la cosecha de nubes, la desalinización y el uso de aguas servidas tratadas.

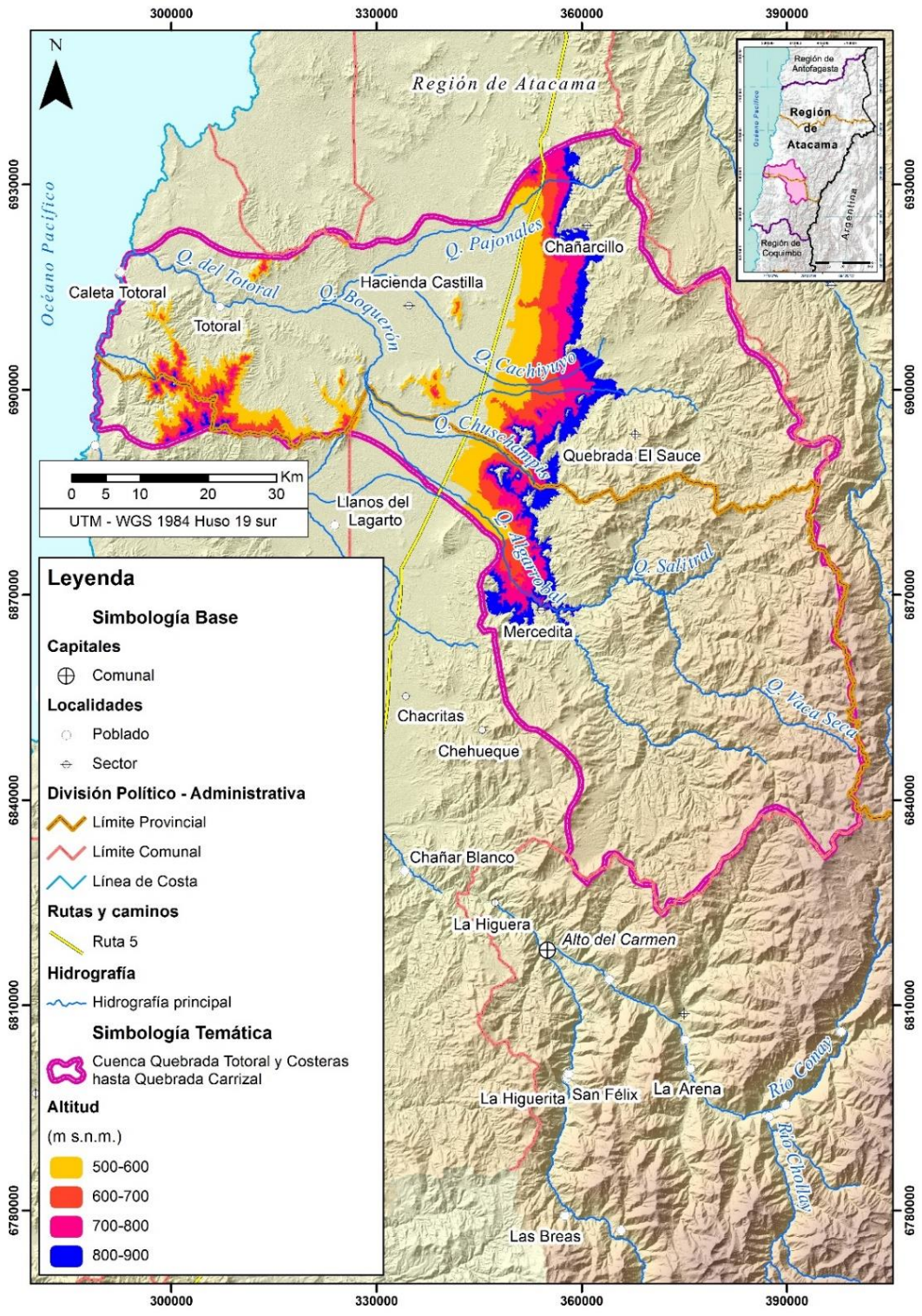
2.5.1 Cosecha de Nubes

Una alternativa no tradicional para obtener agua en bajas cantidades es la llamada cosecha de nubes, que consiste en extraer agua desde la humedad existente en la forma de nube o neblina. Según lo propuesto por Cereceda (2014) para el Norte Chico, existen condiciones geográficas cruciales para la presencia de niebla costera y de instrumentos que permitan aprovechar este fenómeno. Las variables son:

1. Altitud: 500 m s.n.m.-900 m s.n.m., mostrada en la Figura 2-33
2. Pendiente: 0°-30°, según se muestra en la Figura 2-34
3. Orientación de laderas: 180°-360°, que se observa en la Figura 2-35
4. Distancia de la línea de costa: Se analizó el territorio en una distancia no mayor a 40 km). Mostrada en la Figura 2-36 en franjas de 10 km

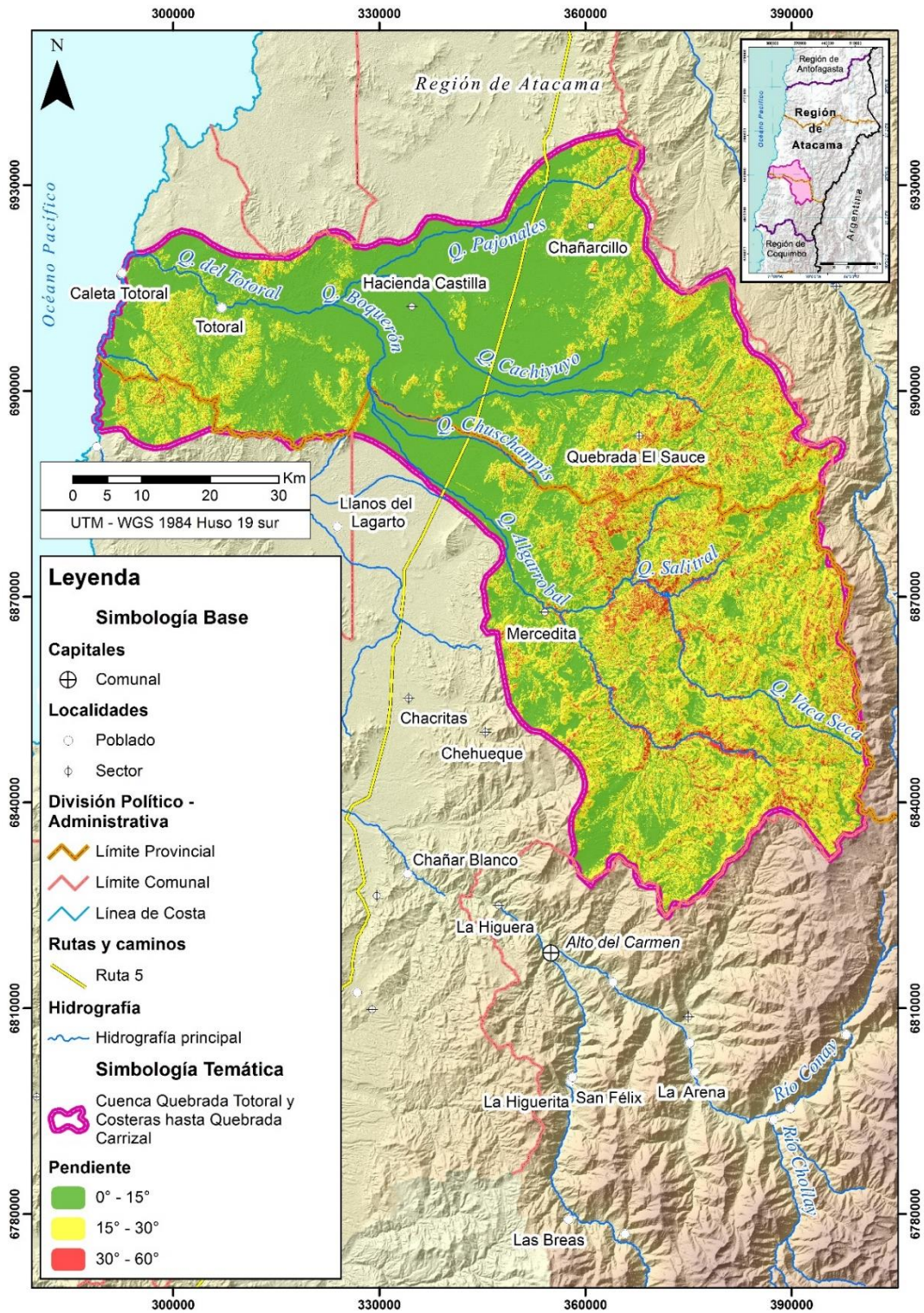
También existe una quinta variable que consiste en identificar la presencia de nubes en el área donde se quiere realizar la cosecha de niebla, la cual requiere además de un trabajo de gabinete, y mediciones en terreno, en lo que se relaciona a la capacidad de generación de humedad.

Las áreas donde se intersectan las variables presentan mejor potencial para la cosecha de niebla o nubes si son cercanas a la línea de costa. De esta forma, las zonas cercanas a Caleta Totoral están en promedio a 4 km de distancia, tal como se muestran en la Figura 2-37.



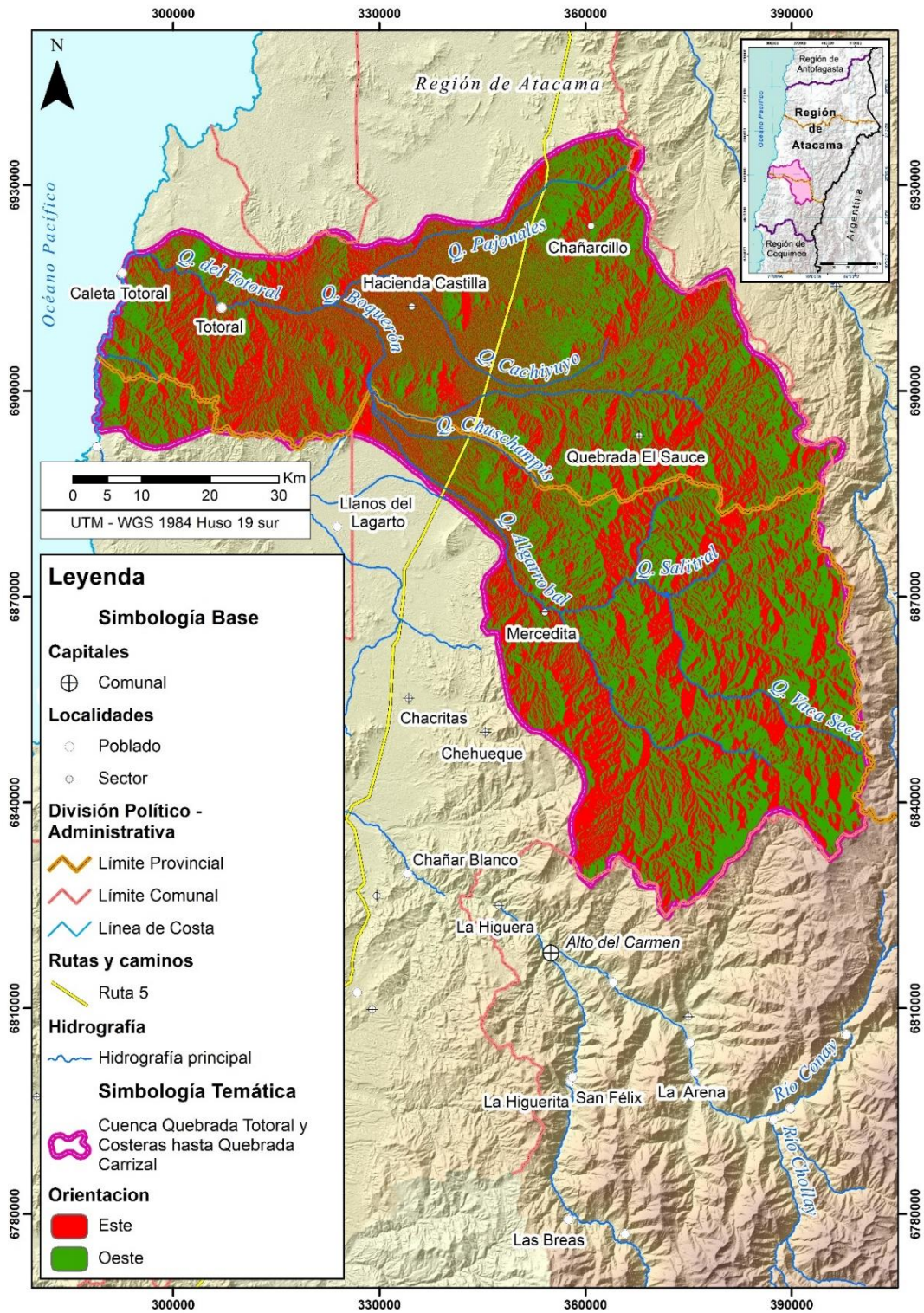
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-33: Franjas de Altitud



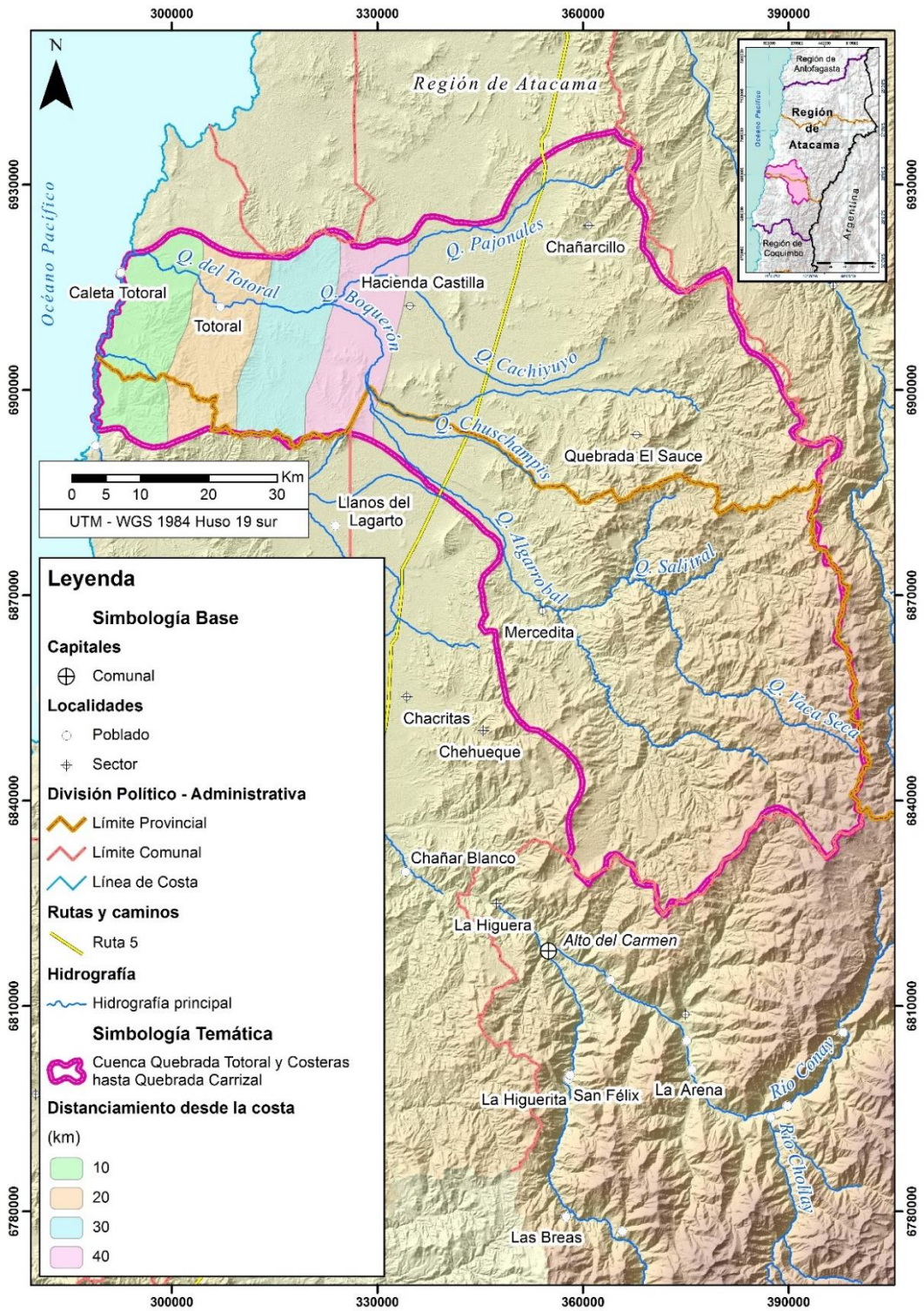
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-34: Clasificación de pendientes



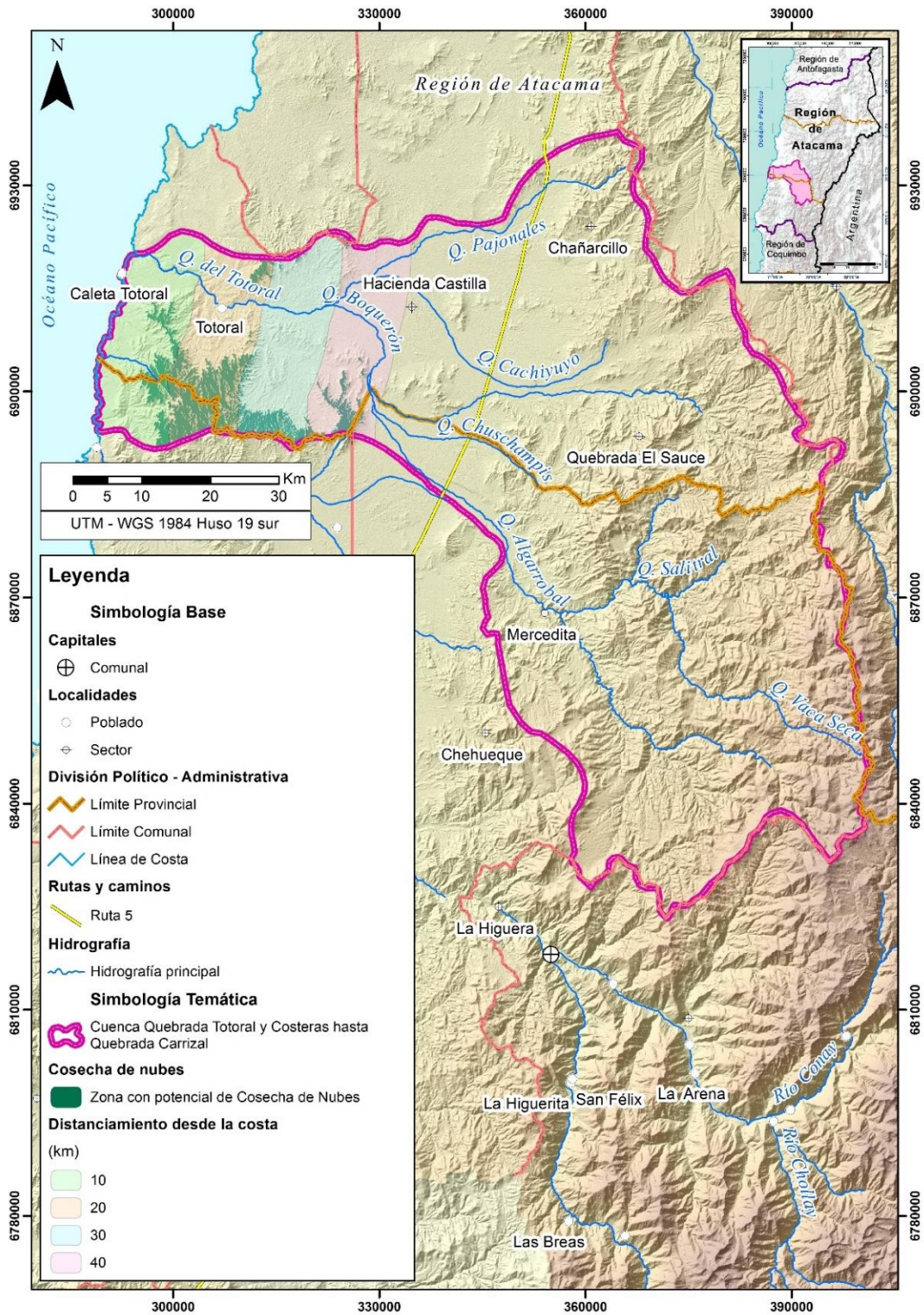
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-35: Clasificación de orientación del territorio



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-36: Zonas identificadas desde la costa



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-37: Territorios con potencial para cosecha de nubes

Las otras zonas de intersección de variables se encuentran muy lejos de algún poblado o muy distantes de la línea de costa, por lo que se estima que geográficamente no es factible el uso de esta fuente de agua, aunque se debería realizar estudios específicos en el territorio antes de descartar completamente este tipo de solución de abastecimiento.

Se hace notar que no se identificaron proyectos de cosecha de nubes en el territorio.

2.5.2 Desalinización

Se identificaron 11 plantas desalinizadoras de agua de mar en operación, construcción o factibilidad en la Región de Atacama, pero ninguna ubicada en el territorio, o con suministro de agua al territorio.

Adicionalmente se identificaron proyectos que en la actualidad se encuentran rechazados en el SEA, que captando aguas en la cuenca, la llevan fuera de ella. Lo anterior hace ver que este tipo de proyectos podrían ser repensados de modo que generen una interacción hídrica con el territorio, entregando agua al menos para los sistemas de SSR existentes o posibles.

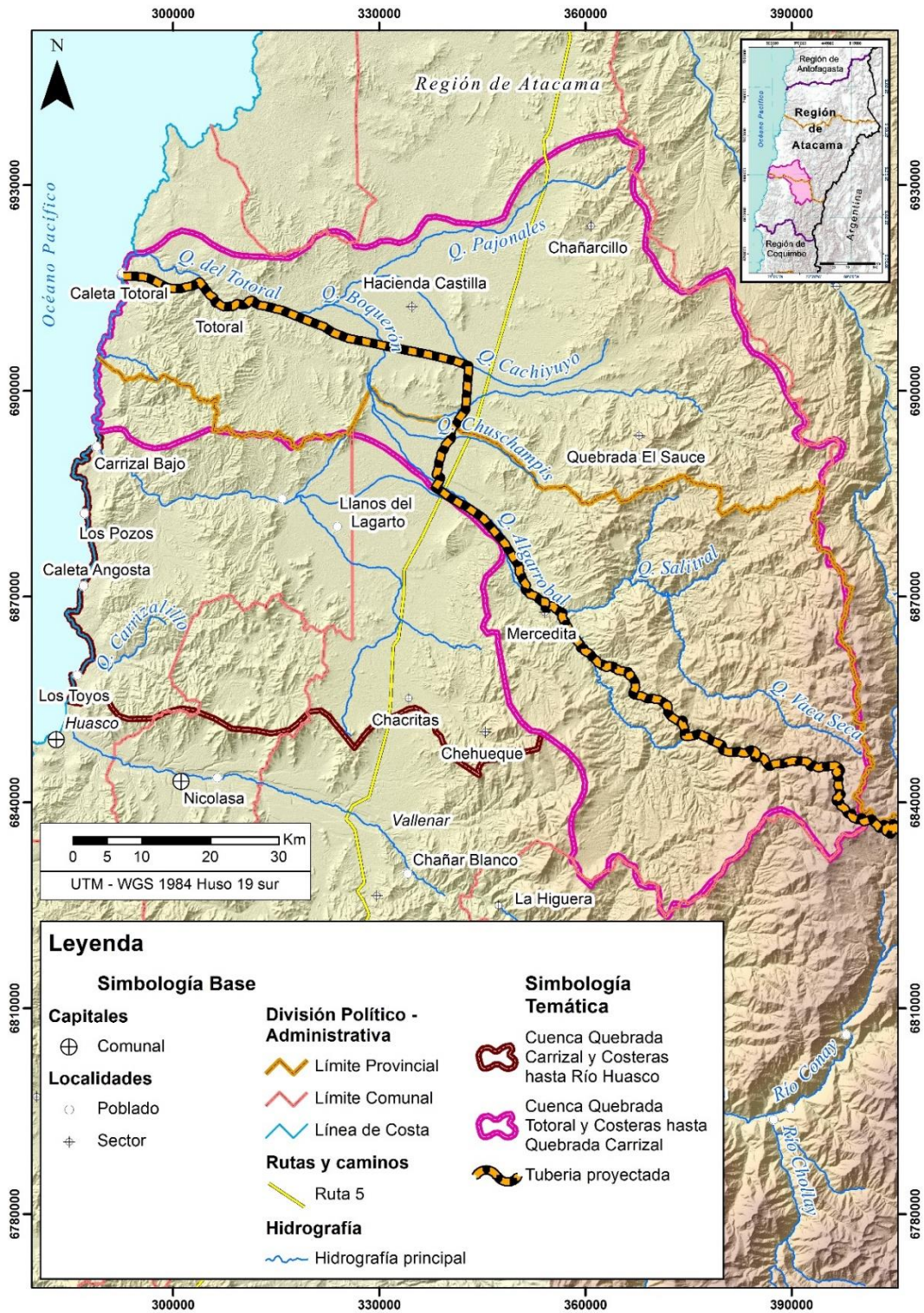
A modo de ejemplo, en la Figura 2-38 se muestra el desarrollo de la tubería del proyecto minero El Morro (SCMEM, 2008), que fue diseñado para captar hasta 740 l/s, requiriéndose para la faena minera 640 l/s, es decir hay 100 l/s de excedente. A modo referencial, para llevar el agua a Totoral se requiere menos de 1 km de tubería.

Se hace notar que el proyecto El Morro tiene una RCA rechazada en relación a la Consulta Indígena, pero de acuerdo a lo identificado en información de prensa, continúa en desarrollo.

El objetivo de analizar a nivel de idea este tipo de solución es que es la única forma real de incrementar la disponibilidad hídrica en la cuenca, aunque una solución de este tipo involucra costos importantes de energía, además de impactos ambientales en el litoral.

Con este tipo de solución, por ejemplo, se podría reducir o eliminar el agua de la cuenca usada en minería, riego industrial, o incluso agua potable, ya que el agua disponible en la cuenca requiere tratamiento previo a su uso.

Por último, se hace notar que la implementación de una solución de este tipo requeriría una importante interacción público-privada, además de considerarse la inclusión de actores ubicados fuera de la cuenca.



Fuente: Elaboración propia usando EIA El Morro (SCMEM, 2008).

Figura 2-38: Proyecto Minero El Morro

2.5.3 Uso aguas servidas tratadas

Se identificó que como parte del Programa de Riego Intrapredial (PRI) del INDAP, es posible desarrollar iniciativas de reúso de aguas grises para riego de algunos cultivos permitidos. En todo caso, no se identificó este tipo de solución aplicada en el territorio, pero su implementación es parte de este PEGH.

2.6 Gobernanza del Agua a Nivel de Cuenca

En este acápite se presenta el desarrollo del mapa de actores y las brechas de coordinación e información identificadas. Además, se presenta una síntesis de los temas que se pudieron levantar en las reuniones de presentación, talleres intermedios y reuniones finales.

2.6.1 Mapa de Actores

A continuación, se presenta el apartado correspondiente al mapa de actores relevantes en el tema hídrico en el área de estudio. En este se identifican cuáles son los actores relevantes y la disposición e influencia de estos con el estudio y las relaciones que estos actores mantienen entre ellos.

Se consideró el siguiente objetivo para el Mapa de Actores:

- ♦ Identificar a los actores sociales e institucionales, públicos, privados y comunitarios de interés en el marco del desarrollo e implementación del estudio Plan Estratégico de Gestión Hídrica.

Se fundamenta esta elección en que la herramienta/técnica del mapa de actores permite conocer el grado de apoyo o no apoyo de una determinada iniciativa por parte de los actores de un territorio, permitiendo generar acciones que permitan modificar o cambiar dicha situación detectada. En esa misma dirección, el presente mapeo de actores se constituye en la base para el mapeo de actores de la cuenca que permitirá la futura implementación del PEGH.

2.6.1.1 El Mapa de Actores

El Mapa de Actores que se presenta a continuación en la Figura 2-39, fue elaborado a partir de cuatro criterios que permitieron identificar en 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 Anexo I, 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 Anexo I, 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 presentes en el territorio y sus relaciones. El detalle de las minutas se encuentra en el Anexo I, Capítulo 8.

Es por lo anterior, que el Mapa de Actores tiene por objetivo graficar aquello que se desprende explícita 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 propuestas 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:

Acrónimos

- ASCAN Asociaciones de Canalistas **
- CBR Conservador de Bienes Raíces **
- CGR Contraloría General de la República **
- CIREN Centro de Información de Recursos Naturales **
- CNE Comisión Nacional de Energía **
- CNR Comisión Nacional de Riego

-
- COD Comunidades de Obras de Drenaje **
 - CONADI Corporación Nacional de Desarrollo Indígena *
 - COMAG Comunidades de Aguas
 - CONAF Corporación Nacional Forestal
 - DDU División de Desarrollo Urbano **
 - DGA Dirección General de Aguas
 - DGOP Dirección General de Obras Públicas
 - DIFROL Dirección Nacional de Fronteras y Límites del Estado **
 - DIPROREN Dirección de Protección de los Recursos Naturales
 - DMC Dirección Meteorológica de Chile **
 - DOH Dirección de Obras Hidráulicas
 - Fiscalía Fiscalía **
 - GORE Gobierno Regional *
 - INDAP Instituto de Desarrollo Agropecuario
 - INH Instituto Nacional de Hidráulica de Chile **
 - ISP Instituto de Salud Pública **
 - JdV Juntas de Vigilancia **
 - J.J.V.V. Juntas de Vecinos
 - MINVU Ministerio de Vivienda y Urbanismo
 - MMA Ministerio de Medio Ambiente
 - ONEMI Oficina Nacional de Emergencias
 - PJ Poder Judicial *
 - SAG Servicio Agrícola y Ganadero
 - SEA Servicio de Evaluación Ambiental *
 - SEREMIA MOP Ministerio de Obras Públicas
 - SERNAGEOMIN Servicio Nacional de Geología y Minería
 - SERNAPESCA Servicio Nacional de Pesca **
 - SERVIU Servicio de Vivienda y Urbanismo
 - SISS Superintendencia de Servicios Sanitarios
 - SMA Superintendencia del Medio Ambiente
 - SSR (ex APR) Servicios Sanitarios Rurales (ex Agua Potable Rural)
 - SUBPESCA Subsecretaría de Pesca y Acuicultura **
 - 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

En el Mapa de Actores de la Figura 2-39, 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.

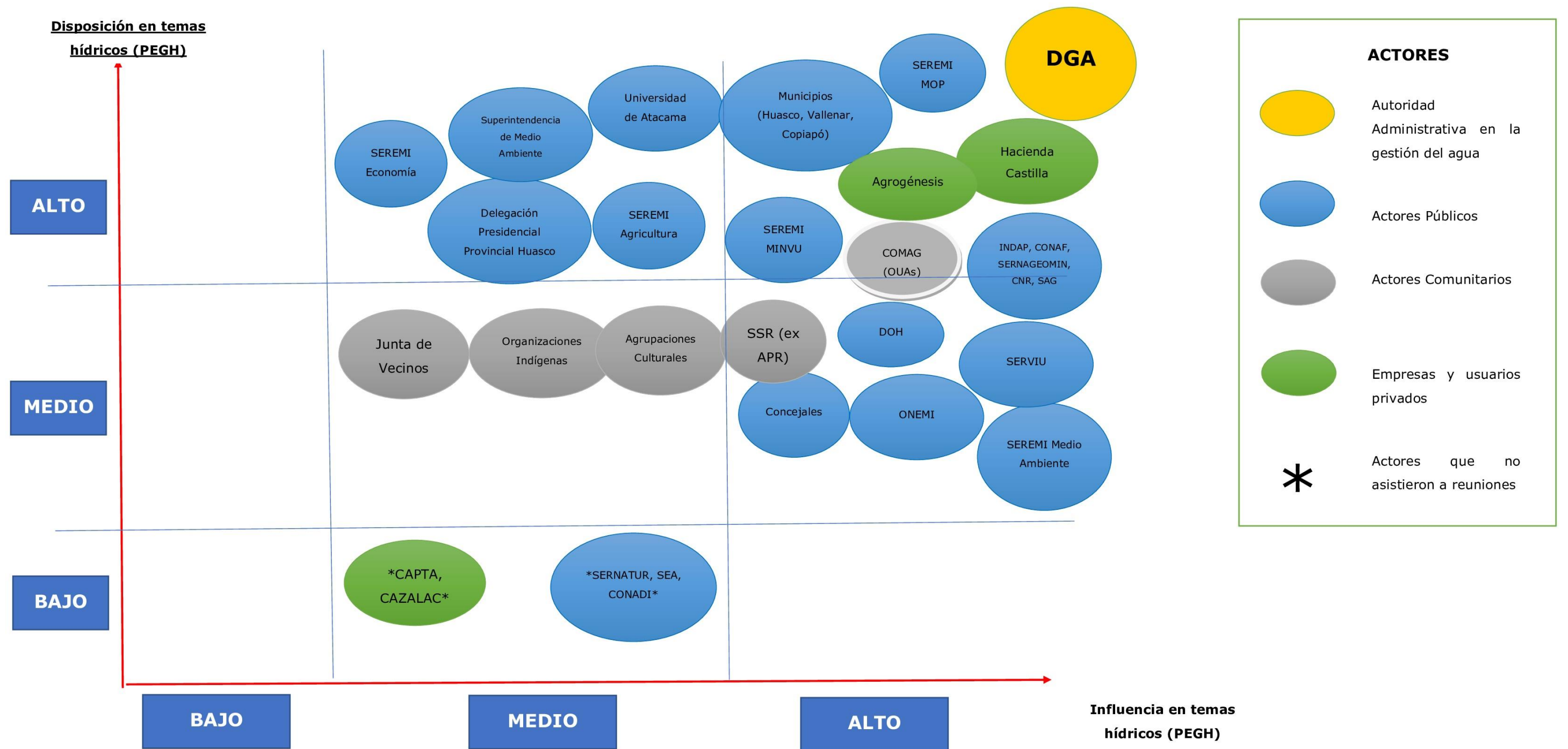
La DOH también es un actor considerado con una alta influencia, ya que se espera que realice un trabajo colaborativo directo con la DGA, entendiendo sus funciones en relación con los SSR (ex APR). En el desarrollo del presente estudio tuvo una mediana disposición.

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 (Husco, 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 Anexo I, 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.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-39: Mapa de Actores (Disposición/Influencia)

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/sociedades agrícolas como Hacienda Castilla y Agrogénesis. Por la importancia en la propiedad de los derechos de agua y la extensión de su propiedad en la cuenca, ellos están considerados con alto grado de influencia. Asimismo, la disposición hacia el estudio fue alta, ya que aportaron información, participaron en las reuniones PAC y en las entrevistas solicitadas.

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.

2.6.1.2 Relaciones entre Actores

Para avanzar en el análisis de los actores, en la Figura 2-40, se representa la dinámica de relación entre algunos actores sociales e institucionales, públicos y privados que son susceptibles de interés para el estudio en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal. 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.

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 general¹. Esto se ve reflejado en los relatos de los asistentes, ya

¹La 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 planteado con anterioridad a la DGA. Un ejemplo de dicha relación conflictiva es que, en la localidad de Canto de Agua, los dirigentes enviaron un listado de problemas no abordados por la

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.

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.

2.6.2 Síntesis de Reuniones PAC

2.6.2.1 Reuniones de Presentación

Las reuniones de presentación realizadas fueron siete (7) y dos (2) reuniones fueron suspendidas y/o reprogramadas. Por el COVID-19 la mayoría de las reuniones de presentación se realizaron de forma virtual, excepto la reunión con Comunidad de Canto de Agua.

A partir de las reuniones de presentación y de los temas abordados en estas, se pudieron identificar las principales problemáticas que afectan a las distintas localidades. En la Tabla 2-29 se indica el nombre de la problemática y su descripción.

Tabla 2-29: Problemáticas y su descripción

| Problemática | Descripción |
|---|---|
| Descontrol con la llegada de población flotante en periodos estivales | Se manifiesta un aumento de la población que utiliza el recurso hídrico en los periodos de veraneo, aumentando la demanda. |
| Precaria planificación en el crecimiento urbano de las localidades | Actualmente la población fija de las localidades del área de estudio ha aumentado considerablemente por la instalación de nuevas tomas de terreno. |
| Insuficiente acceso y calidad de la conectividad a internet | Mala o nula conexión a internet en algunas localidades del área de estudio, principalmente en Canto de Agua, Llanos del Lagarto, Los Toyos y Los Pozos, lo que limita el acceso a información disponible de recursos hídricos y coordinación/comunicación con instituciones relacionadas al problema (DGA, DOH, INDAP, CNR, otras). |
| Baja oferta de capacitación y asesoramiento en materia de recursos hídricos | Los/as dirigentes señalan la necesidad de poder recibir más cursos de capacitación que permita optimizar la forma de riego y en general el uso del recurso hídrico. |
| Alta dependencia del sistema de distribución por camiones aljibe | Gran parte de los vecinos y vecinas se abastece bajo el sistema de distribución pública dado por la municipalidad y otros con la compra bajo un sistema privado; ambas distribuciones a través de camiones aljibes. |
| Deficiente gestión en el manejo de los recursos hídricos | Existe una percepción de una inadecuada gestión de los recursos hídricos por parte de la institucionalidad pública y también una mala gestión de la comunidad en el uso del recurso público. |

| Problemática | Descripción |
|--|--|
| Limitado acceso a la información sobre recursos hídricos | Al no tener un buen acceso a internet, los vecinos manifiestan la imposibilidad de solicitar información a través del conducto regular (ley de transparencia), al igual que la dificultad para movilizarse hasta la Municipalidad. |
| Baja disponibilidad de nuevas fuentes de agua | No hay alternativas seguras, solo posibilidades que requieren mayores estudios: desalinización, cosecha de nubes, reúso de aguas grises y negras. |
| Insuficiente infraestructura hídrica | La actual infraestructura hídrica pública o comunitaria, que son canales, SSRs y otros, es insuficiente. El abastecimiento desde norias u otras fuentes está sujeto a problemas de contaminación. |
| Escasa disponibilidad de derechos de agua | En la localidad de Totoral y Canto de Agua se indica la imposibilidad de acceder a derechos de agua por parte de la comunidad. |
| Precaria planificación del uso del suelo rural | Aumento progresivo de las parcelas de "agrado". |
| Baja fiscalización en el uso de los derechos de agua | Se manifiesta una ausencia de fiscalización por parte de la DGA en las localidades del área de estudio, esto debido a la también ausencia de denuncias por parte de los vecinos y vecinas (lo que se complejiza por las limitaciones de comunicación). |
| Baja cobertura de los sistemas APR | En el territorio, el sistema de APR no alcanza a cubrir la demanda de población. |

Fuente: Elaboración propia.

2.6.2.2 Reuniones Intermedias (talleres)

Los talleres intermedios realizados fueron 4. Por el COVID-19 dos talleres se realizaron de forma virtual y dos en forma presencial.

El detalle de las Reuniones Intermedias (talleres) se encuentra en el Anexo I, Acápite 5.4

Para complementar esta información, en los talleres intermedios se llevó a cabo una actividad participativa bajo la utilización del programa Mentimeter² (en los talleres online) y papelógrafo (en talleres presenciales), que permitió priorizar estas problemáticas para saber cuáles eran las que más afectaban a la comunidad y agregar

² Mentimeter es una página web gratuita que ofrece diversos recursos para realizar actividades interactivas mediante reuniones de ZOOM o presenciales, con el objetivo de organizar gráficamente ideas, sugerencias y/o comentarios y compartirlos con los demás participantes de forma sencilla y participativa. Además, estas actividades se realizan en tiempo real, motivando aún más la interacción de la comunidad con el proyecto y sus responsables.

otros problemas que los mismos actores consideraban relevantes y que no se habían identificado hasta ahora. El detalle de las actividades con programa Mentimeter se encuentra en el Anexo I, Capítulo 8.

En la Tabla 2-30 se señalan las problemáticas identificadas en base a las veces que fueron mencionadas en cada taller y el total de menciones en el total de talleres. Y es posible identificar que la problemática que tuvo mayores menciones en el total de talleres es el *"Descontrol por llegada de población flotante en periodo estival"*, obteniendo 13 menciones que en su mayoría destacaron en los talleres con Servicios Públicos, Autoridades, académicos y privados, y en la comunidad de Canto de Agua. Luego, con 12 menciones se identifica la *"Precaria planificación en crecimiento urbano de las localidades"*, que fue mencionada principalmente en los talleres con Servicios Públicos, más no así en los talleres con las comunidades. De igual forma, con 11 menciones se reconoce el *"Deterioro ambiental en las fuentes de agua"*, que es mencionado en el total de los talleres, sobre todo en el taller con Servicios Públicos, Autoridades, académicos y privados.

Tabla 2-30: Resultados Priorización de problemáticas

| Problemática | Total |
|---|--------------|
| Insuficiente conectividad (Internet) para interactuar con DGA, DOH, CNR y otros | 5 |
| Baja disponibilidad de nuevas fuentes de agua | 6 |
| Precaria planificación en crecimiento urbano de localidades | 12 |
| Insuficiente infraestructura hídrica | 4 |
| Deterioro ambiental en fuentes de agua | 11 |
| Descontrol por llegada de población flotante en periodo estival | 13 |
| Baja oferta de capacitación y asesoría en materia de recursos hídricos | 3 |
| Baja disponibilidad de DAA | 3 |
| Precaria planificación de uso de suelo rural | 8 |
| Baja fiscalización en uso de DAA | 8 |
| Alta cantidad de pozos ilegales | 10 |
| Baja cobertura de sistemas APR | 5 |
| Alta dependencia del sistema de distribución de agua pública (camión aljibe) y privada (compra) | 1 |
| Deficiente gestión de recursos hídricos | 7 |
| Limitado acceso a información sobre recursos hídricos | 2 |

Fuente: Elaboración propia.

Otras problemáticas importantes de destacar son: Insuficiente conectividad (internet) para interactuar con DGA, DOH, CNR y otros; Baja disposición de nuevas fuentes de agua; Insuficiente infraestructura hídrica; Baja fiscalización en el uso de DDA; Precaria planificación de uso de suelo rural; Deficiente gestión manejo de recursos hídricos; Baja cobertura de sistemas APR; y Alta cantidad de pozos ilegales, que fueron las más mencionadas en los talleres con comunidades.

Se debe destacar que los problemas no son necesariamente independientes entre ellos, sino que en algunos casos es el mismo problema visto desde diferentes ángulos, o que hay problemas que se encuentran en diferentes ámbitos, pero que fueron catalogados en un tipo de problema (siendo que perfectamente podrían haber sido incluidos en otros).

2.6.2.3 Problemáticas adicionales

En las actividades de participación ciudadana en los talleres PAC, se pudo profundizar en las problemáticas mencionadas por los actores relevantes que participaron de estas instancias, al incluir la opinión de los participantes. En la Tabla 2-31 se enumeran las problemáticas que adicionalmente se identificaron en los talleres.

Tabla 2-31: Problemáticas adicionales identificadas

| N° | Nombre del problema |
|-----------|--|
| 1 | Bajo control de calidad del agua |
| 2 | Proliferación de micro basurales |
| 3 | Baja posibilidad de traspaso de terrenos privados en sectores de vegas o humedales a algún ente público interesado |
| 4 | Poca 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) |
| 5 | Uso de agua no regulado ni cuantificado, amparado en el artículo 56 del Código de Aguas para uso doméstico y de subsistencia |
| 6 | Preocupación por ocupación de la Vega del sector por parte de privados (Comunidad de Canto de Agua) |
| 7 | Inexistencia de financiamiento con subsidios CNR o INDAP a pozos que no tienen regularizados sus derechos de aprovechamiento |
| 8 | Inexistencia de sistemas de monitoreo hidrogeológico |
| 9 | 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 |
| 10 | Baja cobertura y apoyo de servicios públicos en localidades rurales |
| 11 | Crecimiento sin regulación de parcelas de agrado |
| 12 | Baja coordinación de la gestión hídrica, entre públicos y privados, considerando la presencia de santuarios de la naturaleza |
| 13 | Impacto negativo de la minería a gran escala aguas arriba de la cuenca |

| N° | Nombre del problema |
|-----------|---|
| 14 | Baja prioridad política para implementar programas y planes de intervención y mejoramiento en comunidades rurales |
| 15 | Insatisfacción por el decreto de restricción que divide la cuenca en Totoral alto y bajo |
| 16 | Inadecuada ubicación de lo SSR (Distribución SSR) |
| 17 | Aumento de parcelas de agrado en humedal que lo dañan |
| 18 | Falta de comunicación con CNR e INDAP |
| 19 | Falta de cohesión institucional (Coordinación de organizaciones públicas) |
| 20 | Desprotección fuentes de agua en alta cordillera |

Fuente: Elaboración propia.

2.6.2.4 Reuniones Finales

Las reuniones finales realizadas fueron cinco. Por el COVID-19, tres talleres se realizaron de forma virtual y dos en forma presencial. En la Tabla 2-32 se señalan los principales temas planteados por los asistentes a las distintas reuniones. El detalle de las reuniones finales se encuentra en el Anexo I, Acápito 5.4 y las minutas de las reuniones realizadas se encuentran en Anexo I, Apéndice 8.

Tabla 2-32: Reuniones Finales

| Nombre reunión | Fecha | Temas Relevantes |
|---|--------------|--|
| Reunión Final con Funcionarios Públicos, Municipales, Autoridades y Universidades | 11-05-2022 | <ul style="list-style-type: none"> ♦ Se destaca la importancia del monitoreo, seguimiento y/o evaluación del plan, enfatizando en la necesidad de especificar responsabilidades profesionales e institucionales. ♦ Se expresa preocupación por propuesta relativa a desalación por ser considerada una opción costosa y poco sustentable, aludiendo a la recuperación de aguas grises como propuesta más idónea. ♦ Se subraya la propuesta relativa a fomentar nuevas comunidades de agua subterránea. ♦ Se alude a la importancia de las iniciativas relativas el mejoramiento de SSR en razón de las demandas de la comunidad. ♦ Se comenta que la región debe ser incluida en la red hidrometereológica nacional para combatir los problemas de falta de información. ♦ Se expresa la disponibilidad de INIA para participar de manera más activa en el plan. |

| Nombre reunión | Fecha | Temas Relevantes |
|---|------------|--|
| Reunión Final con Actores Privados (Agrogénesis, Hacienda Castilla, Mina Los Colorados) | 11-05-2022 | <ul style="list-style-type: none"> ♦ Se releva que los resultados del estudio muestran que no es sustentable que los derechos de agua sean utilizados en su totalidad, sólo puede usarse el 11% de estos. ♦ Se expresa la preocupación respecto a los cambios del Código de Aguas. ♦ Se afirma 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. |
| Reunión Final con Comunidad Totoral | 13-05-2022 | <ul style="list-style-type: none"> ♦ 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 consejos 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.

2.6.3 Brechas de coordinación

Se identifican las siguientes brechas:

-
- 1. Coordinación DOH y DGA:** Se ha podido identificar una brecha de coordinación entre las instituciones DOH y DGA al momento de realizar la retroalimentación y aporte de sugerencias e ideas al Plan Estratégico. Se reconoce que la DOH no ha podido identificar ni propiciar alguna sugerencia, aporte e idea para incorporar en el Plan, que sea de su interés. Al consultarles por aquello, manifiestan que deberían interiorizarse más con el proyecto y leer los Términos de Referencia para poder realizar algún aporte. También se reconoce que ciertos cargos en la DOH han sido asumidos recientemente, por lo que no se manejaría por completo la información sobre Servicios Sanitarios Rurales, Usuarios de Agua, entre otros, lo que imposibilita la identificación de ideas y sugerencias para incorporar en el Plan.
 - 2. Coordinación DGA y CONADI:** Se reconoce una falta de comunicación entre DGA y CONADI, ante la ausencia de un trabajo colaborativo o en conjunto entre ambas instituciones y entre estas y las comunidades indígenas. Al llevar a cabo una solicitud por parte de la comunidad indígena Totoral-Perales, la consultora ha tenido que ser el canal de comunicación entre la DGA y CONADI, para poder entregarle asesoramiento a la comunidad indígena y así postular a derechos de agua.

No se identificaron brechas de coordinación entre los organismos públicos y los privados.

2.6.4 Brechas de información

Se identifican las siguientes brechas:

- 1. Baja densidad de estaciones meteorológicas:** Dentro del área que abarca el proyecto, existen dos estaciones meteorológicas: Canto de Agua y El Totoral, donde sólo la primera registra pluviometría y temperatura, mientras que la otra sólo pluviometría. Se detecta una densidad de 4.180 km²/estación, lo cual se aleja del mínimo recomendado (OMM, 2008). Esta brecha no supone un problema grave ya que es posible subsanarla en base a la información de los registros de estaciones meteorológicas fuera de la cuenca (cuencas del Río Huasco y Río Copiapó) y así obtener un comportamiento meteorológico regional que se puede interpolar hacia las cuencas del proyecto.
- 2. Inexistencia de estaciones fluviométricas:** Dentro de la cuencas no existe información fluviométrica de ningún tipo (estaciones registradoras o aforos), lo

que impide poder contrastar los resultados de la modelación hidrológica con información que dé cuenta de la evolución histórica de los flujos superficiales. Esta brecha se sugiere abordarla en las bases técnicas del proyecto a partir de la información proveniente de las simulaciones hidrológicas en régimen natural del modelo VIC (DGA, 2018a), sin embargo, estas sobrestiman el caudal superficial ya que imponen altos flujos base, lo cual es contrario al comportamiento (flujos esporádicos activados por lluvias invernales) que reporta la hidrografía del área.

- 3. Poca Claridad en la Información de Derechos de Aguas:** Un elemento fundamental para una planificación del uso de los recursos hídricos es conocer su cantidad, calidad y disponibilidad legal. En este último punto se detectó una falencia importante en cuanto a claridad de información, lo que también debe resolverse en forma prioritaria, en la forma de un análisis detallado de la información contenida en el CPA. También muchos de los derechos no están referenciados con coordenadas UTM, por lo que se requiere también incluir un trabajo con la medición de las coordenadas de todos los derechos en forma precisa con GPS geodésico.
- 4. Falta Catastro de Infraestructura Hídrica en la Cuenca:** Se requiere realizar un catastro completo de la infraestructura hídrica existente en la cuenca, la que debe estar georeferenciada con GPS geodésico, tal como los derechos de aguas, de modo que se sepa exactamente dónde se ubican. A modo de ejemplo, en el inventario público de obras menores de la DGA, actualizado a Noviembre 2018, no hay obras en este territorio.
- 5. Monitoreo continuo de niveles:** Como una manera de mejorar el conocimiento del sistema, se propone la instalación de medidores continuos de nivel, de modo de tener mas información para la caracterización de lo que ocurre con los recursos hídricos en el territorio.
- 6. Falta de monitoreo de extracciones efectivas de agua subterránea:** Actualmente, existen 12 obras de captación de agua subterránea dentro del área de estudio que deben reportar sus monitoreos de extracciones efectivas³ en consideración a los estándares y plazos establecidos en las Resoluciones D.G.A.

³ <https://snia.mop.gob.cl/observatorio/>

Región de Atacama (Exenta) N°892 y N°898, de 29 y 30 de diciembre de 2020, respectivamente. Sin embargo, al día de hoy la inspección fiscal informa que no existen estos registros. Para corregir este tipo de brecha de información es necesario hacer supuestos sobre la extracción efectiva histórica de los derechos de agua en base a factores de uso previsible, lo que puede llevar a subestimar o sobrestimar las recargas al acuífero de manera considerable.

- 7. Falta de información de suelos:** Dado que en la cuenca la actividad agropecuaria es de subsistencia, no se han efectuado estudios específicos del tema, lo que impide tener este tipo de información, trabajándose con información más bien genérica, y extrapolada al territorio.

3 DEMANDA FÍSICA Y LEGAL DIFERENTES USOS

A continuación se abordan las principales demandas identificadas en el territorio.

3.1 Uso humano

3.1.1 AP Urbana, histórica y proyectada

Tal como se indicó en el Acápite 2.4.1, en el territorio no hay usuarios de agua potable urbana, por lo que la demanda de este tipo es nula.

3.1.2 AP Rural, histórica y proyectada

Tal como se indicó en el acápite 2.4.2, existe 1 SSR en el territorio. En la Tabla 3-1 se resume la información disponible: tipo sistema, beneficiarios 2001 y tasa de crecimiento. Para Totoral se usó la información contenida en el estudio DGA-DOH (2019). Para proyectar la demanda a nivel de usuario, se considera una dotación de 100 l/hab/día. Los resultados de la proyección se muestran en la Tabla 3-2, los que se evalúan con la relación: $q = 1,5 P D$ (con q el caudal de diseño, P , la población; y D , la dotación). Se hace notar que en DIRPLAN (2001), donde se presentan las características del sistema, no se presenta la proyección de población.

Cabe destacar, que en la PAC se informó que existe una importante población flotante durante el verano y en otras ocasiones del año, y que en la actualidad el sistema no tiene capacidad de entregar agua a todos los usuarios no permanentes. Esto queda claro ya que el caudal máximo de producción es de 1,2 l/s, y por condiciones operativas, el sistema opera 12 h al día, es decir, en verano se requiere producir 2,6 l/s y en invierno 1,2 l/s: Se verifica entonces que en invierno el sistema está operando al límite y en verano, falta agua.

Tabla 3-1: Antecedentes Demandas de Agua Sistema Totoral

| Tipo | Arranques 2021 | Tasa de Crecimiento | |
|------|-------------------|---------------------|----------------|
| | | Valor | Fuente |
| SSR | 95 | 7,3 % | DGA-DOH (2019) |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-2: Demandas a Nivel de Usuario

| Año | Población | Caudal medio Máximo (l/s) | | Demanda (m ³ /año) |
|------|-----------|------------------------------|----------|-------------------------------|
| | | Verano | Invierno | |
| 2021 | 414 | 1,3 | 0,6 | 28.310,3 |
| 2022 | 415 | 1,3 | 0,6 | 28.407,3 |
| 2023 | 417 | 1,3 | 0,6 | 28.504,2 |
| 2024 | 418 | 1,3 | 0,6 | 28.601,2 |
| 2025 | 419 | 1,3 | 0,6 | 28.698,1 |
| 2026 | 421 | 1,3 | 0,6 | 28.795,1 |
| 2027 | 422 | 1,3 | 0,6 | 28.892,0 |
| 2028 | 424 | 1,3 | 0,6 | 28.989,0 |
| 2029 | 425 | 1,3 | 0,7 | 29.085,9 |
| 2030 | 426 | 1,3 | 0,7 | 29.182,9 |
| 2031 | 428 | 1,3 | 0,7 | 29.279,8 |
| 2032 | 429 | 1,3 | 0,7 | 29.376,8 |
| 2033 | 431 | 1,3 | 0,7 | 29.473,8 |
| 2034 | 432 | 1,3 | 0,7 | 29.570,7 |
| 2035 | 434 | 1,3 | 0,7 | 29.667,7 |
| 2036 | 435 | 1,3 | 0,7 | 29.764,6 |
| 2037 | 436 | 1,3 | 0,7 | 29.861,6 |
| 2038 | 438 | 1,3 | 0,7 | 29.958,5 |
| 2039 | 439 | 1,3 | 0,7 | 30.055,5 |
| 2040 | 441 | 1,3 | 0,7 | 30.152,4 |
| 2041 | 442 | 1,4 | 0,7 | 30.249,4 |
| 2042 | 443 | 1,4 | 0,7 | 30.346,3 |
| 2043 | 445 | 1,4 | 0,7 | 30.443,3 |
| 2044 | 446 | 1,4 | 0,7 | 30.540,2 |
| 2045 | 448 | 1,4 | 0,7 | 30.637,2 |
| 2046 | 449 | 1,4 | 0,7 | 30.734,1 |
| 2047 | 451 | 1,4 | 0,7 | 30.831,1 |
| 2048 | 452 | 1,4 | 0,7 | 30.928,0 |
| 2049 | 453 | 1,4 | 0,7 | 31.025,0 |
| 2050 | 455 | 1,4 | 0,7 | 31.122,0 |

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Necesidades mínimas ambientales

Aunque no se dispone de información específica para la cuenca, se emplea como una aproximación a esta demanda los valores del caudal ecológico, definido a través de la metodología indicada en DGA (2008).

De esta manera, utilizando las curvas de variación estacional sintéticas generadas en el acápite 5.3.1.1 más adelante, la actualización de los caudales ecológicos en 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 3-3.

Tabla 3-3: Necesidades mínimas ecológicas definidas como caudales ecológicos (l/s) en puntos de interés de la cuenca

| 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.

A pesar de que esta metodología es válida para todas las cuencas, los resultados del caudal ecológico para territorios hiperáridos y con flujos transitorios son demasiado restrictivos y no alcanzarían al objetivo de preservar los valores ecológicos en el cauce. Por lo tanto, se sugiere determinar los caudales ecológicos en la cuenca respondiendo a requerimientos sociales, ecológicos, estratégicos y de usuarios. En particular, para un caudal de requerimiento ecológico, el que busca mantener la ecología y biodiversidad del sistema, incluyendo no sólo la biota presente en el sistema, sino que la existencia de otros servicios, como los recreacionales, pesca, turismo, entre otros.

3.3 Demanda agrícola

Para evaluar la demanda agrícola, se consideró como fuente de información el estudio DGA (2017a), donde se aplicó la metodología descrita en el Anexo F, acápite 2.3.2, para determinar las demandas asociadas a cada cuenca. El método indicado es el que se encuentra programado en el modelo WEAP, y en el Anexo F se muestra en detalle.

Se hace notar que luego de examinar en profundidad el trabajo realizado, se determinó que las demandas se encuentran sobreestimadas ya que se extrapoló usando distribuciones de cultivo a nivel comunal, lo que implica trasponer información del valle de Copiapó y del valle del Huasco al territorio, sin considerar la verdadera superficie envuelta. Por lo anterior, se revisó la información a nivel de distrito censal (de los censos agropecuarios) y se determinó una mejor demanda, cuyo cálculo en detalle se presenta en el Anexo H, acápite 2.4.8, siguiendo la metodología del Anexo F. Los resultados

agregados a nivel anual se incluyen en la Tabla 3-4, los que muestran que las demandas de la cuenca son en realidad cerca de un 25% de la demanda estimada en el estudio DGA (2017a).

Tabla 3-4: Demandas de Riego (l/s)

| Año | Antecedentes estudio DGA (2017 ^a) | | | | | | | Corregida (hm ³) |
|------|---|----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|----------------|-------------|--------------------------|------------------------------|
| | Cultivos y Forrajes Anuales (l/s) | Forrajes Permanentes (l/s) | Hortalizas, Flores y Semillas (l/s) | Viñas y Parronales (l/s) | Frutales (l/s) | Total (l/s) | Total (hm ³) | |
| 2021 | 0,0 | 1,3 | 1,0 | 0,4 | 27,2 | 29,9 | 0,94 | 0,23 |
| 2030 | 0,1 | 1,5 | 0,8 | 0,3 | 29,4 | 32,1 | 1,01 | 0,25 |
| 2040 | 0,1 | 1,6 | 0,8 | 0,2 | 31,2 | 33,9 | 1,07 | 0,28 |
| 2050 | 0,1 | 1,7 | 0,8 | 0,2 | 33,3 | 36,1 | 1,14 | 0,31 |

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2017a).

3.4 Demanda minera y derechos

Para caracterizar la demanda minera, también se procedió usando la información del estudio DGA (2017a), que muestra que no habría demanda minera en el territorio, basado en lo existente y operativo en el territorio a esa fecha. Las demandas se complementan con la información de derechos asociados a la minería que se presentan en la Tabla 3-5, tal como aparecen en el CPA.

Tabla 3-5: Derechos Superficiales Concedidos para Minería

| Código de Expediente | Nombre Solicitante | Tipo Derecho | Ejercicio del Derecho | Uso | Caudal Anual Prom | Unidad de Caudal |
|----------------------|----------------------|--------------|-----------------------|---------|-------------------|------------------|
| Qda. Total | | | | | | |
| ND-0302-667 | Pedro Alquinta Ávila | Consuntivo | Permanente y Continuo | Minería | 0,5 | l/s |

Fuente: Elaboración propia con antecedentes CPA-DGA.

3.5 Demanda industrial y derechos

Usando como fuente el informe DGA (2017a), no se identifica este tipo de demanda en el territorio.

3.6 Demanda pecuaria

Para caracterizar la demanda pecuaria también se procedió usando la información del estudio DGA (2017a), y corregidas aplicando el mismo factor territorial determinado para riego, es decir, 25% en promedio. El cálculo se realizó de esta manera, ya que se estima que se aplicó el mismo tipo de extrapolación a nivel del territorio afectado que en la estimación del área agropecuaria. Los resultados se muestran en la Tabla 3-6.

Tabla 3-6: Demandas Pecuarias a Nivel Territorial

| Año | Demanda (m³/año) |
|------------|------------------------------------|
| 2021 | 75 |
| 2030 | 75 |
| 2040 | 100 |
| 2050 | 100 |

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2017a).

3.7 Otras Demandas

En el territorio no se identifican otras demandas.

3.8 Resumen de Demandas

A modo de resumen, se presenta en la Tabla 3-7 un resumen con las demandas adoptadas para los distintos usos en la cuenca. Se hace notar que no es posible presentar las demandas distribuidas en forma espacial, ya que se dispone de su valor en forma agregada en todo el territorio. Se hace notar que no es posible presentar gráficamente las demandas distribuidas en forma espacial, ya que solo se dispone de su valor en forma agregada en todo el territorio.

Tabla 3-7: Resumen demandas (m³/año)

| Año | SSR | Ambiental | Riego | Minería | Pecuarias | Total |
|------------|------------|------------------|--------------|----------------|------------------|--------------|
| 2021 | 28.310 | 251.685 | 230.000 | 15.768 | 75 | 525.838 |
| 2030 | 29.183 | 251.685 | 250.000 | 15.768 | 75 | 546.711 |
| 2040 | 30.152 | 251.685 | 280.000 | 15.768 | 100 | 577.705 |
| 2050 | 31.122 | 251.685 | 310.000 | 15.768 | 100 | 608.675 |

Fuente: Elaboración propia.

3.9 Mercado de Aguas

Al analizar la base de datos de transacciones disponible usando la metodología presentada en el Anexo F acápite 2.2, se identifica un total de 6.671 transacciones de tipo superficial tramitadas en los CBR de interés, y 1.298 de tipo subterráneo. De ellas, solo 3.405 corresponden a compraventa de tipo superficial y 588 de tipo subterráneo. Al aplicar los criterios de eliminación, la base de datos se reduce a solo 8 registros, todos asociados a agua de tipo superficial, según se indica en la Tabla 3-8, 3 para el canal Totoral, y 5 para vertientes que alimentan los canales. De esta manera se tienen 2 valores representativos del agua a nivel promedio: 1,88 UF/acción para el canal Totoral y de 5,59 UF/acción para las vertientes.

Tabla 3-8: Análisis Mercado del Agua

| Conservador | Caudal Promedio (acciones) | Unidad de Caudal | Valor Transacción | |
|-----------------------------|----------------------------|------------------|-------------------|----------------------|
| | | | Total (UF) | Unitario (UF/acción) |
| Canal Totoral | | | | |
| Copiapó | 54 | Acciones | 9,28 | 3,09 |
| Copiapó | 18 | Acciones | 67,41 | 1,25 |
| Copiapó | 72 | Acciones | 23,31 | 1,30 |
| Promedio (UF/acción) | | | | 1,88 |
| Vertientes | | | | |
| Copiapó | 18 | Acciones | 189,11 | 10,51 |
| Copiapó | 24 | Acciones | 54,43 | 0,76 |
| Copiapó | 3 | Acciones | 217,2 | 9,05 |
| Copiapó | 3 | Acciones | 13,63 | 4,54 |
| Copiapó | 6 | Acciones | 18,64 | 3,11 |
| Promedio (UF/acción) | | | | 5,09 |

Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA.

4 Oferta hídrica

En este capítulo se presentan los elementos principales relacionados con la oferta de recursos hídricos para la zona de estudio. El análisis se presenta en términos de oferta de aguas superficiales y subterráneas. El objetivo último es disponer de la información de oferta histórica en la cuenca y determinar las condiciones futuras del sistema frente a diversos cambios, ya sean cambios en las demandas o en la oferta misma debido al cambio climático.

4.1 Agua superficial

4.1.1 Fuentes

Las fuentes de agua superficial son cauces activados esporádicamente gracias a lluvias invernales o de influencia costera, por lo tanto, la zona es dominada por quebradas. Producto de la topografía presente en la cuenca, se desarrolla un gran número de quebradas de menor envergadura que confluyen y forman a las más significativas. Si bien existe un número importante de quebradas, dos destacan por su longitud, trayecto y número de aportaciones recibidas: la Quebrada Algarrobal y la Quebrada del Totoral (o Totoral simplemente).

4.1.2 Oferta en la fuente

El escurrimiento fluviométrico efímero característico y los pocos asentamientos humanos dentro de la cuenca, desemboca en que no existan controles fluviométricos que permitan cuantificar la oferta de la fuente en base a registros.

La oferta de la fuente debe entenderse como la oferta hídrica en un régimen no intervenido o natural de la cuenca. Para la reconstitución del régimen natural, usualmente se requiere de la creación de un diagrama unifilar detallado del sistema, que incluya sus fuentes y extracciones (que abarque sus distintos usos), de tal manera que la oferta estimada menos las extracciones reales coincidan entonces con los flujos superficiales medidos en los puntos de interés. Elaborar este tipo de productos, particularmente el diagrama unifilar de cada subcuenca, resulta redundante cuando ya existe un modelo implementado, en el entendimiento que dicho modelo nace de la representación de las interacciones entre la oferta hídrica y la intervención antrópica caracterizado por la demanda.

Es por este motivo, que, a partir del modelo hidrológico calibrado de la cuenca, descrito en el acápite 5.1.1 más adelante, se genera una versión “sin intervención antrópica”, de tal manera de reproducir los caudales en régimen natural de la cuenca. Se entiende que puede llamar a confusión este aspecto ya que aún no se presenta el detalle de la modelación integrada. Sin embargo, se debe entender que esto representa una simplificación necesaria, dado que la misma herramienta constituye la estimación más certera y actualizada que puede hacerse de la oferta hídrica, pues incluye el mayor nivel de actualización del funcionamiento del sistema a la fecha. Es por este motivo que se toma la decisión de utilizar el modelo para poder caracterizar la oferta en régimen natural en los puntos de control de interés.

Para cuantificar la oferta hídrica natural del sistema se presenta en la Tabla 4-1 los caudales medios anuales con probabilidad de excedencia 5% ($Q_{5\%}$), 50% ($Q_{50\%}$) y 85% ($Q_{85\%}$) en los puntos de control que definen los registros fluviométricos sintéticos empleados para la calibración del modelo.

Tabla 4-1: Oferta natural de la fuente superficial (m^3/s), periodo 1990 – 2019

| Sector | ID | Punto de control | $Q_{5\%}$ | $Q_{50\%}$ | $Q_{85\%}$ |
|--------|----|-----------------------|-----------|------------|------------|
| Alto | 1 | Totoral Alto | 0,802 | 0,039 | 0,001 |
| Medio | 2 | Totoral Medio | 0,916 | 0,051 | 0,013 |
| Bajo | 3 | Totoral Desembocadura | 0,977 | 0,068 | 0,030 |

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Oferta en la fuente proyectada

Para el cálculo de la oferta en la fuente proyectada, natural y de tipo superficial, se emplea el modelo WEAP acoplado para el periodo futuro sin demandas, el que se detalla en el acápite 5.1.2 más adelante.

De acuerdo a los resultados del modelo, considerando los efectos del cambio climático (Modelos de Circulación General IPSL), se presenta en la Tabla 4-2 los caudales medios anuales con probabilidad de excedencia 5% ($Q_{5\%}$), 50% ($Q_{50\%}$) y 85% (Q_{85}) en los puntos de control que definen los registros fluviométricos sintéticos empleados para la calibración del modelo, durante el periodo 2021 – 2050.

Tabla 4-2: Oferta natural de la fuente superficial, periodo 2021 – 2050

| Sector | ID | Punto de control | Q _{5%} | Q _{50%} | Q _{85%} |
|--------|----|-----------------------|-----------------|------------------|------------------|
| Alto | 1 | Totoral Alto | 0,564 | 0,042 | 0,000 |
| Medio | 2 | Totoral Medio | 0,633 | 0,053 | 0,011 |
| Bajo | 3 | Totoral Desembocadura | 0,672 | 0,064 | 0,024 |

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 Calidad actual de fuentes

No existe información de este tipo disponible, ya que no hay cursos superficiales permanentes muestreados.

4.1.5 Fuentes de contaminación

No existe información.

4.1.6 Derechos concedidos

En lo que respecta a derechos de aguas superficiales, se tiene lo mostrado en la Tabla 4-3. Se hace notar que en la base de datos del CPA se detectaron muchas inconsistencias. Tampoco se dispone de coordenadas para todos los derechos. Por ejemplo, en la Tabla 4-3 se indican derechos de riego que suman 183 acciones, sin indicar el canal o la fuente. Por otra parte, se indicó anteriormente en el acápite 2.4.4, 3 canales con un total de 1.648 acciones, muy lejos de lo reportado en el CPA.

Tabla 4-3: Derechos Superficiales Concedidos

| Código de Expediente | Nombre Solicitante | Tipo Derecho | Ejercicio del Derecho | Uso | Caudal Anual Prom | Unidad de Caudal |
|----------------------|--|--------------|------------------------|---------|-------------------|------------------|
| ND-0302-667 | Pedro Alquinta Ávila | Consuntivo | Permanente y Continuo | Minería | 0,5 | l/s |
| UA-0302-812120 | Sara Filomena Vallejo Villacorta | Consuntivo | Permanente y Continuo | Riego | 9 | Acciones |
| UA-0302-812080 | Guillermo Gregorio Morales Morales Y Otros | Consuntivo | Permanente y Alternado | Riego | 24 | Acciones |
| UA-0302-812024 | Juan Francisco Jorquera Jara | Consuntivo | Permanente y Alternado | Riego | 18 | Acciones |
| UA-0302-811939 | Blanca Danae Oyarce Araya | Consuntivo | Permanente y Alternado | Riego | 3 | Acciones |
| UA-0302-812025 | Rosa Ester Lizana Lizana | Consuntivo | Permanente y Alternado | Riego | 3 | Acciones |
| UA-0302-812126 | Ester Esperanza Pizarro Toledo Y Otros | Consuntivo | Permanente y Alternado | Riego | 36 | Acciones |
| UA-0302-812017 | Amanda Violeta Araya Marín | Consuntivo | Permanente y Continuo | Riego | 24 | Acciones |

| Código de Expediente | Nombre Solicitante | Tipo Derecho | Ejercicio del Derecho | Uso | Caudal Anual Prom | Unidad de Caudal |
|-----------------------------|------------------------------------|---------------------|------------------------------|------------|--------------------------|-------------------------|
| UA-0302-811984 | Erika Argelia Peralta Araya | Consuntivo | Permanente y Alternado | Riego | 18 | Acciones |
| UA-0302-811985 | Nilda Aurora Araya Marín | Consuntivo | Permanente y Alternado | Riego | 18 | Acciones |
| UA-0302-812016 | Guillermo Gregorio Morales Morales | Consuntivo | Permanente y Continuo | Riego | 21 | Acciones |
| UA-0302-811933 | Santos Abel Mandiola Morales | Consuntivo | Permanente y Alternado | Riego | 9 | Acciones |

Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA.

4.2 Agua subterránea

4.2.1 Identificación

Mediante la interpretación de los resultados geofísicos sumado a los antecedentes estratigráficos de pozos profundos y a la geología disponible en el área de estudio, se pudo determinar la existencia de una única unidad acuífera interconectada (acuífero Carrizal-Total), con una profundidad máxima de 370 m aprox. en el sector de Hacienda Castilla. La Figura 4-1 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. De igual forma se trabajó en la generación de las otras capas presentadas en la Figura 4-2. Cabe destacar que se truncó la información para las grandes cumbres de manera de poder representar de mejor manera la geometría del acuífero.

En la Figura 4-2 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).

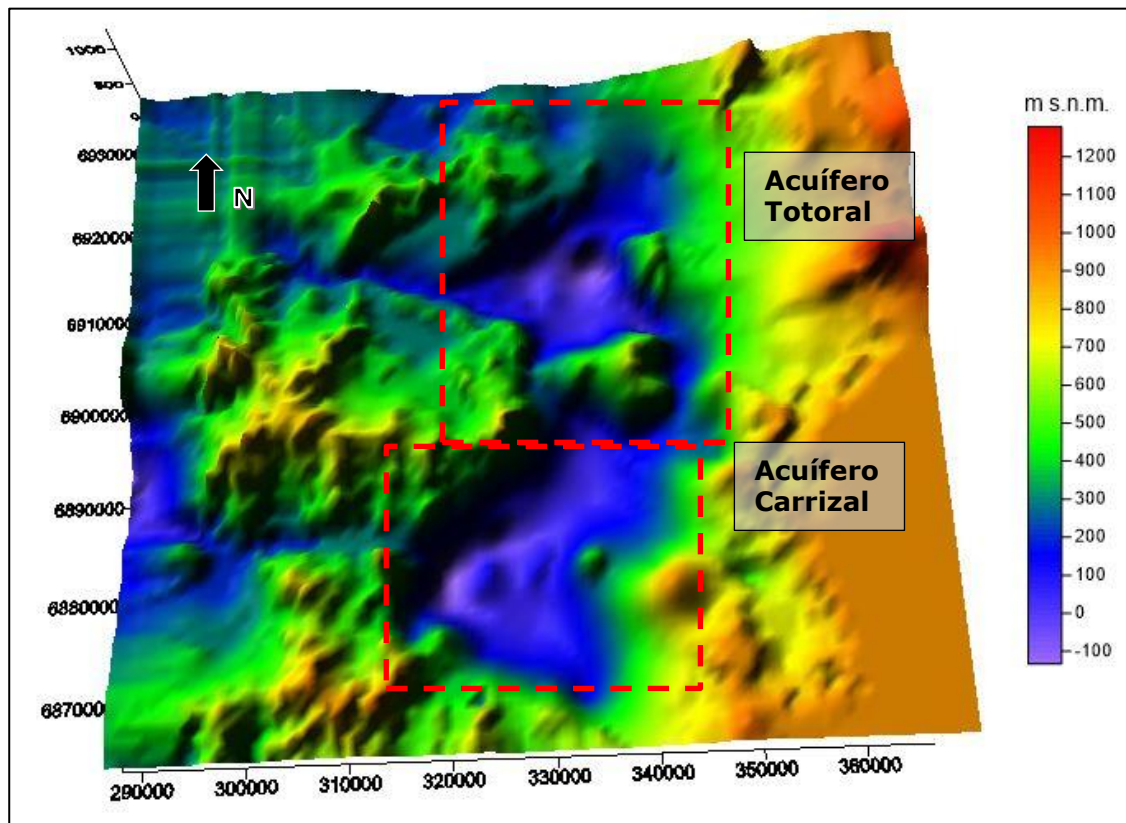
En base a los antecedentes geométricos antes señalados, y con el levantamiento de niveles piezométricos estáticos catastrado en septiembre de 2021, se pudo estimar el volumen actual almacenado en la unidad acuífera Carrizal-Total (ver Tabla 4-4). Cabe destacar que para la estimación del volumen de agua 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 4-4: 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 |

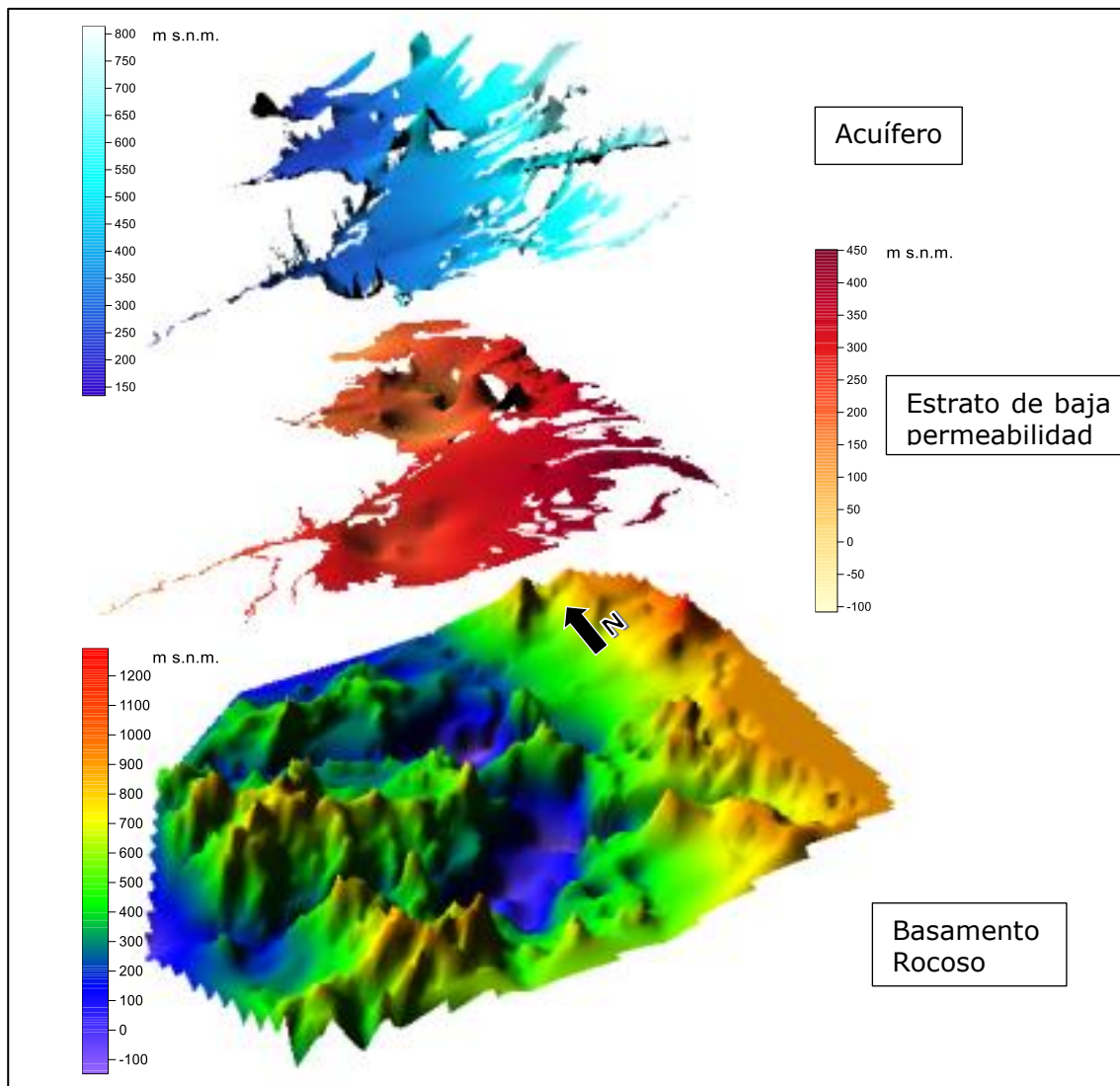
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4-5 se presenta la curva de almacenamiento del acuífero, teniendo como línea base de los niveles piezométricos el catastro realizado en septiembre de 2021 y profundizando según lo presentado en la tabla. Además, en la Figura 4-3 se presenta de manera gráfica la disminución del potencial volumen de agua almacenado en el acuífero respecto de la profundización de los niveles estáticos.



Fuente: Elaboración propia.

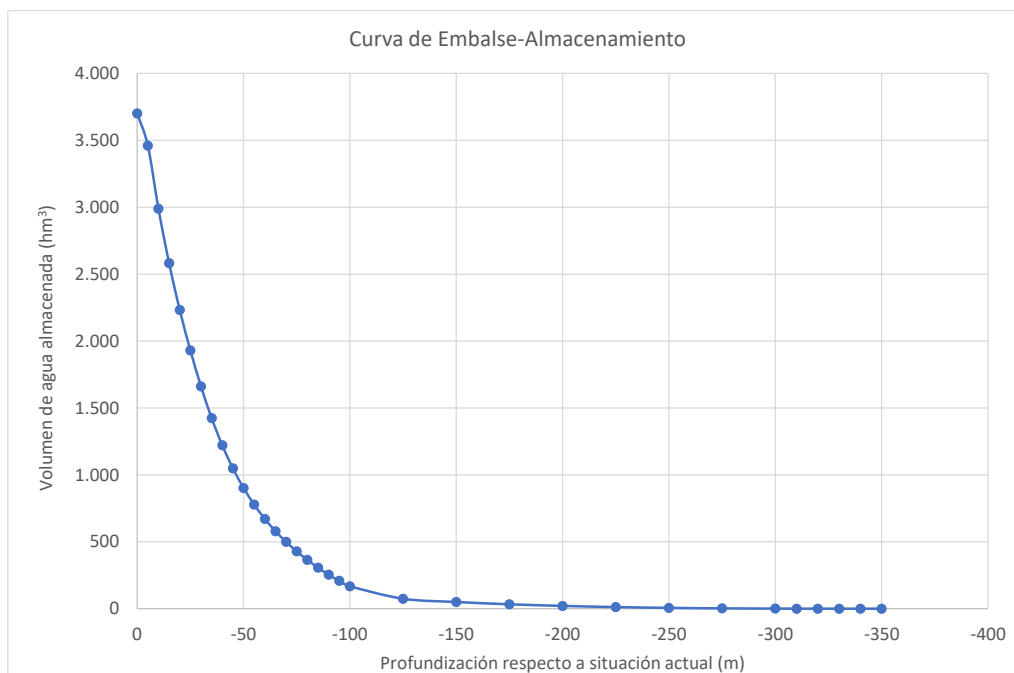
Figura 4-1: Elevación de la capa de basamento rocoso



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-2: Modelo de Capas, representación gráfica en 3D

En la Figura 4-4 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 acápite. 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.



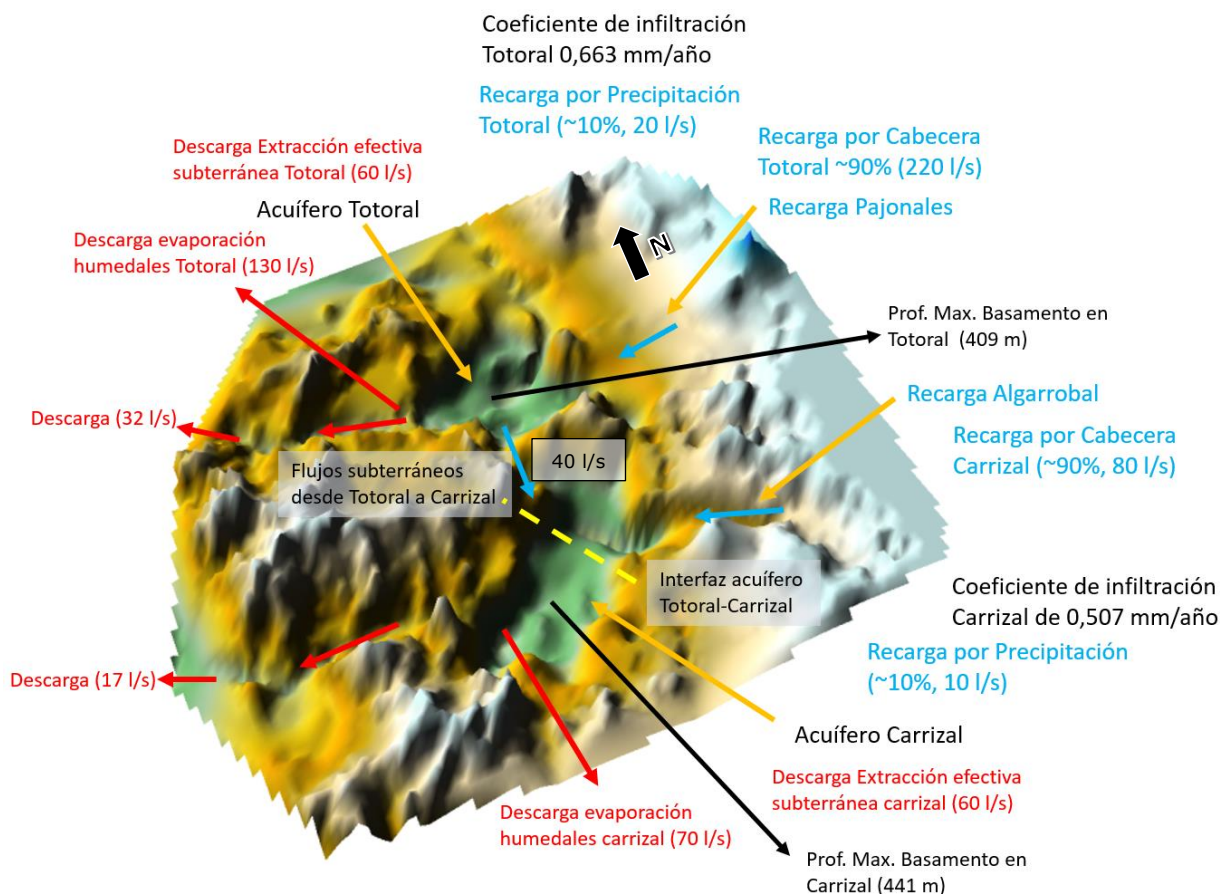
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-3: Curva de embalse del acuífero

Tabla 4-5: Volumen almacenado respecto a profundización de niveles piezométricos

| Profundidad Nivel piezométrico (m) | Volumen Acuífero (hm³) | Volumen agua potencialmente almacenada (porosidad=0,15) (hm³) | Profundidad Nivel piezométrico (m) | Volumen Acuífero (hm³) | Volumen agua potencialmente almacenada (porosidad=0,15) (hm³) |
|------------------------------------|------------------------|---|------------------------------------|------------------------|---|
| 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 |
| -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 | 0,0 |

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-4: Modelo Conceptual 3D

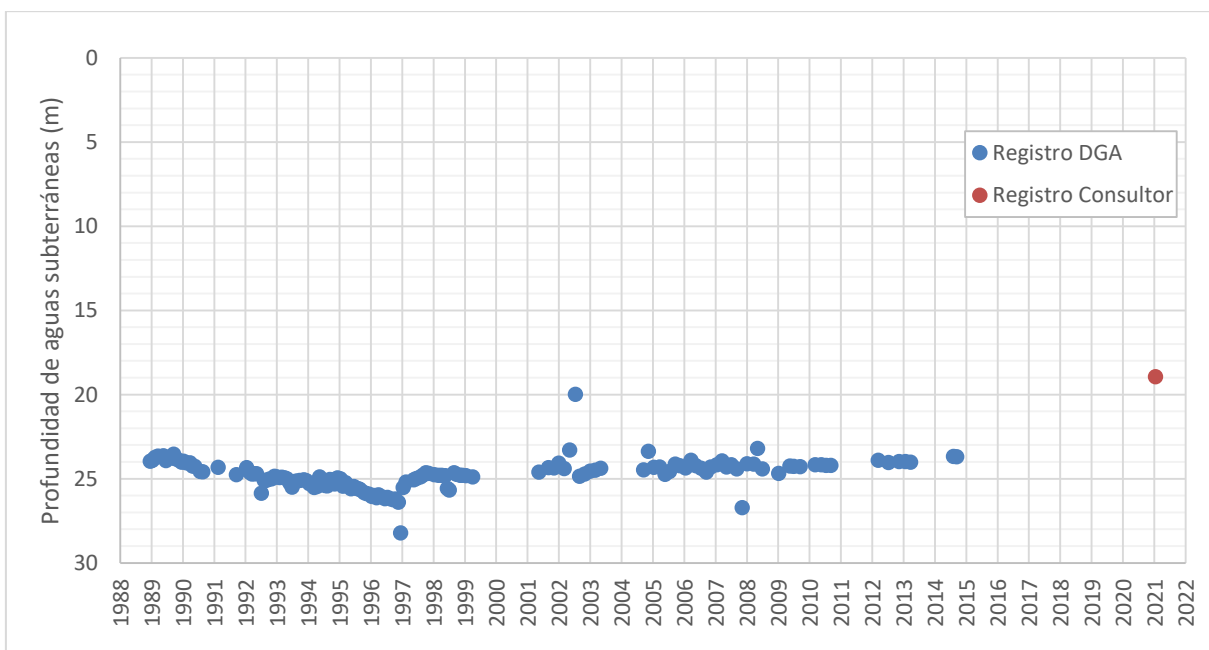
4.2.2 Stock, recarga y niveles

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.

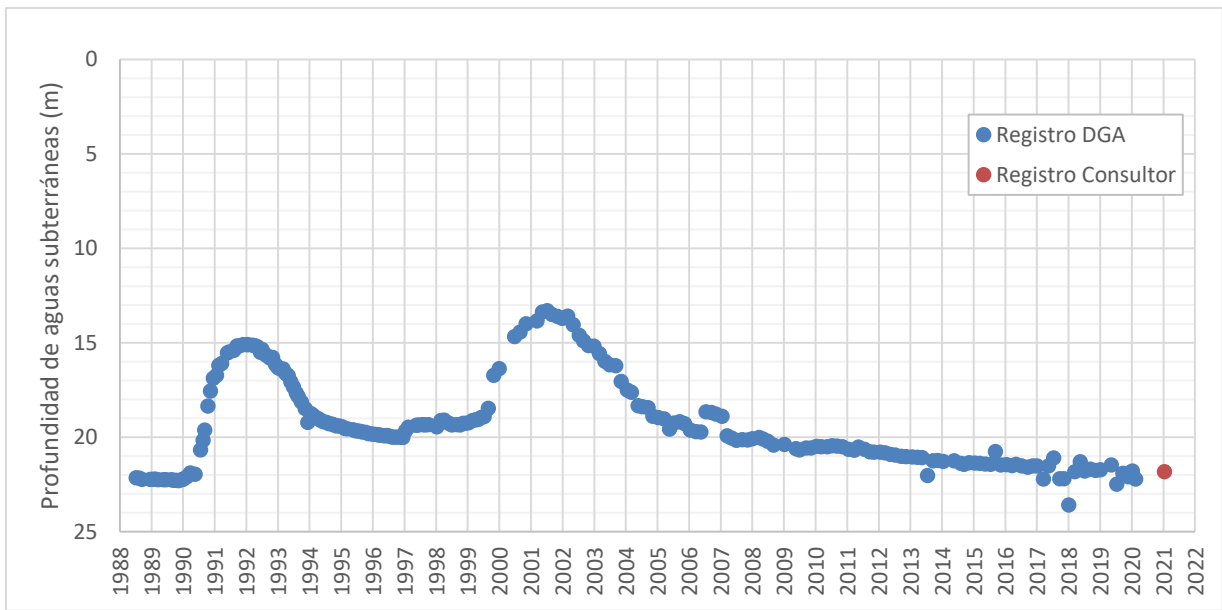
Posteriormente, y al aplicar la metodología al periodo histórico extendido, se determinó una recarga promedio de 100 l/s en la cuenca de Carrizal y de 237 l/s para la cuenca de Totoral. Se hace notar que los valores finales se ajustaron de modo que en la modelación se logaran mejores ajustes entre lo generado sintéticamente y lo modelado, tal como se muestra en el Anexo H acápite 1.2.7.

Para los niveles se dispone de información asociada a la red de niveles de la DGA, cuyos antecedentes se presentan desde la Figura 4-5 hasta la Figura 4-7 todos los registros mensuales junto con el nivel medido por el consultor en la campaña de terreno de septiembre de 2021. No se muestran la serie de la estación Pozo Totoral Bajo, ya que sólo informan 7 registros.



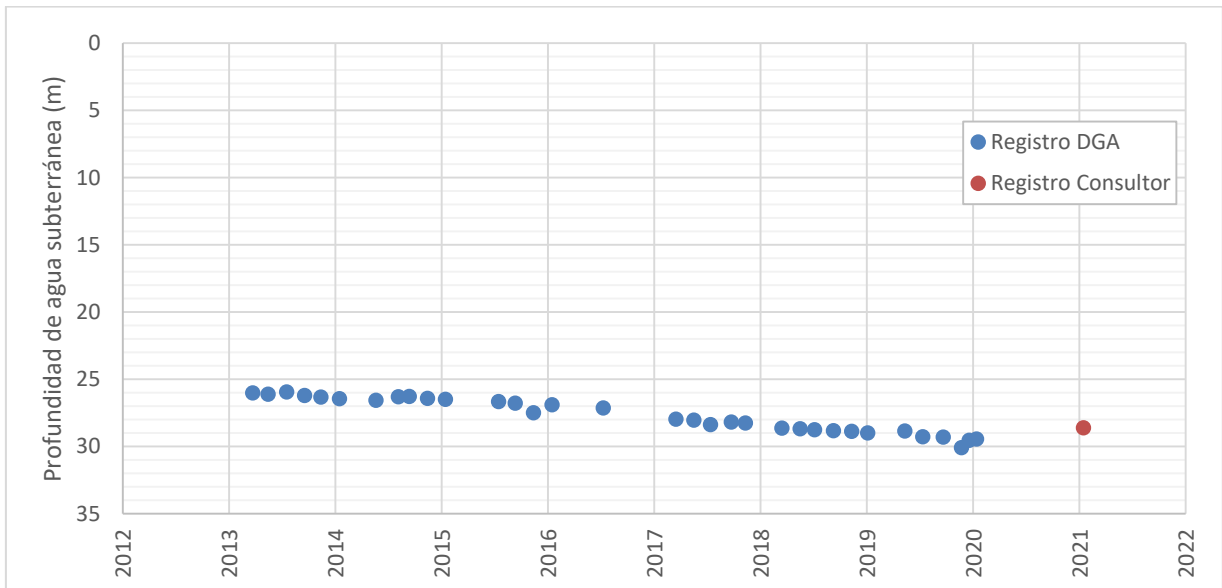
Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes DGA.

Figura 4-5: Niveles aguas subterráneas históricos: Pozo Boquerón Chañar



Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes DGA.

Figura 4-6: Niveles aguas subterráneas históricos: Pozo Estación Algarrobal



Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes DGA.

Figura 4-7: Niveles de aguas subterráneas históricos: Pozo Quebrada Algarrobal

4.2.3 Calidad actual

A continuación se presentan las características más relevantes de la calidad actual del agua subterránea al interior de las cuencas de Carrizal y Totoral. Adicionalmente se incluye una caracterización hidroquímica e isotópica de estas aguas, contribuyendo con ello a un mayor conocimiento de la químicas e isotopía de los acuíferos. Con ello, aportando al modelo hidrogeológico conceptual en términos de su recarga y características locales y/o generalizadas de las aguas subterráneas.

4.2.3.1 Calidad pozo Algarrobal (DGA)

Para describir la calidad actual del agua subterránea, se cuenta por una parte con la información del pozo Algarrobal de la red de monitoreo de la DGA, los que se muestran en la Tabla 4-6.

Tabla 4-6: Información de calidad disponible

| Parámetro | Nº Mediciones Total | Mín (mg/L) | Promedio (mg/L) | Máx (mg/L) |
|-----------|---------------------|------------|-----------------|------------|
| Cl | 55 | 37,0 | 103,7 | 232,1 |
| Ca | 23 | 16,7 | 88,7 | 123,4 |
| Mg | 23 | 7,1 | 16,2 | 19,6 |
| Na | 22 | 80,1 | 118,2 | 155,0 |
| K | 22 | 2,5 | 5,7 | 12,7 |
| As | 55 | 0,001 | 0,009 | 0,180 |
| Pb | 52 | 0,01 | 0,03 | 0,07 |
| Cu | 57 | 0,01 | 0,06 | 2,63 |
| Mo | 49 | 0,01 | 0,04 | 0,25 |
| Cr | 12 | 0,01 | 0,03 | 0,05 |
| Hg | 53 | 0,001 | 0,001 | 0,006 |
| Zn | 56 | 0,01 | 0,021 | 0,39 |
| pH | 57 | 5,2 | 7,6 | 9,9 |
| CE | 57 | 590 | 1.106 | 2.054 |

Fuente: Elaboración propia usando antecedentes BNA

Con el fin de caracterizar la calidad de las aguas, se realizan comparaciones por parámetro con la Norma para Agua Potable (ver Tabla 4-7) y con la norma para riego (ver

Tabla 4-8). En las tablas se muestran en rojo los parámetros para los cuales se identificó que no cumplen la norma.

Los resultados para agua potable muestran que en promedio arsénico, mercurio y plomo presentan concentraciones por sobre los límites establecido para consumo humano, aunque en promedio están bajo el máximo. En lo que respecta al riego, se tiene que para cromo y molibdeno todos los muestreos están fuera de lo permitido. Además, para arsénico, cloruro, cobre y mercurio, hay valores sobre el promedio que escapan lo permitido. Por último, en términos de conductividad eléctrica, se tiene que la conductividad en promedio está dentro del rango en que hay cultivos sensibles que podrían tener problemas.

Se debe tener presente que los parámetros fuera de rango en lo que respecta al consumo humano pueden traer problemas de salud, en cambio en riego trae problemas de baja de producción o problemas en el crecimiento por sensibilidad de los cultivos. En el caso del agua potable los problemas solo son solucionables mediante tratamiento, en cambio en riego, por práctica cultural en la selección de cultivos tolerantes a las sales presentes.

Tabla 4-7: Análisis Calidad de Aguas para Uso Potable. Comparación con Norma NCh 409 Of/84

| Parámetro | Mín | Máx | Unidad | Comentario |
|-----------|-----|-------|--------|---|
| Cu | | 2 | mg/L | Calidad promedio dentro de lo permitido, pero hay valores que escapan del máximo permitido |
| Cr | - | 0,05 | mg/L | Calidad dentro de lo permitido para todos los muestreos |
| Mg | - | 125 | mg/L | Calidad dentro de lo permitido para todos los muestreos |
| Zn | - | 3 | mg/L | Calidad dentro de lo permitido para todos los muestreos |
| As | | 0,01 | mg/L | Calidad promedio dentro de lo permitido, pero hay valores que escapan del máximo permitido |
| Hg | | 0,001 | mg/L | Calidad promedio dentro de lo permitido, pero hay valores que escapan del máximo permitido |
| Pb | | 0,05 | mg/L | Calidad promedio dentro de lo permitido, pero hay valores que escapan del máximo permitido |
| Cl | | 400 | mg/L | Calidad dentro de lo permitido para todos los muestreos |
| pH | 6,5 | 8,5 | - | En promedio dentro de lo permitido, aunque hay valores que están fuera de lo permitido (en ambas direcciones) |

Fuente: Elaboración propia usando antecedentes BNA.

Tabla 4-8: Análisis Calidad de Aguas para Uso Riego. Comparación con Norma NCh 1.133 Of/78

| Parámetro | Mín | Máx | Unidad | Comentario |
|-----------|-------|-------|--------|---|
| pH | 5,5 | 9 | - | En promedio dentro de lo permitido, aunque hay valores que están fuera de lo permitido (en ambas direcciones) |
| As | | 0,1 | mg/L | C Calidad promedio dentro de lo permitido, pero hay valores que escapan del máximo permitido |
| Cl | | 200 | mg/L | Calidad promedio dentro de lo permitido, pero hay valores que escapan del máximo permitido |
| Cu | | 0,2 | mg/L | Calidad promedio dentro de lo permitido, pero hay valores que escapan del máximo permitido |
| Cr | | 0,1 | mg/L | Calidad dentro de lo permitido para todos los muestreos |
| Hg | | 0,001 | mg/L | Calidad promedio dentro de lo permitido, pero hay valores que escapan del máximo permitido |
| Mo | | 0,01 | mg/L | Calidad fuera de lo permitido en todos los muestreos |
| Pb | | 5 | mg/L | Calidad dentro de lo permitido para todos los muestreos |
| Zn | | 2 | mg/L | Calidad dentro de lo permitido para todos los muestreos |
| CE | 0 | 750 | mS/cm | Pocos valores en este rango que no presenta problemas. |
| | 750 | 1.500 | | En promedio dentro de este rango, lo que significa que cultivos sensibles pueden tener problemas. Hay muestreos que escapan del límite superior |
| | 1.500 | 3.000 | | Hay algunos valores dentro de este rango, lo que significa que pueden haber efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadoso |

Fuente: Elaboración propia usando antecedentes BNA.

4.2.3.2 Muestreo Calidad Química 2021

Para describir la calidad actual del agua subterránea al interior de las cuencas se incluyen los resultados de los análisis químicos realizados para este estudio, durante agosto-septiembre 2021, tal como se indica en el Anexo J-09. Los resultados analíticos de estas muestras se presentan en el Anexo J-10, en conjunto con los certificados de análisis químicos del laboratorio AGQLabs.

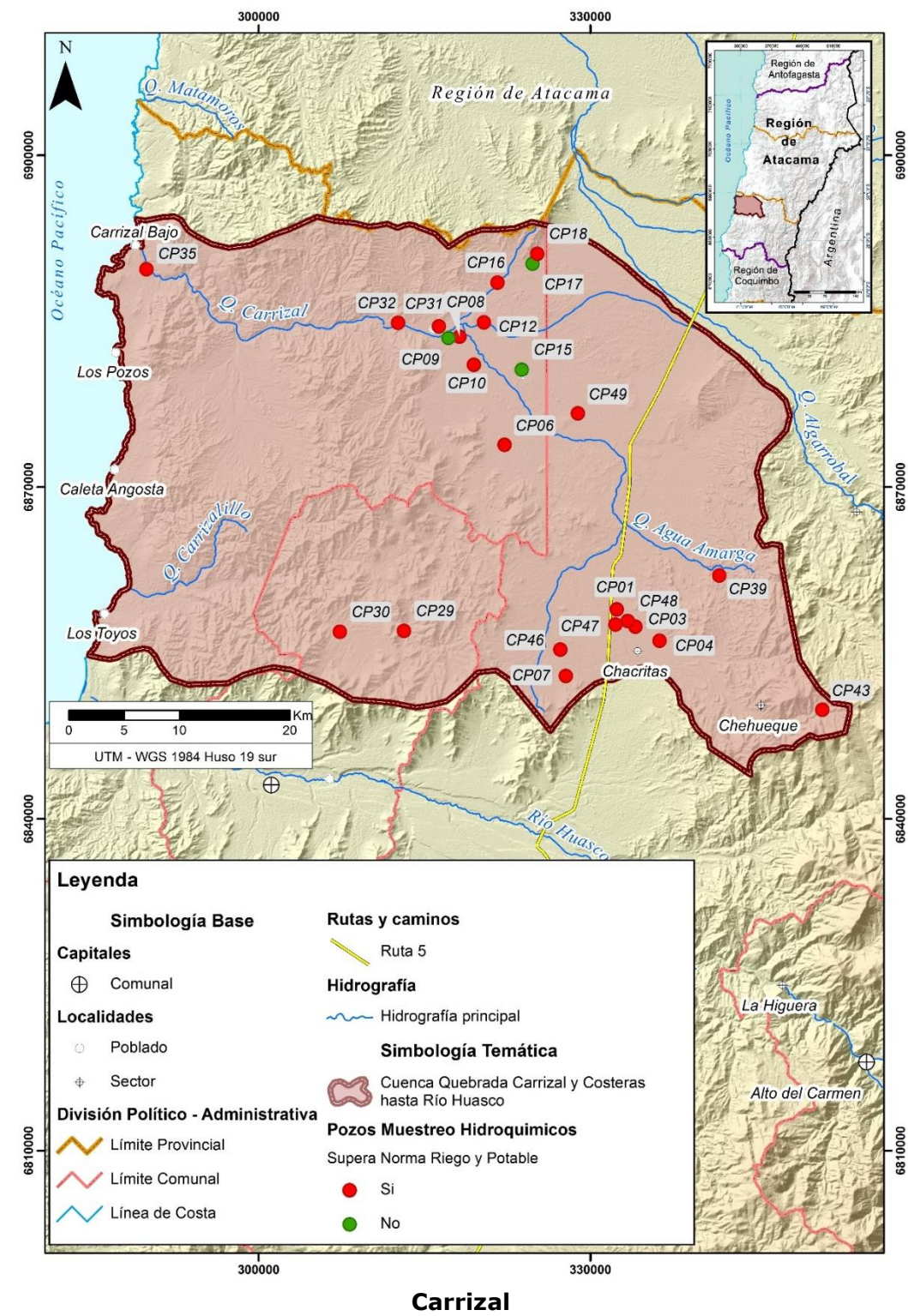
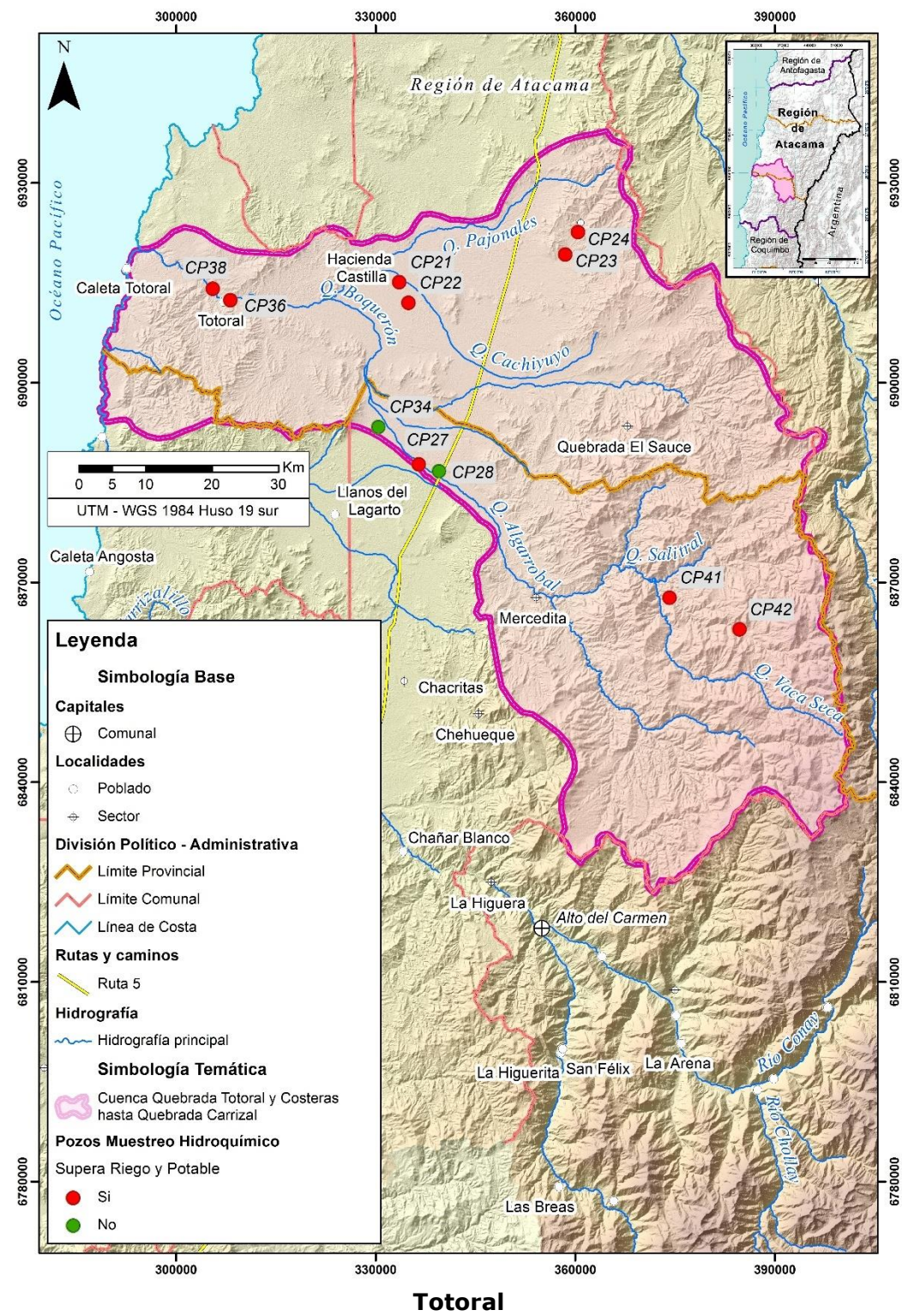
Los valores resultantes de estos análisis muestran que gran parte de las aguas subterráneas analizadas presentan valores por sobre las normas de agua potable y riego a la vez (Figura 4-8). Para distinguir cuales son los sectores donde ocurren estos

excesos, en la Figura 4-9 se muestran los pozos donde se supera la norma potable y en la Figura 4-10 se muestran los pozos donde la norma de riego presentó valores sobre esta norma. En Anexo J-10 se presentan los resultados en forma resumida en archivos Excel.

Respecto al criterio microbiológico de la norma potable de calidad de agua, los microorganismos del grupo coliforme son un buen indicador microbiano de calidad del agua. Los criterios establecidos por esta norma se refieren a la cantidad de muestras analizadas en un mes para un servicio de agua potable. Cuando se reconoce la presencia de coliformes totales en 10% de al menos 10 muestras muestreadas y cuando 5% de al menos 20 muestras tomadas en el mes presentan una concentración mayor o igual a 5 UFC o MNP por 100 ml de coliformes totales. Adicionalmente, la norma potable indica que todas las muestras que se analicen mensualmente en un servicio de agua potable, en que se haya detectado la presencia de coliformes totales, deben estar exentas de *Escherichia coli*. La investigación de Coliformes Totales (UFC/100 ml) realizada para el presente estudio arrojó que las muestras que exceden la norma de 5 UFC/100 ml para Coliformes Totales corresponden a las muestras CM CP10, CP29, CP46, CP08, CP21 y CP22.

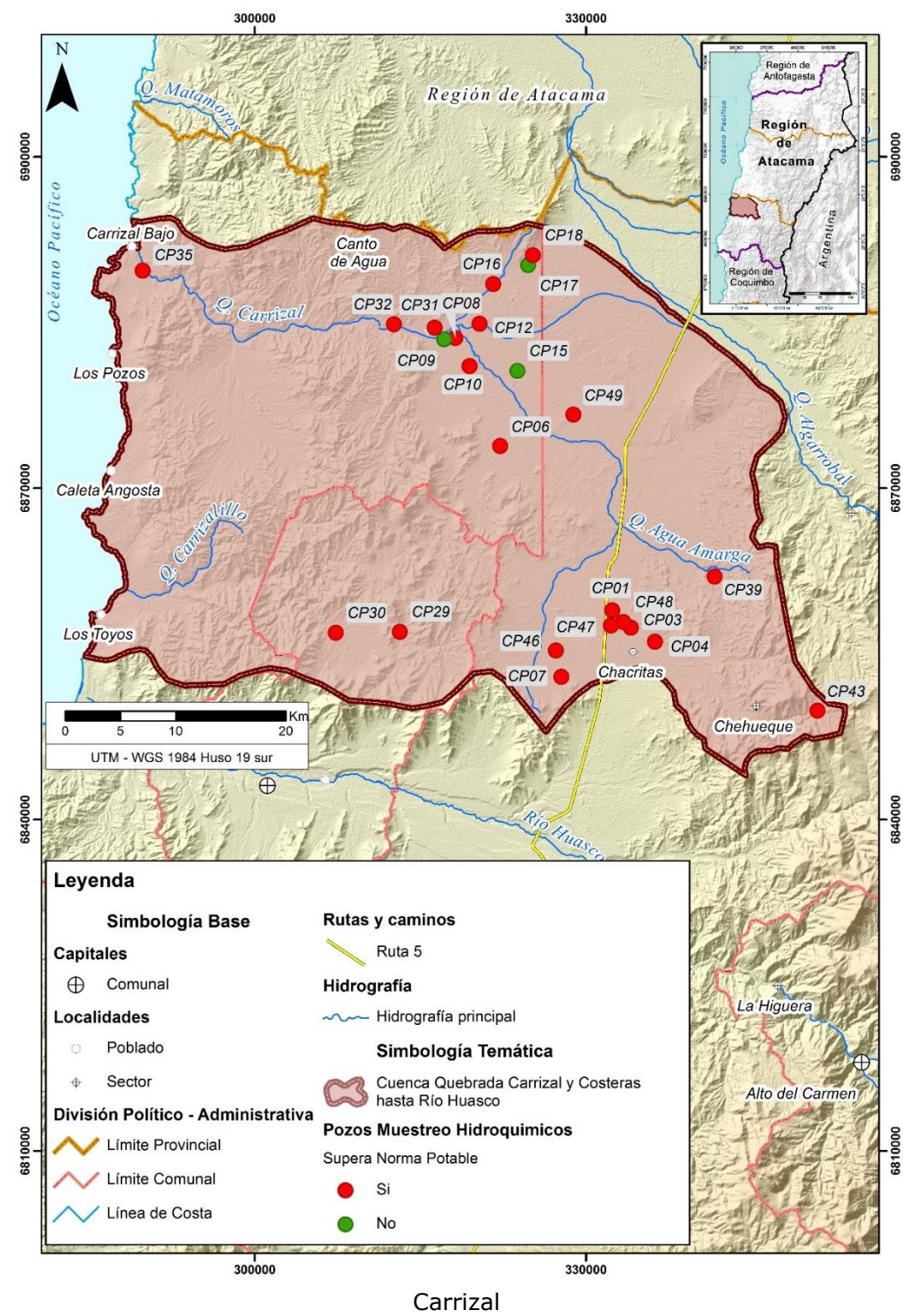
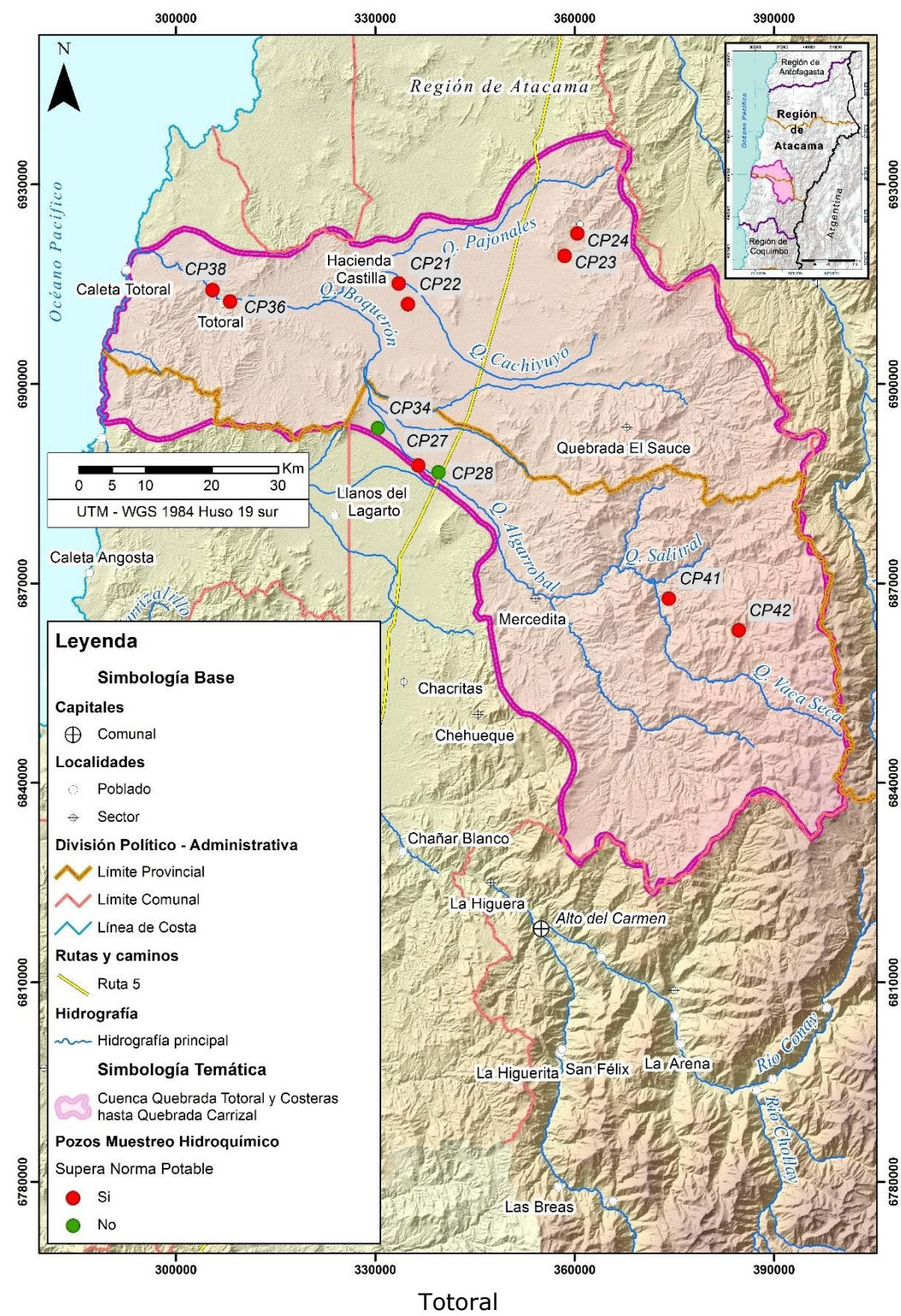
Respecto al criterio de turbiedad, la norma potable indica que cada servicio debe cumplir simultáneamente con que la turbiedad media mensual debe ser menor o igual a 2 UNT, que más del 95 % de las muestras mensuales presenten un valor menor que 4 UNT, que ninguna muestra exceda el valor de 20 UNT en el mes y que las muestras que presenten turbiedades entre 10 y 20 UNT no podrán corresponder al mismo periodo de 24 h. Los resultados de las determinaciones de Turbidez (UNT) realizada para el presente estudio arrojaron que las muestras que exceden la norma de 2 UNT corresponden a las muestras CP23, CP49, CP38, CP15, CP41, CP06, CP18 y CP48.

Por otro lado el Total de Sólidos Disueltos (TSD) tiene un valor de 1500 mg/l como límite potable. Si bien las muestras no fueron analizadas directamente para este parámetro, el valor de TSD se estimó a partir de la suma de los iones mayores. Con ello, las muestras que superan la norma potable en Total de Sólidos Disueltos, en orden decreciente en cuanto a sus valores de TSD corresponden a: CP35, CM CP35, CP29, CP32, CP23, CP07, CP49, CP30, CP31, CP38, CP24, CP16, CP39, CP22 y CP36.



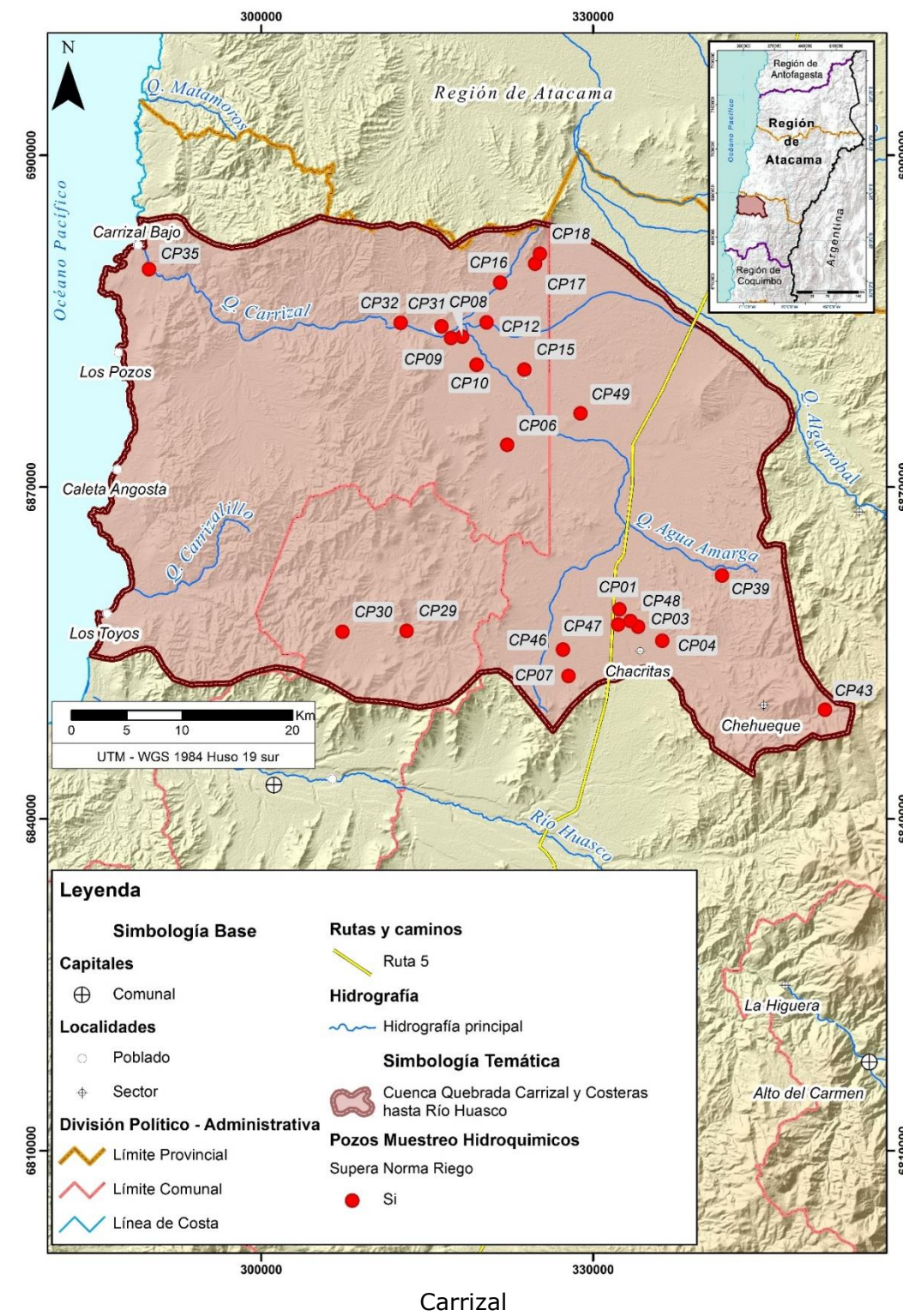
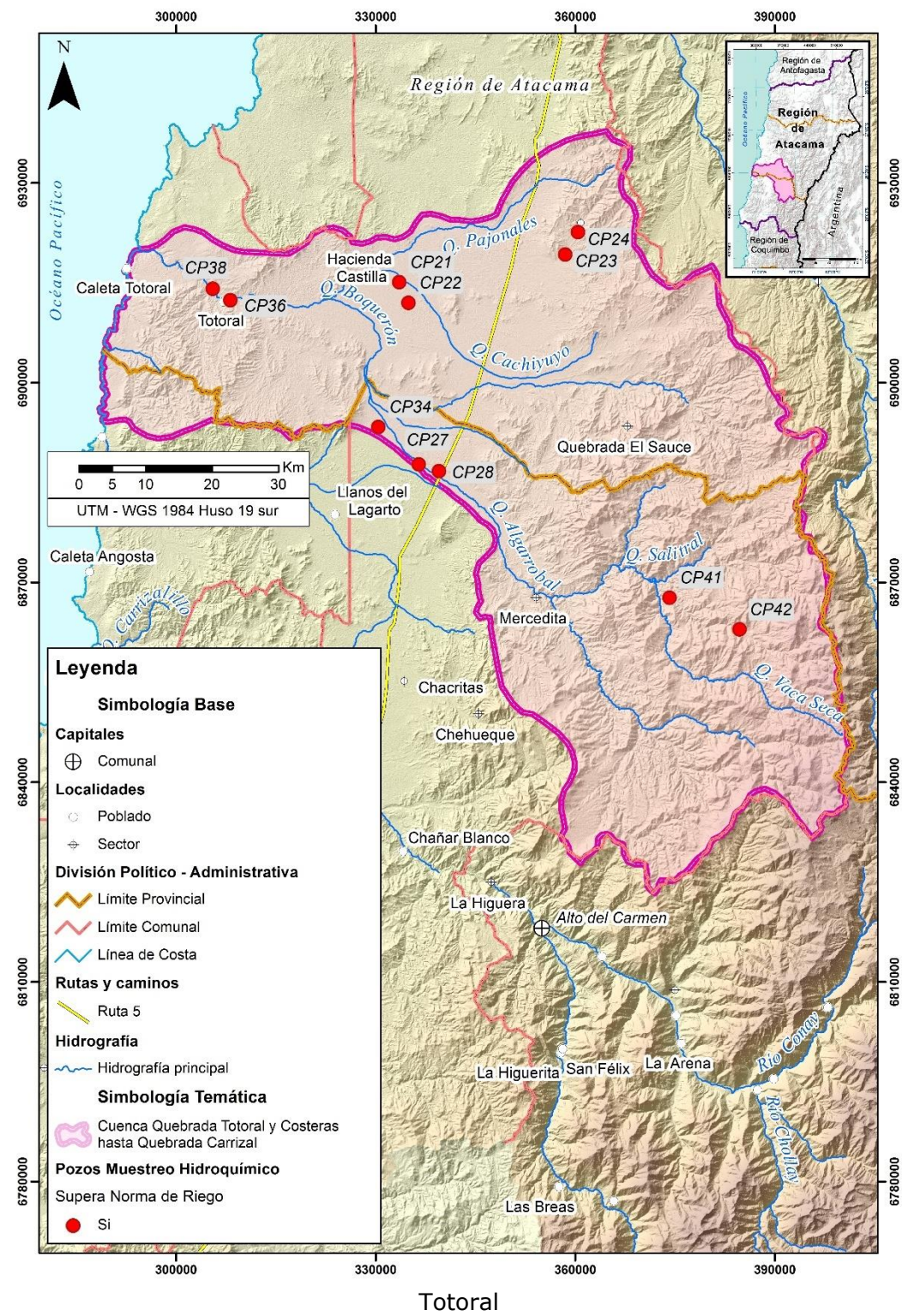
Fuente: Elaboración propia con antecedentes AGQLabs.

Figura 4-8: Pozos muestreados que superan y que no superan la Norma de agua potable y la de riego en al menos uno de los parámetros analizados



Fuente: Elaboración propia con antecedentes AGQLabs.

Figura 4-9: Pozos muestreados que superan y que no superan la Norma de agua potable en al menos uno de los parámetros analizados



Fuente: Elaboración propia con antecedentes AGQLabs.

Figura 4-10: Pozos muestreados que superan y que no superan la Norma de agua riego en al menos uno de los parámetros analizados

4.2.3.3 Caracterización Química

Para caracterizar el tipo de aguas subterráneas se muestreó un total de 38 muestras incluyendo un total de 3 contramuestras.

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:

$$\text{Error del balance} = 100 \frac{\sum \text{Aniones} - \sum \text{Cationes}}{\sum \text{Aniones} + \sum \text{Cationes}} \quad (\text{Freeze y Cherry, 1979})$$

Las muestras con un valor menor que el 10% de error de balance resultaron ser (16), las que se consideran del todo confiables de acuerdo a la literatura. Muestras entre un 10-15% y entre 20-35% de desbalance, coinciden con puntos de muestreo de pozos, norias o incluso afloramientos de agua sin cierre perimetral o cubierta en muchos casos, de gran diámetro y entubamiento en muchos casos.

Dada la escasa información respecto de la calidad química de las aguas subterráneas se incluyen todos los resultados analizados, los que deberían ser confirmados con nuevos análisis químicos.

De acuerdo al diagrama de Piper las aguas subterráneas son Sulfatadas-Cloruradas y Cálculo-Sódicas (Figura 4-11), observándose un mayor predominio sulfatado cálcico para las aguas de la cuenca de Totoral respecto de la de Carrizal.

Una presentación de los diagramas de Stiff permite diferenciar de mejor forma las variaciones en los iones mayores.

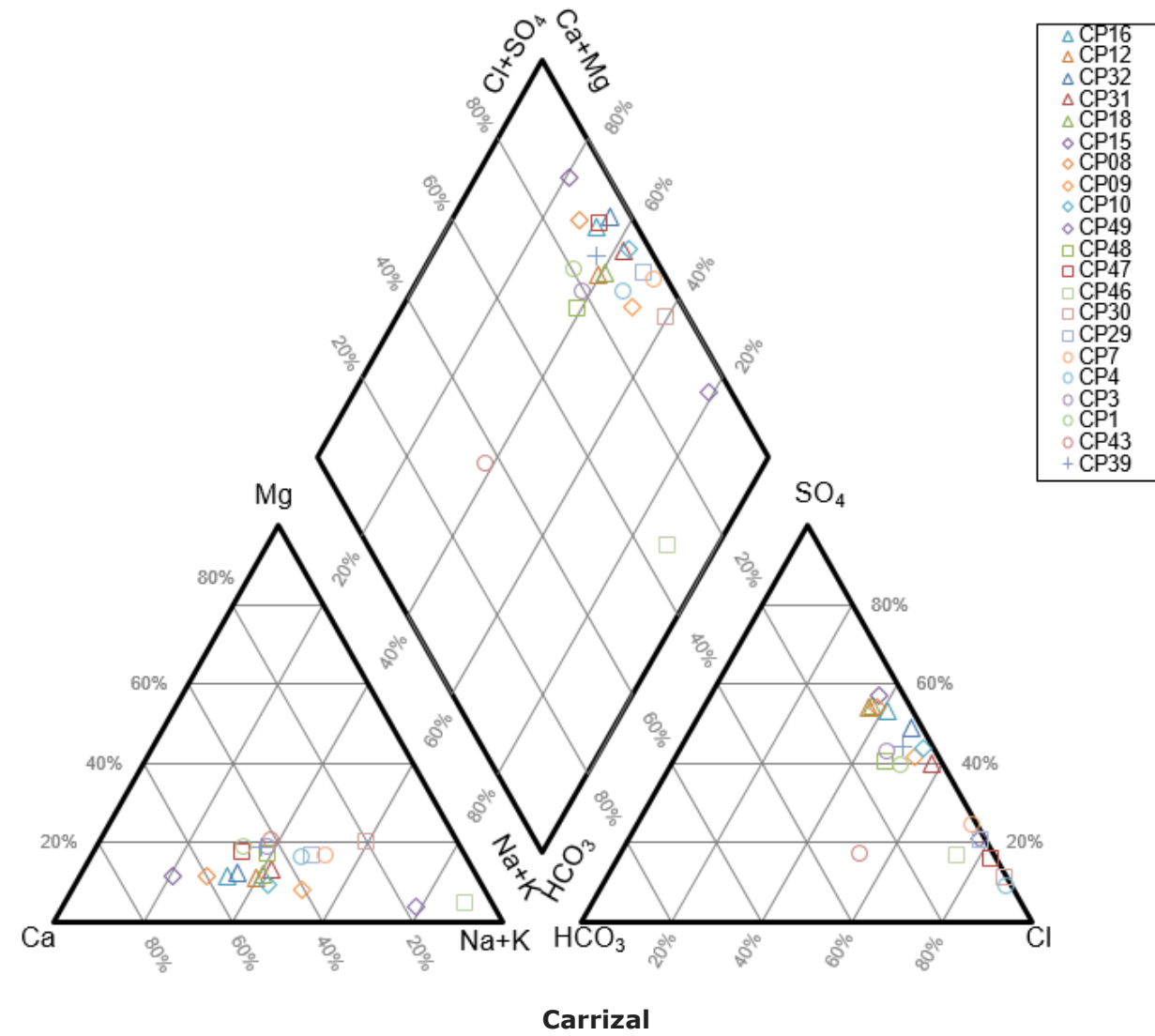
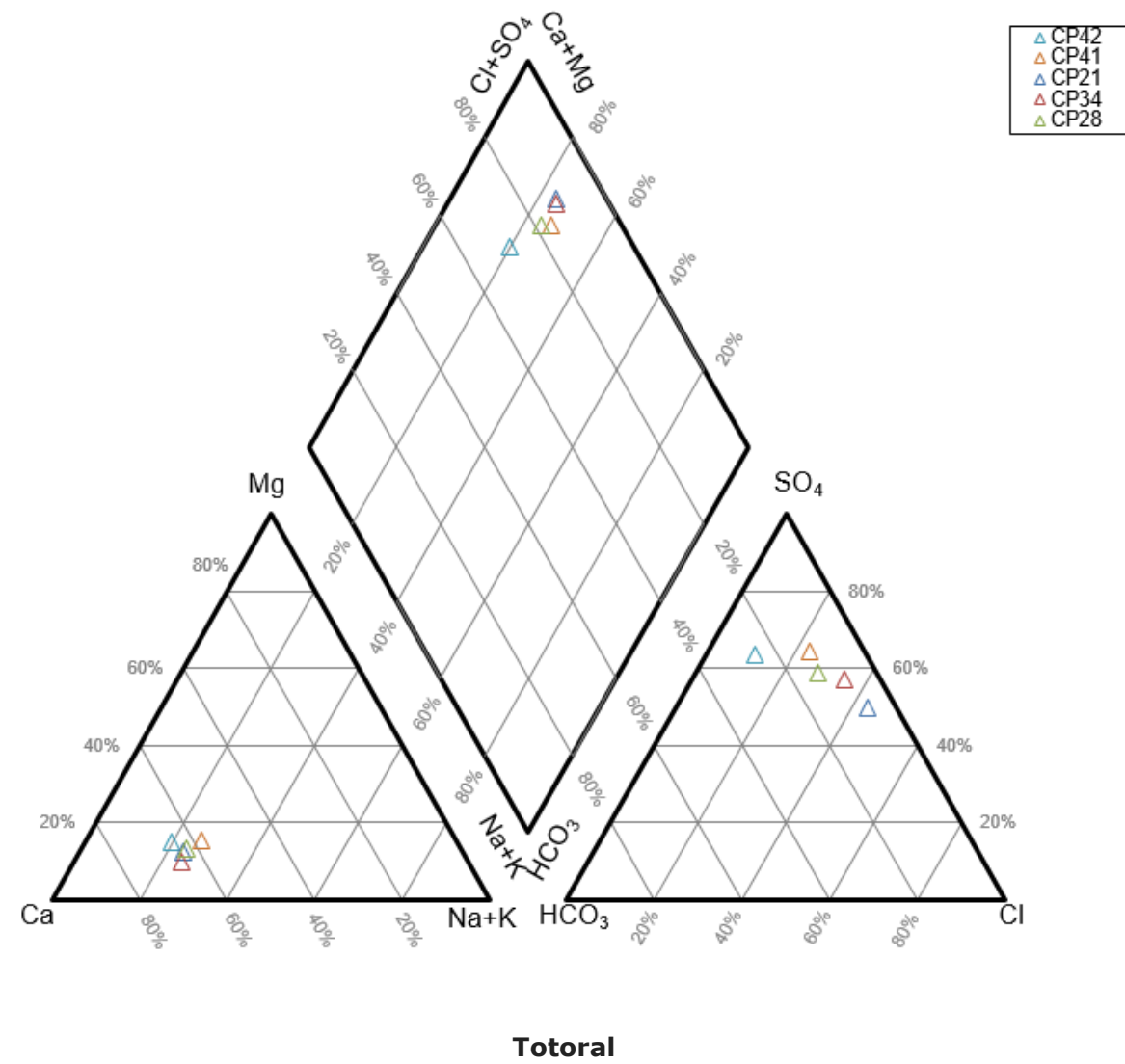
Para la cuenca de Carrizal, y particularmente para las muestras tomadas y validadas corresponden a la parte alta de la cuenca (quebrada Agua Amarga y Llanos de Lagarto), aquellas del tramo Llanos de Lagarto-Canto de Agua y de aquellas tomadas en el extremo sur de la cuenca Carrizal, en torno al sector de Chacritas (Figura 4-12). Las muestras de la parte alta de la cuenca, en torno a la quebrada Agua Amarga (CP39 y CP43) son Sulfatadas-Cloruradas Cálculo (CP-39) y Bicarbonatada-Cálculo (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 STD.

- ♦ 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.

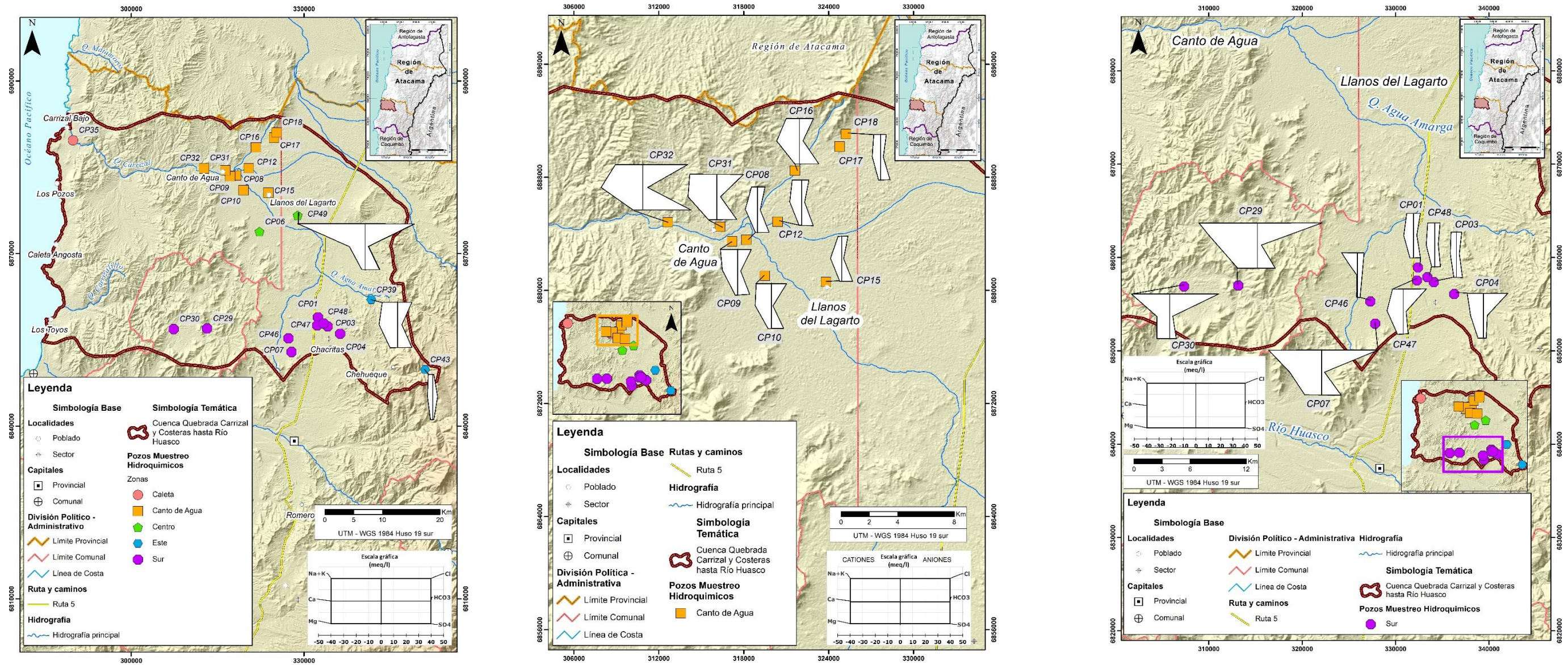
Para las muestras de la Quebrada Totoral, los diagramas de Stiff mostrados en la Figura 4-13 se disponen de resultados de análisis químico de aguas subterráneas validados para las muestras CP-42, CP-41, CP-28, CP-34 y CP-21.

- ♦ Los resultados analíticos de estas muestras señalan leves cambios espaciales en la mineralización, siendo mayor en las muestras CP-41 y CP-42 vs CP-28, CP-34 y CP-21. Todas estas muestras que son predominantemente del tipo sulfatadas-cálcicas, aun cuando hacia aguas abajo, en las muestras CP-21 y CP-34, el contenido de cloruro aumenta, por lo que estas aguas se pueden caracterizar más bien como del tipo sulfatadas/cloruradas-cálcicas.



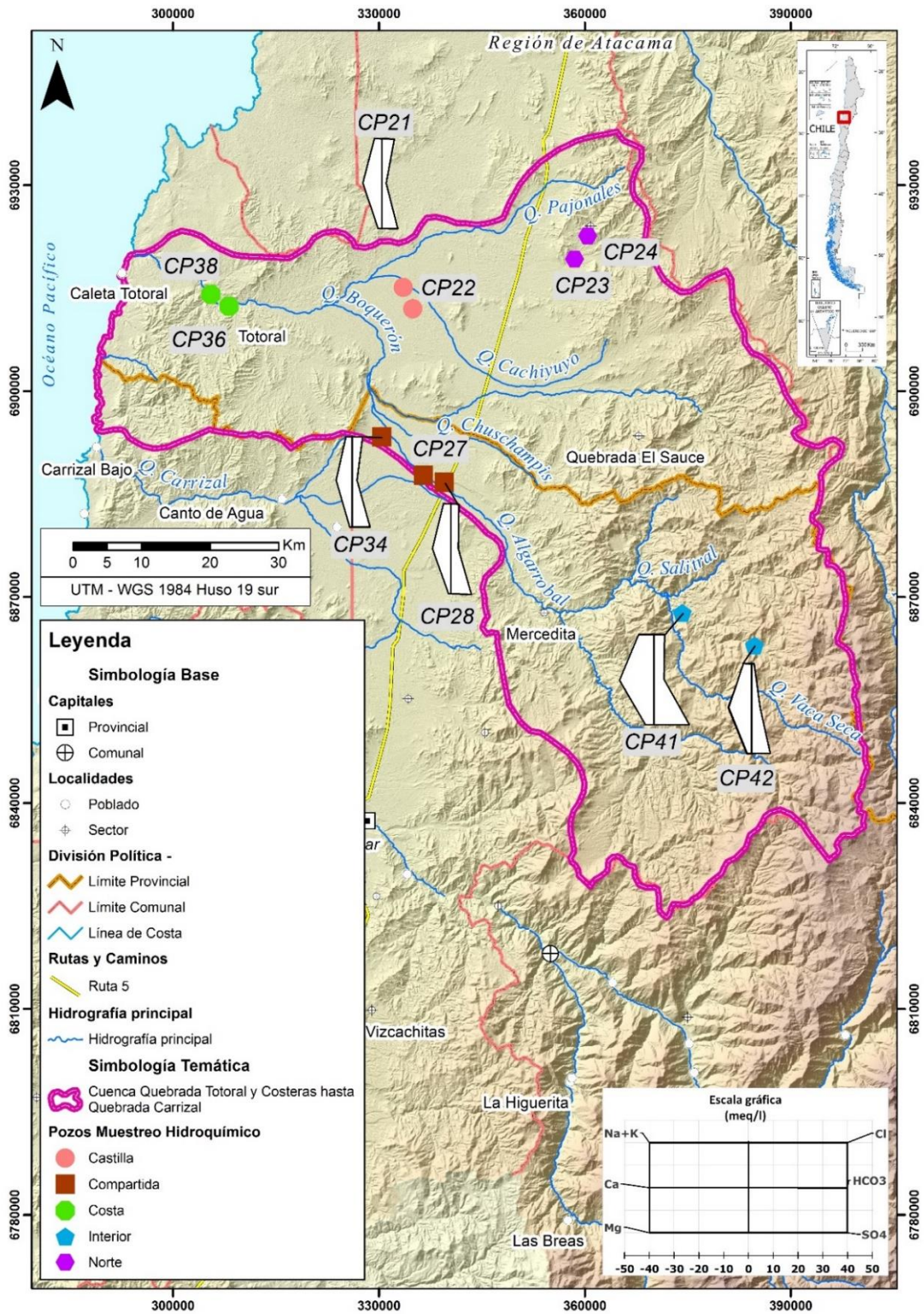
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-11: Diagrama de Piper para el territorio



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-12: Diagramas de Stiff para la Cuenca de Carrizal



Fuente: Elaboración propia.

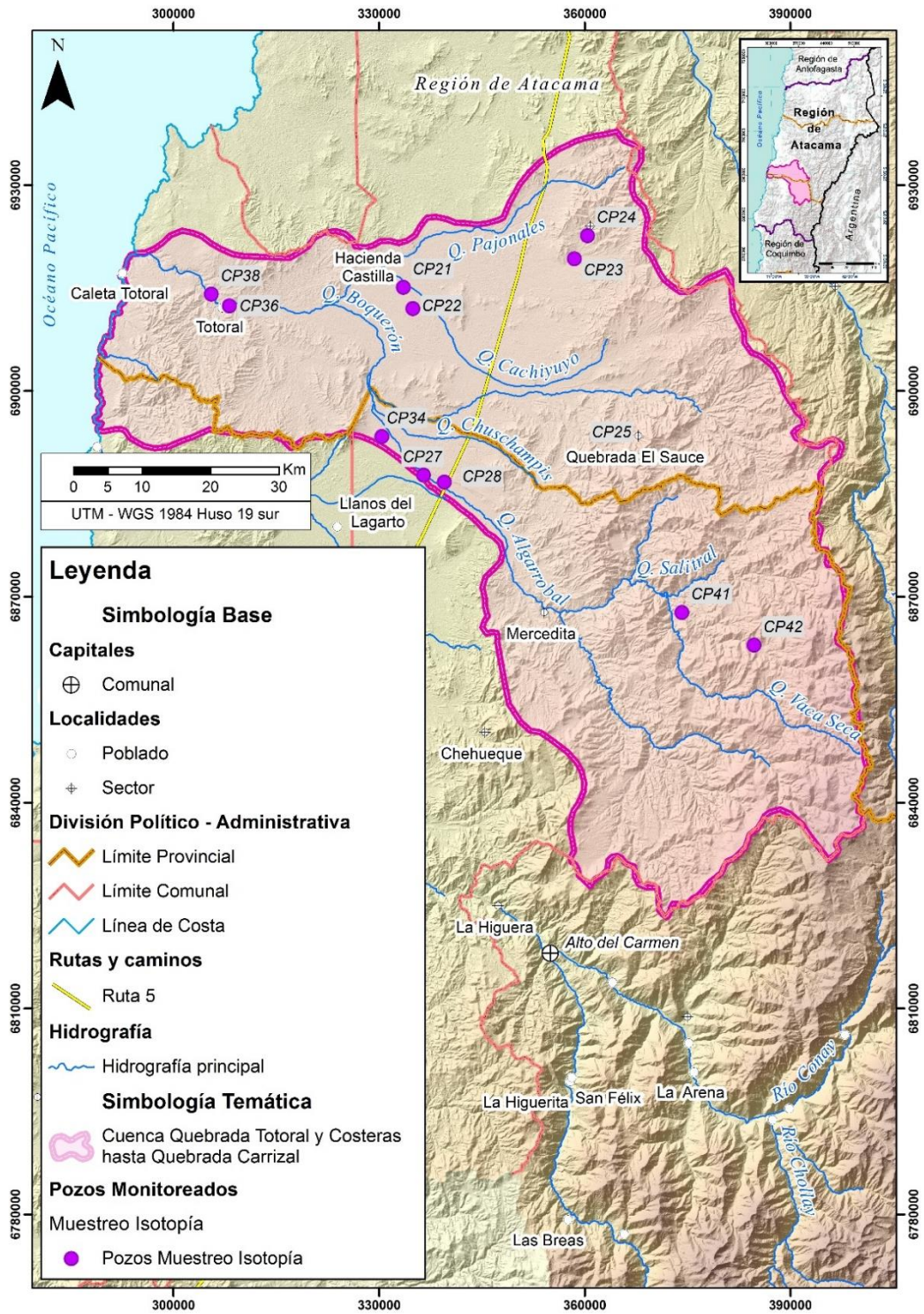
Figura 4-13: Diagramas de Stiff para la Cuenca de Totoral

4.2.3.4 *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 entre Noviembre 2021 y Enero 2022. La Figura 4-14 muestra la ubicación de los puntos de muestreo en la cuenca de la quebrada de Totoral, mientras que en la Figura 4-15, los de la quebrada de Carrizal.

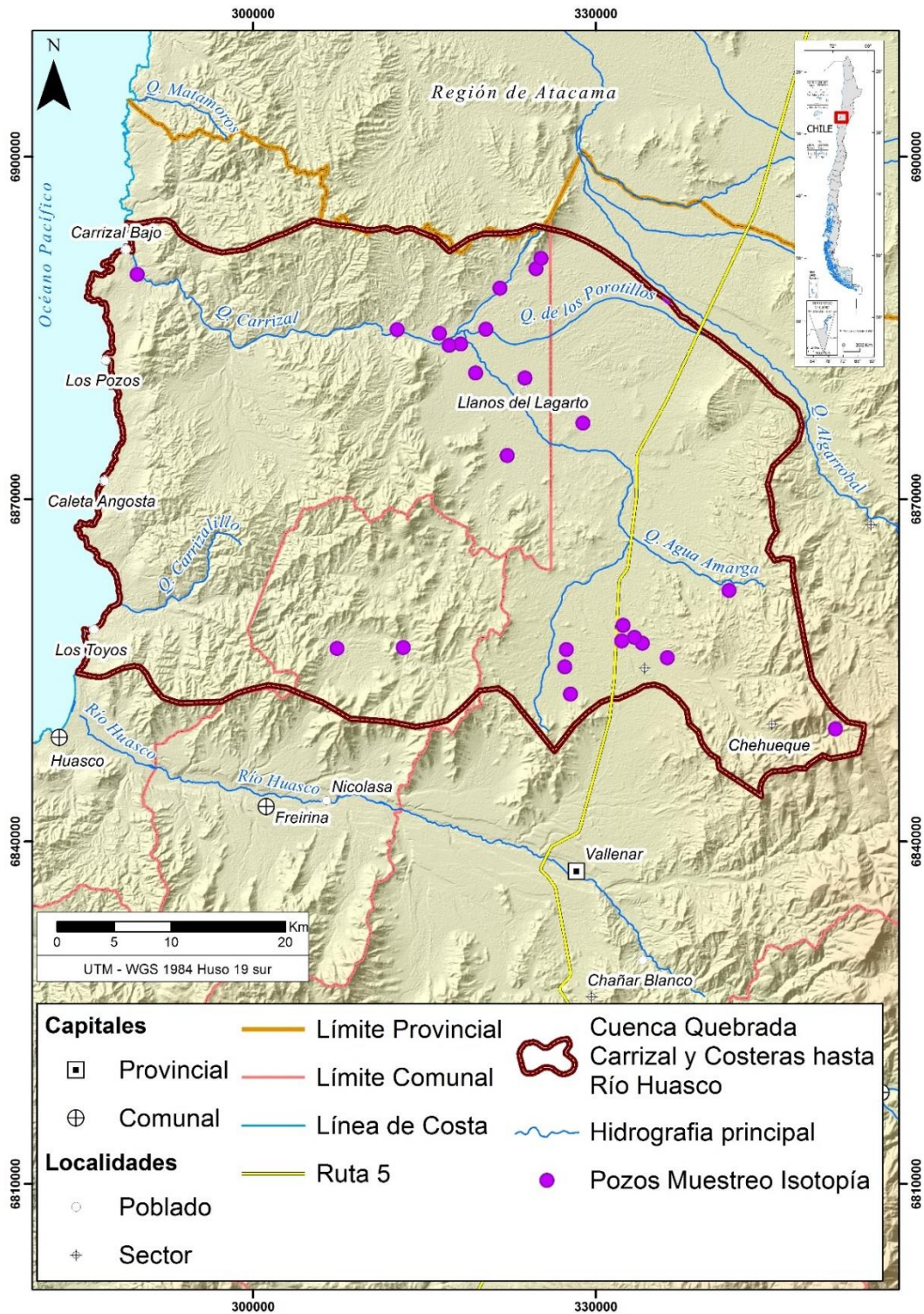
La Figura 4-16 muestra una gráfica de estos resultados comparándola con la recta de Aguas Meteóricas de Craig (1961) y de los trabajos de SERNAGEOMIN en la cuenca de Copiapó. De esta gráfica se deduce que las muestras de aguas subterráneas correspondientes a las cuencas de Quebrada Carrizal y Totoral 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, las aguas subterráneas muestran una mayor altura en la recarga de las aguas subterráneas para las aguas de la cuenca de Totoral respecto de las aguas de la Cuenca de 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. Sin embargo, esta interpretación debe confirmarse con dataciones de las aguas subterráneas, pues en algunos casos este desplazamiento podría estar relacionado con recargas asociadas a eventos de precipitaciones distintos a los actuales.



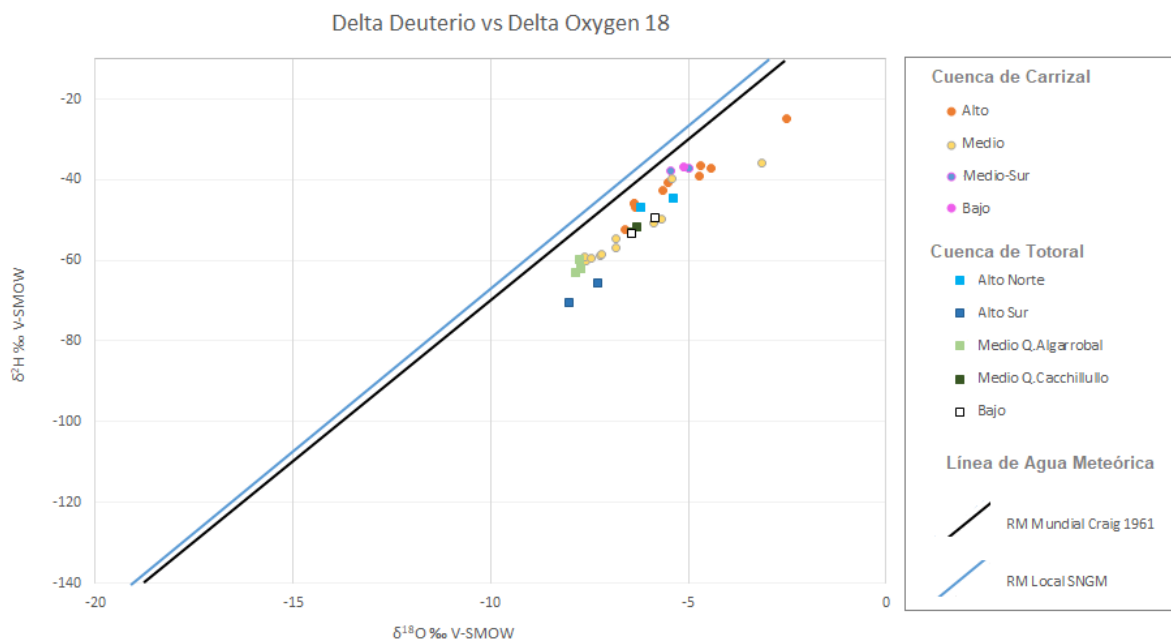
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-14: Ubicación puntos de muestreo Isotópico (Cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-15: Ubicación puntos de muestreo Isotópico (Cuenca Quebrada Carrizal y Costeras hasta Río Huasco)



Fuente: Elaboración propia con antecedentes Universidad de Arizona.

Figura 4-16: Deuterio vs Oxígeno 18 de muestras de aguas subterráneas de las cuencas de Carrizal y Totoral

4.2.3.5 Resumen características químicas e isotópicas de las aguas subterráneas

Las características químicas e isotópicas de las aguas subterráneas al interior de las cuencas de Carrizal y Totoral se presentan en el Anexo J-10. En el anexo, los sectores agrupados por colores de acuerdo a cada microcuenca corresponden a los colores mostrados en la gráfica de $\delta^2\text{H}$ vs $\delta^{18}\text{O}$. En el anexo se incluye el valor de error de análisis donde se puede visualizar el grado de confiabilidad de los resultados, siendo aceptables aquellos bajo 10%. Se incluyen valores con errores de porcentaje mayor, pues tanto los valores de isótopos y de elementos trazas y análisis de coliformes no se incluyen en el cálculo del error y corresponden a análisis químicos distintos.

Destacan los lugares en donde la norma de agua potable no es superada, tales como sectores de las microcuencas denominadas Totoral-Medio-Q. Algarrobal (muestras CP-28 y CP-34) y Carrizal-medio (muestras CP-09, CP-10 y a confirmar análisis en muestra CP-17) Por otro lado, muestras que presentaron un elevado error de balance iónico corresponden a los sectores de Totoral-Bajo, Totoral-Medio, Carrizal-Bajo, Carrizal-Medio.

En términos generales en las aguas subterráneas en el sector de la cuenca Carrizal los iones mayoritarios corresponden a Sulfato-Cloro y Calcio-Sodio, y hacia el sector oriental presentan más Bicarbonato. En estas aguas se detectaron anomalías de calidad por nitratos, magnesio, molibdeno, manganeso, boro, arsénico, amonio, hierro, pH, selenio, vanadio, turbiedad, coliformes, Sólidos Disueltos Totales (SDT) y puntualmente plata. Los isótopos estables se encuentran en rangos de valores de -7,72 a -2,51 ‰ como ^{18}O y -60,91 ‰ a -24,80 ‰ de ^2H , indicando un origen meteórico para estas aguas con una recarga asociada a diferentes altitudes en la cuenca.

En las aguas subterráneas del sector de la cuenca Totoral los iones mayoritarios corresponden a Cloro-Sulfato y Calcio-Sodio. En estas aguas se detectaron anomalías de calidad por nitratos, magnesio, molibdeno, manganeso, boro, arsénico, amonio, hierro, pH, selenio, vanadio, turbiedad, coliformes y Sólidos Disueltos Totales (SDT). Los isótopos estables se encuentran en rangos de valores de -8,02 ‰ a -5,39 ‰ como ^{18}O y -70,32 ‰ a -44,74 ‰ de ^2H , indicando un origen meteórico para estas aguas con una recarga asociada a diferentes altitudes en la cuenca, y de acuerdo a las elevaciones de muestreo, valores isotópicos.

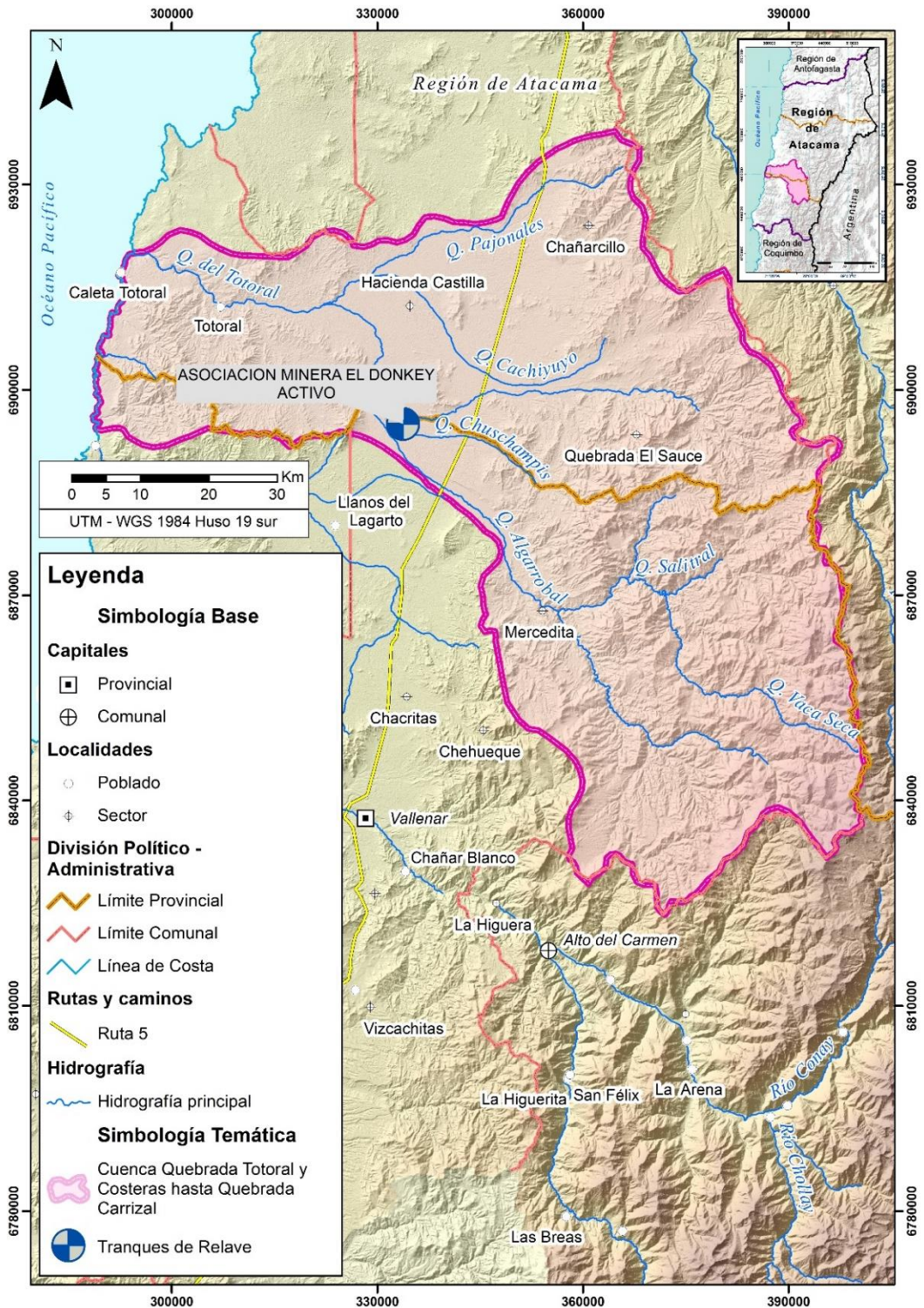
4.2.4 Fuentes de contaminación

En la cuenca se identificó una estructura de depósito de relave activa, las que podrían constituirse en pasivos ambientales siendo una potencial fuente de contaminación del sistema subterráneo. Se hace notar que no se dispone de mayores antecedentes para complementar lo presentado. En la Figura 4-17 se muestra su ubicación, y en la Tabla 4-9 sus características principales y en el Anexo J-13 se entrega la base de datos en su totalidad.

Tabla 4-9: Catastro Tranques de Relave en el Territorio

| Faena | Comuna | Nombre | Tipo | Recurso | Estado |
|--------------------|---------------|---------------|----------------------|----------------|---------------|
| Boquerón Chañar | Vallenar | S/N | Tranque de Relave | Cobre | Activo |

Fuente: Elaboración propia con antecedentes SERNAGEOMIN (2020).



Fuente. Elaboración propia con antecedentes SERNAGEOMIN (2020).

Figura 4-17: Ubicación Tranques de Relave en la Cuenca

4.2.5 Derechos concedidos

La identificación de los Derechos de Aprovechamiento de Agua (DAA) para la cuenca, tienen como fuente de información el Catastro Público de Aguas (CPA), disponible para descarga desde la página de DGA. Los datos allí dispuestos, pueden ser descargados según límites regionales, obteniendo para este estudio los derechos concedidos para la región de Atacama.

La base de datos presenta a marzo de 2022 un total de 1.779 derechos concedidos para la región de Atacama, ofreciendo además como datos de ubicación del derecho, columnas con información relacionada con la división político-administrativa (región, provincia y comuna), las divisorias de aguas (cuenca, subcuenca y subsubcuenca) y las coordenadas de captación (coordenadas UTM, huso, datum, coordenadas geográficas). También, en algunos derechos es posible encontrar una columna que describe la ubicación del punto de captación (referencia a puntos conocidos de captación).

De esta forma, utilizando como filtro de información la cuenca donde se ubica el derecho, para Totoral se encuentran 44 derechos concedidos, siendo todos de naturaleza subterránea.

Es importante destacar que al momento de georreferenciar los derechos existe una variedad de formatos en la que presentan los datos de ubicación. 34 derechos presentan coordenadas UTM, en huso 19, siendo 24 derechos en datum PSAD 1956 y 10 en datum WGS 1984. Por otro lado, los 10 derechos restantes no poseen coordenadas UTM, ni geográficas, habiendo una descripción de la ubicación en base a hitos territoriales.

Se realizó la georreferenciación de los 34 derechos con coordenadas UTM. De los 24 derechos con datum PSAD56, 11 derechos están ubicados fuera de la cuenca quebrada Totoral, mientras que, de los 10 derechos con datum WGS84, 9 se ubican fuera la cuenca. Ante esta situación, se procedió a georreferenciar la totalidad de derechos presentados en el CPA con el objetivo de filtrar estos de acuerdo a su localización geográfica.

Como se mencionó anteriormente, se representan de diferentes formas las coordenadas o referencias de ubicación de los derechos. La Tabla 4-10 resume y especifica los diferentes formatos en que se presentan los datos cartográficos.

Se georreferenciaron los 898 derechos que poseían algún tipo de coordenada. En los derechos que contaban sin un datum o huso, se optó por darle el datum WGS84 huso

19S, sabiendo que, ante un error, la ubicación real de ese derecho sería de aproximadamente 400 metros. Con esta nueva metodología se ubicaron 17 derechos en la cuenca Totoral.

Tabla 4-10: Tipos de referencias cartográficas existentes en el CPA

| Tipo de Coordenada | N° de DAA |
|---|------------------|
| Coordenada Sin Datum Sin Huso | 5 |
| Solo Referencia de punto | 881 |
| Coordenada Sin Datum Huso 19S | 34 |
| Coordenada Sin Datum Huso 18S | 4 |
| Coordenadas Geográficas (GC56) | 22 |
| Coordenadas Geográficas (no especifica) | 3 |
| Coordenadas UTM Huso 19 PSAD56 | 511 |
| Coordenadas UTM Huso 19 SAD69 | 1 |
| Coordenadas UTM Huso 19 WGS84 | 318 |
| TOTAL | 1779 |

Fuente: CPA (marzo 2022).

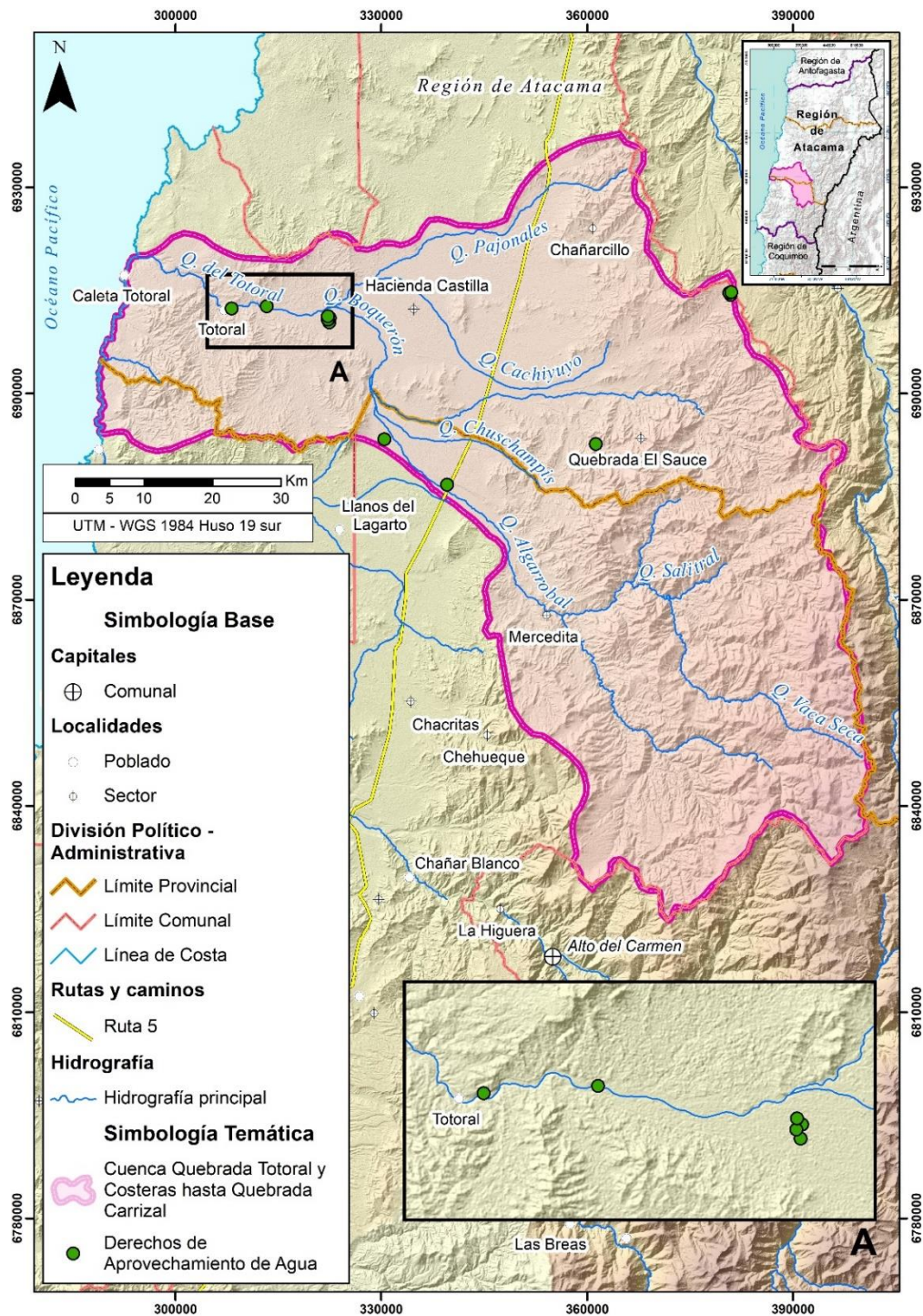
Respecto a los derechos que cuentan con el método de ubicación "Referencia de punto", dado a lo ambiguo de los hitos territoriales referenciados, resulta difícil ubicar cada derecho y más aún realizarlo con precisión, por lo tanto, se utilizó el filtrado por cuenca para identificar los derechos en el área de estudio, observando un total de 10 derechos.

De esta forma, se observan inconsistencias en el CPA que dificultan el estudio de la cuenca en lo relacionado a los derechos concedidos. Al no poseer un estándar en la definición de coordenadas de ubicación generan dilemas que traspasan los límites de estudio, ya que provoca problemas en la fiscalización de derechos y en la gestión de los SHAC.

En lo que respecta a derechos se tiene la información presentada en la Tabla 4-11, donde se resume la información de derechos identificada en el CPA. Los derechos se presentan en términos de volumen anual, por peticionario y de acuerdo al uso que fue declarado al momento de la concesión del derecho.

Los derechos identificados con este proceso se muestran en la Figura 4-18.

Dada la incertidumbre asociada a la información de DAA disponible en el CPA, para definir los derechos a analizar, se adoptó la serie de derechos usada para el proceso que decretó zonas de prohibición de los sistemas acuíferos que se describen posteriormente en el acápite 4.2.6.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes CPA.

Figura 4-18: Figura Derechos Aprovechamiento de Agua del CPA

En lo que respecta a derechos se tiene la información presentada en la Tabla 4-11, donde se resume la información de derechos identificada en el CPA. Los derechos se presentan en términos de volumen anual, por peticionario y de acuerdo al uso que fue declarado al momento de la concesión del derecho. La ubicación de estos derechos se presenta en la Tabla 4-11.

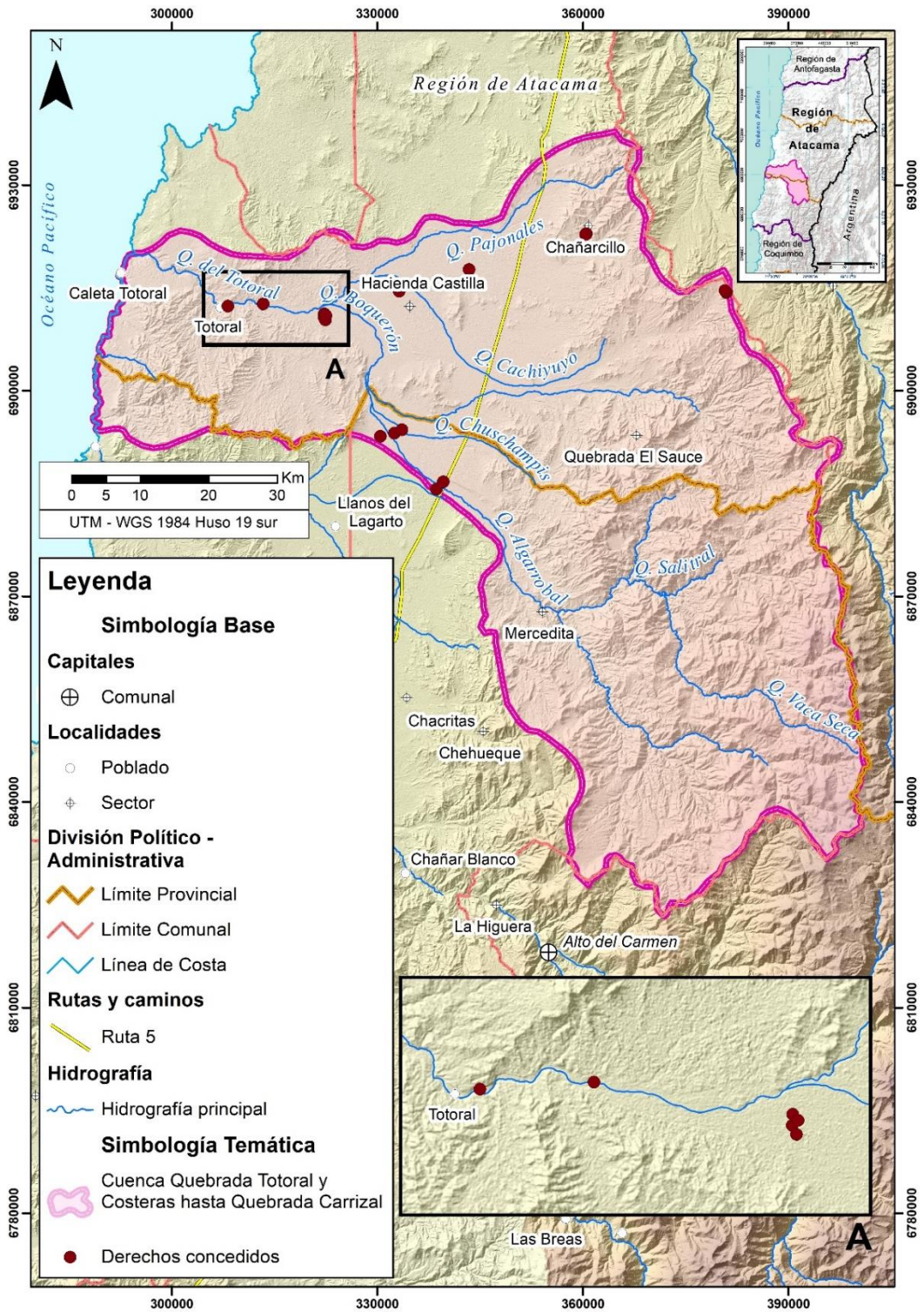
Por otra parte, se tienen los derechos reportados en el estudio DGA (2019b), en el que se decretó zona de prohibición en el SHAC Totoral Alto y restricción en el SHAC Totoral Bajo, los que se presentan en la Tabla 4-11. Los derechos se presentan en términos de volumen anual, por peticionario y de acuerdo al uso que fue declarado al momento de la concesión del derecho. La ubicación de estos derechos se presenta en la Figura 4-19.

Tabla 4-11: Derechos de Aguas Subterráneos en el Territorio

| Expediente | Peticionario | Uso | Volumen Total Anual Acumulado (m³/año) |
|-------------------|---|--------------|--|
| SHAC Totoral Bajo | | | |
| ND-0302-306 | Domingo Guggiana Guggiana | S/I | 662.256 |
| ND-0303-1158 | Oscar Antonio Moreno Gálvez | S/I | 11.353 |
| ND-0302-1235 | Comité de A.P.R. Totoral | Agua Potable | 47.304 |
| SHAC Totoral Alto | | | |
| UA-0303-805780 | Compañía de Acero del Pacifico S.A. | Minería | 113.530 |
| UA-0303-809301 | Compañía de Acero del Pacifico S.A. | Minería | 107.222 |
| UA-0302-20 | Compañía Minera Río Huasco | Minería | 18.922 |
| UA-0303-1 | Fernando Eugenio Seguel Retornano | S/I | 173.448 |
| UA-0303-1 | Fernando Eugenio Seguel Retornano | S/I | 126.144 |
| ND-0302-432 | Sociedad Agrícola e Inversiones Agrogénesis Ltda. | Riego | 1.892.160 |
| ND-0302-432 | Sociedad Agrícola E Inversiones Agrogénesis Ltda. | Riego | 2.207.520 |
| ND-0303-464 | SOQUIMICH | Riego | 66.226 |
| ND-0302-758 | Rodrigo Javier Moreno Prohens | S/I | 759.494 |
| ND-0302-758 | Rodrigo Javier Moreno Prohens | S/I | 1.115.506 |
| ND-0302-834 | Sociedad Agrícola Río Escondido Ltda. | S/I | 473.040 |

| Expediente | Peticionario | Uso | Volumen Total Anual Acumulado (m³/año) |
|-------------------|---------------------------------------|------------|--|
| ND-0302-834 | Sociedad Agrícola Río Escondido Ltda. | Riego | 189.216 |
| ND-0302-834 | Sociedad Agrícola Río Escondido Ltda. | Riego | 110.376 |
| UA-0302-809180 | Cesar Sumar Pacha | S/I | 10.722.240 |
| UA-0302-805829 | Compañía Minera Río Huasco | Minería | 37.843 |
| UA-0302-805830 | Compañía Minera Río Huasco | Minería | 18.922 |
| UA-0302-805831 | Compañía Minera Río Huasco | Minería | 18.922 |
| UA-0302-805832 | Compañía Minera Río Huasco | Minería | 18.922 |
| ND-0303-1158 | Oscar Antonio Moreno Gálvez | S/I | 56.765 |

Fuente: Elaboración propia con antecedentes CPA-BNA.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes CPA.

Figura 4-19: Figura Derechos Aprovechamiento Concedidos Adoptados

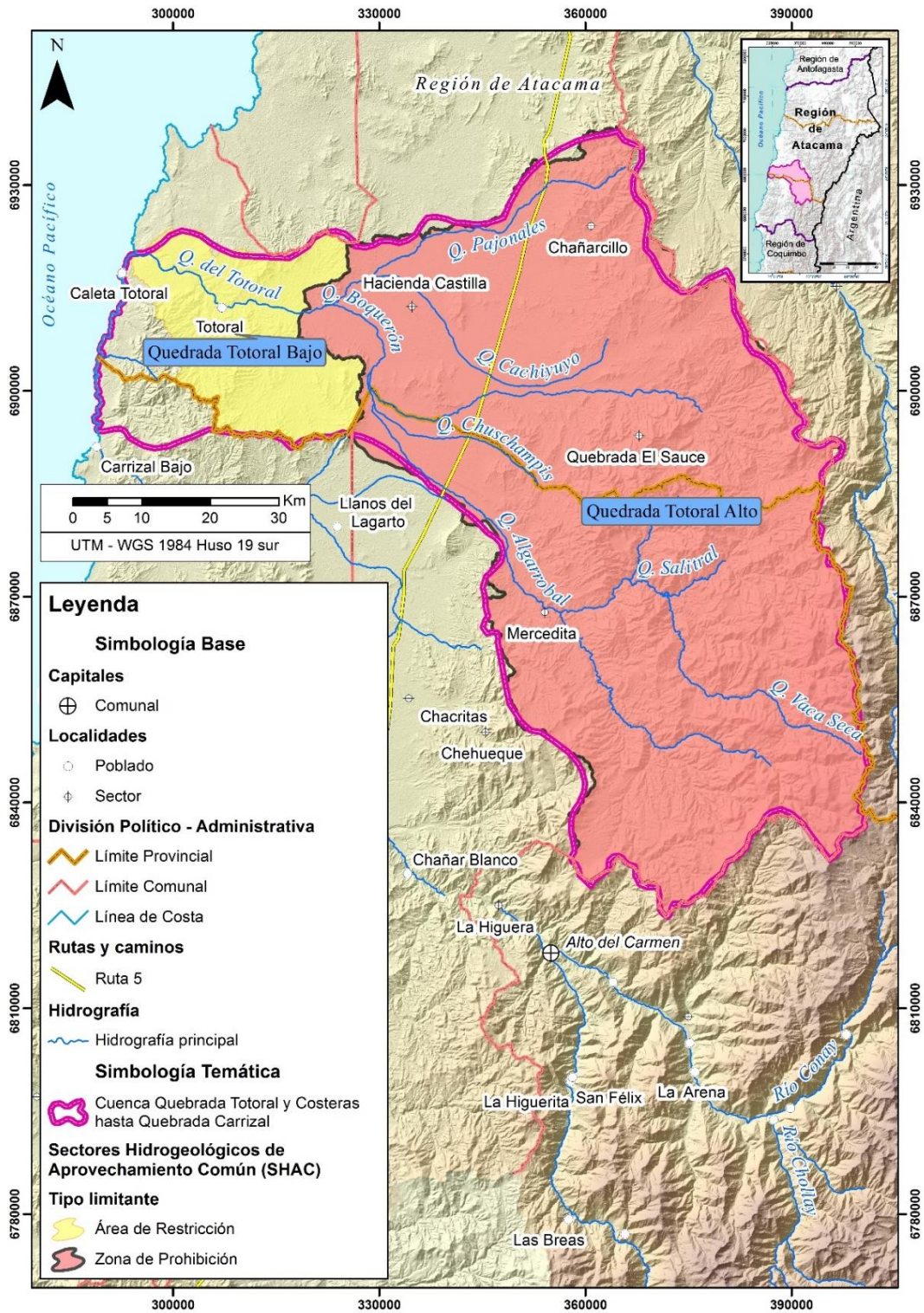
4.2.6 Zonas de Prohibición

Actualmente existe una zona de restricción y una zona de prohibición para nuevas explotaciones de aguas subterráneas en el territorio, lo que se resume en la Tabla 4-12, y gráficamente en la Figura 4-20.

Tabla 4-12: Áreas de Restricción y Zonas de Prohibición a nivel Territorial

| | |
|------------------------|-----------------------|
| SHAC | Quebrada Totoral Bajo |
| Tipo Limitación | Área de Restricción |
| Nº de Resolución DGA | 1 |
| Fecha Resolución DGA | 30-01-2019 |
| SHAC | Quebrada Totoral Alto |
| Tipo Limitación | Zona de Prohibición |
| Nº de Resolución DGA | 11 |
| Fecha Resolución DGA | 04-10-2019 |

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA.

Figura 4-20: Zonas de Restricción y Prohibición

5 BALANCE DE AGUA

Para la ejecución del presente estudio, se desarrollan modelos independientes de simulación de flujos superficiales y subterráneos que son acoplados, siendo sus principales resultados los presentados a continuación. La descripción de los modelos se detalla en el Anexo H, donde en el Capítulo 1 se aborda el modelo subterráneo y en el Capítulo 2 el modelo superficial. La modelación integrada en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal se llevó a cabo según las indicaciones generales presentadas en DGA (2019c).

5.1 Modelo de simulación

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 DGA.

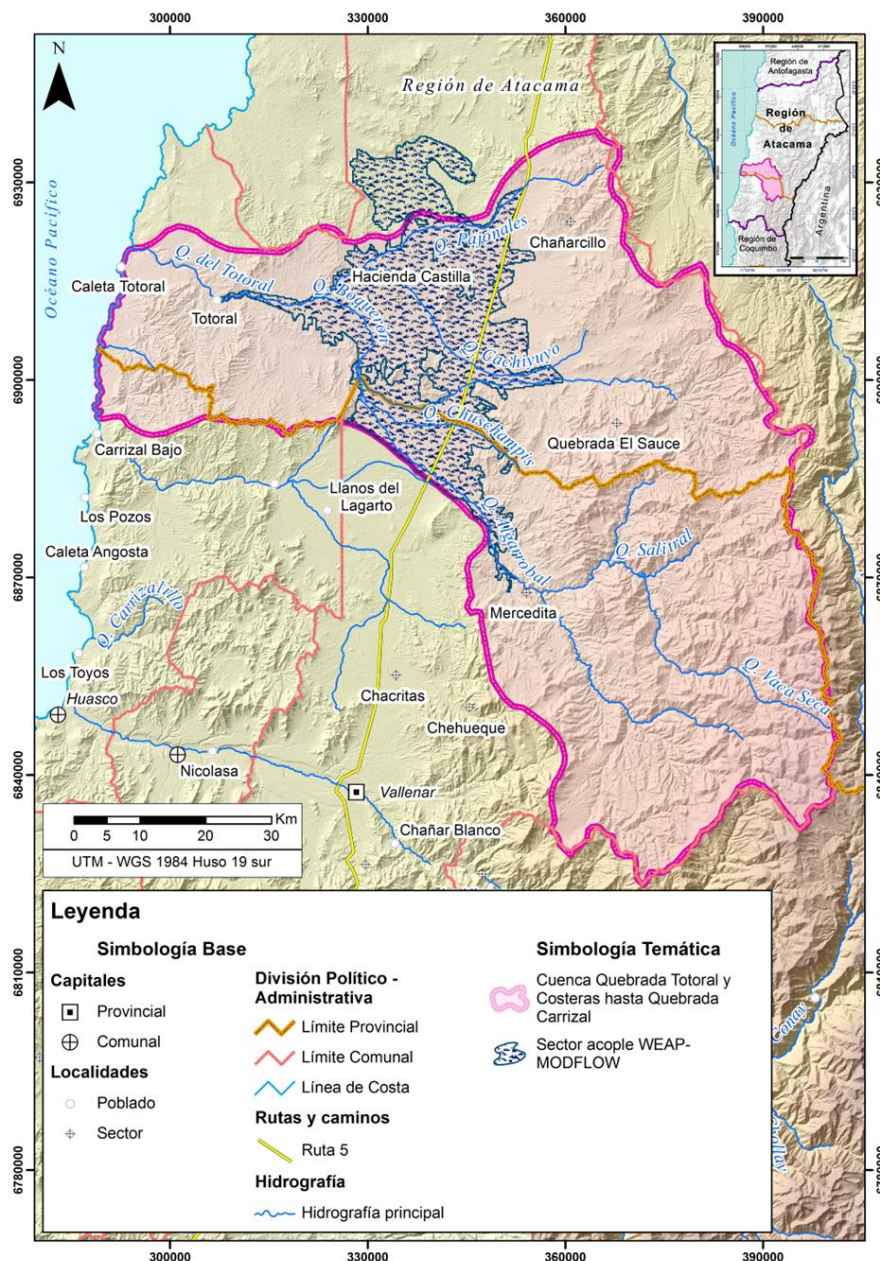
A pesar de presentar estudios diferenciados para la cuenca Quebrada Carrizal y para la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, el modelo hidrológico superficial – subterráneo asociado a estas cuencas es generado en conjunto debido a que el único cuerpo acuífero de relevancia es transversal a estas cuencas, y por lo tanto, es imposible independizar los efectos que generan las acciones de un territorio sobre el otro.

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 superficial. El detalle de la metodología y plataformas utilizadas para alcanzar un acople efectivo se presentan en los acápite 2.4.1, 2.4.2 y 2.4.3 del Anexo F.

5.1.1 Situación actual

En los siguientes puntos se resume los principales aspectos de la construcción del modelo WEAP – MODFLOW aplicado en cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, con el objetivo de identificar sus componentes. También se presenta la calibración superficial, subterránea y de elementos operacionales del sistema, además del balance de los sectores acuíferos de la cuenca.

El periodo en donde se enmarca la situación actual y de calibración corresponde a 1990 – 2019, denominado Caso Base (CB). La modelación acoplada se realiza en la zona que define al Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común (SHAC) de la zona media-baja de las cuencas, mientras que todo el resto de la cuenca se modela sólo mediante WEAP. El detalle de la delimitación del sector acoplado es presentado en la Figura 5-1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-1: Delimitación del sector de acople WEAP – MODFLOW

5.1.1.1 Creación del modelo superficial

En el capítulo 2 del Anexo H se presenta la descripción del modelo superficial WEAP de la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, utilizado como base en la elaboración del modelo acoplado del presente estudio.

5.1.1.2 Actualización del modelo subterráneo

En el capítulo 1 del Anexo H se presenta la descripción del modelo subterráneo MODFLOW de la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, utilizado como base en la elaboración del modelo acoplado del presente estudio, junto a las modificaciones realizadas en la actualización de éste.

5.1.1.3 Construcción del modelo acoplado superficial-subterráneo

En el capítulo 3 del Anexo H se presenta la construcción del modelo acoplado WEAP-MODFLOW de la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, conforme a la metodología indicada.

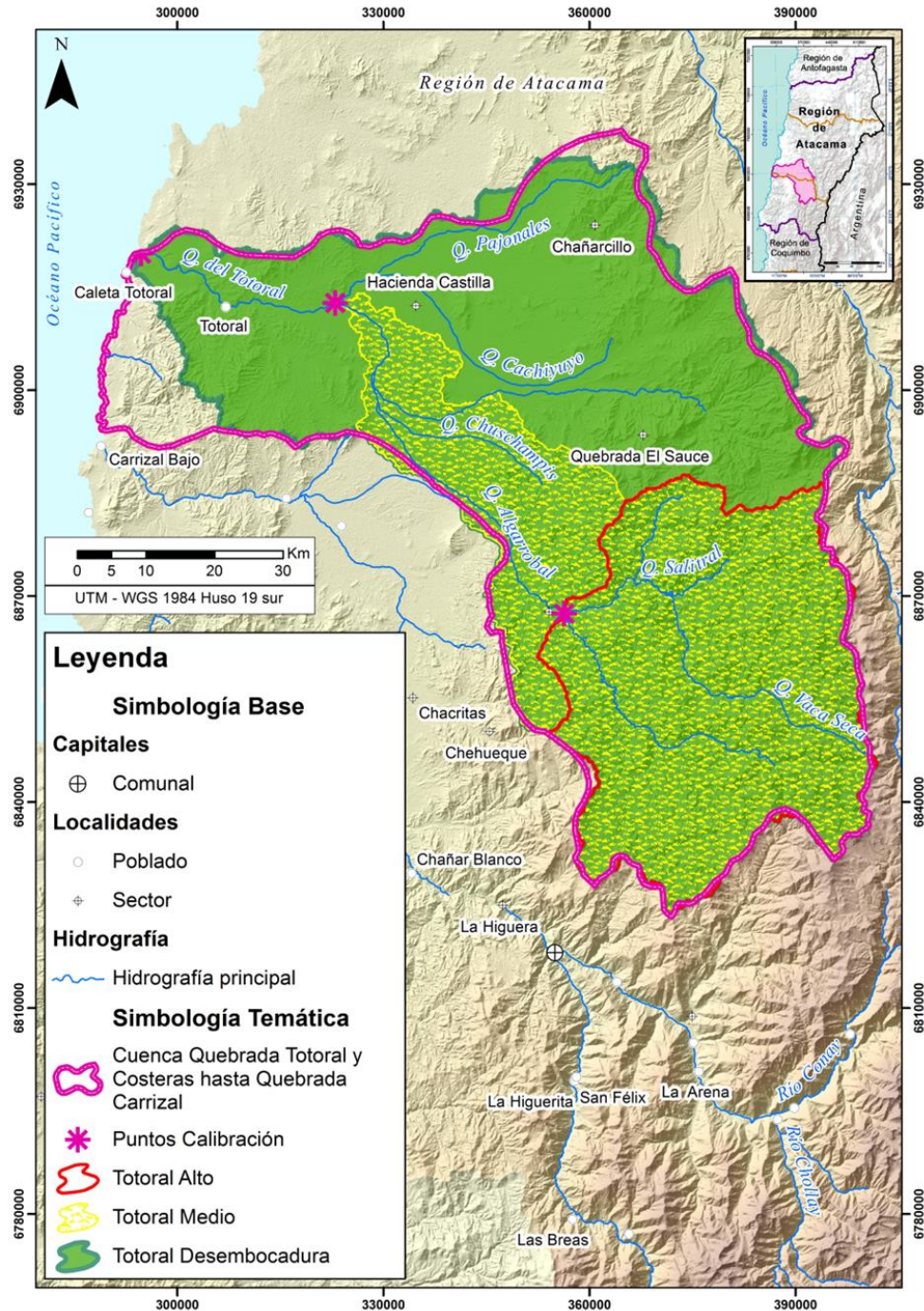
5.1.1.4 Calibración de flujos superficiales

En el capítulo 4 del Anexo H se presenta la calibración y resultados del modelo acoplado WEAP-MODFLOW de la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, siguiendo los lineamientos indicados de la metodología.

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. Los principales parámetros modificados en el proceso de calibración fueron los de generación de escorrentía de las subcuencas de cabecera, para regular la cantidad de agua que se comunicaba entre el sistema superficial y el subterráneo.

En la cuenca 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). Como resumen de la calibración superficial sintética del sistema conjunto, se obtuvieron los indicadores de calibración en los puntos de control más relevantes de la cuenca,

mostrados en la Figura 5-2, los que representan una serie robusta para hacer una comparación.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-2: Puntos de interés para calibración superficial sintética

La Tabla 5-1 muestra los valores de las métricas de evaluación empleadas, correspondientes a la eficiencia de Kling-Gupta (KGE; Gupta et al., 2009), la eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE; Nash y Sutcliffe, 1970), el coeficiente de determinación (R^2) y el porcentaje de sesgo (PBIAS). El detalle de la formulación matemática de estos indicadores se puede consultar en el Anexo F acápite 2.4.4.1.

Tabla 5-1: Indicadores de calidad de calibración del modelo en periodo histórico (1990 – 2019)

| Sector | ID | Punto | KGE | NSE | R^2 | PBIAS | ME |
|--------|----|-----------------------|------|------|-------|-------|-------|
| 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.

La cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal 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 aceptar o rechazar el modelo hidrológico, ya que tiende a ignorar posibles desviaciones en períodos de flujo bajo, debido a que no es muy sensible a sobreestimaciones y subestimaciones sistemáticas del modelo (Krause et al., 2005).

En consecuencia, la calibración del modelo se enfoca principalmente en lograr ajustes satisfactorios de KGE, ya que esta 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).

Valores de KGE mayores o iguales a 0,3 son considerados como Satisfactorios y menores a 0,3 como No Satisfactorios, según lo descrito en el acápite 4.1 del Anexo H. 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 (Moriassi et al., 2007)

Finalmente, la calidad de los ajustes es similar a lo largo de la cuenca, donde todos los puntos de calibración superficial sintéticos entregan resultados Satisfactorios para KGE ($>0,3$) y Muy buenos para PBIAS ($< 10\%$).

5.1.1.5 Calibración de niveles subterráneos

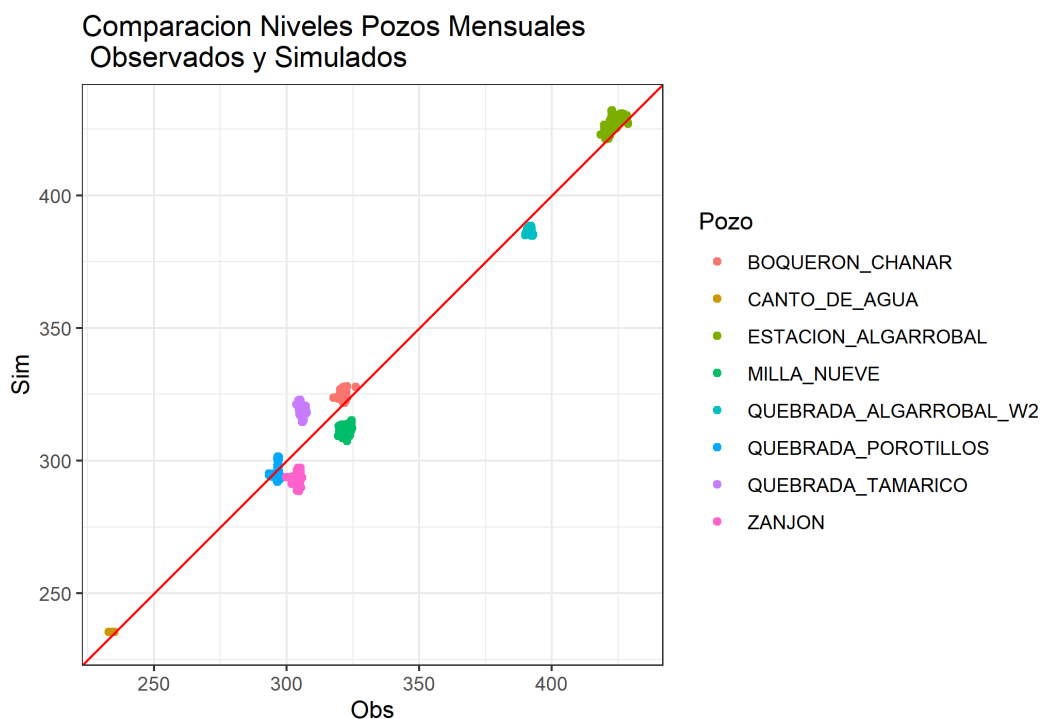
En la componente subterránea se observa una buena calidad en los ajustes del periodo 1990 - 2019; con un MAE y RMSE normalizado inferior a 5% (3,8% y 4,5%, respectivamente), acorde con los criterios de cierre recomendados por la Guía de Modelación Subterránea (SEA, 2012). Así también, en el acápite 5.2.1 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 5-2.

Tabla 5-2: 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.

El ajuste de los niveles calibrados se muestra en la Figura 5-3. Como se puede observar, los ajustes obtenidos son satisfactorios e incluso reproducen las condiciones originales del modelo hidrogeológico base.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-3: Diagrama de dispersión de niveles freáticos observados y simulados

5.1.2 Situación proyectada

La situación proyectada comprende la decisión del Modelo de Circulación General (MCG) a adoptar para la cuenca como también el escenario base sobre el cual se implementarán los escenarios de gestión. El periodo futuro donde se enmarca la situación proyectada corresponde a 2021 – 2050 y es denominado Ventana Futura (VF). A continuación, se presenta la toma de decisiones de estos aspectos para la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal.

5.1.2.1 Selección de Modelos de Circulación General disponibles

En el acápite 5.1 del Anexo H se presenta el detalle de la selección de los modelos de circulación general disponibles. Como resumen, la elección se enmarca en la metodología empleada en la Actualización del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2017b). Los cuatro modelos seleccionados poseen tres características principales: Respuesta regional a

ambos modos globales de variabilidad climática, Sensibilidad climática, y Cambios regionales.

Estos modelos corresponden a CSIRO-MK3-6-0, CCSM4, MIROC-ESM, e IPSL-CM5A-LR y agrupan cuatro 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).

Cada uno de los cuatro MCG fue escalado a nivel de subcuencas y comparado con la estadística meteorológica de calibración. En el caso de la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal, el MCG seleccionado para forzar el escenario futuro debe tener un comportamiento conservador, es decir, con precipitaciones a la baja y temperatura media al alza. Por tanto, fue escogido el MCG IPSL-CM5A-LR, el que proyecta una disminución de 15,7% en las precipitaciones y un aumento de 1,22°C para la temperatura media anual.

5.1.2.2 Escenario futuro base de cambio climático (VF)

El escenario VF busca evaluar los impactos del cambio climático en un estado futuro donde todas las condiciones relacionadas a la actividad humana continúan equivalentes a aquellas de finales del período histórico, mientras se considera la existencia de cambio climático a través del uso de modelos climáticos, según lo enunciado en el acápite precedente. En particular, la superficie agrícola de riego durante este período se mantiene constante desde el año 2019 (323,66 ha), de igual forma que las extracciones mensuales tanto a nivel superficial como subterráneo se mantienen en los mismos niveles del año 2019 para usos de agua potable rural y minería.

5.2 BRECHAS

5.2.1 Resultados de escenario Caso Base (CB)

El escenario Caso Base (CB) se establece como la simulación hidrológica superficial y subterránea del modelo WEAP-MODFLOW calibrado, para las condiciones históricas y último año de simulación.

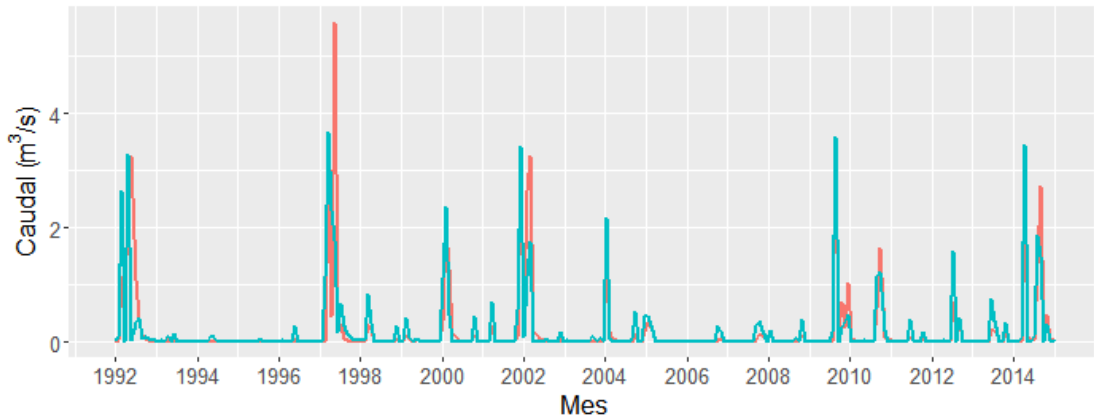
5.2.1.1 Flujos superficiales en puntos de control

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

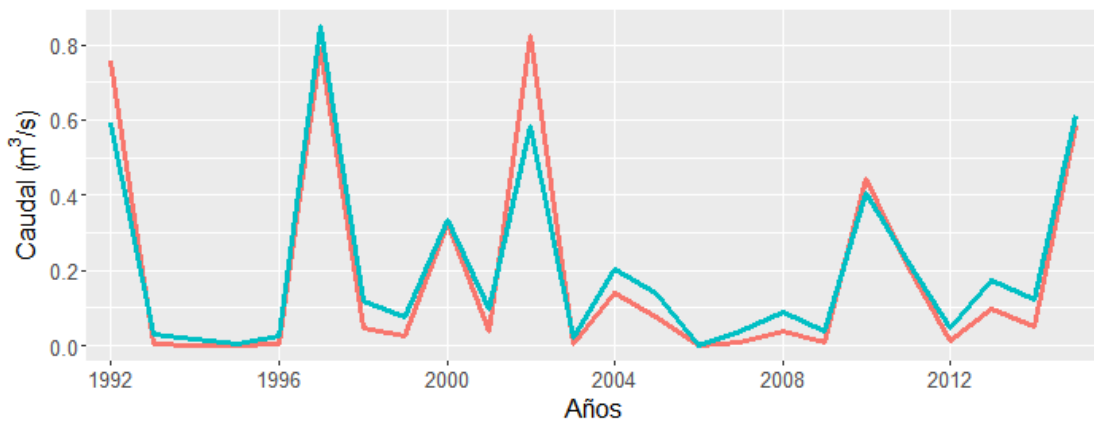
del acople, las que se resumen en los tres ya detallados en la Figura 5-2 y se muestran en la Figura 5-4, Figura 5-5 y Figura 5-6.

Ajuste de caudales superficiales observados y WEAP - Cuencas Costeras Totoral

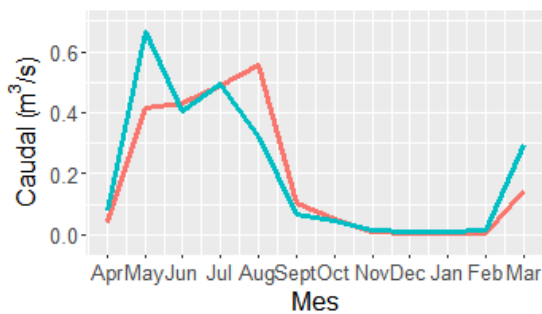
**Streamflow - Q Algarrobal_
Caudal mensual**



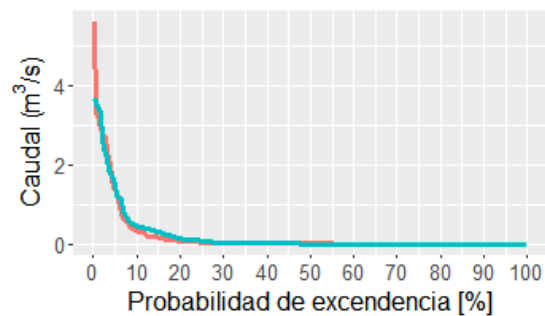
Caudal medio anual



Caudal medio mensual



Curva de duracion



— WEAP sim — zOBS

$KGE = 0.75$; $NSE = 0.5$; $RMSE = 0.41$; $R^2 = 0.59$; $PBIAS = -7.1$; $ME = -0.01$

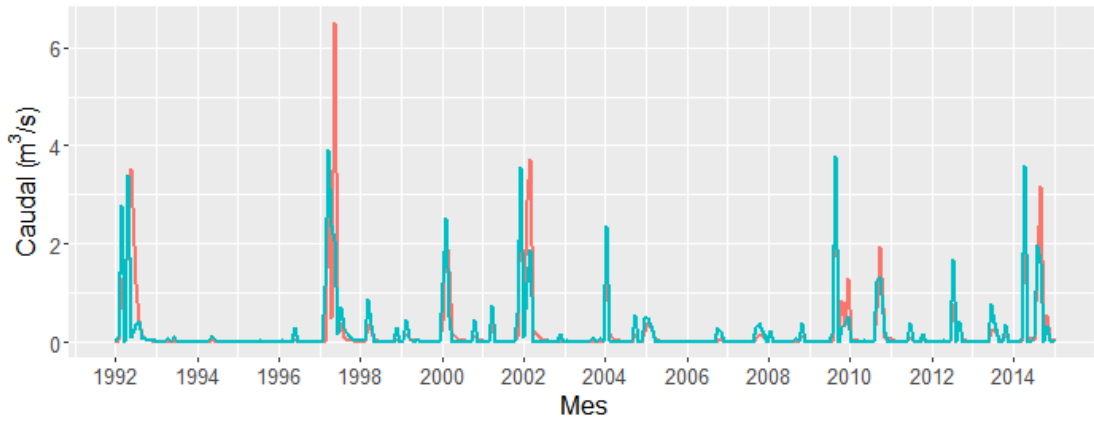
Fuente: Elaboración propia.

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

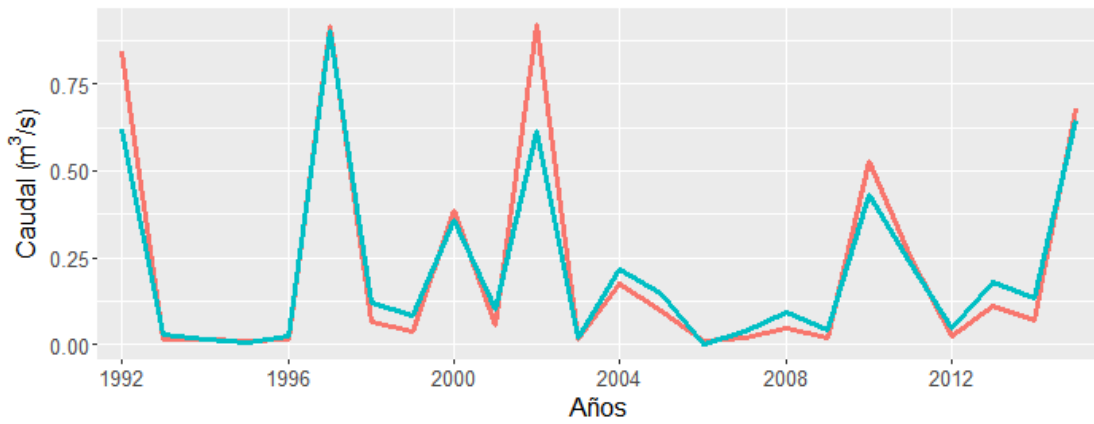
Ajuste de caudales superficiales observados y WEAP - Cuencas Costeras Total

Streamflow - Q Boqeron_

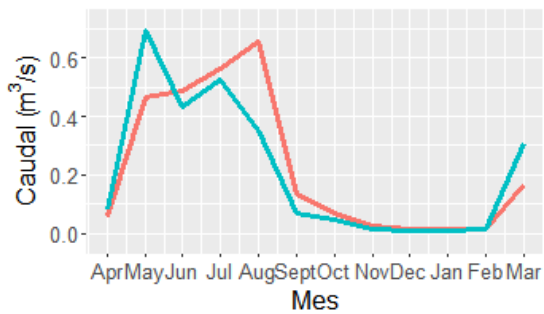
Caudal mensual



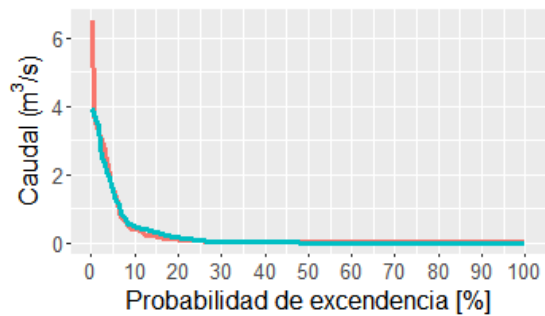
Caudal medio anual



Caudal medio mensual



Curva de duracion



— WEAP sim — zOBS

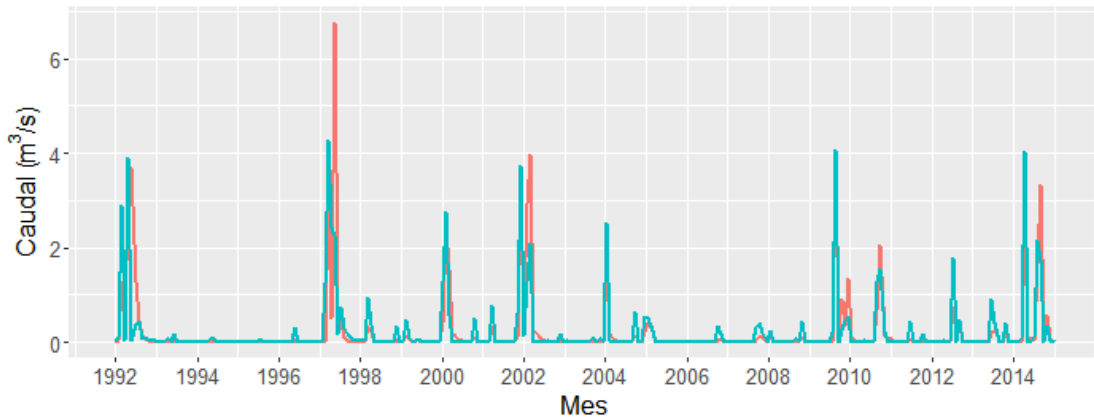
$KGE = 0.73$; $NSE = 0.47$; $RMSE = 0.45$; $R2 = 0.6$; $PBIAS = 4.2$; $ME = 0.01$

Fuente: Elaboración propia.

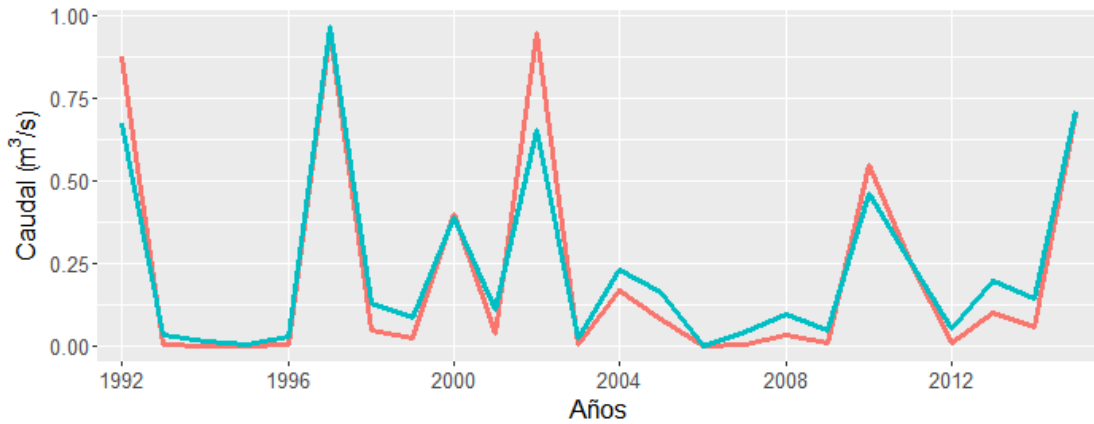
Figura 5-5: Resultados calibración en punto de control Totoral Medio

Ajuste de caudales superficiales observados y WEAP - Cuencas Costeras Total

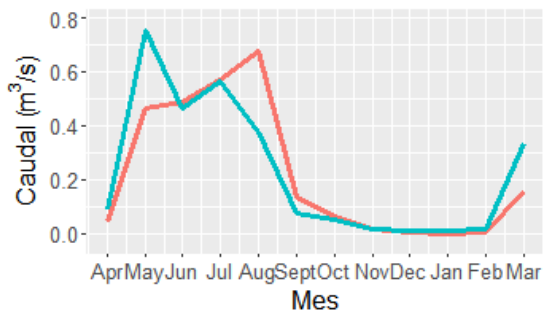
**Streamflow - Q Totoral_
Caudal mensual**



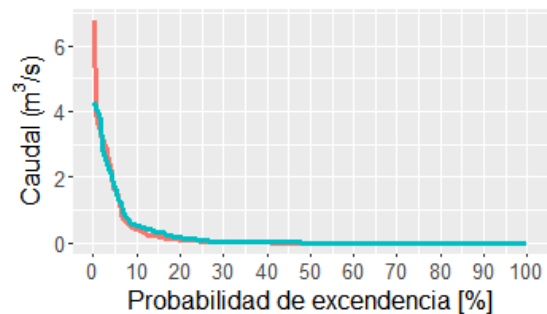
Caudal medio anual



Caudal medio mensual



Curva de duracion



— WEAP sim — zOBS

KGE = 0.75 ; NSE = 0.49 ; RMSE= 0.48 ; R2= 0.59 ; PBIAS= -4.7 ; ME= -0.01

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-6: Resultados calibración en punto de control Totoral
Desembocadura**

Como muestra la Tabla 5-1, la calidad de los ajustes es similar a lo largo del modelo. En la zona alta, el punto de control Totoral Alto (Figura 5-4) 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 destaca 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.

La Tabla 5-3 muestra un resumen estadístico de los flujos simulados en los tres puntos de calibración sintética. Se aprecia que el máximo (Max), mínimo (Min), promedio (\bar{x}) y desviación estándar (σ) aumentan a medida que se desciende por la cuenca.

Tabla 5-3: Resumen estadístico de series fluviométricas simuladas en escenario CB (1990 – 2019)

| Estación/Estadístico | Max (m³/s) | Min (m³/s) | \bar{x} (m³/s) | σ (m³/s) | CV (-) |
|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---|--|-------------------|
| Totoral Alto | 5,52 | 0,00 | 0,18 | 0,61 | 3,4 |
| Totoral Medio | 6,42 | 0,01 | 0,21 | 0,69 | 3,3 |
| Totoral Bajo | 6,71 | 0,02 | 0,24 | 0,72 | 3,0 |

\bar{x} : Promedio, σ : Desviación estándar, CV: Coeficiente de Variación

Fuente: Elaboración propia.

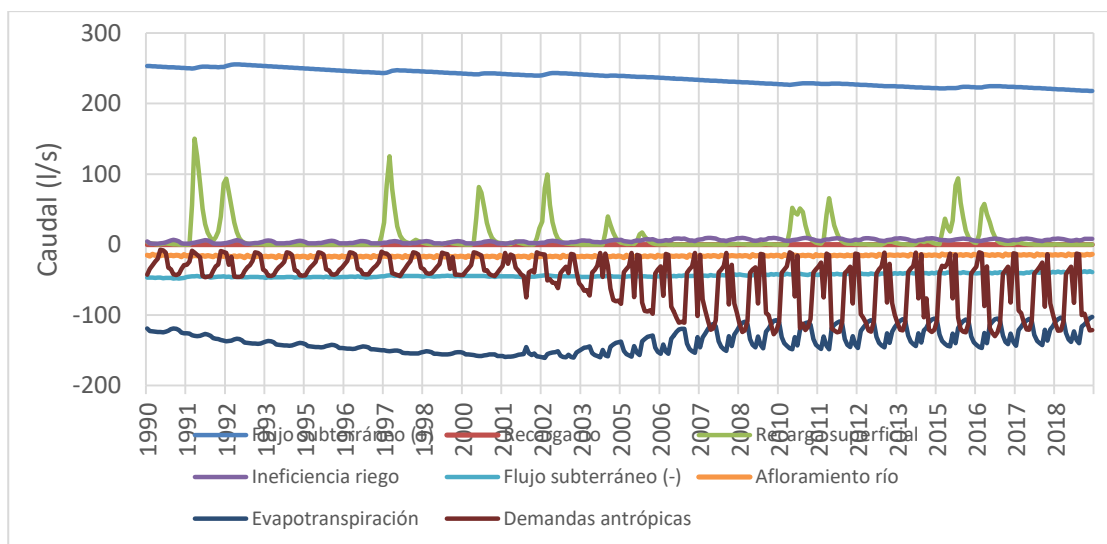
Finalmente, el Coeficiente de Variación (CV) muestra una interpretación relativa del grado de variabilidad del caudal, independiente de la magnitud de éste. Valores altos ($CV > 0,3$) indican mayor heterogeneidad en el caudal y valores bajos ($CV < 0,3$) son consecuentes a una serie homogénea. Por lo tanto, se concluye que el caudal promedio no es representativo de la serie de caudales mensuales.

5.2.1.2 Balance hídrico subterráneo

Para evaluar el comportamiento de los acuíferos modelados, se realizan balances a nivel mensual en todos los SHAC definidos en el modelo. El detalle de la conceptualización y ubicación se puede consultar en el Anexo H acápite 2.4.4.

Para ahondar en el análisis por componente de flujo, la Figura 5-7 muestra el balance hídrico 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 5-7: Balances hídricos por componentes en sector del acuífero ubicado en 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 se muestra en la Tabla 5-4.

Tabla 5-4: Balance hidrogeológico (l/s) en acuífero Escenario CB

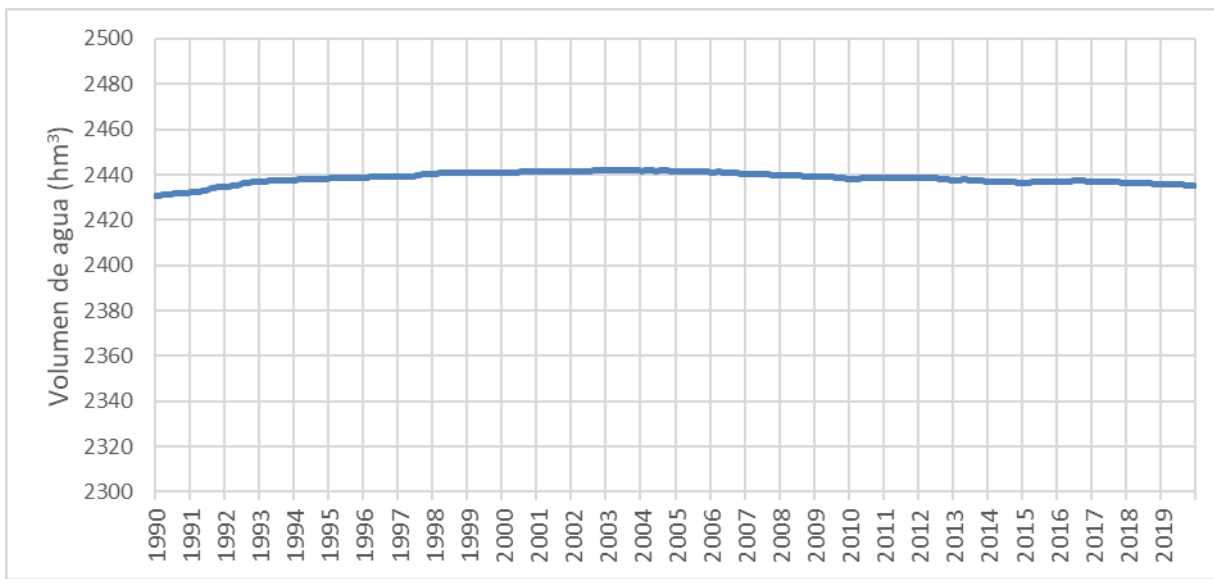
| Flujo | 1990 – 2019 | 2019 |
|---|-------------|------------|
| Entradas (l/s) | | |
| Flujo subterráneo | 237 | 219 |
| Recarga río | 0 | 0 |
| Recarga superficial | 10 | 0 |
| Ineficiencia riego | 5 | 7 |
| Total | 252 | 226 |
| Salidas (l/s) | | |
| Flujo subterráneo ^a | -44 | -39 |
| Afloramiento río | -16 | -14 |
| Evapotranspiración ^b | -137 | -121 |
| Demandas antrópicas | -51 | -73 |
| Total | -248 | -247 |
| Variación del almacenamiento (l/s) | 4 | -21 |

^a corresponde al flujo que transita desde el sector acuífero Totoral hacia el de Carrizal.

^b 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 5-8 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 5-8: 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 hm³ al año 2019.

5.2.2 Resultados de escenario Cambio Climático seleccionado (VF)

Los resultados de los flujos superficiales proyectados y el balance hídrico subterráneo proyectado del escenario VF se presentan a continuación.

5.2.2.1 Flujos superficiales proyectados en puntos de control

Los resultados de modelación superficial se entregan considerando los periodos de comparación 1990 – 2019, definido como periodo histórico o Caso Base (CB); y 2021 – 2050, distinguido como ventana futura (VF) y representativo del periodo futuro bajo cambio climático. Ambos periodos contemplan 30 años de modelación.

En la Figura 5-9 se presentan las curvas de variación estacional y las curvas de duración de caudales de los puntos de control de la cuenca (Figura 5-2). La comparación se realiza respecto a los caudales simulados para el periodo de calibración.

La Figura 5-9 muestra que los tres puntos de control de la cuenca mantienen curvas de duración de caudales similares en el escenario VF y CB para probabilidades de excedencia entre 15% hasta 100%, sin embargo, para las probabilidades restantes, las curvas VF se encuentran levemente por debajo de las CB, lo que indica una disminución en los flujos superficiales relacionados a la escorrentía en exceso de la cuenca. Asimismo, aquella disminución es también reflejada en las curvas de variación estacional, donde para el escenario VF existen disminuciones en la magnitud del caudal medio mensual en todos los meses, con excepción de junio.

La Tabla 5-5 muestra el resumen estadístico de los flujos simulados en los tres puntos de calibración sintética para el escenario VF.

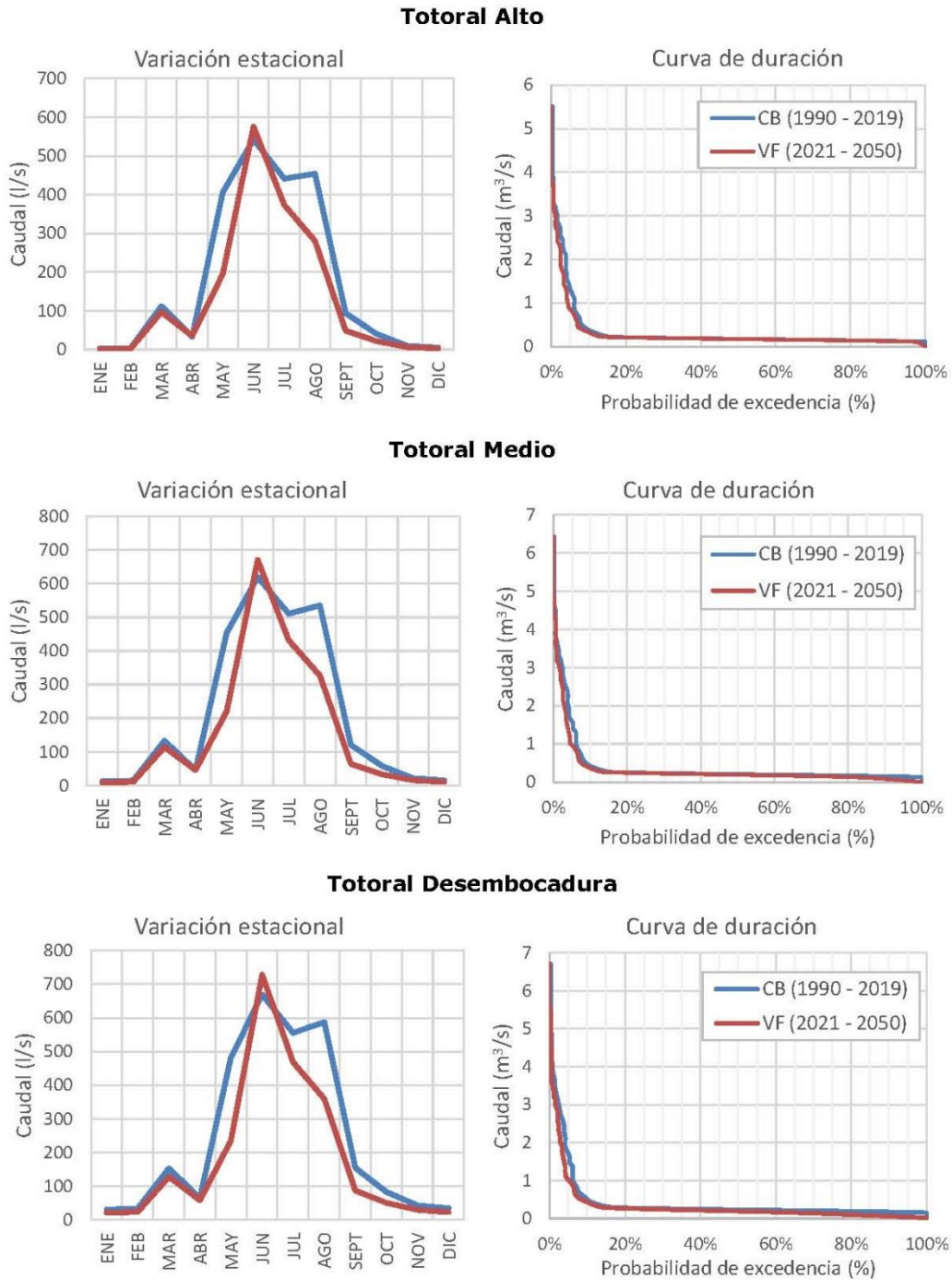
Tabla 5-5: Resumen estadístico de variación de series fluviométricas proyectadas en escenario VF (2021 – 2050)

| Punto de control | Max (m³/s) | Min (m³/s) | \bar{x} (m³/s) | σ (m³/s) | CV (-) |
|-------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---|--|-------------------|
| Totoral Alto | 3,65 | 0,00 | 0,14 | 0,49 | 3,6 |
| Totoral Medio | 4,64 | 0,01 | 0,16 | 0,56 | 3,4 |
| Totoral Bajo | 5,47 | 0,01 | 0,18 | 0,59 | 3,2 |

\bar{x} : Promedio, σ : Desviación estándar, CV: Coeficiente de Variación

Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia que el máximo (Max), mínimo (Min), promedio (\bar{x}) y desviación estándar (σ) aumentan a medida que se desciende por la cuenca, aunque con una marcada disminución en la magnitud y la dispersión del caudal al compararlo con la situación base (Tabla 5-3). El CV indica que el caudal promedio proyectado no es representativo de la serie de caudales mensuales.



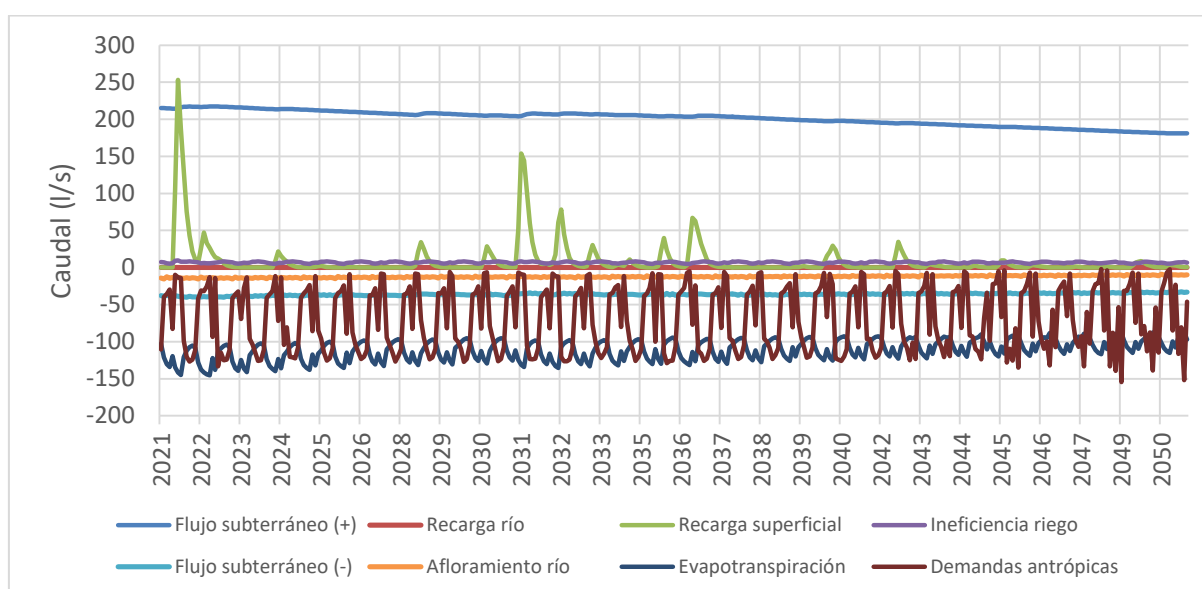
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-9: Variación futura de la escorrentía superficial en puntos de control

5.2.2.2 Balance hídrico subterráneo proyectado

La Figura 5-10 muestra el balance hídrico subterráneo proyectado por componente para el acuífero modelado en la cuenca. Al igual que en el escenario base de calibración, 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.

El detalle de los flujos de entrada y salida para las condiciones futuras (2021 – 2050) y último año de simulación futura (2050) es mostrado en la Tabla 5-6.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-10: Balance hídrico futuro por componentes en sector del acuífero ubicado en cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal

Tabla 5-6: Balance hidrogeológico (l/s) en acuífero Escenario VF

| Sector | 2021– 2050 | 2050 |
|-----------------------|------------|------|
| Entradas (l/s) | | |
| Flujo subterráneo | 201 | 181 |
| Recarga río | 0 | 0 |
| Recarga superficial | 9 | 1 |
| Ineficiencia riego | 7 | 6 |
| Total | 217 | 189 |

| Sector | 2021– 2050 | 2050 |
|---|-------------------|-------------|
| Salidas (l/s) | | |
| Flujo subterráneo ^a | -36 | -34 |
| Afloramiento río | -12 | -10 |
| Evapotranspiración ^b | -111 | -101 |
| Demandas antrópicas | -69 | -61 |
| Total | -229 | -206 |
| Variación del almacenamiento (l/s) | -12 | -17 |

^a corresponde al flujo que transita desde el sector acuífero Totoral hacia el de Carrizal.

^b considera exclusivamente la evapotranspiración en el sector del humedal Totoral.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3 Síntesis de brechas entre oferta y demanda

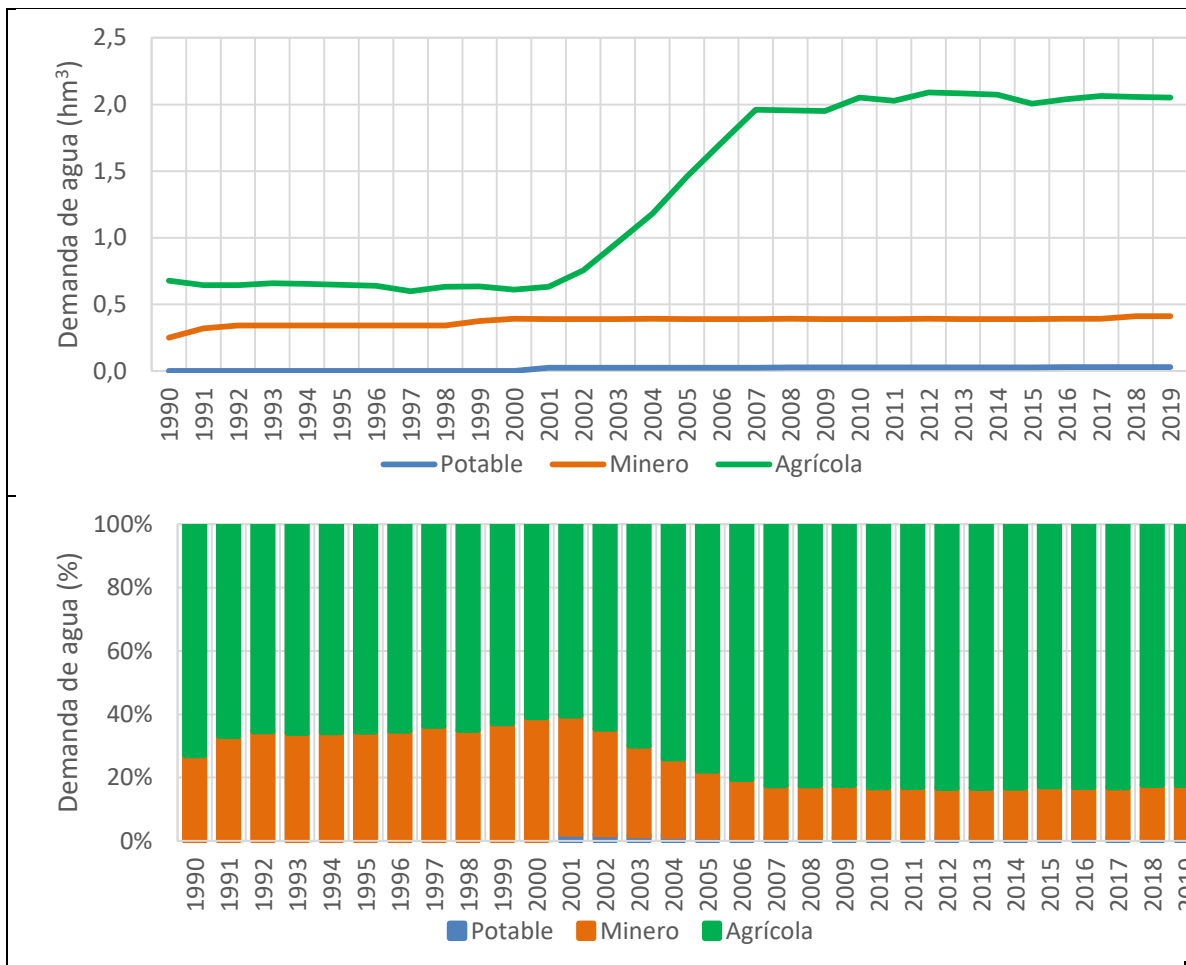
El Requerimiento de agua y la Brecha hídrica en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal se determina a través de los reportes “Requerimiento de Suministro” (*Supply Requirement*) y “Demanda No Satisfecha” (*Unmet Demand*), respectivamente, obteniéndose dichos términos según su uso (agua potable, minería y riego). La razón de hacer esto, es porque existe topología auxiliar que debe filtrarse antes del cálculo de estos resultados. La demanda no satisfecha por riego fue consultada directamente en las Unidades Hidrológicas en donde está definida la operación de riego, pero no se ahonda en la subdivisión por cultivo, sino que se aborda como la demanda no satisfecha de manera íntegra en el nodo.

5.2.3.1 Requerimiento de agua

A continuación, se muestra en la Figura 5-11 las demandas de agua del modelo WEAP según la información ingresada a éste y detallada en el capítulo 2 del Anexo H.

Como se aprecia desde la Figura 5-11, para el periodo que comprende a la situación actual (1990 – 2019), la demanda hídrica asociada a la agricultura es la que predomina en el territorio, la que se intensifica a partir de 2002 cuando entra en operación la empresa Agrogénesis. Al año 2019 se estima un requerimiento de agua para el sector agrícola de 2,05 hm³. Considerando que la demanda total en la cuenca para aquel año es de 2,49 hm³, este sector abarca el 82% de la demanda bruta consuntiva en toda la cuenca.

La Tabla 5-7 presenta la síntesis de los requerimientos de agua en la cuenca, categorizados según su uso.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-11: Requerimiento de agua en la cuenca por tipo (panel superior) y como porcentaje del total (panel inferior)

Tabla 5-7: Síntesis de requerimientos de agua en cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal

| Periodo | 1990 – 2019 | | 2019 | |
|----------|-------------|------|-------|------|
| | (hm³) | (%) | (hm³) | (%) |
| Potable | 0,02 | 1% | 0,03 | 1% |
| Minería | 0,37 | 22% | 0,41 | 16% |
| Agrícola | 1,34 | 77% | 2,05 | 82% |
| Total | 1,73 | 100% | 2,49 | 100% |

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.2 Brecha hídrica

La brecha hídrica en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal se define como la cantidad del requerimiento de agua no satisfecho para cada sitio de demanda. Según lo expuesto en el acápite 4.1 más atrás, 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.

Los resultados determinan que la brecha hídrica en la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada de Carrizal del periodo 1990 – 2019 es nula, es decir, siempre existe recurso subterráneo disponible para extraer en las ubicaciones relacionadas a los sitios de demanda. Se enfatiza que lo recién expuesto 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 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.

5.3 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.

5.3.1 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 5-2. Este análisis se sustenta en los resultados entregados por la misma configuración base del modelo WEAP-MODFLOW

utilizado en la calibración (acápite 5.1.1 más atrás), pero ahora con la premisa de no existencia de intervención antrópica dentro de la cuenca, es decir, como cuenca en régimen natural.

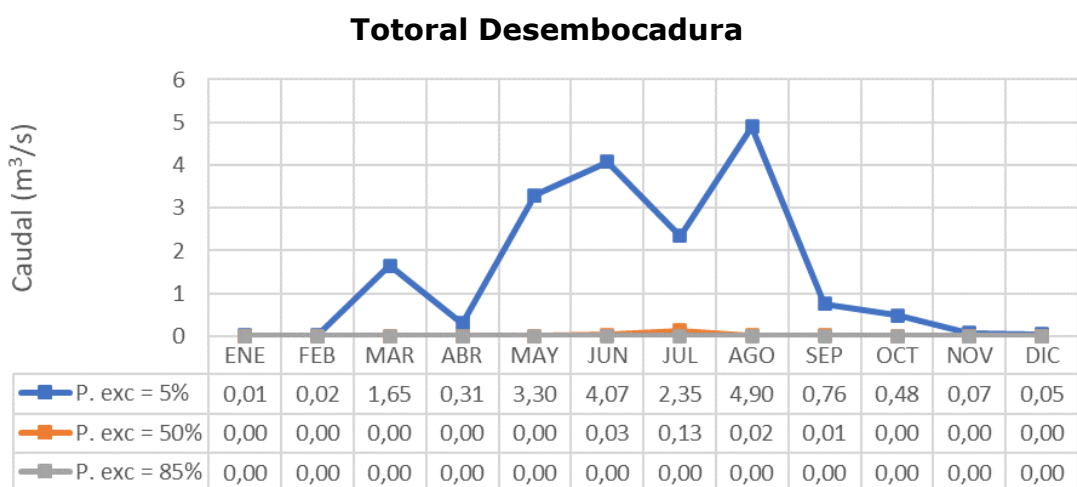
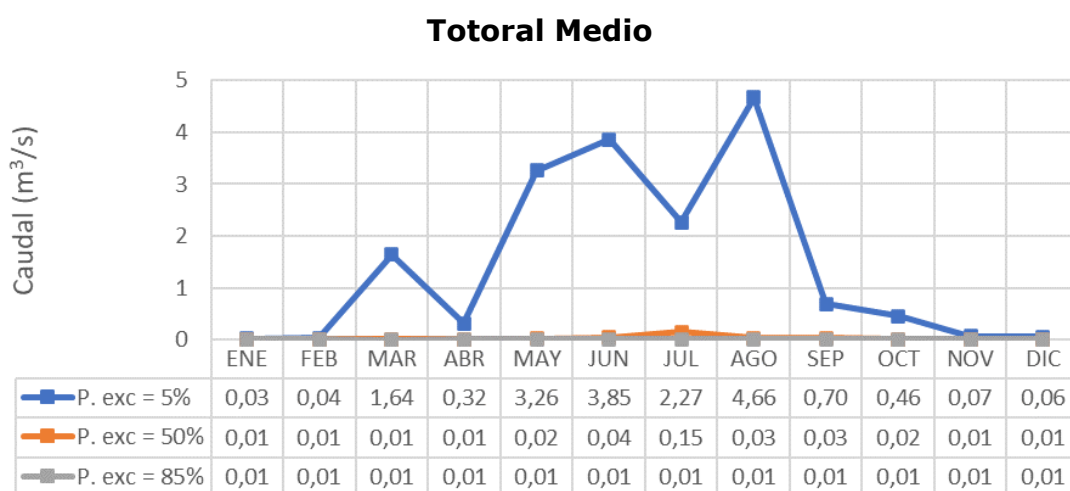
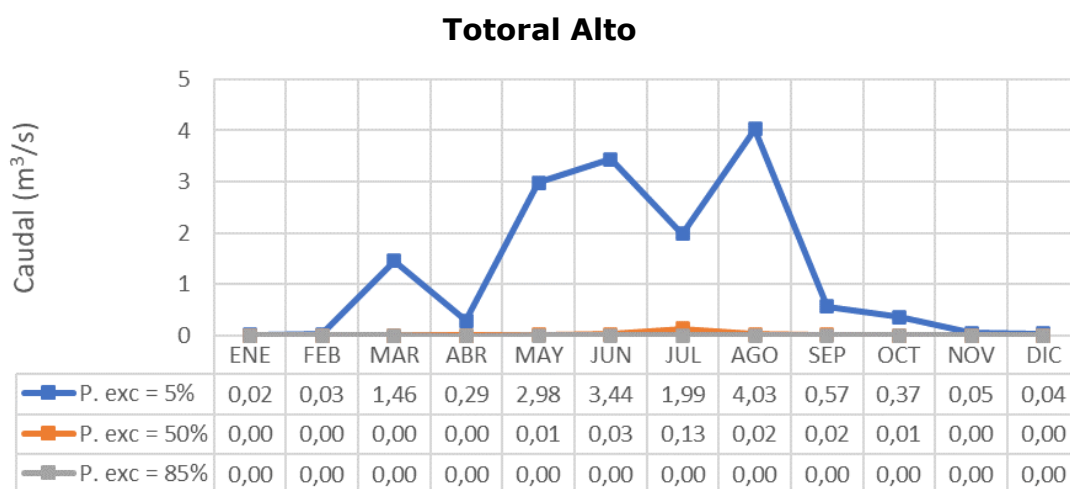
La intervención antrópica involucra a cualquier acción realizada por el ser humano, tal como: deforestación, pesca, agricultura, construcción, entre otras; por lo que la configuración de un régimen natural en el territorio implica suprimir todas aquellas intervenciones antrópicas. Este estado se conceptualiza 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.

5.3.1.1 Curvas de variación estacional

Se presentan en la Figura 5-12 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 5-2.

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.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-12: Curva de variación estacional en puntos de control

5.3.1.2 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 4-3, 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.

5.3.1.3 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 5-8.

Tabla 5-8: 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.

5.3.1.4 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 5-9, Tabla 5-10 y Tabla 5-11 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.

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.

Tabla 5-9: Balance hídrico para el sector Totoral Alto (m³/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 ^a | 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 |

^a se presenta como 0,0 por la precisión de la unidad de medida, sin embargo, el valor es el de la Tabla 5-8.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-10: Balance hídrico para el sector Totoral Medio (m³/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 5-11: Balance hídrico para el sector Totoral Desembocadura (m³/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.

5.3.2 Sustentabilidad de sectores acuíferos DGA

A la fecha de realización de este estudio no existe un manual que defina los criterios de sustentabilidad, aunque sí existe el “Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos” del Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DGA, 2008) que ha sido utilizado para estudiar cuencas específicas 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 5.1.2 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.

5.3.2.1 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 5-12.

Tabla 5-12: 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 5-13.

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.

Tabla 5-13: Resultados de criterio volumen sustentable

| | |
|--|------------|
| SHAC | Totoral |
| Código WEAP | GW_Totoral |
| Volumen año 2000 (hm³) | 2441,1 |
| Volumen año 2050 (hm³) | 2423,8 |
| Cambio (%) | 0,71% |
| Criterio | Cumple |

Fuente: Elaboración propia.

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 permitir su obtención. Con aquel valor, se define el caudal máximo de interferencia río-acuífero posible para cada SHAC, correspondiente al 10% del $Q_{85\%}$.

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. 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 5-14.

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.

Tabla 5-14: Resultados de criterio interferencia río-acuífero

| | |
|-----------------------------|--------------|
| SHAC | Totoral Alto |
| Código WEAP | GW_Totoral |
| Recarga río año 2000 (l/s) | 0,0 |
| Afloramiento año 2000 (l/s) | 17,7 |

| | |
|--|-----------|
| Flujo neto hacia el río año 2000 (l/s) | 17,7 |
| Recarga río año 2050 (l/s) | 0,0 |
| Afloramiento año 2050 (l/s) | 10,2 |
| Flujo neto hacia el río año 2050 (l/s) | 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.

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 5-15 sintetiza los resultados de la aplicación del criterio.

Tabla 5-15: 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.

5.3.2.2 Oferta subterránea sustentable

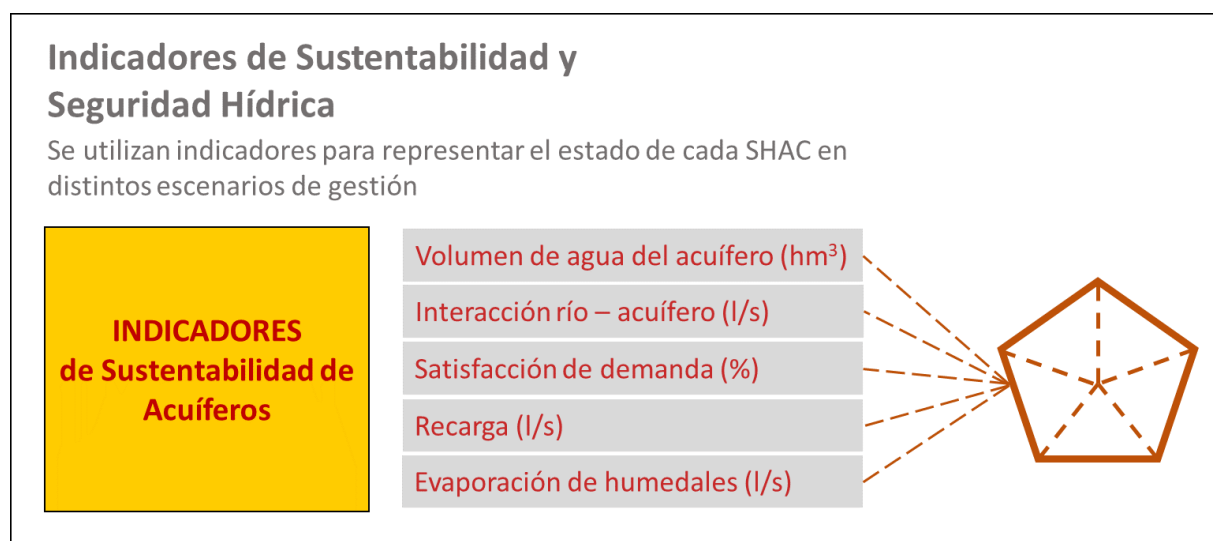
Debido a que ninguno de los SHAC analizados cumple con los criterios de sustentabilidad acuífera, no existe una oferta subterránea sustentable capaz de suplir una mayor demanda a la actual, por lo que no es recomendable el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de carácter subterráneo.

5.4 INDICADORES HÍDRICOS DE LA CUENCA

Para complementar la evaluación de los resultados presentados en los acápite 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 río – 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 5.3.2.1 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 5-13.

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 5-13: Esquema de Indicadores Hídricos subterráneos

5.4.1 Resultados de los indicadores

La Tabla 5-16 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).

Se observa que en todos los Indicadores Hídricos, los valores asociados al Caso Base siempre son mayores que para la Ventana Futura.

Tabla 5-16: 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.

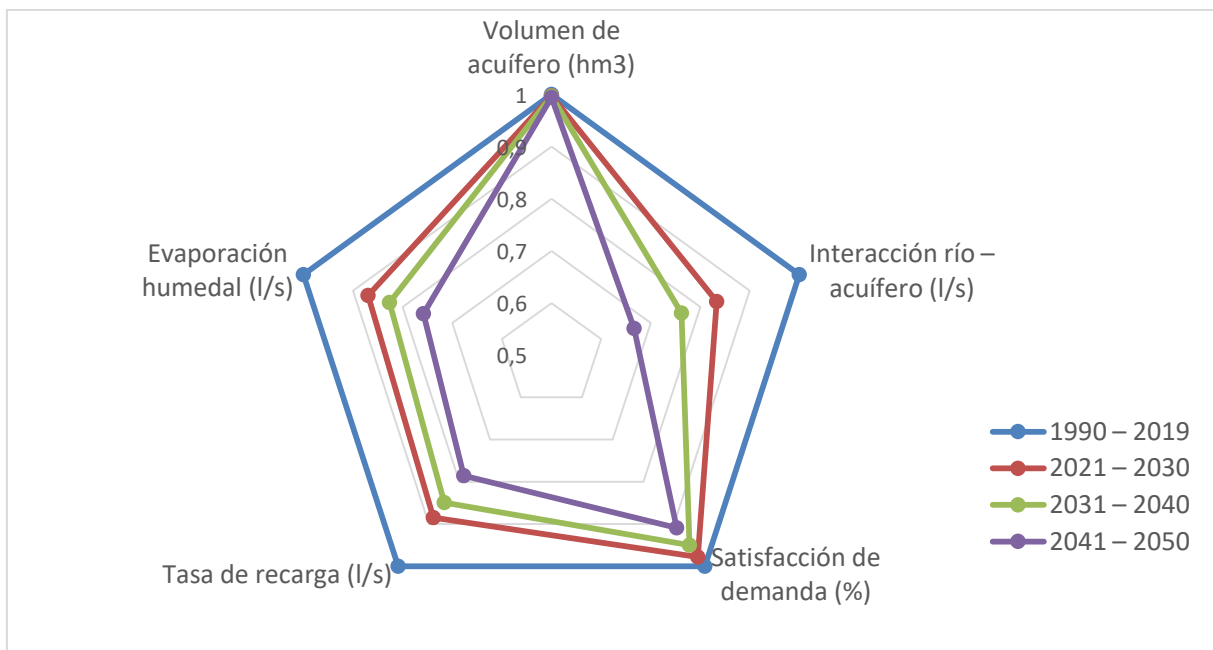
5.4.2 Comparación de indicadores

Con el 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 5-14 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 5-16Tabla 5-16), por lo que las curvas se desplazan hacia dentro del polígono.

Se destaca que los indicadores evaluados son menores en cada década sucesiva, 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.



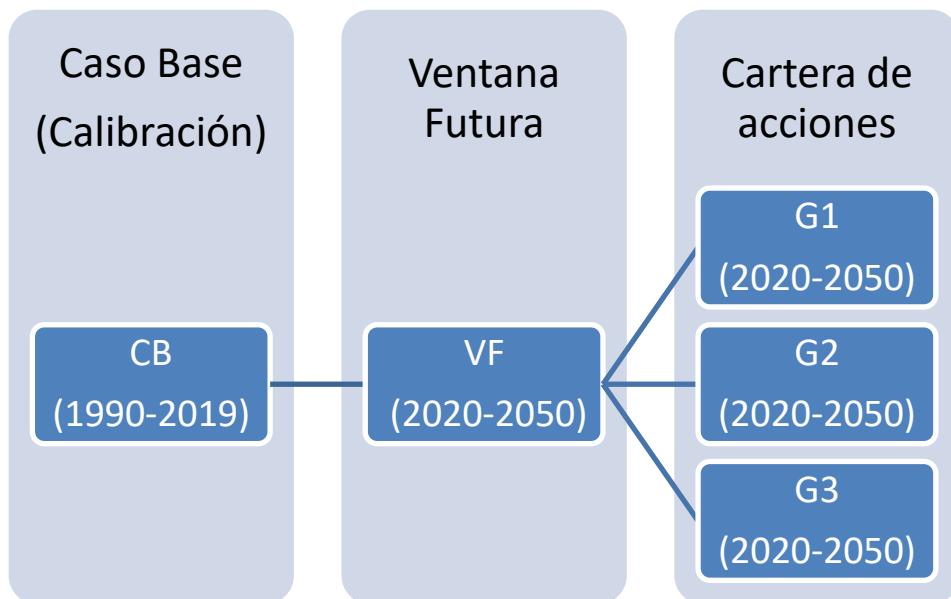
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-14: Comparación de Indicadores Hídricos adimensionales en escenarios Caso Base (CB) y Ventana Futura (VF)

5.5 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 5-15 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 5-15: Esquema de árbol de escenarios modelados en WEAP

5.5.1 Definición de escenarios

A continuación, se detallan los escenarios mostrados en la Figura 5-15 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, detallado en el acápite 5.1.2 más atrás, y por tanto se sustentan en las condiciones meteorológicas generadas por la información del MCG respectivo.

5.5.1.1 Escenario de gestión N°1 (G1)

El presente escenario de gestión implementa el artículo 62 del Código de Aguas (CdA; MOP, 2022b), 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 de 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 hm³/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 climáticas empleadas en el escenario VF y diferentes volúmenes de explotación subterránea, según detalla la Tabla 5-17.

Tabla 5-17: Volumen subterráneo demandado en escenarios de explotación

| Escenario explotación | Volumen demandado (%) | Volumen demandado (hm³/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 se 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.

5.5.1.2 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 con extracciones subterráneas, por lo que no establece 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 se 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 5-18 se presentan las proyecciones por cultivo para hasta el año 2050. Se destaca que la zona agrícola de Agrogénesis (ZR_Agrogenesis) se mantuvo su superficie igual a la del año 2019 (256 ha).

Tabla 5-18: 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 | 0,2 |
| | | FOP | 1,4 | 2,0 | 2,4 | 2,8 |
| | | HOR | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | | VIÑ | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | | FRU | 58,4 | 79,2 | 81,4 | 83,7 |
| | | Total | 60,0 | 81,4 | 84,0 | 86,8 |

| Distrito | Nombre WEAP | ID Cultivo | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|----------------------|--------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Totoral (0310122) | ZR_Totoral | CER | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | | 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 | 7,9 |

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.

5.5.1.3 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 hm³/año, equivalente al 19% de la demanda de agua total en la cuenca, según lo indicado en el acápite 5.2.3 más atrás.

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.

5.5.2 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.

5.5.2.1 Curvas volumen demandado – Satisfacción de la demanda

La Tabla 5-19 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. Al comparar con los resultados entregados en el acápite 5.2.1.2 más atrás, se observa que, por efecto del cambio climático, existe una reducción en las entradas del modelo hidrogeológico, asociada 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 5-19: 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 ^a | -39 | -37 | -36 | -34 | -28 | -26 |
| Afloramiento río | -13 | -13 | -13 | -13 | -12 | -12 |
| Evapotranspiración ^b | -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 |

^a corresponde al flujo que transita desde el sector acuífero Totoral hacia el de Carrizal.

^b 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 5-16 la variación de la satisfacción de las demandas conjunta de los titulares, para cada escenario de evaluación en el periodo 2021 – 2050.

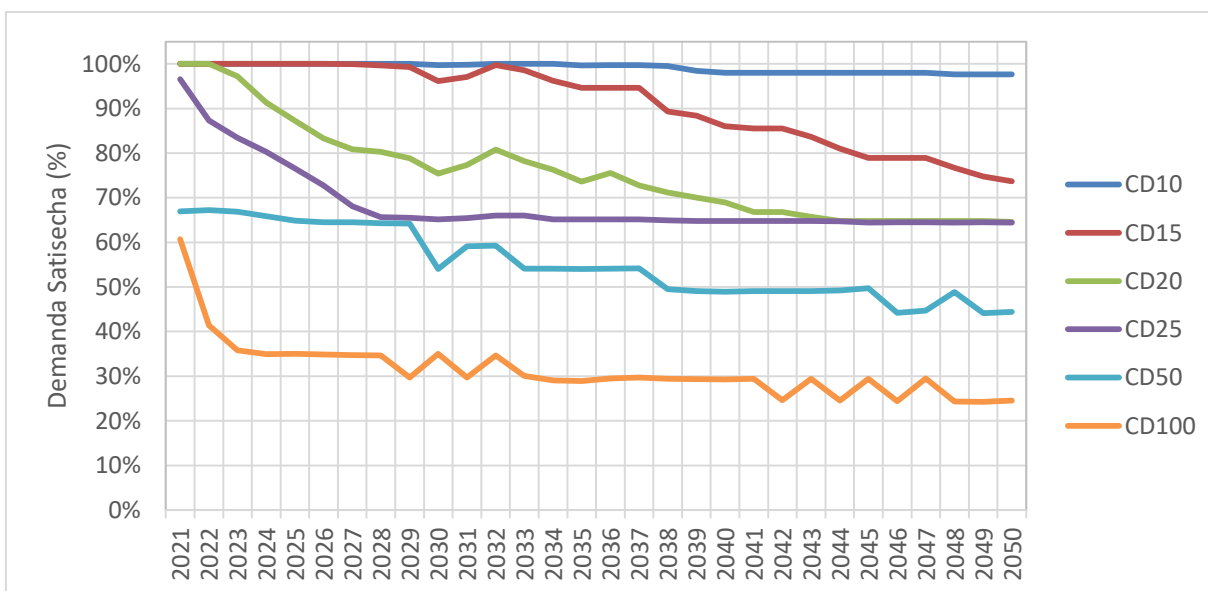
El valor promedio de la demanda satisfecha en el periodo de evaluación 2021 – 2050 es comparado para cada modelo de simulación y presentado en la Tabla 5-20.

Tabla 5-20: 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.

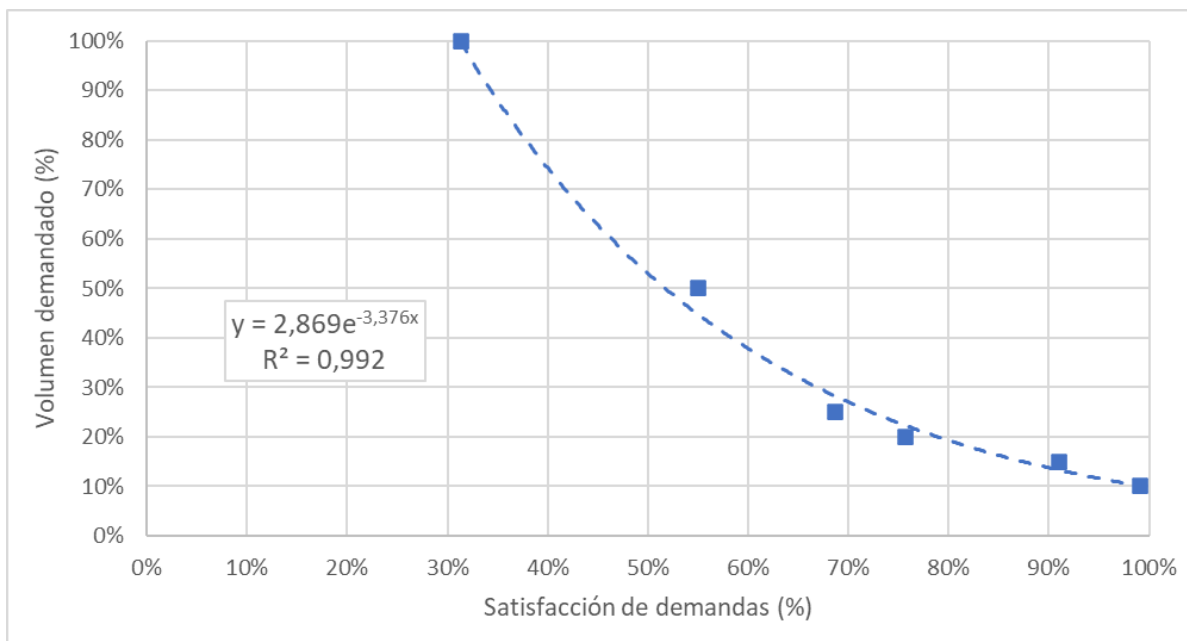
Considerando que la primera causal del artículo 62 precisa que existe un perjuicio a otros usuarios cuando se demuestra una interferencia de tal magnitud que afecten en una proporción igual o superior al 15% de la capacidad de extracción en relación al caudal instantáneo señalado en los títulos; el volumen promedio máximo de explotación futuro debe ser el que asegure una satisfacción de demanda promedio mínima del 85% en el periodo 2021 – 2050.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-16: Satisfacción de la demanda de los titulares proyectada

Para determinar el porcentaje específico, 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 hm³/año), tal como se presenta en la Figura 5-17.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-17: Curva Volumen demandado – Satisfacción de la demanda

Finalmente, se recalca que todos los resultados son producto de la conceptualización planteada en el acápite 5.5.1.1 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.

5.5.2.2 Balance subterráneo

En la Tabla 5-21 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 5-21: Comparación balance subterráneo, periodo futuro y último año

| Periodo | 2021 – 2050 | | | 2050 | | |
|---|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | VF | G2 | G3 | VF | G2 | G3 |
| Flujos | | | | | | |
| 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 ^a | -36 | -36 | -36 | -34 | -33 | -31 |
| Afloramiento río | -12 | -12 | -12 | -10 | -10 | -10 |
| Evapotranspiración ^b | -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 |

^a corresponde al flujo que transita desde el sector acuífero Totoral hacia el de Carrizal.

^b 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.

5.5.2.3 Brecha hídrica y Demanda de agua

A continuación, se cuantifican los valores de la demanda de agua y la brecha hídrica de la cuenca en los escenarios de gestión G2 y G3. La Figura 5-18 muestra las demandas de agua del modelo WEAP según los supuestos del escenario G2.

Se observa que la demanda hídrica de la agricultura es predominante en el escenario G2, requiriendo 2,28 hm³ al año 2050. Considerando que la demanda total en la cuenca para aquel año es de 2,72 hm³, 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, su brecha hídrica es la más relevante, alcanzando los 0,16 hm³/año como

promedio del periodo 2021 – 2050 (87% del total). Esto se explica en razón 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 5-22 la síntesis de la demanda bruta de agua y la brecha hídrica en la cuenca, sectorizadas por el uso del agua.

Tabla 5-22: Síntesis de demanda de agua y brecha hídrica en escenario G2

| Tipo | Demanda bruta de agua | | | | Brecha hídrica | | | |
|----------|-----------------------|------|--------------------|------|--------------------|------|--------------------|------|
| | 2021 – 2050 | | 2050 | | 2021 – 2050 | | 2050 | |
| Periodo | (hm ³) | (%) | (hm ³) | (%) | (hm ³) | (%) | (hm ³) | (%) |
| 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.

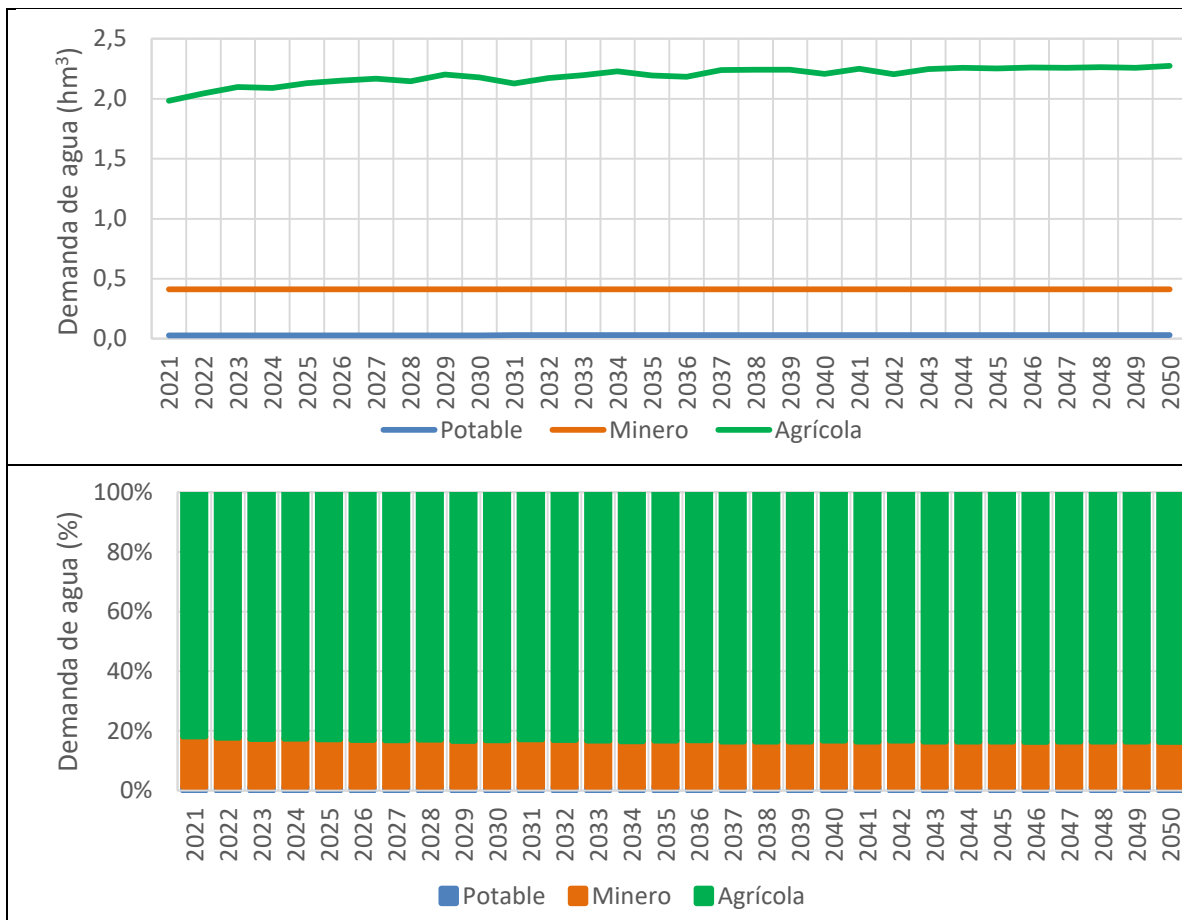
Posteriormente se muestra en la Figura 5-19 las demandas de agua del modelo WEAP según la los supuestos del escenario G3.

Se observa que la demanda hídrica asociada a la agricultura continua como predominante en el escenario G3, requiriendo 2,28 hm³ al año 2050 y abarcando el 100% de la demanda bruta consuntiva en toda la cuenca. Finalmente, se presenta en la Tabla 5-23 la síntesis de la demanda bruta de agua y la brecha hídrica en la cuenca, sectorizadas por el uso del agua.

Tabla 5-23: Síntesis de demanda de agua y brecha hídrica en escenario G3

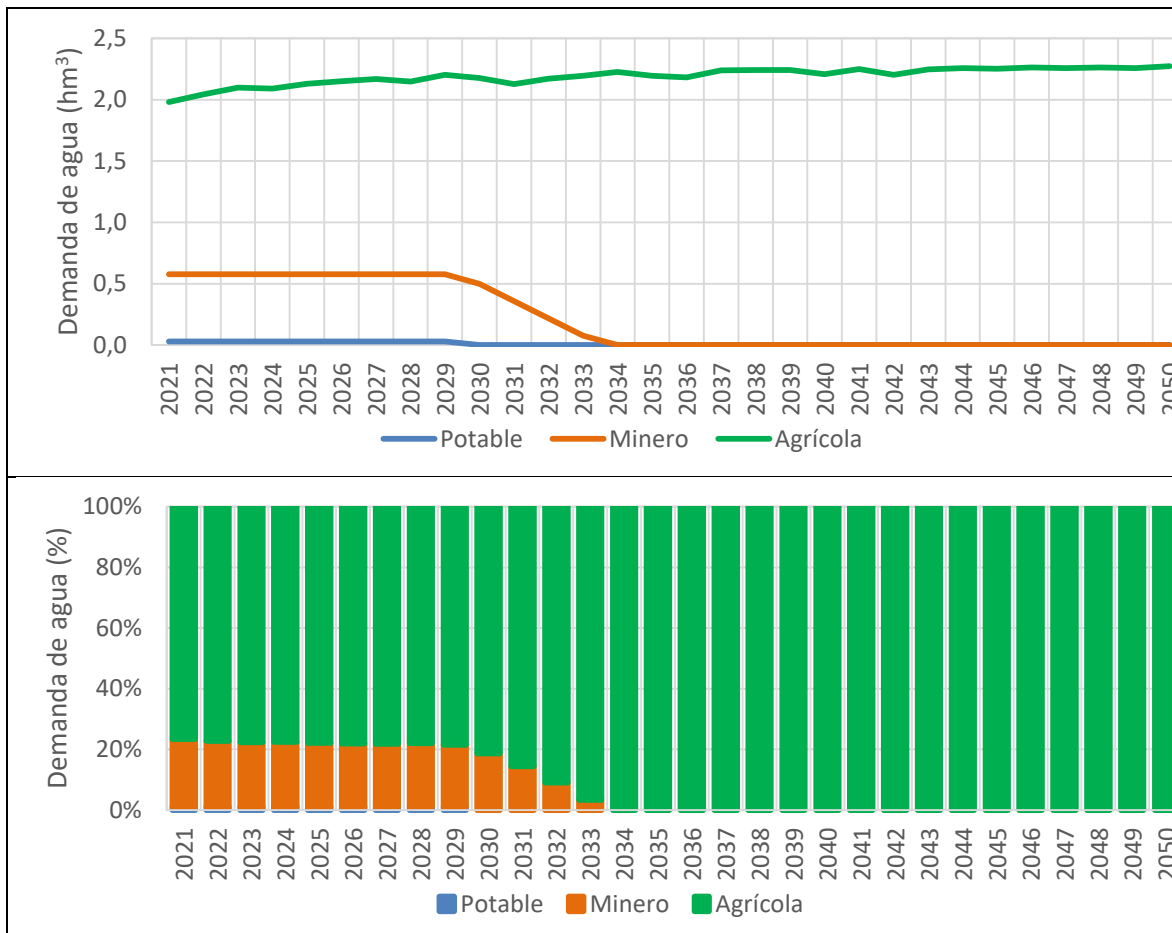
| Tipo | Demanda bruta de agua | | | | Brecha hídrica | | | |
|----------|-----------------------|------|--------------------|------|--------------------|------|--------------------|------|
| | 2021 – 2050 | | 2050 | | 2021 – 2050 | | 2050 | |
| Periodo | (hm ³) | (%) | (hm ³) | (%) | (hm ³) | (%) | (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.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-18: Demanda de agua en la cuenca por tipo (panel superior) y como porcentaje del total (panel inferior) en escenario futuro G2



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-19: Demanda de agua en la cuenca por tipo (panel superior) y como porcentaje del total (panel inferior) en escenario futuro G3

5.5.2.4 Indicadores Hídricos para la sustentabilidad de acuíferos

La Tabla 5-24 entrega los valores de los cinco Indicadores Hídricos para la sustentabilidad del acuífero, definidos en el acápite 5.4 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).

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 principalmente a la mayor extracción antrópica y una menor recarga natural.

Tabla 5-24: 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.

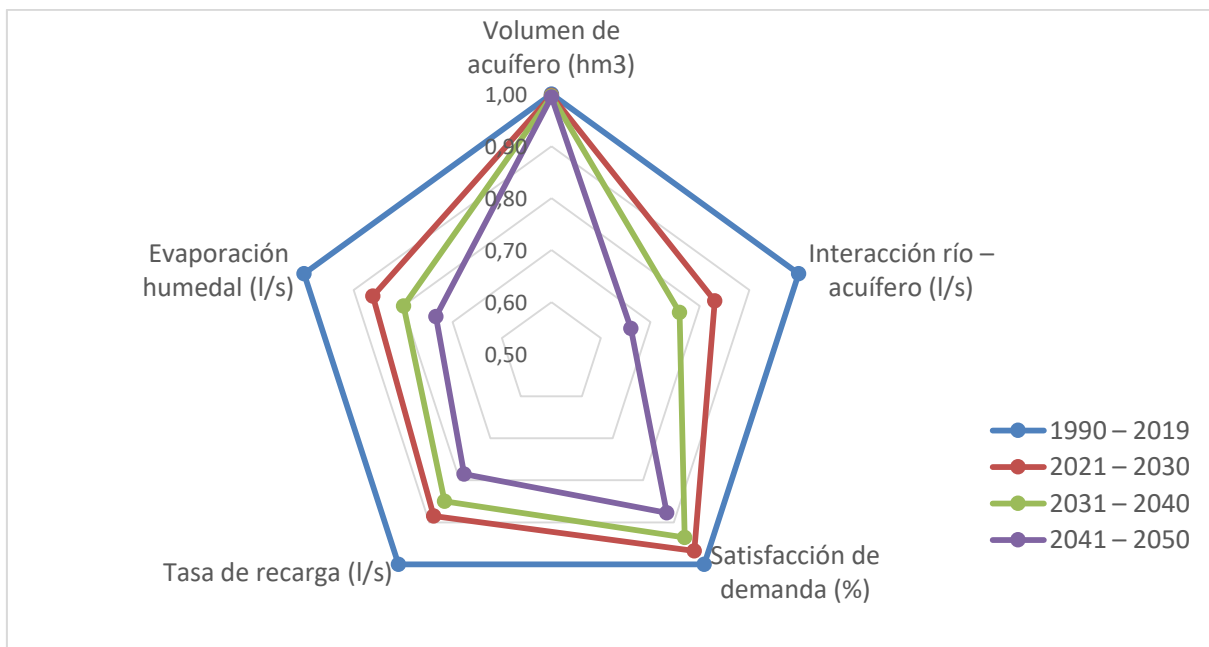
Se presenta en la Figura 5-20 los resultados de la variación de los Indicadores Hídricos adimensionales, que ilustra que mientras más alejado temporalmente se evalúan los indicadores, menores son sus valores, lo que da cuenta de posibles problemas a futuro.

La Tabla 5-25 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 5-25: 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.

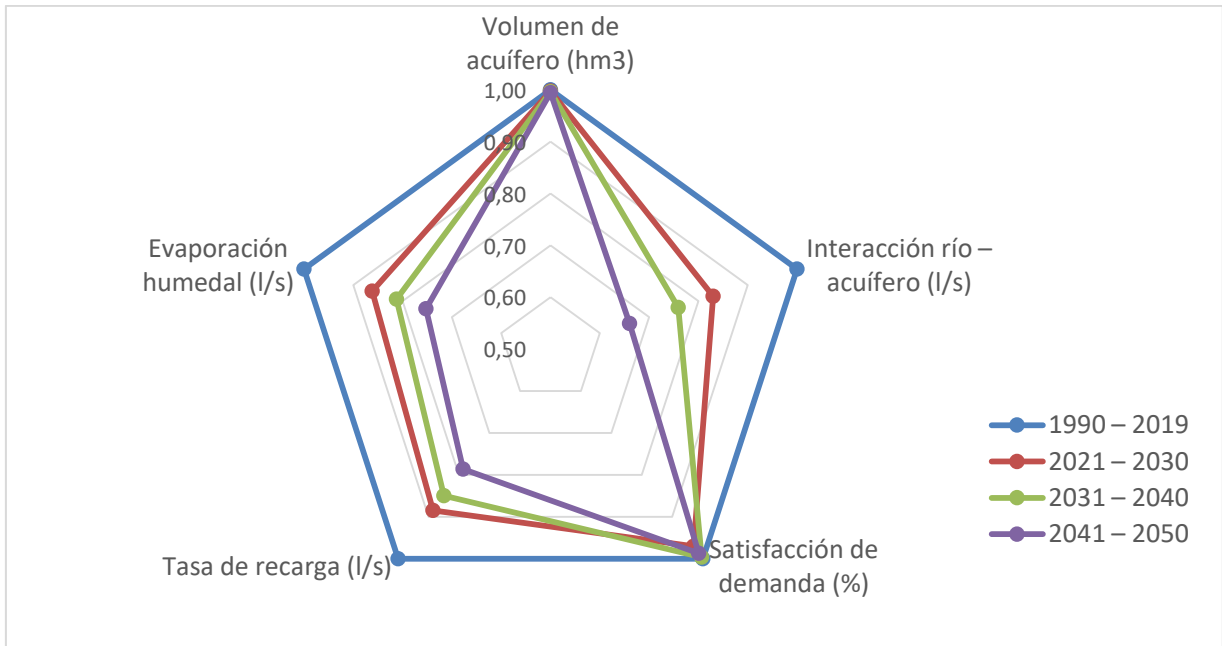


Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-20: Comparación de Indicadores Hídricos adimensionales en escenarios Caso Base (CB) y Gestión 2 (G2)

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 presenta en la Figura 5-21 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 5-21: Comparación de Indicadores Hídricos adimensionales en escenarios Caso Base (CB) y Gestión 3 (G3)

6 ACCIONES

El objetivo central de este capítulo es presentar las acciones a considerar para la formulación del PEGH Totoral, presentándose en primer lugar los problemas adoptados que resultan de la integración del trabajo de PAC realizado y adicionalmente ratificado por lo recopilado y desarrollado durante este estudio. Luego se presentan los ejes temáticos seleccionados para la solución de los problemas y las tipologías de acciones consideradas, y también cómo se relacionan con los problemas. Finalmente, se presentan las acciones propuestas para resolver los problemas identificados.

Es importante señalar que la comprensión de las cuencas Quebrada Carrizal y Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal como un territorio hídrico compartido, que se justifica a partir de los pocos flujos superficiales presentes en ambas cuencas y la relevancia del agua subterránea compartida por ambas, y sobre la cual se presenta toda la demanda hídrica del sistema, justifica que en ambas cuencas existan problemáticas comunes y, por tanto, también acciones similares que tiendan a resolver estas problemáticas. Sin embargo, la presente propuesta de acciones se diferencia de la cuenca Quebrada Carrizal en la propuesta de ubicación geográfica de aplicación de las iniciativas propuestas, que para el presente PEGH son exclusivas de la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal.

6.1 Problemas Adoptados

En primer lugar, en la Tabla 6-1 se presentan las problemáticas adoptadas a ser consideradas para la posterior formulación del PEGH, información que se obtuvo como consecuencia de los trabajos de PAC, en conjunto con las actividades de gabinete del estudio (principalmente la revisión de antecedentes disponibles y entrevistas). Se hace notar que en la Tabla 6-1 además de la problemática adoptada, se presenta lo indicado por los participantes en las actividades de PAC, además de una explicación que define los alcances de lo propuesto como problema a resolver. Se hace notar que en esta tabla no se presenta la importancia relativa asignada a los problemas por los actores participantes, ya que ese elemento se incluye posteriormente en el Capítulo 7, específicamente en lo que respecta a la evaluación del PEGH Totoral.

Tabla 6-1: Problemáticas adoptadas para la formulación de PEGH

| Problemática adoptada | Problemas Identificados en PAC | Descripción |
|---|--|---|
| Precaria planificación de uso de suelo rural (crecimiento, uso, población, otros) | Precaria planificación en crecimiento urbano de localidades | Este problema fue planteado desde el inicio del estudio, principalmente por la comunidad que observa que, debido a la ausencia de planificación, se observan asentamientos humanos en lugares no aptos, aumentos desmedidos y sin planificación de la población y falta de infraestructura, mientras otros lo observan como un problema de comunicación y de relación con la comunidad. Algunos usuarios lo ven como un problema asociado a la falta de atribuciones de los organismos públicos, o a la dispersión de estas atribuciones. A modo de ejemplo, indican que bienes nacionales asigna tierras sin verificar la disponibilidad de agua, saneamiento u otros elementos. También, se observa con preocupación la instalación de parcelas de agrado, sin que se sepa de dónde sale el agua, o qué va a ocurrir con los residuos hogareños, especialmente las aguas grises o negras. En términos espaciales, los efectos son más pronunciados en las localidades mayores, que ya cuentan con SSR, ya que resulta más fácil avecindarse en el territorio, llegar a pasar una breve temporada y continuar viviendo en el lugar. De acuerdo a lo informado en las PAC's, los problemas vienen desde hace muchos años, es decir, antes de cumplirse con el periodo de previsión de las obras, o sea, no fueron capaces de cubrir la demanda desde mucho antes de cumplir los 20 años de operación. |
| | Descontrol por llegada de población flotante en periodo estival | |
| | Precaria planificación de uso de suelo rural | |
| | Proliferación de microbasurales | |
| | El traspaso de terrenos privados en sectores de vegas o humedales a algún ente público | |
| | Preocupación por ocupación de las vegas por parte de privados | |
| | Crecimiento de parcelas de agrado | |
| Deficiente gestión manejo de recursos hídricos (interinstitucional, fiscalización, otros) | Baja oferta de capacitación y asesoría en materia de recursos hídricos | En este problema la comunidad lo visualiza por una parte por la falta de acción de las instituciones frente a los problemas, como se juzga la deficiente a nula fiscalización por parte de DGA, ya sea frente a la fiscalización a los pozos legales existentes, o al nulo actuar frente a la aparente proliferación de pozos ilegales; falta de respuestas claras y rápidas frente a consultas a la autoridad; percepción de poca transparencia en la forma de actuar; coordinación con otras instituciones para resolver los problemas de los usuarios; traslape de accionar entre instituciones; y en general, los usuarios lo ven como parte del desconocimiento del actuar público. También se observa en lo que se relaciona con la necesidad de capacitación, por ejemplo, frente a los alcances de la aplicación del Código de Aguas en lo que se refiere al uso del agua para subsistencia, ya que les interesa disponer de mayores antecedentes en lo que respecta a la aplicación del Código de Aguas. |
| | Baja fiscalización en uso de DAA | |
| | Alta cantidad de pozos ilegales | |
| | Deficiente gestión manejo de recursos hídricos | |
| | Baja fiscalización y capacitación | |
| | 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. | |
| | Falta de cohesión institucional (Coordinación de organizaciones públicas) | |
| | 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 | |
| | Necesidad de una mayor gestión hídrica, entre públicos y privados, considerando la presencia de santuarios de la naturaleza. | |
| | Baja prioridad política para implementar programas y planes de intervención y mejoramiento en comunidades rurales | |
| | La existencia del decreto de restricción que divide la cuenca de Totoral | |
| Falta de comunicación con CNR e INDAP | | |

| Problemática adoptada | Problemas Identificados en PAC | Descripción |
|---|---|--|
| Insuficiente infraestructura hídrica (SSR, riego, otras) | Insuficiente infraestructura hídrica | <p>A nivel de actividades PAC se identificó claramente la falta de infraestructura de SSR (en localidades menores), o la insuficiente cobertura de la infraestructura existente en localidades mayores.</p> <p>También se visualiza por la falta de acceso a financiamiento para la construcción de infraestructura de riego, especialmente en lo que se refiere a mejorar el uso óptimo del agua.</p> <p>En forma menos recurrente, también se hizo ver la necesidad de contar con información relacionada con el funcionamiento de los humedales.</p> <p>Se indicó por parte de los usuarios la no existencia de infraestructura de monitoreo de las aguas subterráneas.</p> |
| | Baja cobertura de sistemas APR | |
| | Alta dependencia del sistema de distribución de agua pública (camión aljibe) y privada (compra) | |
| | Inexistencia de sistemas de monitoreo hidrogeológico | |
| Deterioro ambiental en fuentes de agua (fuentes, humedales, otros) | Deterioro ambiental en fuentes de agua | <p>Esta problemática la presentan desde varios puntos de vista: a nivel individual, como potenciales problemas de contaminación de las fuentes de abastecimiento de familias que no tienen acceso a los SSR, o en forma más global en términos de los problemas ambientales del humedal costero.</p> <p>Se estima que la potencial contaminación del acuífero es un problema potencialmente en aumento.</p> |
| | Bajo control de calidad del agua | |
| | Desprotección fuentes de agua en alta cordillera | |
| Limitado acceso a la información de RRHH (desconocimiento, conectividad, otros) | Insuficiente conectividad (Internet) para interactuar con DGA, DOH, CNR y otros | <p>Este tipo de problemática lo asocian a la necesidad de disponer de información de los recursos hídricos, información que en muchos casos ya está disponible en forma digital, pero que por razones de desconocimiento o problemas de conectividad no pueden acceder a ella.</p> <p>La primera problemática puede ser manejada por el PEGH, o al menos mitigada, mientras que la conectividad digital escapa a los alcances de este trabajo (ya que es un problema de telecomunicaciones), pero igualmente va a ser destacada, ya que entre otros aspectos incide en la posibilidad de realizar reuniones virtuales con la comunidad.</p> |
| | Limitado acceso a información sobre recursos hídricos | |
| Baja disponibilidad de nuevas fuentes de agua y DAA | Baja disponibilidad de nuevas fuentes de agua | <p>Este problema se relaciona con la imposibilidad de acceder a nuevos derechos de aguas en aquellos sectores donde se ha decretado zona de restricción o prohibición. También les afecta en lo que se relaciona con obtener subsidios para la instalación de infraestructura de riego, ya que un requisito básico de postulación es la tenencia de derechos de agua.</p> <p>También se identificó como la ausencia misma de fuentes nuevas de agua en el territorio.</p> |
| | Escasa disponibilidad de DAA | |
| | Financiamiento con subsidios CNR o INDAP a pozos que no tienen regularizados sus derechos de aprovechamiento. | |
| | El impacto de la minería a gran escala aguas arriba | |

Fuente: Elaboración propia.

6.2 Ejes Temáticos y Tipologías Adoptadas

Con el fin de simplificar la formulación del PEGH Totoral, los problemas de trabajo PAC y tipos de iniciativas, se agruparon en 4 líneas de trabajo, según se muestra en la Tabla 6-2, donde se observan 4 ejes temáticos, los que a su vez se usan para categorizar las problemáticas en diferentes ejes, lo que se muestra en la Tabla 6-3, donde se observa que hay 2 problemas que se deben abordar en forma multi-eje, es decir, para su solución se deben presentar acciones que sean capaces de apoyar la solución de la problemática propuesta desde diferentes puntos de vista.

Tabla 6-2: Ejes Temáticos Adoptados PEGH Totoral

| Eje # | Nombre |
|-------|---------------------------|
| 1 | Uso estratégico RRHH |
| 2 | Protección Ambiental RRHH |
| 3 | Gobernanza y Gestión |
| 4 | Monitoreo |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-3: Relación Problemas-Ejes Temáticos

| Problema | Eje Temático | | | |
|--|--------------|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Precaria planificación de uso de suelo rural (crecimiento, uso, población, otros) | | X | X | |
| Deficiente gestión de recursos hídricos (interinstitucional, capacitación, fiscalización, otros) | | | X | |
| Insuficiente infraestructura hídrica (SSR, riego, redes de control) | X | | | X |
| Deterioro ambiental en fuentes de agua (fuentes, humedales, otros) | | X | | |
| Limitado acceso a la información de RRHH (desconocimiento, conectividad, otros) | | | X | |
| Baja disponibilidad de nuevas fuentes de agua y DAA | X | | X | |

Fuente: Elaboración propia.

6.3 Acciones Propuestas según eje Temático y Problema Identificado

Una vez que se tienen los problemas definidos por eje temático, viene el momento de definir las acciones que se van a considerar con este fin. Para esto, en la actividad de PAC se analizó en conjunto con la comunidad y otros actores públicos, un conjunto de iniciativas que permiten ayudar a formular el PEGH Totoral, acciones que son complementadas con otras que se derivan del desarrollo del trabajo de gabinete. Previo

a la definición de las acciones deben definirse las tipologías a considerar, las que se muestran en la Tabla 6-4, donde se observan 4 categorías principales de acciones.

Tabla 6-4: Tipologías de Obras PEGH Totoral

| Código | Nombre |
|---------------|----------------------|
| OH | Obras Hidráulicas |
| NF | Nuevas Fuentes |
| MG | Mejoramiento Gestión |
| OM | Otras Medidas |

Fuente: Elaboración propia.

6.4 Acciones propuestas

En este acápite se presentan en detalle las acciones propuestas, presentándose para cada una de ellas una ficha resumida con sus características más importantes y una figura de ubicación del área de influencia de la acción.

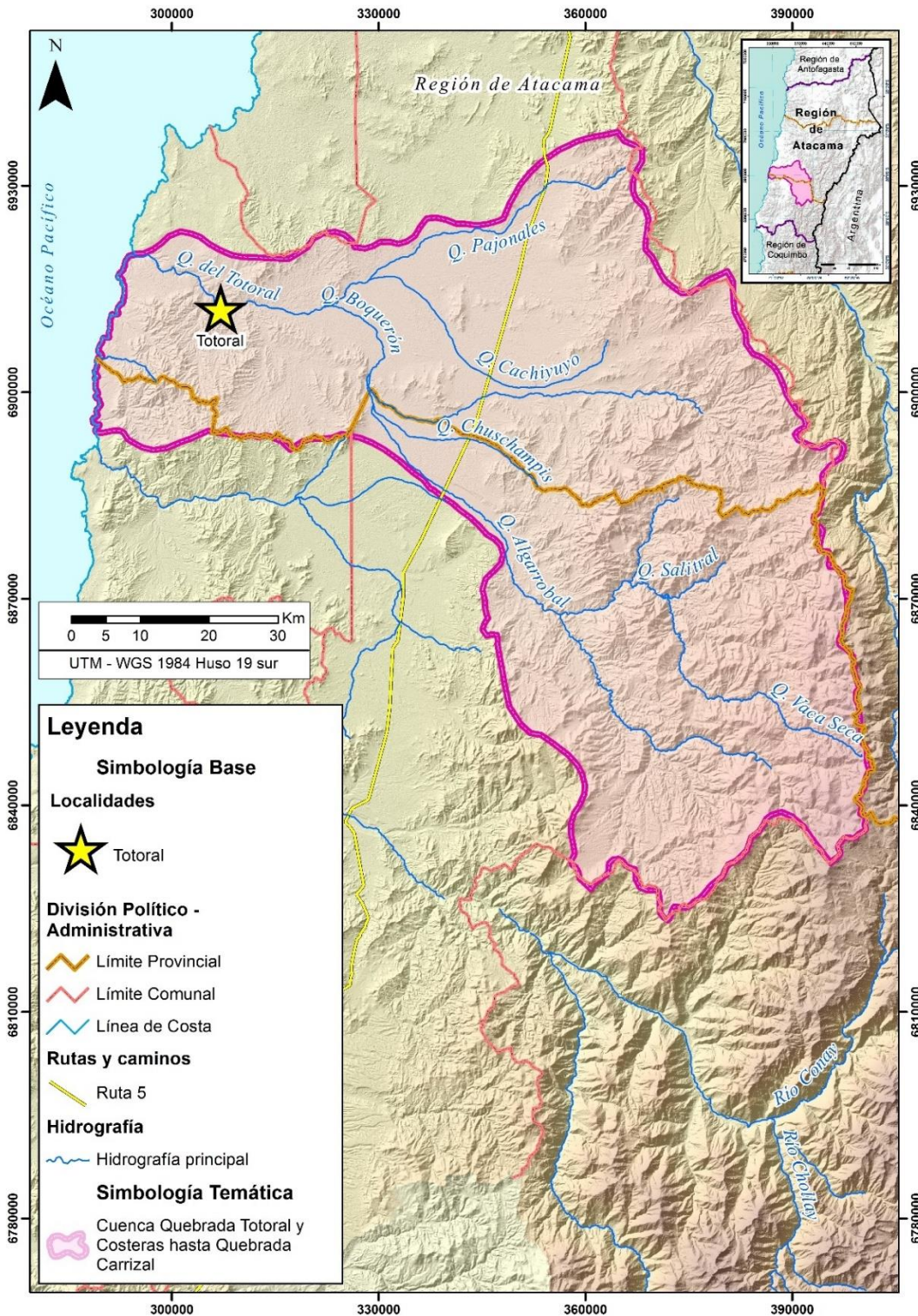
Para cada acción se presenta una ficha en la Tabla 6-5 a Tabla 6-19, y una imagen en la Figura 6-1 a Figura 6-16.

6.4.1 Ficha Acción AP OH-1: Ampliación SSR Totoral

Tabla 6-5: 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 población, 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.

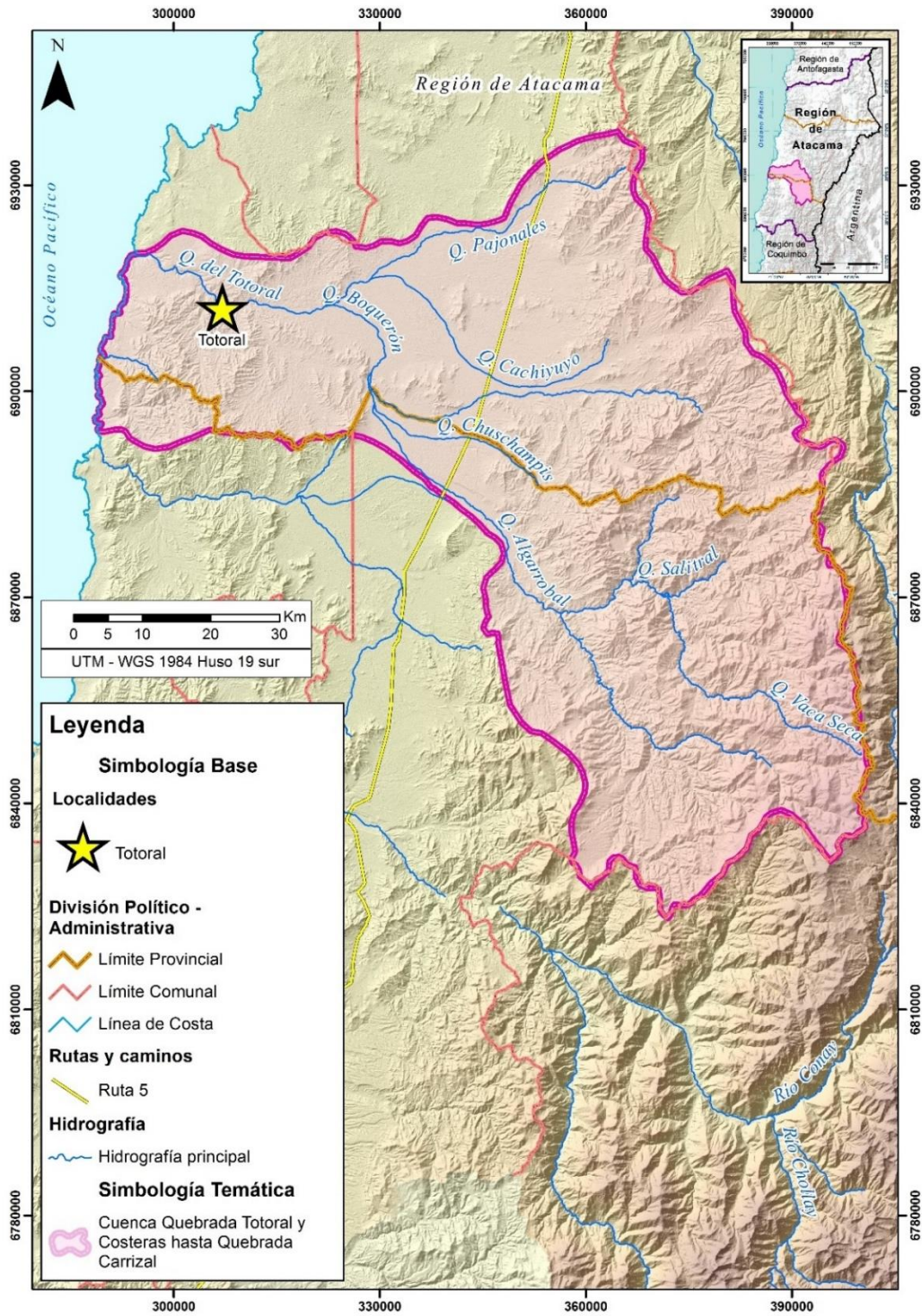
Figura 6-1: Ficha Acción AP OH-1: Ampliación SSR Totoral

6.4.2 Ficha Acción AP OH-2: Mejoramiento abastecimiento localidades menores

Tabla 6-6: 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.

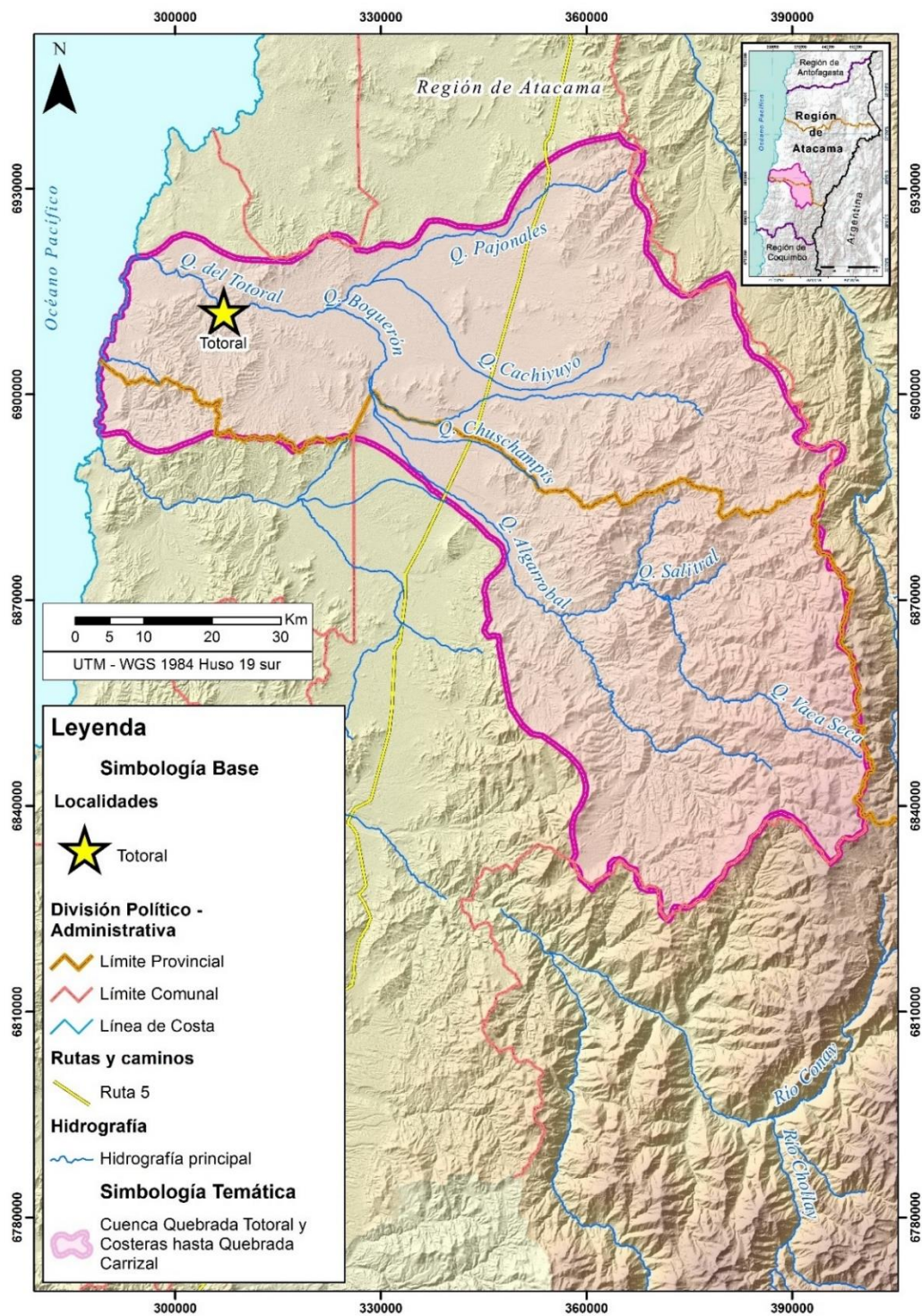
Figura 6-2: Ficha Acción AP OH-2: Mejoramiento abastecimiento localidades menores

6.4.3 Ficha Acción AP NF-1: Evaluación potencial cosecha de nubes en la cuenca

Tabla 6-7: 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.

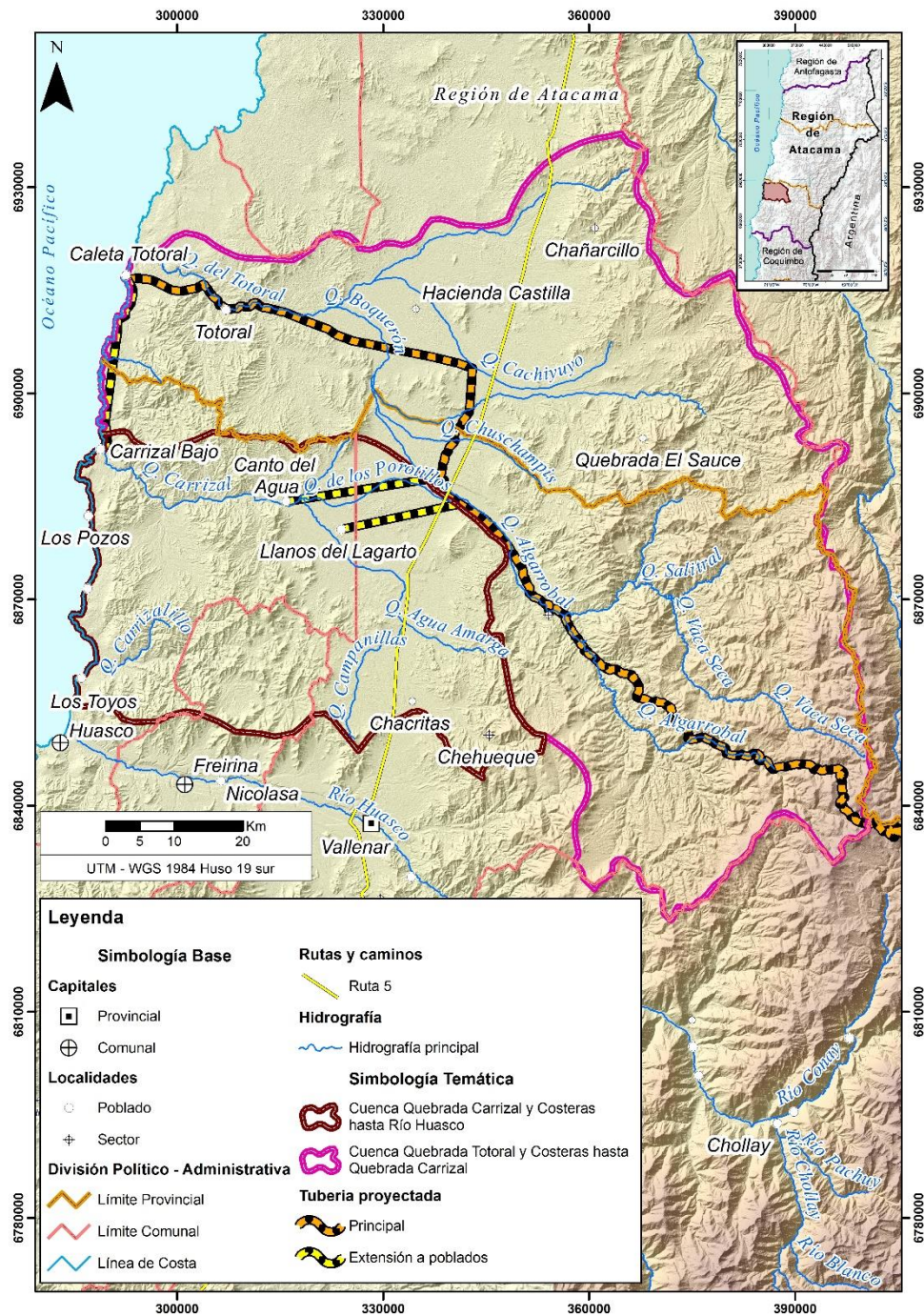
Figura 6-3: Ficha Acción AP NF-1: Evaluación potencial cosecha de nubes en la cuenca

6.4.4 Ficha Acción AP MG-1: Fomentar la gestión público-privada para el uso de desalación como fuente de abastecimiento

Tabla 6-8: 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.

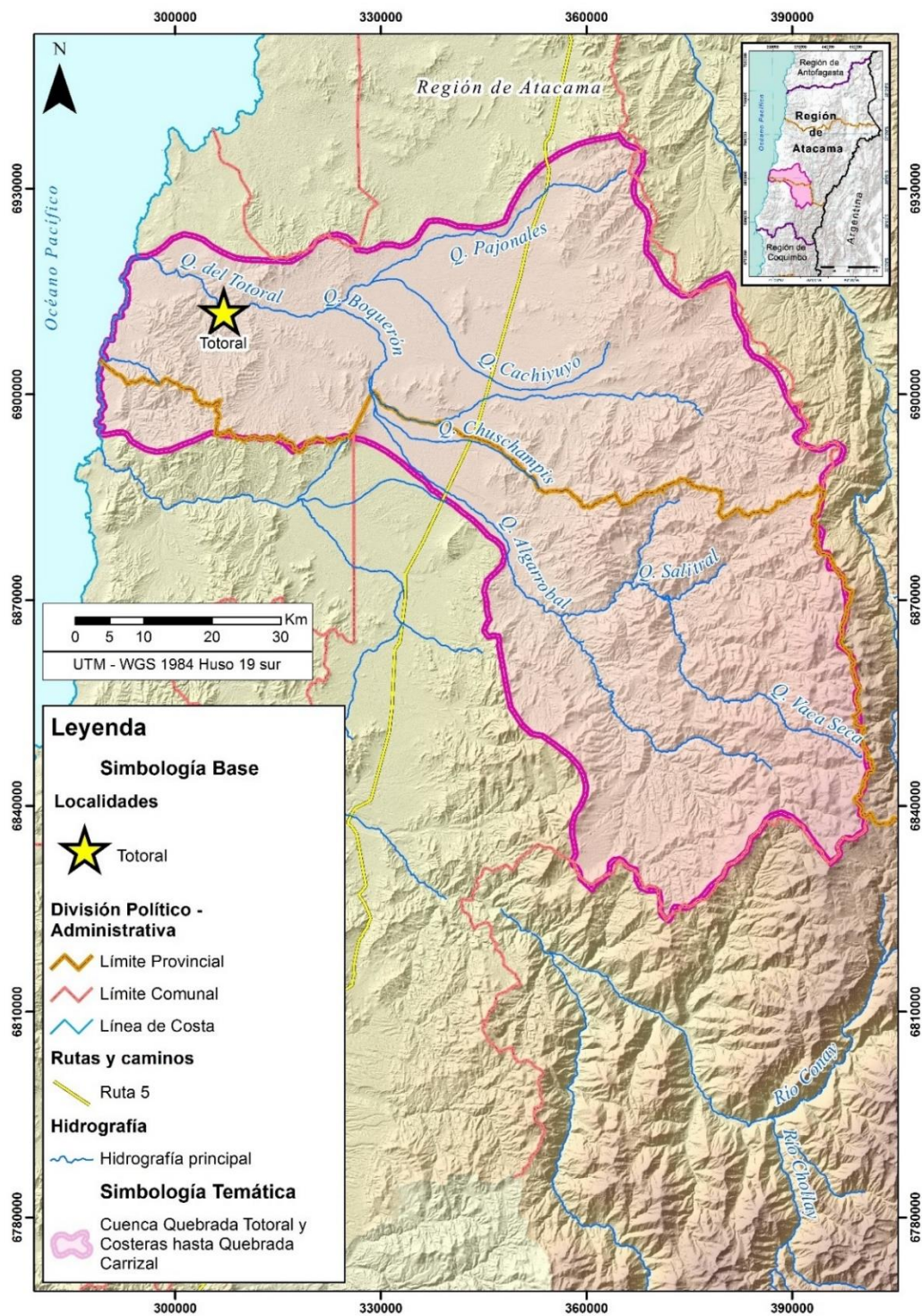
Figura 6-4: Ficha Acción AP MG-1: Fomentar la gestión público-privada para el uso de desalación como fuente de abastecimiento

6.4.5 Ficha Acción AP OH-3: Identificación Instalación Sistemas de Acumulación

Tabla 6-9: 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.

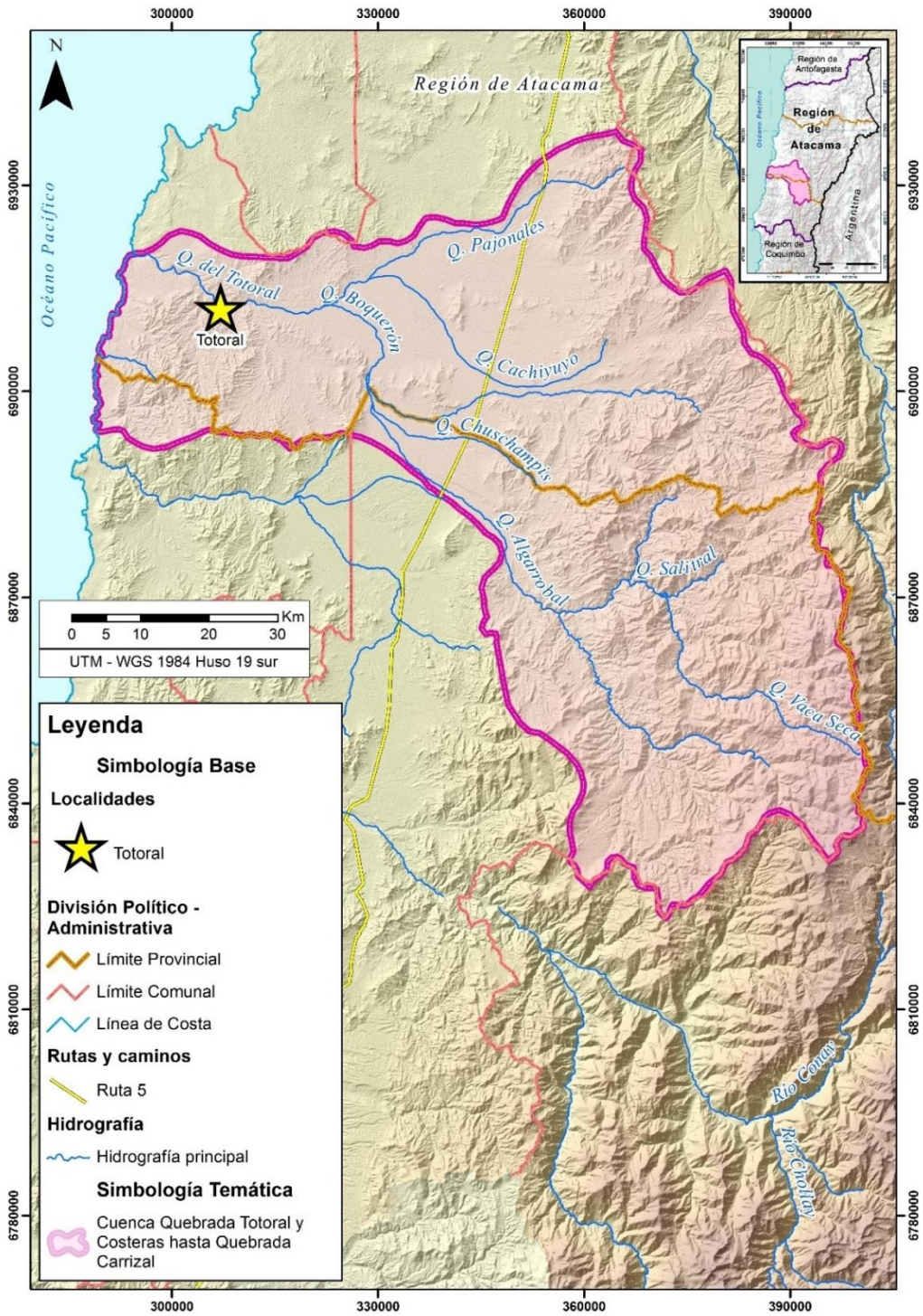
Figura 6-5: Ficha Acción AP OH-3: Identificación Instalación Sistemas de Acumulación

6.4.6 Ficha Acción AP OH-4: Identificación Mejoramiento Sistemas de Distribución

Tabla 6-10: 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 estatal. 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.

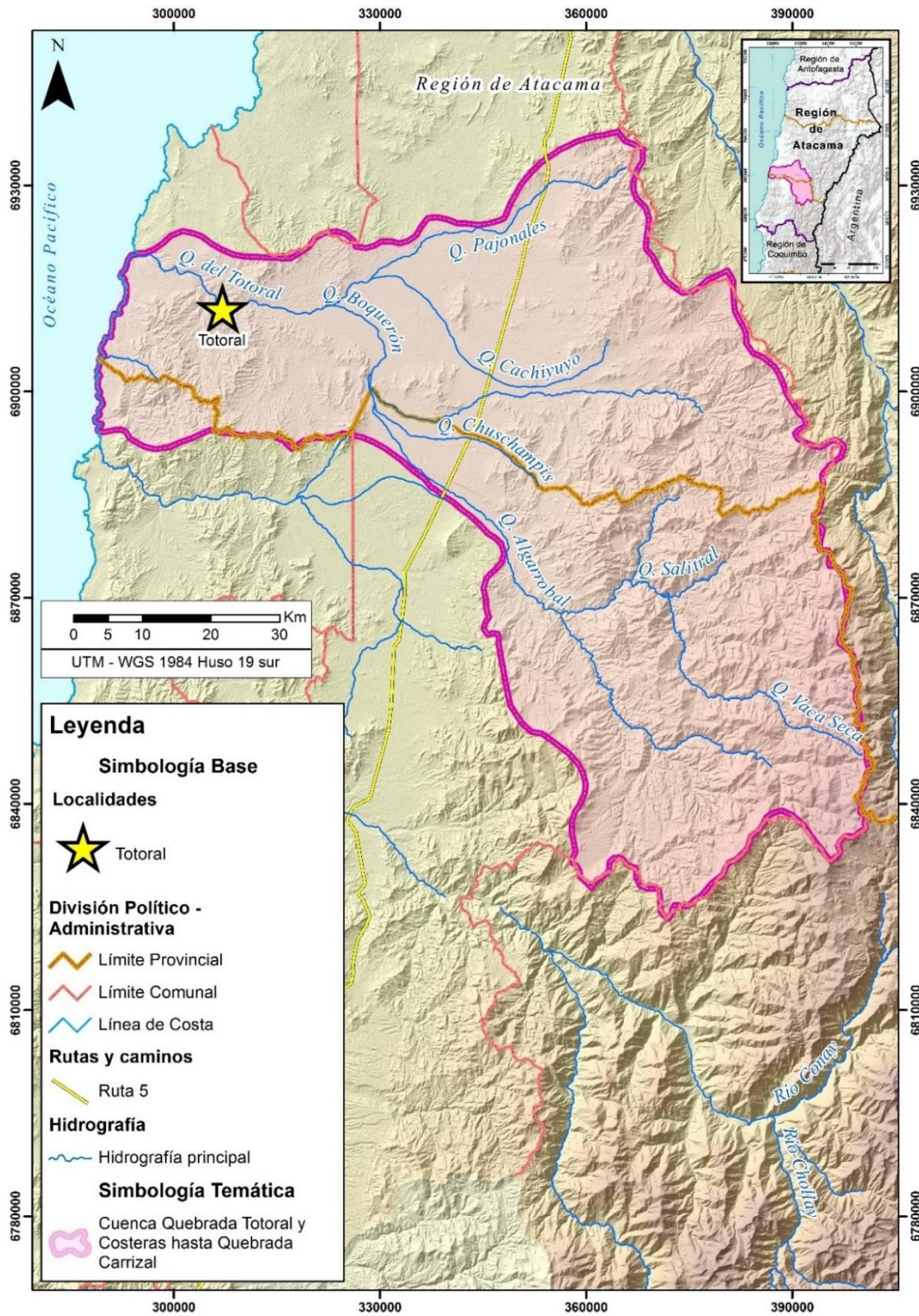
Figura 6-6: Ficha Acción AP OH-4: Identificación Mejoramiento Sistemas de Distribución

6.4.7 Ficha Acción AP OH-5: Tecnificación del riego

Tabla 6-11: 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.

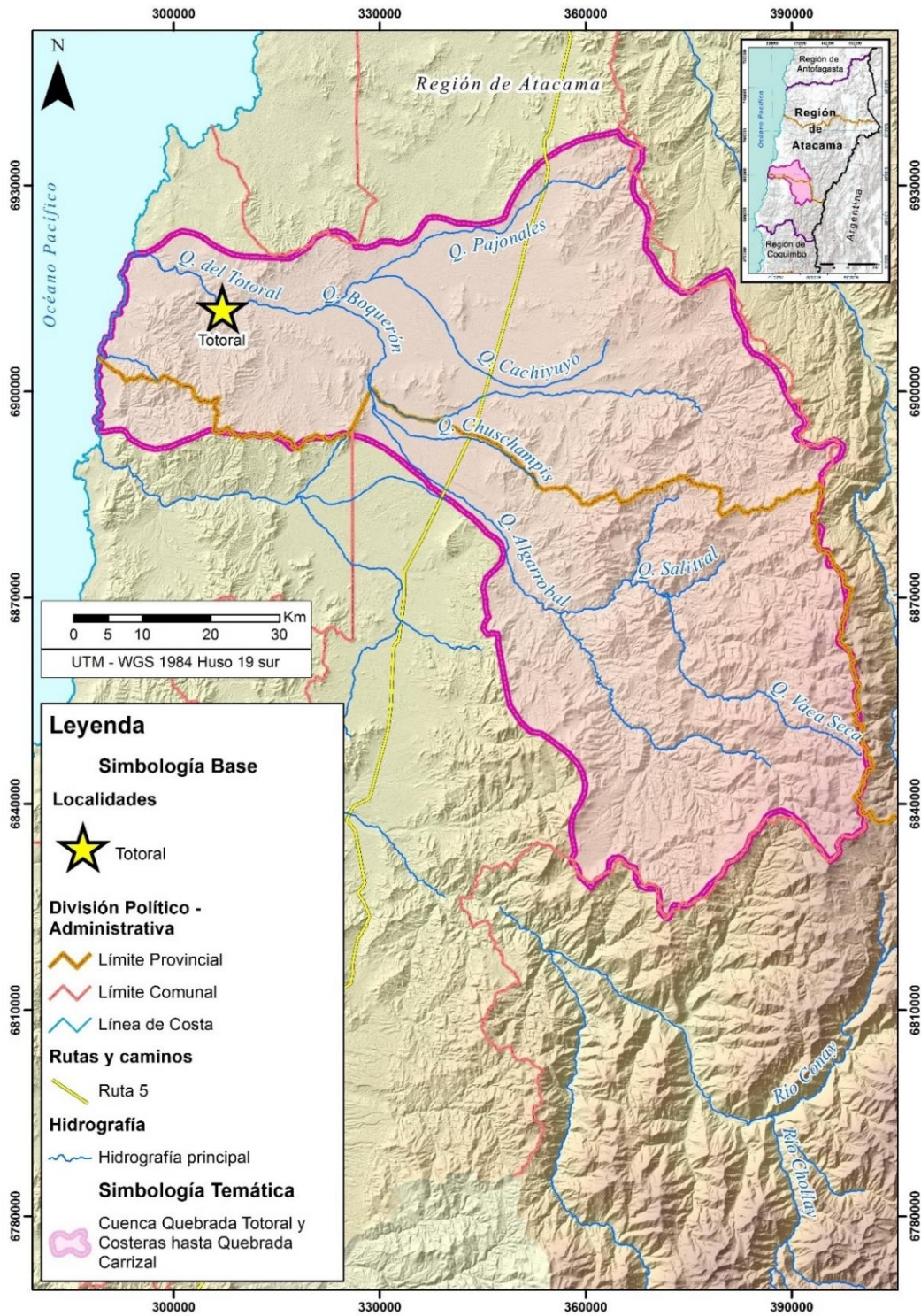
Figura 6-7: Ficha Acción AP OH-5: Tecnificación del riego

6.4.8 Ficha Acción AP OM-1: Monitoreo ambiental de humedales

Tabla 6-12: 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.

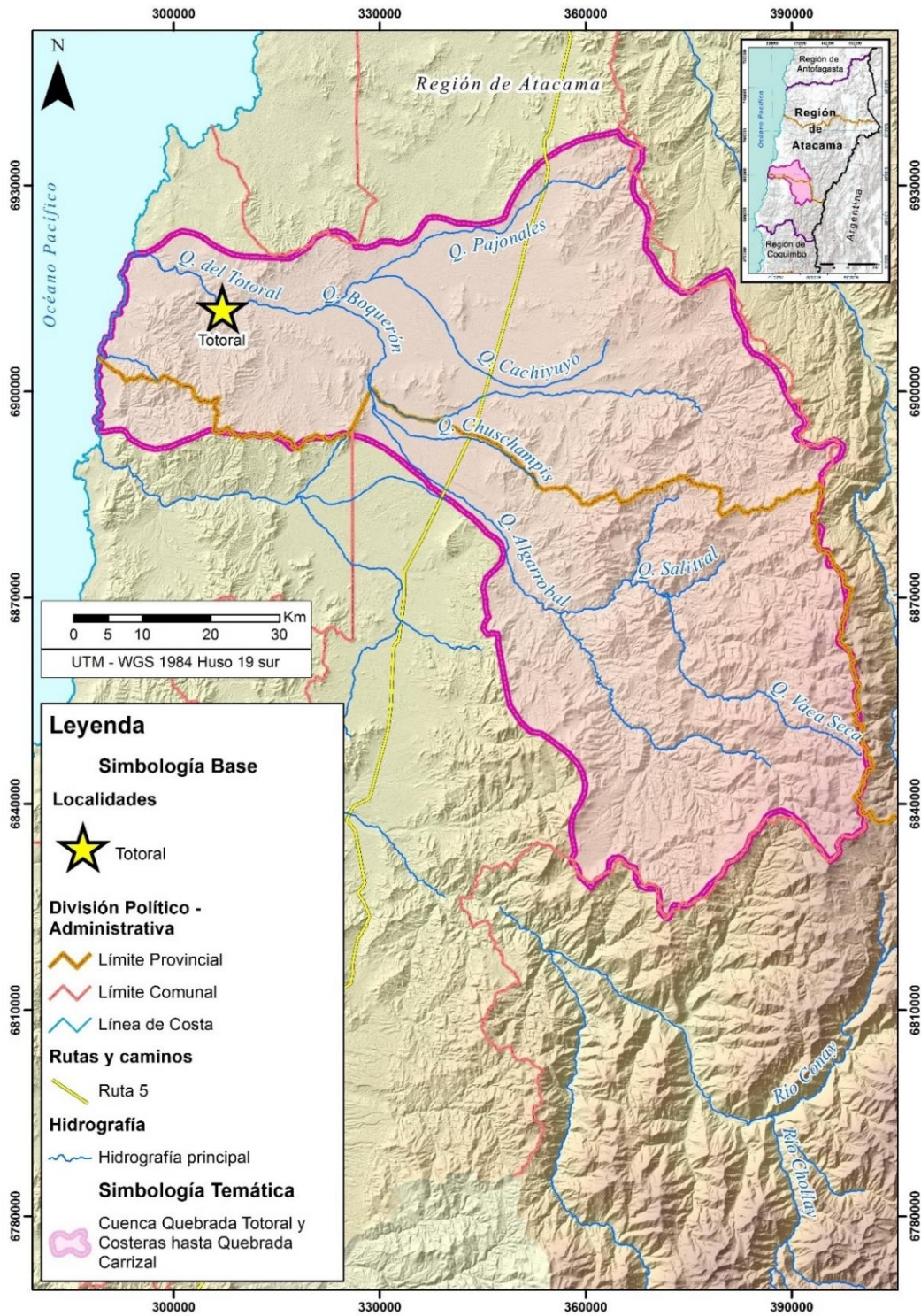
Figura 6-8: Ficha Acción AP OM-1: Monitoreo ambiental de humedales

6.4.9 Ficha Acción AP MG-2: Plan de fiscalización de extracciones

Tabla 6-13: 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.

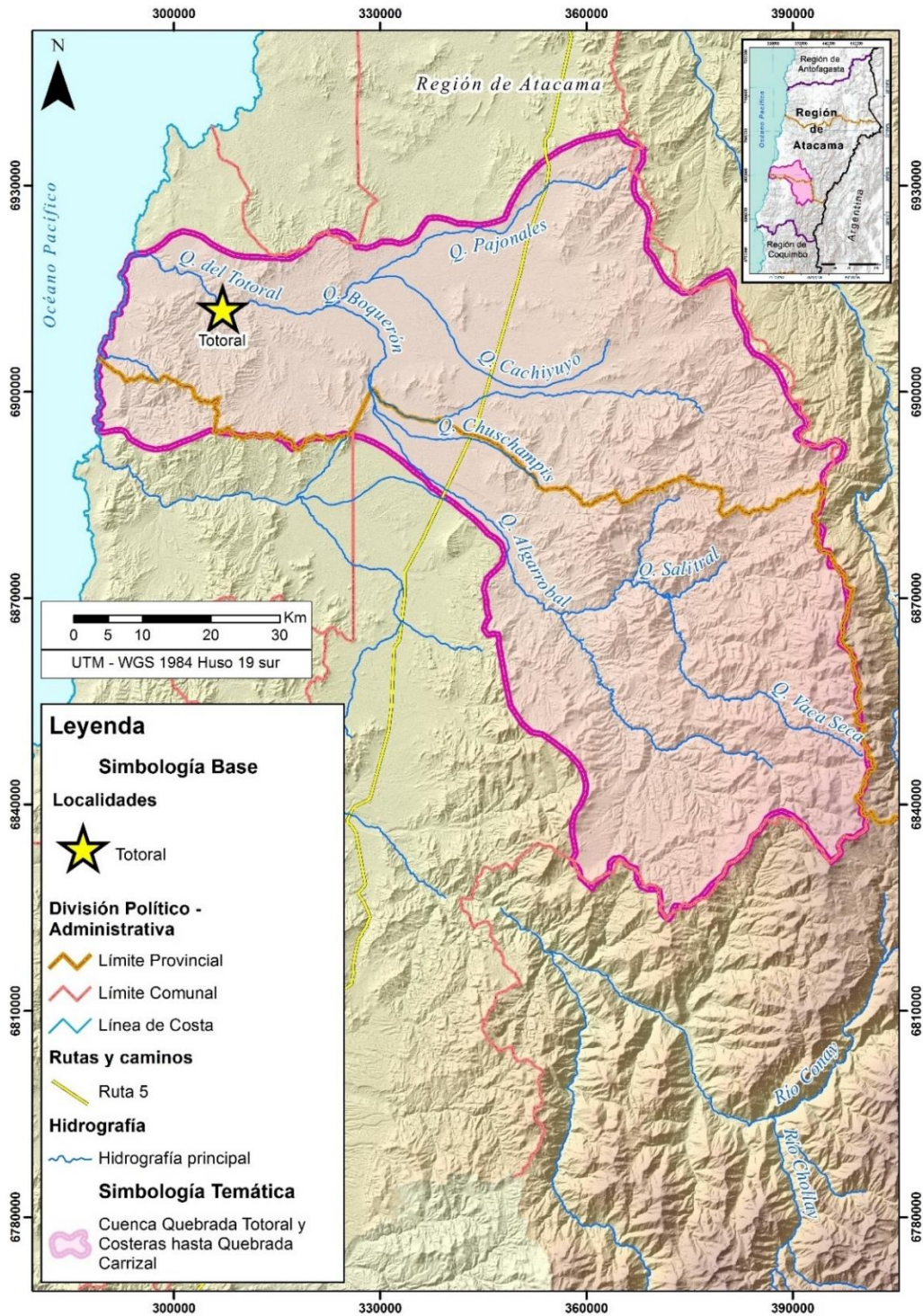
Figura 6-9: Ficha Acción AP MG-2: Plan de fiscalización de extracciones

6.4.10 Ficha Acción AP MG-3: Aplicación Art 62 para limitar el uso de los derechos concedidos

Tabla 6-14: 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 herramientas de gestión que el CdA entrega la DGA para la reducción temporal de los derechos de abastecimiento. |
| Brecha que resuelve | Hídrica (mejoramiento de la disponibilidad 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.

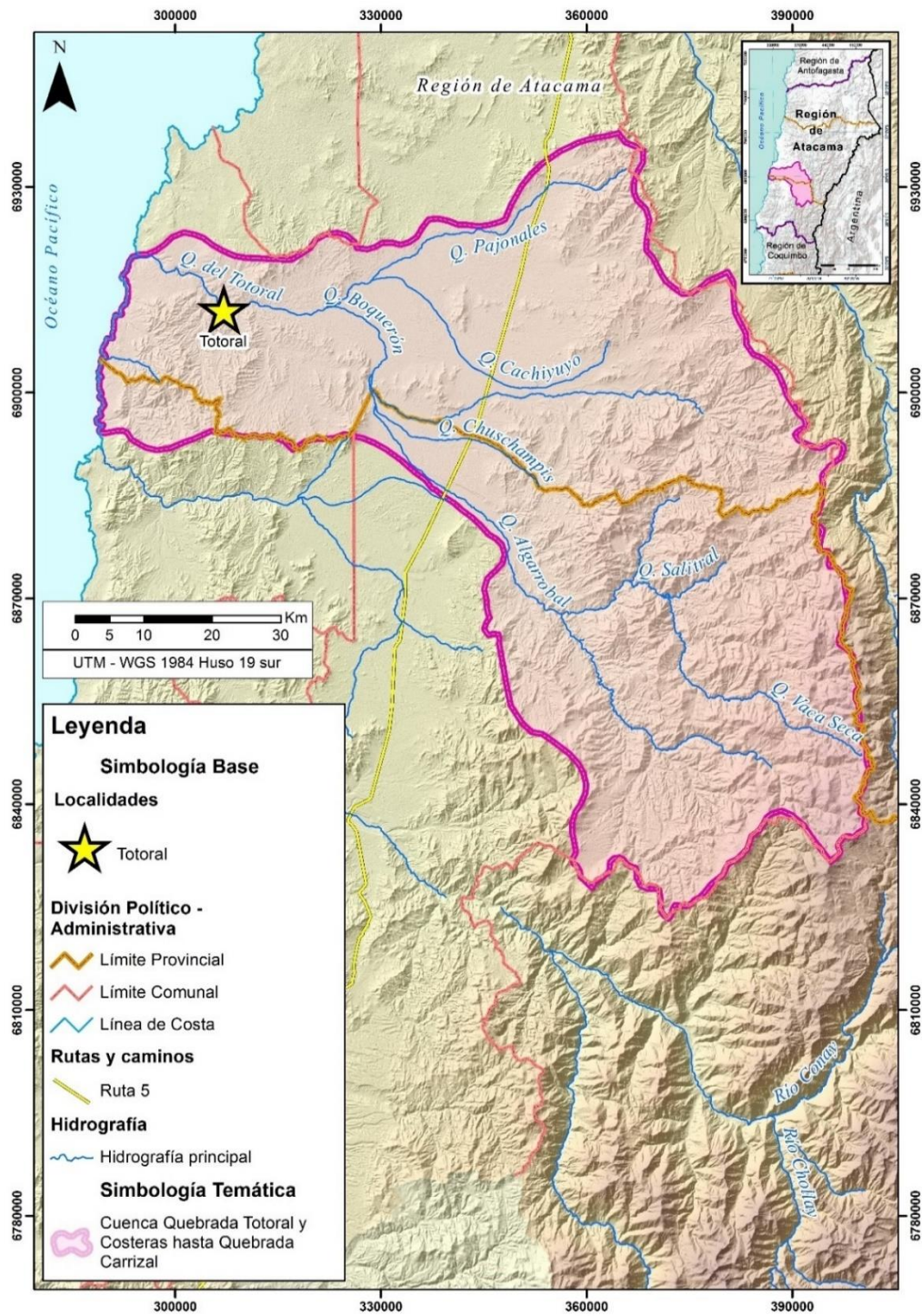
Figura 6-10: Ficha Acción AP MG-3: Aplicación Art 62 para limitar el uso de los derechos concedidos

6.4.11 Ficha Acción AP MG-4: Capacitación en Nuevo Código de Aguas

Tabla 6-15: 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.

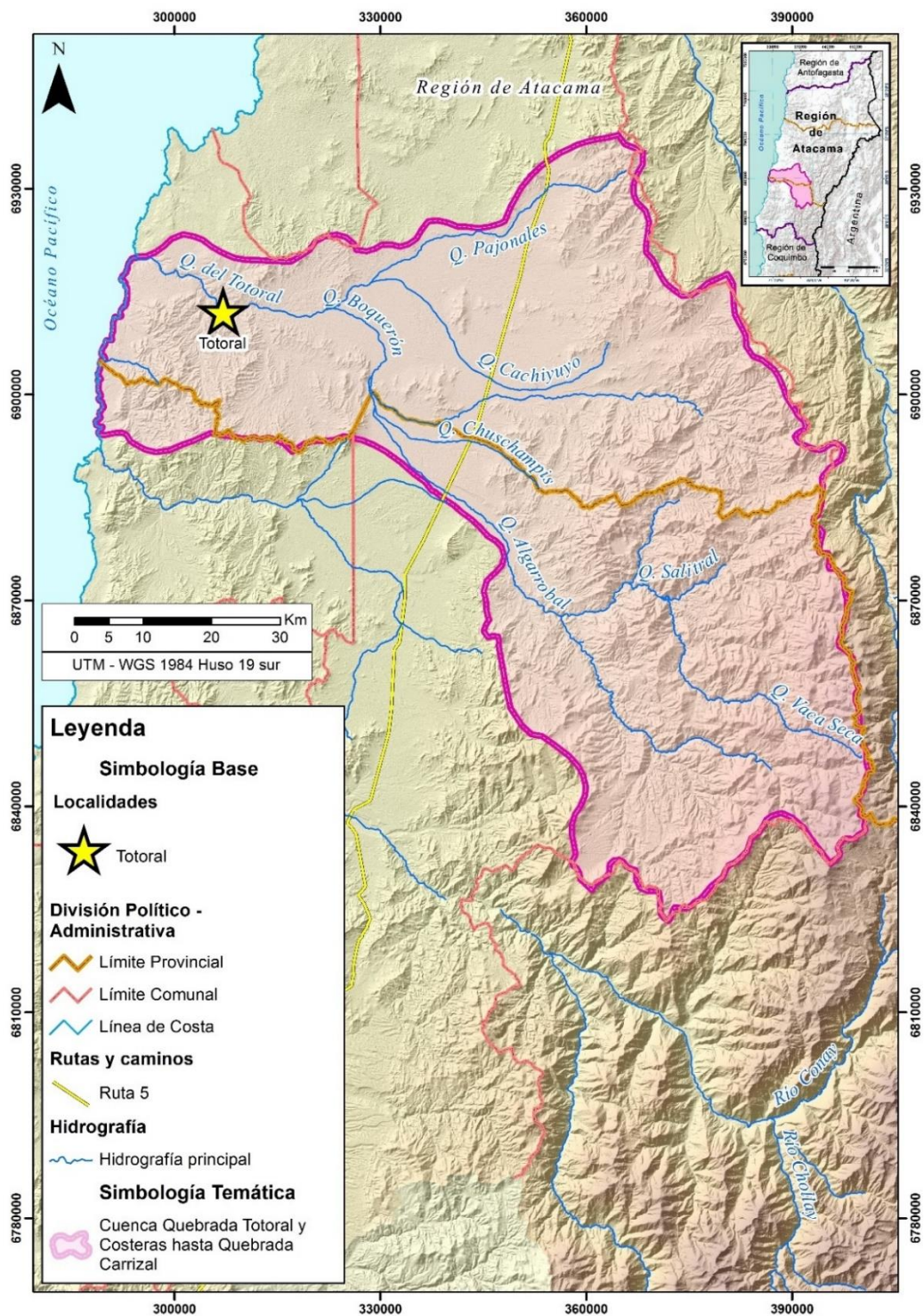
Figura 6-11: Ficha Acción AP MG-4: Capacitación en Nuevo Código de Aguas

6.4.12 Ficha Acción AP MG-5: Capacitación en uso del agua

Tabla 6-16: 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.

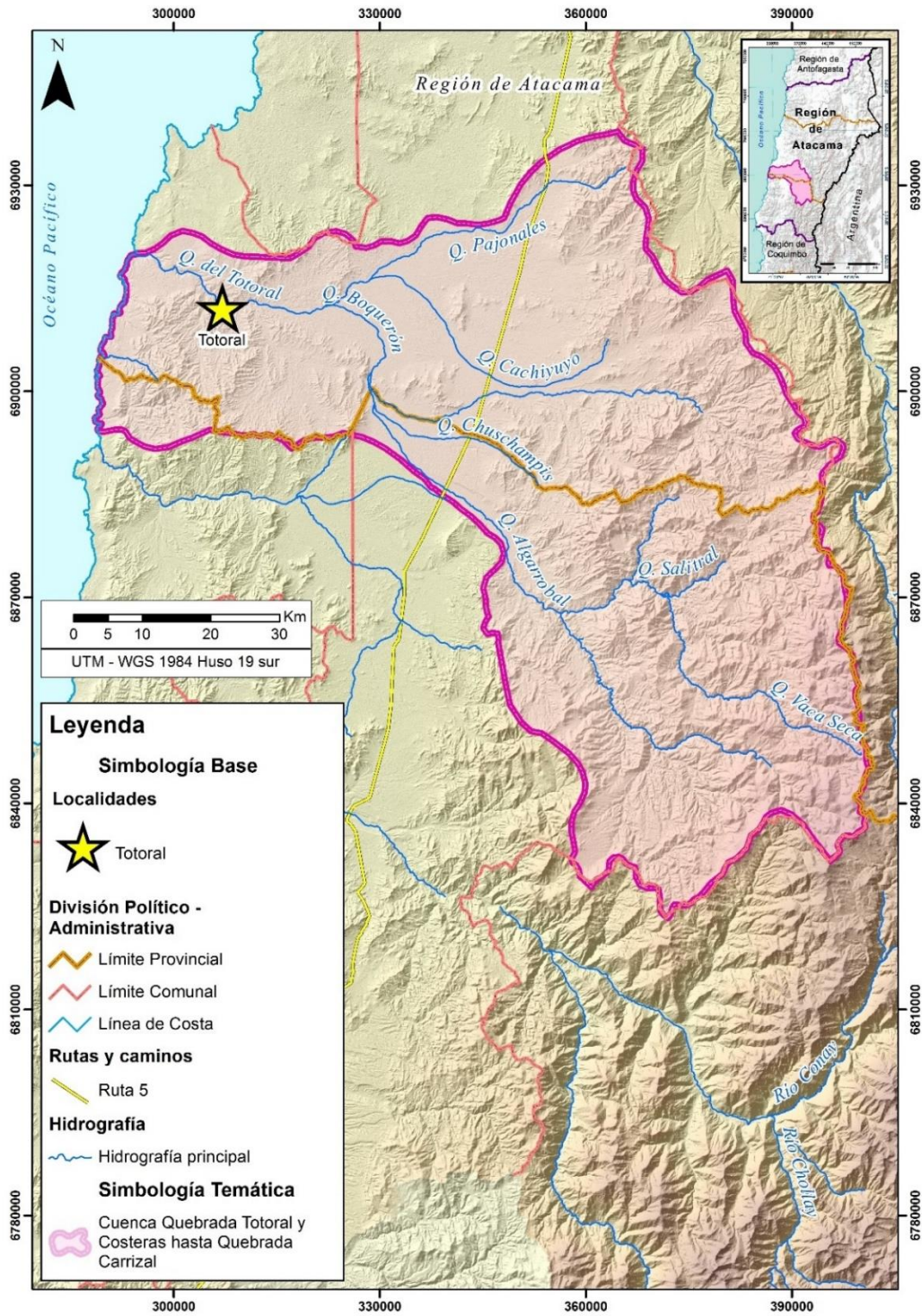
Figura 6-12: Ficha Acción AP MG-5: Capacitación en uso del agua

6.4.13 Ficha Acción AP MG-6: Apoyo y formación OUA's

Tabla 6-17: 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 formación de las OUA's 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.

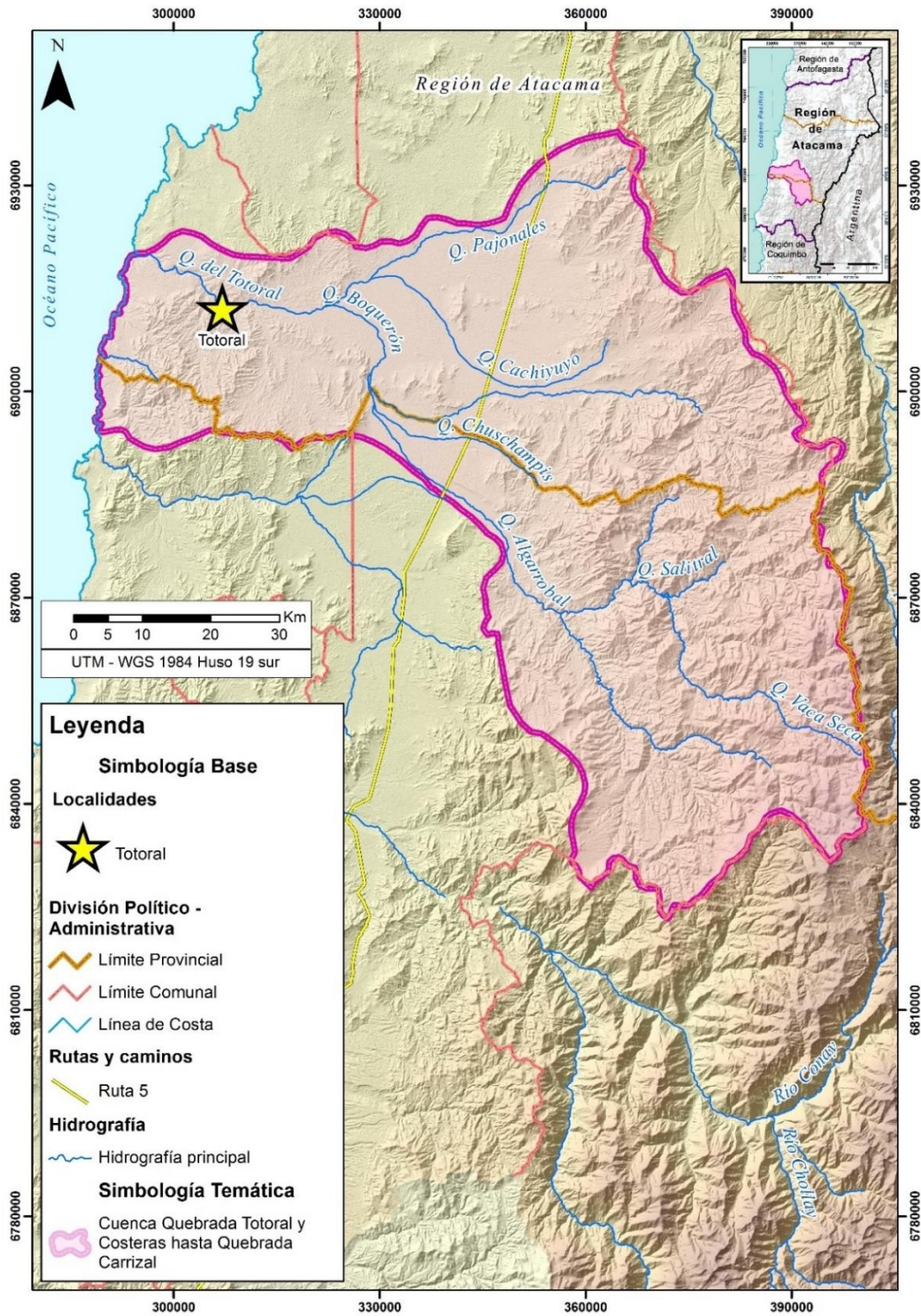
Figura 6-13: Ficha Acción AP MG-6: Apoyo y formación OUA's

6.4.14 Ficha Acción AP MG-7: Capacitación OUA's

Tabla 6-18: 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 | <p>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.</p> <p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> * 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. <p>En el ámbito tecnológico incluye acciones que apuntan a mejorar la gestión a través de la operación y uso de tecnologías, tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> * 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.

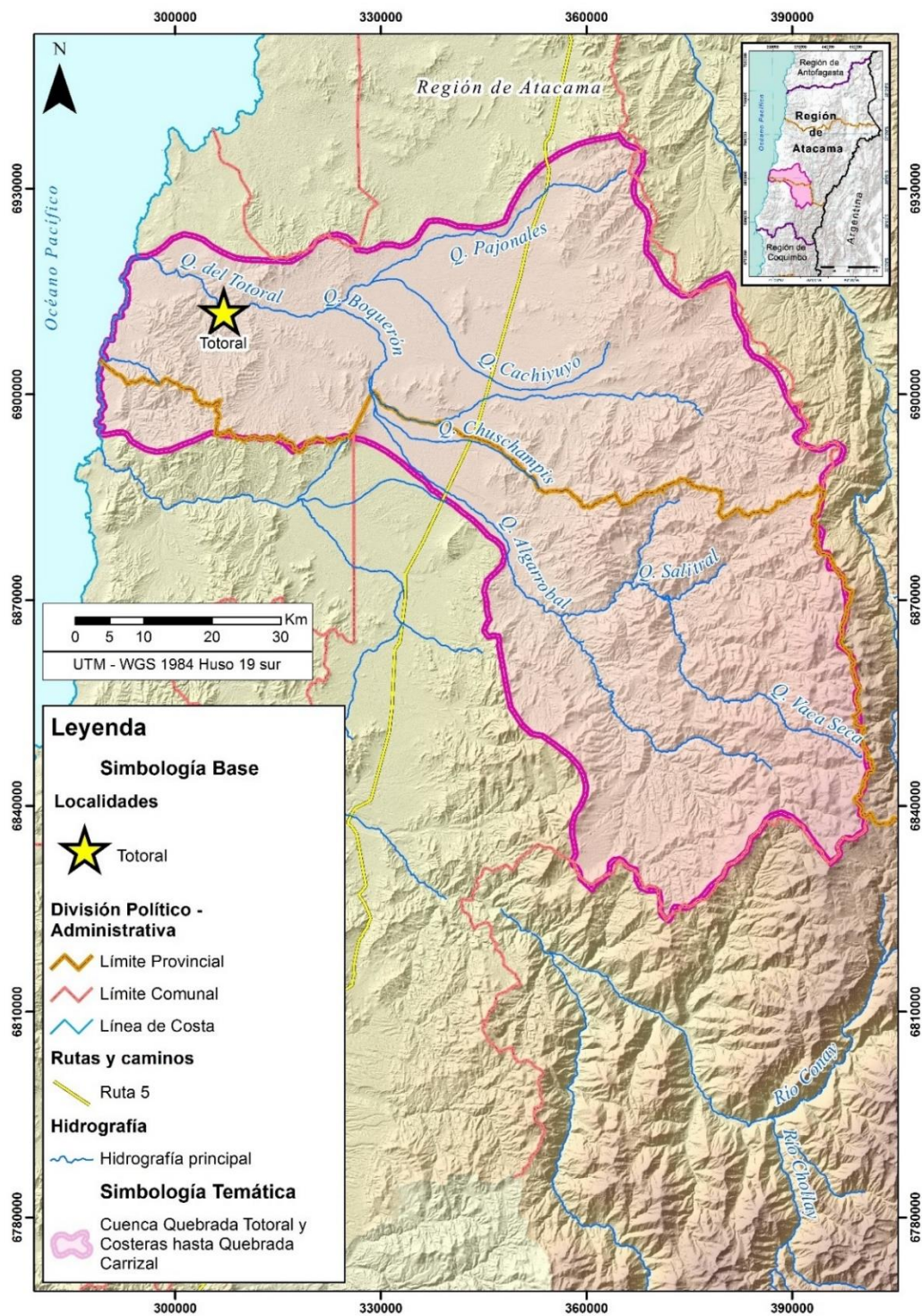
Figura 6-14: Ficha Acción AP MG-7: Capacitación OUA's

6.4.15 Ficha Acción AP MG-8: Capacitación en desarrollo agropecuario a usuarios

Tabla 6-19: 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.

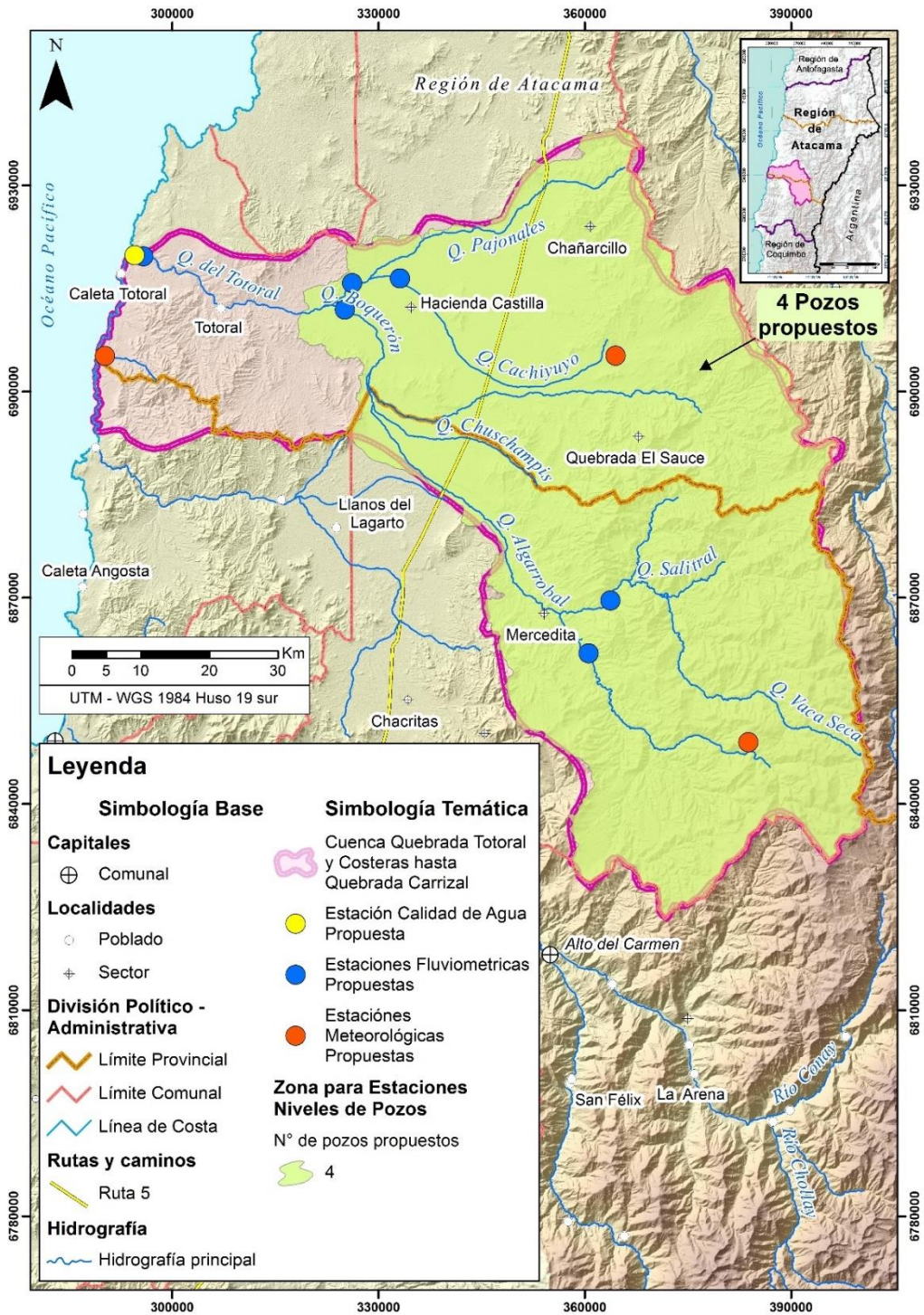
Figura 6-15: Ficha Acción AP MG-8: Capacitación en desarrollo agropecuario a usuarios

6.4.16 Ficha Acción AP OH-6: Mejoramiento de red de control (Fluviometría, meteorología, calidad y nivel de aguas subterráneas)

Tabla 6-20: 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 información a usuarios y DGA |

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-16: Ficha Acción AP OH-6: Mejoramiento de red de control (Fluviometría, meteorología, calidad y nivel de aguas subterráneas)

7 EVALUACIÓN DE LA CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTAS

El presente capítulo entrega para la cartera de iniciativas del PEGH Totoral, con la evaluación económica, social y ambiental, así como la priorización, valorización y cronograma propuesto para la implementación.

7.1 Evaluación y Ranking de las Acciones Propuestas

Para la evaluación de las acciones, se utilizó la metodología presentada en el Anexo F acápite 2.6.

Se hace notar que la metodología presentada es simple, y entrega bloques de puntajes, ya que la única manera de lograr puntajes más específicos por acción sería haber desarrollado un trabajo de evaluación de acciones presentadas a la comunidad, pero sin tener retro alimentación.

Con los criterios anteriormente presentados, se preparó la Tabla 7-1, donde se muestra para cada iniciativa el puntaje asignado por indicador, además del puntaje global. El cálculo se presenta en el Anexo K-02.

Tabla 7-1: Resultados Evaluación de Iniciativas

| Eje | Iniciativa | Tipología | Evaluación | | | | |
|-----|--|-----------|------------|--------|-----------|------------|--------|
| | | | Problema | Social | Ambiental | Financiero | Global |
| 1 | Ampliación SSR Totoral | OH | 50,0 | 100,0 | 50,0 | 100,0 | 70,0 |
| 1 | Mejoramiento abastecimiento localidades menores | OH | 50,0 | 100,0 | 50,0 | 100,0 | 70,0 |
| 1 | Potencial cosecha de nubes en la cuenca | NF | 50,0 | 50,0 | 100,0 | 100,0 | 70,0 |
| 1 | Fomentar la gestión público-privada para el uso de desalación como fuente de abastecimiento | MG | 50,0 | 50,0 | 100,0 | 50,0 | 60,0 |
| 1 | Identificación Instalación Sistemas de Acumulación | OH | 50,0 | 100,0 | 100,0 | 75,0 | 75,0 |
| 1 | Identificación Mejoramiento Sistemas de Distribución | OH | 50,0 | 100,0 | 100,0 | 75,0 | 75,0 |
| 1 | Tecnificación del riego | OH | 50,0 | 100,0 | 100,0 | 75,0 | 75,0 |
| 2 | Monitoreo ambiental de humedales | OM | 50,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 80,0 |
| 3 | Plan de fiscalización de extracciones | MG | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| 3 | Aplicación Art 62 para limitar el uso de los derechos concedidos | MG | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | |
| 3 | Capacitación en Nuevo Código de Aguas | MG | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| 3 | Capacitación en uso del agua | MG | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| 3 | Apoyo y formación OUA's | MG | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 75,0 | 95,0 |
| 3 | Capacitación OUA's | MG | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| 3 | Capacitación en desarrollo agropecuario | MG | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| 4 | Mejoramiento de red de control (Fluviometría, meteorología, calidad y nivel de aguas subterráneas) | OH | 50,0 | 75,0 | 100,0 | 50,0 | 65,0 |

Fuente: Elaboración propia.

7.2 Reordenamiento de las Acciones y asignación de plazo para la Formulación del PEGH

Posteriormente se presenta en la Tabla 7-2 el ranking ordenado, que corresponde al primer insumo para la confección del PEGH Totoral. Se presenta el proyecto con mayor puntaje con ranking 1 y de ahí, descendiendo hasta 17. Se debe hacer notar que por razones externas, se requiere que algunas acciones se realicen antes de otras, independientemente del ranking, por lo que en la Tabla 7-2 se incluye una columna de comentarios en los que se indica si el proyecto debe mantenerse en su lugar, o debe modificarse su orden dependiendo de otras actividades, o incluso razones externas al PEGH Totoral. En la misma tabla se agregó una última columna que indica qué plazo debería considerarse para comenzar con la ejecución de la acción: corto (1 a 5 años), medio (6 a 10 años) o largo (11 años en adelante).

Se debe hacer notar, que las acciones identificadas inicialmente se complementan con una acción adicional que corresponde a la formulación y puesta en marcha de la gobernanza de la cuenca, considerando un programa inicial de 5 años, lo que en todo caso no significa que esté limitado a esa longitud, sino que es solo la fase inicial. El VAC esperado para esta actividad es de \$ 327.906.337, al considerar un presupuesto inicial de 120 millones para la instalación, y 60 millones anuales para su operación.

Tabla 7-2: Ranking Evaluación Iniciativas

| Código | Iniciativa | VAC (\$) | Global | Ranking Original | Comentario | Ranking Modificado | Plazo |
|---------|--|-------------|--------|------------------|--|--------------------|---------|
| AP OH-6 | Mejoramiento de red de control (Fluviometría, meteorología, calidad y nivel de aguas subterráneas) | 375.307.049 | 70 | 13 | Se debe mover al primer lugar porque sus resultados deben estar disponibles lo antes posible | 1 | Corto |
| AP MG-3 | Aplicación Art 62 para limitar el uso de los derechos concedidos | 201.170.879 | 100 | 2 | Se debe adelantar ya que la comunidad requiere el mejoramiento del sistema, pero en forma más importante, se requiere disponer de los posibles efectos y como aplicar esta acción antes que se haga tarde, de modo que DGA tenga las herramientas ya evaluadas | 2 | Corto |
| AP MG-2 | Plan de fiscalización de extracciones | 80.371.901 | 100 | 1 | Se mantiene orden relativo | 3 | Corto |
| AP MG-4 | Capacitación en Nuevo Código de Aguas | 28.000.000 | 100 | 3 | Se mantiene orden relativo | 4 | Corto |
| AP MG-5 | Capacitación en uso del agua | 38.000.000 | 100 | 4 | Se mantiene orden relativo | 5 | Corto |
| AP MG-7 | Capacitación OUA's | 28.000.000 | 100 | 5 | Se mantiene orden relativo | 6 | Corto |
| AP MG-6 | Apoyo y formación OUA's | 167.132.075 | 95 | 7 | Se mantiene orden relativo | 7 | Corto |
| AP OM-1 | Monitoreo ambiental de humedales | 66.046.373 | 80 | 8 | Se mantiene orden relativo | 8 | Corto |
| AP OH-5 | Tecnificación del riego | 175.924.528 | 75 | 10 | Se mantiene orden relativo | 9 | Corto |
| AP OH-1 | Ampliación SSR Totoral | 106.867.925 | 70 | 11 | Se mantiene orden relativo | 10 | Corto |
| AP OH-2 | Mejoramiento abastecimiento localidades menores | 93.500.000 | 70 | 12 | Se mantiene orden relativo | 11 | Mediano |
| AP MG-8 | Capacitación en desarrollo agropecuario a usuarios | 38.000.000 | 70 | 14 | Se mantiene orden relativo | 12 | Mediano |
| AP OH-3 | Identificación Instalación Sistemas de Acumulación | 215.018.868 | 65 | 16 | Se mantiene orden relativo | 13 | Mediano |
| AP OH-4 | Identificación Mejoramiento Sistemas de Distribución | 200.358.491 | 65 | 17 | Se mantiene orden relativo | 14 | Mediano |
| AP NF-1 | Evaluación potencial cosecha de nubes en la cuenca | 118.260.377 | 80 | 9 | Se posterga al final | 15 | Largo |
| AP MG-1 | Fomentar la gestión público-privada para el uso de desalación como fuente de abastecimiento | 208.470.501 | 95 | 6 | Se posterga al final | 16 | Largo |

Fuente: Elaboración propia.

7.3 Clasificación de Acciones según Plazo de Ejecución

Con los resultados de la Tabla 7-2, se procede a preparar una carta Gantt que se presenta en la Figura 7-1, donde se muestra para cada plazo, las acciones a realizar por eje temático, además del momento propuesto para su ejecución.

| Plazo | Eje PEGH | Acción | | Año | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|----------------------|--------------------------------------|--|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|--|--|
| | | Código | Nombre | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | | |
| Corto | Monitoreo | OH-01 | Mejoramiento de red de control (Fluviometría, meteorología, calidad y nivel de aguas subterráneas) | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| | Gobernanza y Gestión | MG-01 | Plan de fiscalización de extracciones | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| | | MG-02 | Capacitación en Nuevo Código de Aguas: Corresponde a capacitación a las comunidades y dirigentes en las nuevas disposiciones del código de aguas | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | MG-03 | Capacitación en uso del agua: Corresponde a una captación 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 | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | MG-04 | Capacitación OUA's | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | MG-05 | Capacitación en desarrollo agropecuario | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | MG-06 | Aplicación Art 62 para limitar el uso de los derechos concedidos (análisis conceptual) | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| | | MG-07 | Apoyo y formación OUA's | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| | | MG-08 | Propuesta de Gobernanza de cuenca | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| Protección Ambiental RRHH | OM-01 | Monitoreo ambiental de los humedales | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| Mediano | Uso estratégico RRHH | OH-02 | Identificación Instalación Sistemas de Acumulación: Identificar agricultores interesados en el desarrollo de proyectos de acumulación, para posterior desarrollo de proyectos y proponerlos para financiamiento estatal | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| | | OH-03 | Identificación Mejoramiento Sistemas de Distribución: Identificar agricultores interesados en el desarrollo de proyectos de mejoramiento de los sistemas de distribución, para posterior desarrollo de proyectos y proponerlos para financiamiento estatal | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| | | OH-04 | Tecnificación del riego: Identificar agricultores interesados en el desarrollo de proyectos de tecnificación, para posterior desarrollo de proyectos y proponerlos para financiamiento estatal | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| | | OH-05 | Ampliación SSR Totoral: Se requiere actualizar el diseño del sistema de abastecimiento, aumentando la capacidad de la fuente tomando en cuenta el crecimiento de la población | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| | | OH-06 | Estudio mejoramiento abastecimiento localidades menores: 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 | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Largo | Uso estratégico RRHH | NF-01 | Estudio potencial cosecha de nubes en la cuenca | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | |
| | Gobernanza y Gestión | MG-09 | Programa para fomentar la gestión público-privada para el uso de desalación como fuente de abastecimiento | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | |

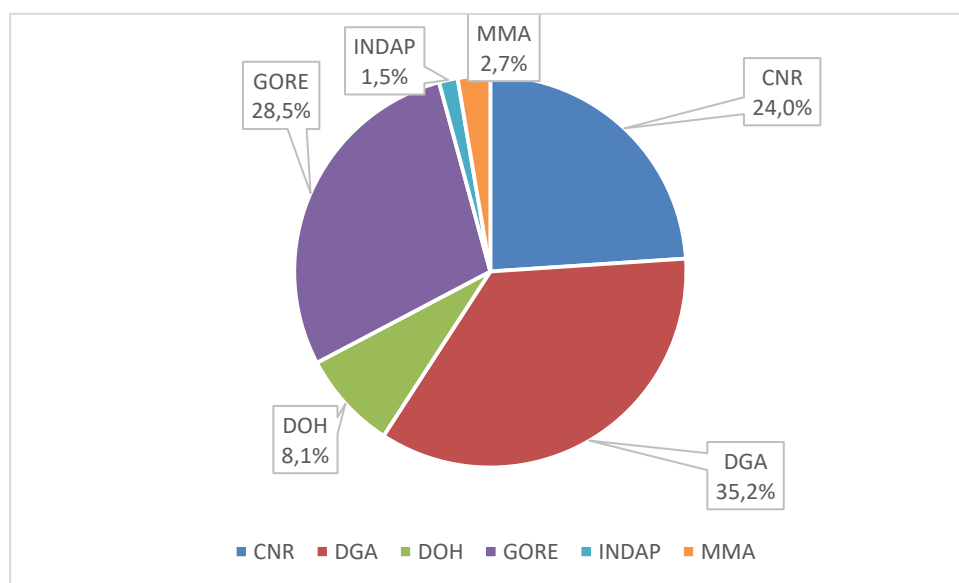
Fuente: Elaboración propia.

Figura 7-1: Cronograma Propuesto PEGH Totoral

7.4 Valorización Económica del Plan Estratégico de Gestión Hídrica

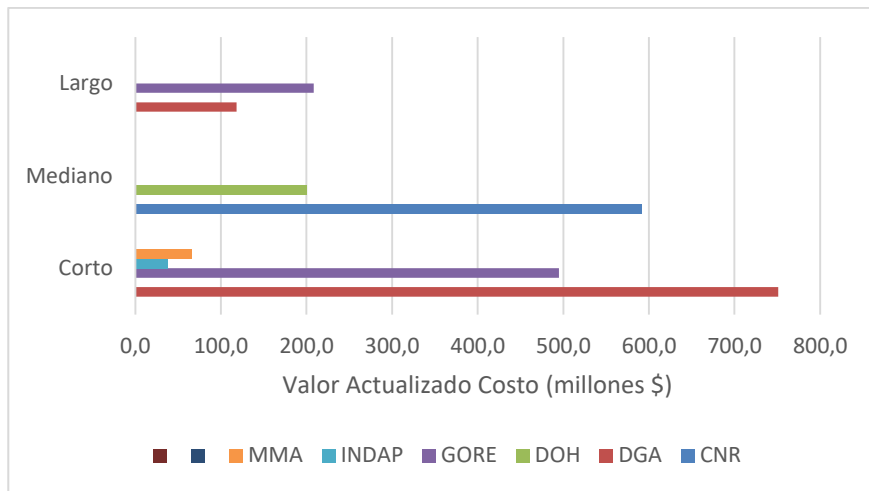
7.4.1 Acciones a Ejecutar por Actor

En primer lugar, se presenta la distribución de acciones, en términos de VAC, a ejecutar por responsable, distribuidos entre la DGA y otros actores, en el corto, mediano y largo plazo, lo que se muestra en la Figura 7-2 y Figura 7-3. En términos porcentuales, la DGA está encargada de un 35,2% del presupuesto requerido, con 7 iniciativas, y el restante 64,8% (10 iniciativas) en manos de otras instituciones. La distribución del valor actualizado de los costos se muestra en la Figura 7-4, en la forma de un diagrama Sankey, donde se muestra la tipología, la institución y el plazo.



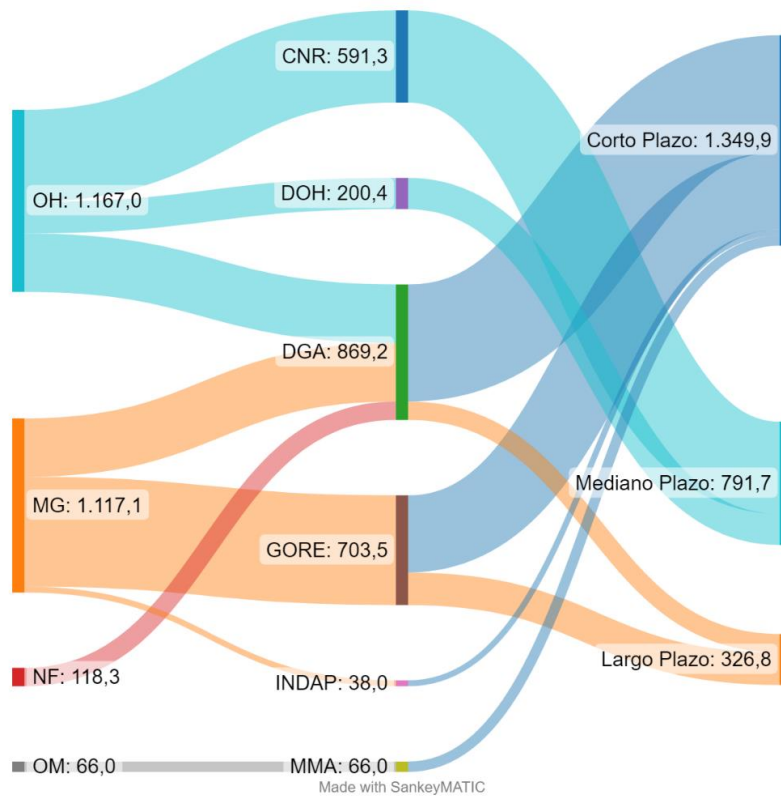
Fuente: Elaboración propia.

Figura 7-2: Distribución Costos por Actor Institucional



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7-3: Distribución Valor Actualizado de Costos por Plazo Ejecución

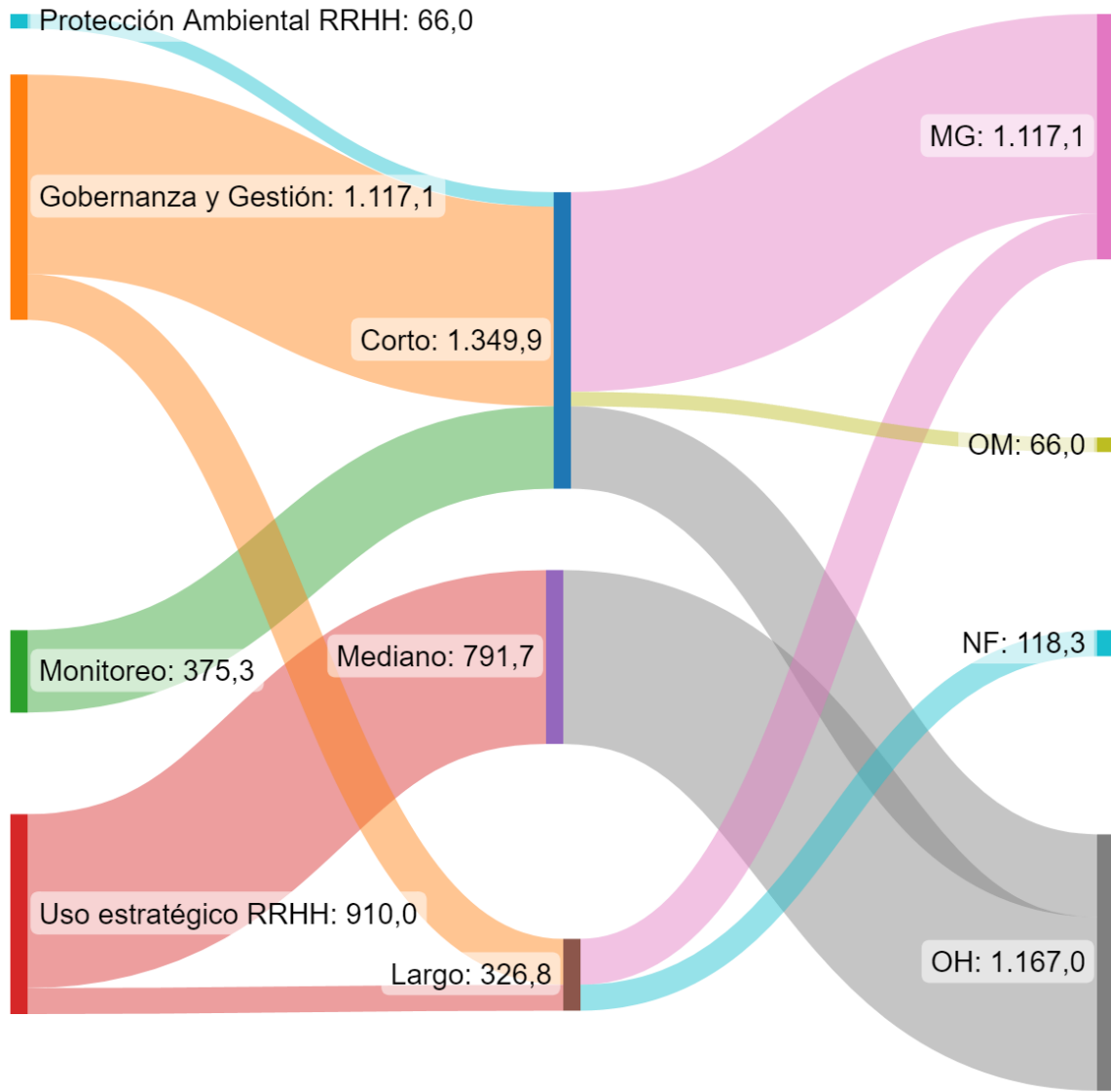


Fuente: Elaboración propia. usando SankeyMATIC.

Figura 7-4: Distribución VAC (millones \$) por Tipología, Entidad Encargada y Plazo de Ejecución

7.4.2 Distribución de Valor Actualizado de Costos por Eje PEGH

En último lugar, se presenta en la Tabla 7-3 la distribución del valor actualizado de los costos por línea de acción, institución y plazo, lo que se resume en la Figura 7-5, donde se observa que el 54,7% del presupuesto se asigna al corto plazo.



Made with SankeyMATIC

Fuente: Elaboración propia. usando SankeyMATIC.

Figura 7-5: Distribución VAC (millones \$) por Eje Temático, Plazo y Tipología

Tabla 7-3: Distribución VAC (millones \$) por Eje PEGH

| Eje PEGH | Corto | Medio | Largo | Total |
|---------------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|
| Uso estratégico RRHH | | 791,7 | 118,3 | 910,0 |
| Protección Ambiental RRHH | 66 | | | 66,0 |
| Gobernanza y Gestión | 908,6 | | 208,5 | 1.117,1 |
| Monitoreo | 375,3 | | | 375,3 |
| Total | 1.349,9 | 791,7 | 326,8 | 2.468,4 |
| Distribución | 54,7% | 32,1% | 13,2% | 100,0% |

Fuente: Elaboración propia.

8 IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN

En este capítulo se presenta un resumen de la estructura del PEGH Totoral y los principales hitos a considerar, en función de la temporalidad establecida para cada medida del plan. Se presenta también la estructura propuesta para la gobernanza, sus componentes, limitaciones. También se analizan fuentes de financiamiento, y el efecto del nuevo Código de Aguas.

8.1 Estrategia de Implementación

8.1.1 Aspectos a Considerar

En este acápite se presentan algunas de las condicionantes que podrían afectar el desarrollo y/o implementación del plan.

8.1.1.1 Proceso de Participación Ciudadana

En lo que sigue 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 las distintas 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 comprensión 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.

8.1.1.2 Proceso de Consulta Indígena

También se requiere profundizar sobre la procedencia y pertinencia de un proceso de Consulta Indígena en las etapas futuras de las iniciativas, ya sea en forma particular de cada una de ellas o en la totalidad del PEGH.

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" (proyectos, programas y estudios). Para este caso, si los PEGH 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 última modificación del Código de Aguas, adquiere sentido discutir la proposición de revisar las iniciativas del PEGH en el contexto del Convenio 169.

En ese ámbito, hay que considerar que el Convenio 169 señala en su Artículo 6 "...al aplicar las disposiciones del presente convenio, los gobiernos deberán:

-
- a) consultar a los pueblos interesados, mediante procedimientos apropiados y en particular a través de sus instituciones representativas, cada vez que se prevean medidas legislativas o administrativas susceptibles de afectarles directamente;
 - b) establecer los medios a través de los cuales los pueblos interesados puedan participar libremente, por lo menos en la misma medida que otros sectores de la población, y a todos los niveles en la adopción de decisiones en instituciones electivas y organismos administrativos y de otra índole responsables de políticas y programas que les conciernan;
 - c) establecer los medios para el pleno desarrollo de las instituciones e iniciativas de esos pueblos, y en los casos apropiados proporcionar los recursos necesarios para este fin.”⁴

Si al inicio de los PEGH se estableció por parte del Ministerio de Obras Públicas, no considerar un proceso de consulta Indígena, una vez finalizado un PEGH parece pertinente volver a revisar esa decisión, considerando que las disposiciones del Convenio 169 impulsan y promueven que sean los gobiernos quienes deban adaptarse a las condiciones y particulares de las comunidades indígenas y no al revés. Las dificultades de conectividad de internet, la dispersión geográfica de las localidades, la adecuada comunicación de los contenidos técnicos de los estudios, la cantidad adecuada de reuniones, la participación temprana y el debido financiamiento para un proceso participativo de un PEGH, son algunos de los aspectos que deben ser analizados nuevamente en la implementación de un PEGH.

8.1.1.3 Modificaciones al Código de Aguas

Para la implementación del plan deben considerarse las modificaciones al Código de Aguas, en diferentes áreas, en las que el PEGH Totoral tiene acción o interés:

- ♦ Derecho humano al agua y saneamiento:
 - Se establece la priorización del consumo humano, el saneamiento y el uso doméstico de subsistencia, lo que permite asegurar el derecho humano de acceso al agua.

⁴Ver documento disponible en línea en <https://www.mop.cl/asuntosindigenas/Documents/convenio169.pdf>

-
- Establece el interés público para reservar aguas y así poder satisfacer la función de subsistencia o para la preservación ecosistémica.
 - Bajo cualquier circunstancia, prevalece el uso para el consumo humano, doméstico y de subsistencia, tanto en el otorgamiento de derechos de aguas, como en la redistribución de las aguas.
 - Fortalece la calidad de las aguas como bien nacional de uso público, explicitando que su uso y dominio pertenece a todos los habitantes de la nación.
- ◆ **Preservación ecosistémica:**
 - Velar por la armonía y el equilibrio entre la función de preservación ecosistémica y la función productiva que cumplen las aguas.
 - Promueve el equilibrio entre eficiencia y seguridad en los usos productivos de las aguas, resguardando el consumo humano y el saneamiento, la preservación ecosistémica, la disponibilidad de las aguas y la sustentabilidad de los acuíferos.
 - Refuerza el concepto de sustentabilidad tanto para las aguas superficiales, como las aguas subterráneas.
 - ◆ **Producción sostenible y eficiencia hídrica:**
 - Desarrollar nuevo reglamento del Catastro Público de Aguas (CPA) para disponer de toda la información de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) y el uso de las aguas, para asegurar transparencia, accesibilidad y disponibilidad.
 - ◆ **Gobernanza y gestión territorial:**
 - Promueve la inversión y gestión territorial desde las cuencas.
 - Promueve la formación y el fortalecimiento de las organizaciones de usuarios de aguas.

8.1.1.4 Fuentes de Financiamiento

Se debe considerar el acceso a diferentes fuentes de financiamiento, ya sean estas de tipo sectorial, recursos GORE, fondos SUBDERE, otros.

8.1.1.5 *Alianzas Estratégicas*

Es fundamental considerar el establecimiento de alianzas estratégicas de tipo público-privada con el fin de mejorar las confianzas, lograr financiamiento alternativo y complementario y desarrollar acciones de largo plazo, como es el uso de agua desalada no solo a nivel industrial sino que en forma extensiva para el abastecimiento humano.

8.1.1.6 *Recambio regular de autoridades*

Otro aspecto que también debe tomarse en consideración es el recambio de autoridades políticas, que trae como consecuencia que en algunas instancias existan vacíos de autoridad, lo que dificulta la interacción con los usuarios. También se traduce en que no existe una participación regular de los entes políticos, lo que hace que la comunidad vea que no hay relación entre autoridad y usuarios.

8.1.1.7 *Dificultad de acceso*

Un último elemento que complejiza la relación entre las autoridades y la comunidad es la distancia, lo que limita las posibilidades de interacción con los usuarios, generando en muchos casos frustración en los usuarios, ya sea en lo complejo del acceso, como en la velocidad de respuesta.

8.1.2 Pasos para la Implementación del PEGH

La implementación del PEGH dependerá de diversos factores, entre ellos:

- ♦ la identificación de responsabilidades institucionales.
- ♦ la buena acogida de la acción por parte de los beneficiarios.
- ♦ el financiamiento disponible.
- ♦ otras externalidades positivas o negativas propias de cada medida.

Por lo anterior, se debe definir una institución coordinadora transversal del conjunto de las medidas propuestas, o unidad ejecutora. Dado que el PEGH Totoral está promovido por la DGA, esta entidad es la responsable de su herramienta de planificación, y dentro de este servicio, se sugiere que sea la Dirección Regional de Aguas quien ostente esta figura de coordinación, por las razones siguientes:

-
- ♦ DGA Regional entre otras cosas se relaciona con las OUA's existentes, con los usuarios no organizados, tiene potestad en la fiscalización del uso del agua y su ejecución, entre otras acciones relevantes.
 - ♦ DGA Regional mantiene vínculos con los actores territoriales, tanto públicos de otros servicios (DOH, CNR u otros) como actores privados (mineras, industrias, sanitarias). Esto ya se mostró previamente en el análisis de actores, y se mostró gráficamente en la Figura 2-40 donde se muestran las relaciones entre los actores, en relación a la DGA.

Se propone, de acuerdo a lo anteriormente presentado, que la responsabilidad de la coordinación para la ejecución general del PEGH Totoral sea un Consejo de Cuenca, y que la DGA regional actúe como entidad coordinadora, a través de la figura del coordinador PEGH Totoral establecido por el propio servicio, mientras que el monitoreo y control se realice desde DGA nivel central. Se resalta la importancia de mantener instancias periódicas de reunión entre estas dos figuras para alcanzar los resultados esperados de implementación del PEGH Totoral.

Considerando la gobernanza como herramienta para gestionar la interacción de los sistemas políticos, sociales y económicos involucrados en la gestión de los recursos hídricos y la provisión de servicios de agua a diferentes niveles de la sociedad, resulta clave la generación de procesos interactivos que impliquen diversas formas de asociatividad, colaboración y negociación entre estos sectores (y actores).

Respecto de la aceptación y la acogida de las medidas por parte de los diferentes actores, se debe considerar que las interacciones entre ellos (no conflicto, colaboración y confianza, u otra situación) pueden cambiar según el tema que los una o relacione y, en consecuencia, también pueden cambiar sus voluntades para hacerse partícipes de las acciones del plan. No obstante, cabe señalar las consideraciones indicadas en la estrategia de comunicación definida y llevada a cabo posterior a la elaboración del presente PEGH Totoral, y expuesto en el acápite 8.2. Se pretende con ello asegurar que el proceso planificador sea cercano a los *stakeholders* y que pueda contribuir a una mejora continua.

La obtención del financiamiento, en general, irá de la mano con los lineamientos estratégicos de cada institución (principalmente pública) involucrada; para ello, se sugiere que DGA regional establezca una reunión inicial de trabajo invitando a los

servicios públicos involucrados en el PEGH Totoral, con la finalidad de informar sobre los montos estimados por iniciativa para cada institución.

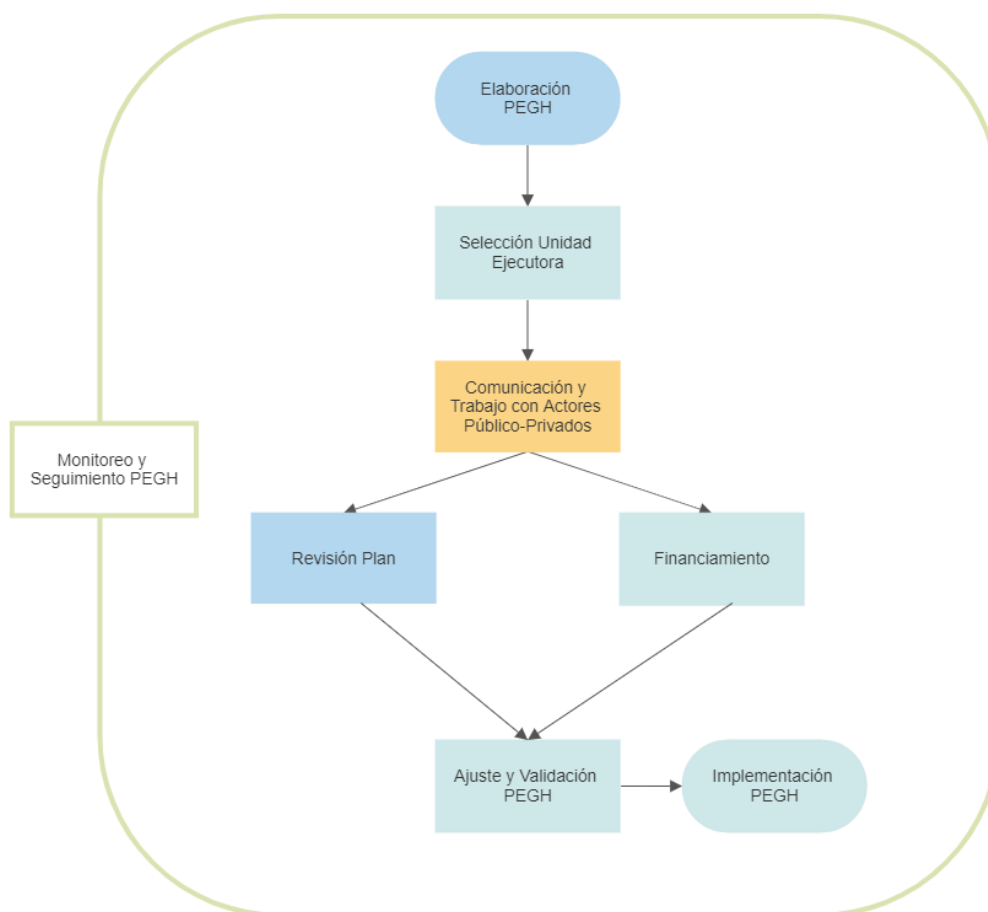
En paralelo a la implementación de las iniciativas del PEGH Totoral, el Plan de Monitoreo asociado permitirá un seguimiento y mejora de la pertinencia de las propuestas identificadas y su adaptación a lo largo del tiempo en caso oportuno; dicho plan se describe posteriormente en el Acápite 9.1.

En la Figura 8-1 se presenta un esquema básico de los pasos propuestos a seguir en la implementación de las iniciativas del PEGH Totoral, mientras que en la Figura 8-2 se presenta un esquema con los actores considerados para el modelo de gobernanza propuesto.

Se debe hacer notar que el esquema propuesto de implementación del plan podría verse completamente modificado, en caso que se acepte incluir una Consulta Indígena.

También debe tenerse en cuenta que, que con la finalidad de evitar duplicidades de las iniciativas propuestas debido a otros planes en acción o abordables en los próximos años por parte de otros servicios públicos, el ente coordinador del PEGH Totoral deberá solicitar a los actores implicados en la implementación de acciones la cartera actualizada de sus medidas planificadas relacionada con los recursos hídricos en las instancias de trabajo indicadas en la Figura 8-2, con especial atención a aquellos organismos que manejan presupuestos propios (por ejemplo, GORE). Es importante observar que en el nivel regional se incluyen otras instituciones relacionadas con el borde costero y su uso, como son la DIRECTEMAR y SERNAPESCA por la posible interacción que podrían tener con el PEGH Totoral. La inclusión definitiva de estas entidades debe decidirse en forma posterior a esta instancia que es de tipo propositiva. Se hace notar que en la gobernanza propuesta está incluido el Ministerio de Bienes Nacionales junto a las municipalidades, ya que uno de los problemas más importantes identificados en el territorio está relacionado con planificación territorial, uso del suelo y crecimiento de las localidades.

Debe hacerse notar que la ausencia de entidades privadas entre las entidades ejecutoras del PEGH que se está formulando, no impide que durante el desarrollo del PEGH se encarguen actividades a privados. Tampoco es inamovible la definición de entidades ejecutoras, por lo que es posible modificar la entidad encargada.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8-1: Esquema Simplificado de los Pasos de Implementación del PEGH Total

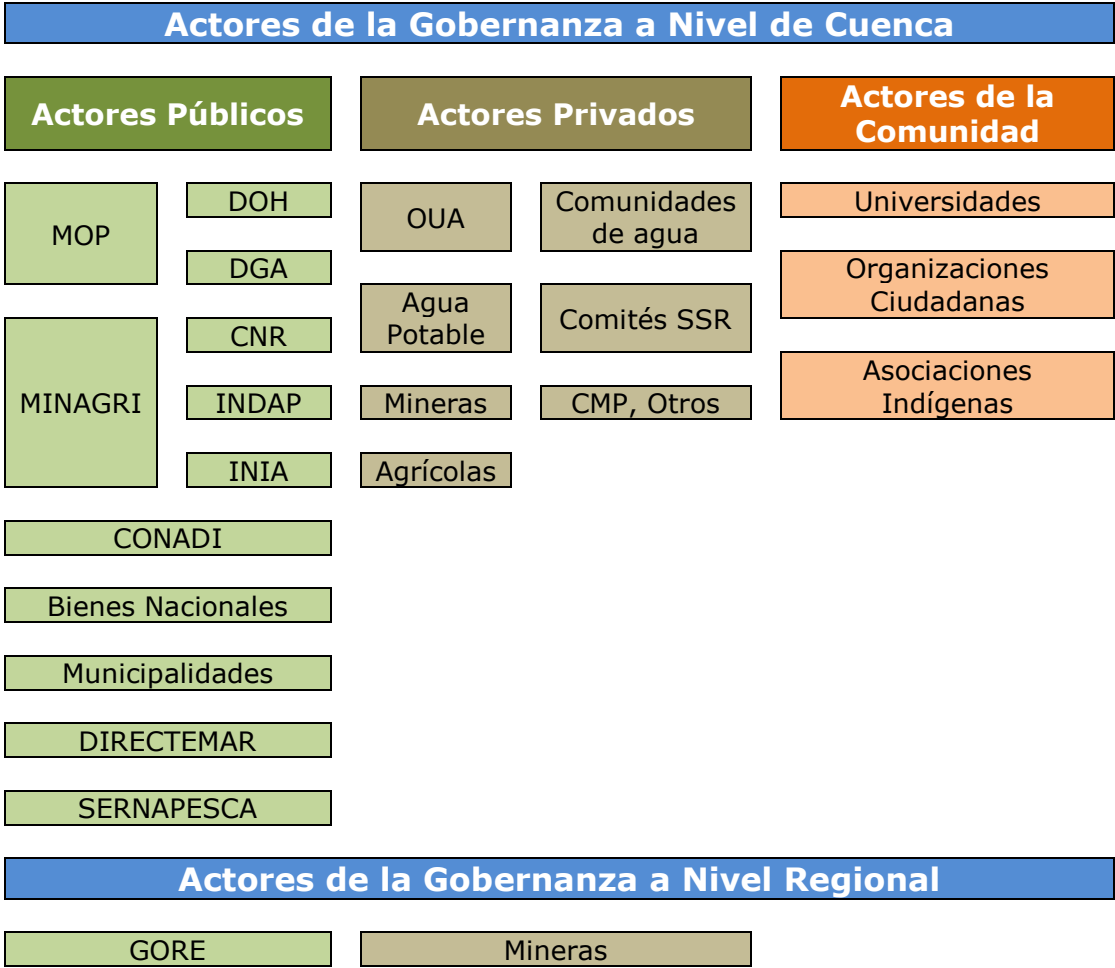
En base a lo anteriormente expuesto, para la implementación del PEGH Total se requiere una institucionalidad en 2 niveles:

- ♦ Nivel Cuenca: Consejo de Cuenca, que se encargaría de la implementación del PEGH Total y estaría a cargo de conseguir financiamiento, difusión y otras acciones.

En este nivel se debe considerar en primer lugar la entidad a cargo del trabajo.

- ♦ Nivel Superior: Mesa Regional del Agua, que permitiría realizar las coordinaciones necesarias para facilitar la concreción a largo plazo de los proyectos de desalación, o de otro tipo de integración extra-cuenca que se requiera.

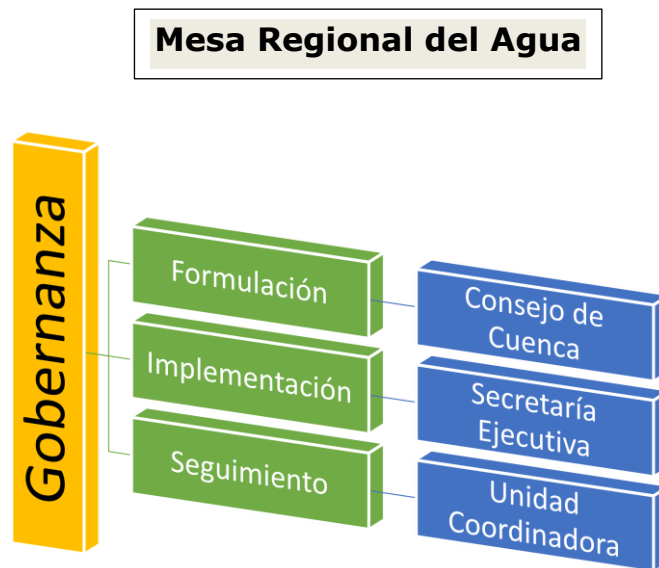
En la Figura 8-3 se muestra el esquema de gobernanza propuesto, donde se distingue el nivel exterior, que podría ser, por ejemplo, a la Mesa Regional del Agua, y a cargo de la formulación del PEGH el Consejo de Cuenca, conformado por los actores identificados anteriormente en la Figura 8-2, y de su implementación, por parte de la Secretaría Ejecutiva, y el seguimiento por parte de la Unidad Coordinadora.



Fuente: Elaboración propia.

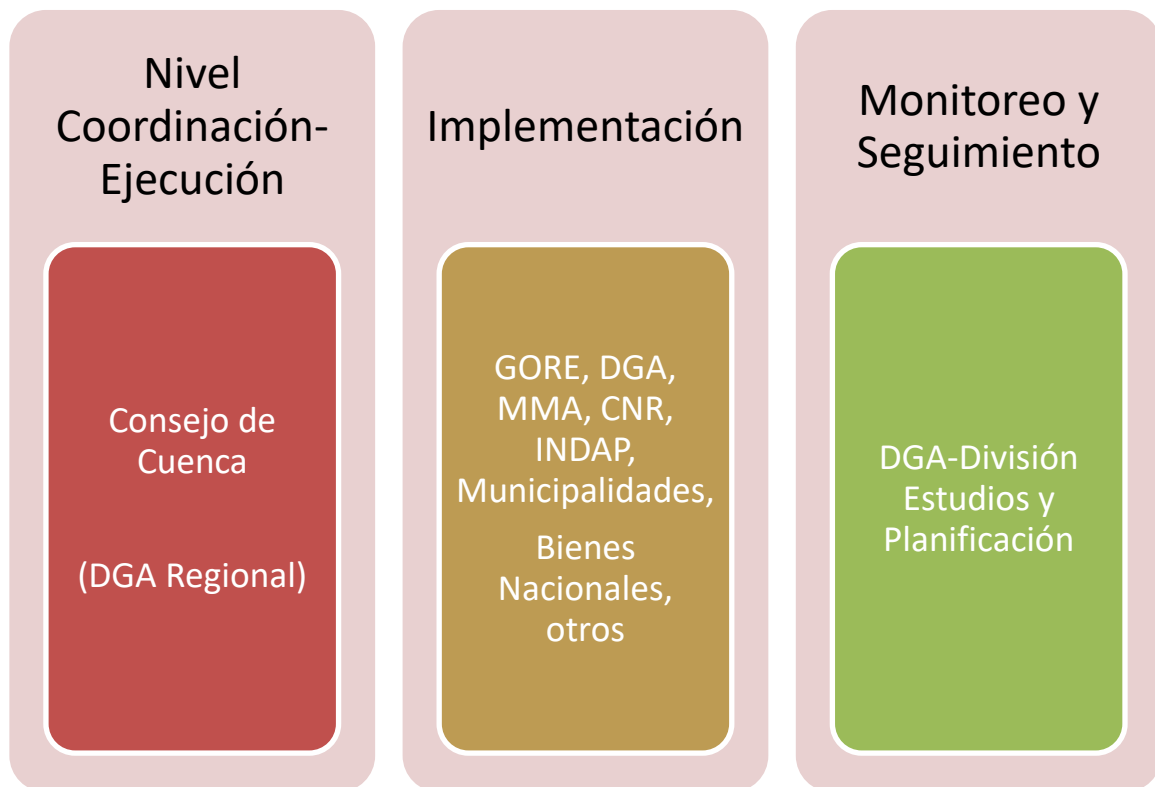
Figura 8-2: Identificación de actores participantes en la Gobernanza propuesta para el PEGH Totoral

Finalmente, al combinar lo indicado en la Figura 8-1, Figura 8-2, y Figura 8-3 se desarrolla un esquema de gobernanza apropiado al territorio, y que se muestra en la Figura 8-4, donde se detallan las instituciones participantes en los diferentes niveles.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8-3: Esquema de gobernanza propuesto



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8-4: Detalle Gobernanza Propuesta

8.2 Estrategia de Comunicación

La estrategia comunicacional del PEGH Totoral tiene que contemplar el universo de actores del territorio relacionados con materia hídrica en la cuenca. La estrategia propuesta está conformada por dos objetivos:

- ♦ Informar a los actores relevantes y otros actores del territorio acerca de los avances en la implementación del PEGH Totoral.
- ♦ Corroborar la aceptación de las iniciativas del PEGH Totoral por parte de los potenciales beneficiarios.

Para lograr lo anterior, se sugiere lo siguiente:

- ♦ Utilizar redes sociales para informar de la implementación del plan, implementar por ejemplo una página web, grupos de WhatsApp, e incluso hasta un canal de youtube.
- ♦ Usar los diarios murales disponibles en las oficinas de las diferentes organizaciones comunitarias para dar información del PEGH
- ♦ También debe considerarse la impresión de material gráfico en un lenguaje fácil de entender, diseñado especialmente para llegar a aquellos usuarios que no tienen acceso a elementos tecnológicos de comunicación, o con bajas posibilidades de conectividad. El material impreso prodría estar disponible en las oficinas de las organizaciones mencionadas en el inciso anterior.
- ♦ Para mejorar las confianzas deben desarrollarse actividades de acercamiento a la comunidad, cabildos abiertos, reuniones informativas, u otro tipo de actividad que permita acercar la comunidad con otros actores. Lo anterior quedó de manifiesto en el cambio de actitud mostrado por los actores comunitarios durante el desarrollo de las actividades PAC, ya que si bien inicialmente las actividades presenciales fueron tensas, luego de que se presentó suficiente información en un lenguaje apropiado para la comunidad y con detalle suficiente, se mejoró sustancialmente la comunicación. Esta forma de trabajo debe aplicarse con mayor profundidad en el territorio.
- ♦ Otro elemento es incluir la comunicación radial, no solo en la forma de avisos, sino que también, en la forma de programas de difusión.

Lo anteriormente indicado se sustenta en el trabajo de PAC desarrollado en la cuenca, donde se identificaron los mejores mecanismos de acceso a la información.

Anteriormente, en la Figura 2-39, se mostró la disposición e influencia de los distintos actores en el territorio. En base a esta categorización de actores, se proponen diferentes niveles de difusión, los que se muestran en la Tabla 8-1.

Tabla 8-1: Caracterización de difusión propuesta según tipo de actor en su relación a la toma de decisiones en la gestión de recursos hídricos

| Tipo de Actor | Tipo de Difusión Propuesta |
|---|--|
| Actores con alto interés y alta o media influencia | Enfocada en presentar en detalle los resultados del PEGH Totoral y establecer líneas de comunicación para coordinar su ejecución. |
| Actores con alto o mediano interés y baja influencia | Enfocada en presentar en detalle los resultados del PEGH Totoral y establecer líneas de comunicación para la retroalimentación sobre estado hídrico actual de la cuenca. |
| Actores con bajo interés e influencia | Difusión general de los resultados a través de medios masivos de comunicación, tales como radio o internet. |

Fuente: Elaboración propia.

9 MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN

En este capítulo se detalla el Plan de Monitoreo del PEGH Totoral, en conjunto con los mecanismos para análisis y toma de decisiones asociados. Esto se hace ya que el PEGH Totoral debe contemplar un mejoramiento continuo del mismo, ya que la realidad de los recursos hídricos es esencialmente variable, por lo que se debe adecuar el avance real en términos de implementación del PEGH Totoral.

9.1 Plan de Monitoreo

El Plan de Monitoreo (PM) asociado al PEGH Totoral tiene por objetivo establecer el seguimiento y la eficacia de su implementación, determinando los indicadores que permitan trazar el grado de cumplimiento de las 17 iniciativas públicas que lo componen y de los objetivos del PEGH Totoral. Adicionalmente, se especifican los mecanismos para la actualización y/o el rediseño del PEGH Totoral, como instrumento de planificación a mediano y/o largo plazo.

El PM se centrará en dar seguimiento anualmente a los indicadores definidos, y cada 5 años, deberá analizar potenciales reformulaciones del PEGH Totoral. Los pasos de este proceso se presentan en forma gráfica en la Figura 9-1, donde se muestra la secuencia de acciones que se deben realizar, partiendo con el monitoreo del plan, para luego evaluar su funcionamiento, identificación de mejoras, para terminar con las propuestas de mejoramiento y la reformulación del plan, para luego repetir el ciclo. Tal como se indicó anteriormente, la reformulación puede referirse a modificar la entidad encargada o incluso asignar la realización de un estudio directamente a un privado.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9-1: Esquema de revisión del PEGH

A continuación, se presentan los indicadores y el seguimiento definido.

9.1.1 Indicadores del PEGH Totoral

Para verificar el seguimiento del PEGH Totoral se consideran 4 tipos de indicadores:

- ♦ **Ejecución:** Se calcula como el cociente entre el número de iniciativas comenzadas en el año i y el número de iniciativas planificadas en el año i .
- ♦ **Inversión:** Se calcula como el cociente entre el monto invertido y el monto que debió haberse invertido.
- ♦ **Gestión:** Se calcula como el cociente entre el número de iniciativas finalizadas en el año i y el número de iniciativas planificadas a haber finalizado en el año i .
- ♦ **Efectividad:** Este indicador debe ajustarse a cada iniciativa, y debe medir el grado de respuesta en satisfacer las brechas identificadas, o de cumplir las actividades propuestas necesarias para lograr los objetivos.

En el Anexo K-05, para cada acción se presentan los medios de verificación propuestos.

9.1.2 Seguimiento

El seguimiento del PEGH Totoral se realiza anualmente, separando lo que ocurre en el corto, mediano y largo plazo, determinando los indicadores en cada caso y el umbral establecido. Esto se realiza de la siguiente forma:

- ♦ **Corto Plazo (año 1 hasta 5):** El objetivo del Plan de Acción en este periodo consiste en reprogramar o replanificar las iniciativas que se encuentren atrasadas para el año siguiente al originalmente programado.
- ♦ **Mediano y Largo Plazo (año $i+5$):** El objetivo del Plan de Acción en este periodo es analizar si el PEGH Totoral ha cumplido en un 100% con su planificación. En caso negativo, el PM entregará el número de iniciativas que no fueron ejecutadas, información que será una variable de entrada en la evaluación, actualización y rediseño del PEGH Totoral, a través de los mecanismos para el análisis y toma de decisiones (ver Acápites 9.2).

9.2 Mecanismos para el Análisis y Toma de Decisiones

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

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

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

1. Actualización del diagnóstico en materia de recursos hídricos, con especial atención a las brechas entre oferta y demanda, el estado de la infraestructura, la situación de gobernanza en el territorio y el estado ambiental de los cuerpos de agua de la cuenca.
2. Actualización de la cartera actual de acciones, tanto a nivel público como privado.
3. Actualización del modelo hidrológico superficial-subterráneo con la nueva *data* disponible, resolviendo brechas de modelización que hubieron quedado no resueltas durante el diseño del PEGH Totoral original.
4. Evaluación de las condiciones habilitantes de las iniciativas no ejecutadas.

En base a lo anterior, el Consejo de Cuenca deberá establecer la forma de abordar la reformulación del PEGH Totoral, ya sea a través de medios propios o con apoyo externos, estableciendo:

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

10 CONCLUSIONES

Las conclusiones finales del estudio en primer lugar se presentan en 6 grandes áreas temáticas:

- ♦ **Perfeccionamiento del modelo:** El modelo se considera una base que se debe actualizar y perfeccionar en un corto plazo, incluyendo más detalles de implementación de las medidas. Esto permitirá robustecer la herramienta como modelo predictivo
- ♦ **Sustentabilidad de Acuíferos:** Algunos SHAC en condición potencialmente no sustentable, en el evento en que se utilicen todos los derechos legalmente otorgados.
- ♦ **Brecha Hídrica:** Mayor brecha hídrica se obtiene para sectores altos de la cuenca, ya que en esos sectores se concentran las mayores extracciones
- ♦ **Iniciativas de Desalinización:** Se identifica como la única fuente viable de largo plazo, en términos de cantidad. En el corto y mediano plazo puede considerarse la cosecha de nubes, y la optimización del uso actual. Por lo mismo, se requiere una interacción público-privada que va más allá de la cuenca, y se plantee a nivel regional o macro-zonal
- ♦ **Gestión de Derechos:** Corresponde a un análisis de la aplicación del Art. 62 del CdA para controlar la sobreexplotación del acuífero
- ♦ **Acciones Conjuntas:** Se requieren acciones de información y gestión con la comunidad, de modo que los actores locales sean parte y no solo espectadores

Por último, se puede indicar lo siguiente:

- ♦ La cuenca de la Quebrada Carrizal es actualmente un sistema bajo potencial escasez hídrica. Múltiples actores demandan recurso hídrico en diferentes sectores productivos. En el inmediato plazo la potencial brecha se puede suplir con el uso del Art. 62 del Código de Aguas. La única fuente de agua fresca con el potencial de suplir la demanda no satisfecha en el largo plazo es desalación.
- ♦ Se hace notar que dada la interrelación entre la cuenca de la Quebrada Carrizal y la Quebrada Totoral, se estima necesario realizar un PEGH conjunto, ya que lo que ocurre a nivel subterráneo en una cuenca influye en la otra, al día de hoy teniéndose flujo desde Totoral a Carrizal, flujo que podría cambiar en el futuro si

los derechos de agua que en la actualidad no están en pleno uso se comienzan a extraer.

- ♦ Obras de acumulación, tecnificación, y distribución se presentan en el PEGH como iniciativas en torno a la oferta, para aportar seguridad hídrica, lográndose solo mejoras menores.
- ♦ Adicionalmente a lo anterior, el reúso de aguas solo reduce la brecha hídrica en una medida muy menor
- ♦ Se hace notar que se constata la necesidad de seguir profundizando en la relación del PEGH y los pueblos originarios presentes en el área de estudio.
- ♦ Mejoras en las instancias de gobernanza actual, con todos los actores a escala cuenca, tal como propone el PEGH, deben enfocarse en la gestión de la demanda, pero también a escala fuera de cuenca. Entre otras cosas, 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 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.

También se requiere profundizar sobre la procedencia y pertinencia de un proceso de Consulta Indígena en las etapas futuras de las iniciativas, ya sea en forma particular de cada una de ellas o en la totalidad del PEGH.

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" (proyectos, programas y estudios). Para este caso, si los PEGH al avanzar 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 última modificación del Código de Aguas, adquiere sentido discutir la proposición de revisar las iniciativas del PEGH en el contexto del Convenio 169.

En ese ámbito, hay que considerar que el Convenio 169 señala en su Artículo 6 "...al aplicar las disposiciones del presente convenio, los gobiernos deberán:

- a) consultar a los pueblos interesados, mediante procedimientos apropiados y en particular a través de sus instituciones representativas, cada vez que se prevean medidas legislativas o administrativas susceptibles de afectarles directamente;
- b) establecer los medios a través de los cuales los pueblos interesados puedan participar libremente, por lo menos en la misma medida que otros sectores de la población, y a todos los niveles en la adopción de decisiones en instituciones electivas y organismos administrativos y de otra índole responsables de políticas y programas que les conciernan;
- c) establecer los medios para el pleno desarrollo de las instituciones e iniciativas de esos pueblos, y en los casos apropiados proporcionar los recursos necesarios para este fin."

Si al inicio de los PEGH se estableció por parte del Ministerio de Obras Públicas, no considerar un proceso de consulta Indígena, una vez finalizado un PEGH parece pertinente volver revisar esa decisión, considerando que las disposiciones del Convenio 169 impulsan y promueven que sean los gobiernos quienes deban adaptarse a las condiciones y particulares de las comunidades indígenas y no al revés. Las dificultades de conectividad de internet, la dispersión geográfica de las localidades, la adecuada comunicación de los contenidos técnicos de los estudios, la cantidad adecuada de reuniones, la participación temprana y el debido financiamiento para un proceso participativo de un PEGH, son algunos de los aspectos que deben ser analizados nuevamente en la implementación de un PEGH.

