



**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 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 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

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO .....</b>	<b>1</b>
1.1	INTRODUCCIÓN .....	1
1.2	OBJETIVO GENERAL .....	2
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
<b>2</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA.....</b>	<b>5</b>
2.1	<b>DIMENSIÓN FÍSICA .....</b>	<b>5</b>
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>19</i>
2.1.6	<i>Demografía .....</i>	<i>21</i>
2.1.7	<i>Actividad económica .....</i>	<i>22</i>
2.2	<b>CLIMA .....</b>	<b>25</b>
2.2.1	<i>Caracterización Climática .....</i>	<i>25</i>
2.2.2	<i>Eventos extremos y variabilidad climática.....</i>	<i>28</i>
2.2.3	<i>Escenarios de cambio climático .....</i>	<i>32</i>
2.3	<b>DIMENSIÓN AMBIENTAL.....</b>	<b>40</b>
2.3.1	<i>Ecosistemas terrestres.....</i>	<i>40</i>
2.3.2	<i>Ecosistemas hídricos: humedales .....</i>	<i>46</i>
2.3.3	<i>Áreas bajo protección oficial y otras figuras de conservación.....</i>	<i>50</i>
2.3.4	<i>Amenazas a la biodiversidad.....</i>	<i>55</i>
2.4	<b>INFRAESTRUCTURA HÍDRICA .....</b>	<b>56</b>
2.4.1	<i>Agua Potable Urbana .....</i>	<i>57</i>
2.4.2	<i>Servicios Sanitarios Rurales.....</i>	<i>57</i>
2.4.3	<i>Redes de control .....</i>	<i>59</i>
2.4.4	<i>Riego.....</i>	<i>68</i>
2.5	<b>NUEVAS FUENTES EXISTENTES.....</b>	<b>70</b>
2.5.1	<i>Cosecha de Nubes .....</i>	<i>70</i>
2.5.2	<i>Desalinización.....</i>	<i>76</i>
2.5.3	<i>Uso aguas servidas tratadas .....</i>	<i>78</i>

---

<b>2.6</b>	<b>GOBERNANZA DEL AGUA A NIVEL DE CUENCA .....</b>	<b>78</b>
2.6.1	<i>Mapa de Actores .....</i>	78
2.6.2	<i>Síntesis de Reuniones PAC .....</i>	89
2.6.3	<i>Brechas de coordinación.....</i>	94
2.6.4	<i>Brechas de información.....</i>	95
<b>3</b>	<b>DEMANDA FÍSICA Y LEGAL DIFERENTES USOS .....</b>	<b>99</b>
<b>3.1</b>	<b>USO HUMANO .....</b>	<b>99</b>
3.1.1	<i>AP Urbana, histórica y proyectada .....</i>	99
3.1.2	<i>AP Rural, histórica y proyectada.....</i>	99
<b>3.2</b>	<b>NECESIDADES MÍNIMAS AMBIENTALES .....</b>	<b>101</b>
<b>3.3</b>	<b>DEMANDA AGRÍCOLA.....</b>	<b>102</b>
<b>3.4</b>	<b>DEMANDA MINERA Y DERECHOS .....</b>	<b>103</b>
<b>3.5</b>	<b>DEMANDA INDUSTRIAL Y DERECHOS .....</b>	<b>104</b>
<b>3.6</b>	<b>DEMANDA PECUARIA.....</b>	<b>104</b>
<b>3.7</b>	<b>OTRAS DEMANDAS .....</b>	<b>104</b>
<b>3.8</b>	<b>RESUMEN DE DEMANDAS.....</b>	<b>104</b>
<b>3.9</b>	<b>MERCADO DE AGUAS.....</b>	<b>105</b>
<b>4</b>	<b>OFERTA HÍDRICA.....</b>	<b>107</b>
<b>4.1</b>	<b>AGUA SUPERFICIAL.....</b>	<b>107</b>
4.1.1	<i>Fuentes.....</i>	107
4.1.2	<i>Oferta en la fuente .....</i>	107
4.1.3	<i>Oferta en la fuente proyectada.....</i>	108
4.1.4	<i>Calidad actual.....</i>	109
4.1.5	<i>Fuentes de contaminación .....</i>	109
4.1.6	<i>Derechos concedidos .....</i>	109
<b>4.2</b>	<b>AGUA SUBTERRÁNEA .....</b>	<b>109</b>
4.2.1	<i>Identificación.....</i>	109
4.2.2	<i>Stock, recarga y niveles .....</i>	113
4.2.3	<i>Calidad actual.....</i>	117
4.2.4	<i>Fuentes de contaminación .....</i>	138
4.2.5	<i>Derechos concedidos .....</i>	140
4.2.6	<i>Zonas de Prohibición.....</i>	147

---

<b>5</b>	<b>BALANCE DE AGUA .....</b>	<b>149</b>
5.1	<b>MODELO DE SIMULACIÓN .....</b>	<b>149</b>
5.1.1	<i>Situación actual.....</i>	<i>149</i>
5.1.2	<i>Situación proyectada.....</i>	<i>155</i>
5.2	<b>BRECHAS .....</b>	<b>156</b>
5.2.1	<i>Resultados de Escenario Base .....</i>	<i>156</i>
5.2.2	<i>Resultados de escenario Cambio Climático seleccionado.....</i>	<i>160</i>
5.2.3	<i>Síntesis de brechas entre oferta y demanda.....</i>	<i>163</i>
5.3	<b>SUSTENTABILIDAD.....</b>	<b>165</b>
5.3.1	<i>Oferta Hídrica Sustentable Superficial.....</i>	<i>166</i>
5.3.2	<i>Sustentabilidad de sectores acuíferos DGA .....</i>	<i>168</i>
5.4	<b>INDICADORES HÍDRICOS DE LA CUENCA .....</b>	<b>173</b>
5.4.1	<i>Resultados de los indicadores .....</i>	<i>174</i>
5.4.2	<i>Comparación de indicadores .....</i>	<i>175</i>
5.5	<b>ESCENARIOS DE GESTIÓN ESPECÍFICOS.....</b>	<b>176</b>
5.5.1	<i>Definición de escenarios.....</i>	<i>176</i>
5.5.2	<i>Resultados de escenarios de gestión .....</i>	<i>180</i>
<b>6</b>	<b>ACCIONES.....</b>	<b>191</b>
6.1	<b>PROBLEMAS ADOPTADOS .....</b>	<b>191</b>
6.2	<b>EJES TEMÁTICOS Y TIPOLOGÍAS ADOPTADAS.....</b>	<b>197</b>
6.3	<b>ACCIONES PROPUESTAS SEGÚN EJE TEMÁTICO Y PROBLEMA IDENTIFICADO.....</b>	<b>197</b>
6.4	<b>ACCIONES PROPUESTAS.....</b>	<b>198</b>
6.4.1	<i>Ficha Acción AP OH-1: Ampliación SSR Carrizal Bajo.....</i>	<i>199</i>
6.4.2	<i>Ficha Acción AP OH-2: Mejoramiento abastecimiento localidades menores 201</i>	
6.4.3	<i>Ficha Acción AP NF-1: Evaluación potencial cosecha de nubes en la cuenca 203</i>	
6.4.4	<i>Ficha Acción AP MG-1: Fomentar la gestión público-privada para el uso de desalación como fuente de abastecimiento .....</i>	<i>205</i>
6.4.5	<i>Ficha Acción AP OH-3: Identificación Instalación Sistemas de Acumulación 207</i>	
6.4.6	<i>Ficha Acción AP OH-4: Identificación Mejoramiento Sistemas de Distribución .....</i>	<i>209</i>

6.4.7	<i>Ficha Acción AP OH-5: Tecnificación del riego .....</i>	<i>211</i>
6.4.8	<i>Ficha Acción AP OM-1: Monitoreo ambiental de humedales .....</i>	<i>213</i>
6.4.9	<i>Ficha Acción AP MG-2: Plan de fiscalización de extracciones .....</i>	<i>215</i>
6.4.10	<i>Ficha Acción AP MG-3: Aplicación Art 62 para limitar el uso de los derechos concedidos .....</i>	<i>217</i>
6.4.11	<i>Ficha Acción AP MG-4: Capacitación en Nuevo Código de Aguas .....</i>	<i>219</i>
6.4.12	<i>Ficha Acción AP MG-5: Capacitación en uso del agua .....</i>	<i>221</i>
6.4.13	<i>Ficha Acción AP MG-6: Apoyo y formación OUA's .....</i>	<i>223</i>
6.4.14	<i>Ficha Acción AP MG-7: Capacitación OUA's .....</i>	<i>225</i>
6.4.15	<i>Ficha Acción AP MG-8: Capacitación en desarrollo agropecuario a usuarios 228</i>	
6.4.16	<i>Ficha Acción AP OH-6: Mejoramiento de red de control (Fluviometría, meteorología, calidad y nivel de aguas subterráneas) .....</i>	<i>230</i>
<b>7</b>	<b>EVALUACIÓN DE LA CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTAS .....</b>	<b>233</b>
<b>7.1</b>	<b>EVALUACIÓN Y RANKING DE LAS ACCIONES PROPUESTAS.....</b>	<b>233</b>
<b>7.2</b>	<b>REORDENAMIENTO DE LAS ACCIONES Y ASIGNACIÓN DE PLAZO PARA LA FORMULACIÓN DEL PEGH .....</b>	<b>237</b>
<b>7.3</b>	<b>CLASIFICACIÓN DE ACCIONES SEGÚN PLAZO DE EJECUCIÓN.....</b>	<b>241</b>
<b>7.4</b>	<b>VALORIZACIÓN ECONÓMICA DEL PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA.....</b>	<b>245</b>
7.4.1	<i>Acciones a Ejecutar por Actor .....</i>	<i>245</i>
7.4.2	<i>Distribución de Valor Actualizado de Costos por Eje PEGH .....</i>	<i>247</i>
<b>8</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN.....</b>	<b>249</b>
<b>8.1</b>	<b>ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN .....</b>	<b>249</b>
8.1.1	<i>Aspectos a Considerar.....</i>	<i>249</i>
8.1.2	<i>Pasos para la Implementación del PEGH.....</i>	<i>253</i>
<b>8.2</b>	<b>ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN.....</b>	<b>259</b>
<b>9</b>	<b>MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN .....</b>	<b>261</b>
<b>9.1</b>	<b>PLAN DE MONITOREO.....</b>	<b>261</b>
9.1.1	<i>Indicadores del PEGH Carrizal .....</i>	<i>262</i>
9.1.2	<i>Seguimiento .....</i>	<i>263</i>
<b>9.2</b>	<b>MECANISMOS PARA EL ANÁLISIS Y TOMA DE DECISIONES .....</b>	<b>263</b>
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>265</b>

---

## 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 Carrizal .....	11
Figura 2-4: Altitud de la cuenca.....	12
Figura 2-5: Cobertura de Suelos.....	15
Figura 2-6: Hidrografía del área de estudio .....	17
Figura 2-7: Subcuencas en el área de estudio .....	18
Figura 2-8: División Político-Administrativa del área de estudio .....	20
Figura 2-9: Clasificación Climática de Koppen-Geiger .....	27
Figura 2-10: Resumen de eventos extremos importantes. Periodo 1970 – 2014 .....	29
Figura 2-11: Estaciones meteorológicas de temperatura seleccionadas.....	31
Figura 2-12: Temperaturas medias registradas. Periodo 1993 – 2010 .....	32
Figura 2-13: Temperatura media proyectada hacia 2020 – 2060 por MCG .....	34
Figura 2-14: Flujos hidrológicos proyectados hacia 2020 – 2060. Escenario CCSM4 ..	34
Figura 2-15: Flujos hidrológicos proyectados hacia 2020 – 2060. Escenario CSIRO ...	35
Figura 2-16: Flujos hidrológicos proyectados hacia 2020 – 2060. Escenario IPSL.....	35
Figura 2-17: Flujos hidrológicos proyectados hacia 2020 – 2060. Escenario MIROC...	36
Figura 2-18: Distribución espacial de la temperatura media anual en periodo histórico y cambio futuro según proyecciones MCG seleccionados .....	39
Figura 2-19: Distribución espacial de la precipitación media anual en periodo histórico y cambio futuro según proyecciones MCG seleccionados .....	39
Figura 2-20: Esquema dimensión ambiental.....	40

---

Figura 2-21: Distribución de los pisos vegetacionales de la cuenca Quebrada Carrizal y Costeras hasta río Huasco .....	44
Figura 2-22: Distribución de los humedales en la cuenca Quebrada Carrizal Bajo y Costeras hasta río Huasco .....	48
Figura 2-23: Vista panorámica del Humedal Costero Carrizal Bajo .....	49
Figura 2-24: Áreas de protección total por piso vegetacional.....	53
Figura 2-25: Distribución de los sitios prioritarios y pisos vegetacionales de la cuenca Quebrada Carrizal y Costeras hasta río Huasco.....	54
Figura 2-26: Representatividad porcentual de pisos vegetacionales cubiertos por las figuras de protección para la cuenca Quebrada Carrizal y Costeras hasta río Huasco .	55
Figura 2-27: Ubicación Servicios Sanitarios Rurales .....	58
Figura 2-28: Ubicación de Estaciones Meteorológicas .....	60
Figura 2-29: Ubicación Red de Niveles de Pozos DGA .....	62
Figura 2-30: Estaciones de calidad de aguas .....	64
Figura 2-31: Estaciones de monitoreo propuestas.....	67
<b>Figura 2-32: Ubicación Sistemas de Riego en el Territorio .....</b>	<b>69</b>
Figura 2-33: Franjas de Altitud.....	71
Figura 2-34: Clasificación de pendientes.....	72
Figura 2-35: Clasificación de orientación del territorio .....	73
Figura 2-36: Zonas identificadas desde la costa.....	74
Figura 2-37: Territorios con potencial para cosecha de nubes.....	75
<b>Figura 2-38: Proyecto Minero El Morro .....</b>	<b>77</b>
Figura 2-39: Mapa de Actores (Disposición/Influencia) .....	83
Figura 2-40: Mapa de Actores-Relaciones .....	87
Figura 4-1: Elevación de la capa de basamento rocoso .....	110
Figura 4-2: Modelo de Capas, representación gráfica en 3D .....	111
Figura 4-3: Curva de embalse del acuífero .....	112

---

Figura 4-4: Modelo Conceptual 3D .....	113
Figura 4-5: Niveles aguas subterráneas históricos: Pozo Canto de Agua .....	114
Figura 4-6: Niveles aguas subterráneas históricos: Pozo Milla Nueve.....	115
Figura 4-7: Niveles de aguas subterráneas históricos: Pozo Quebrada Porotillos .....	115
Figura 4-8: Niveles de aguas subterráneas históricos: Pozo Quebrada Tamarico .....	116
Figura 4-9: Niveles de aguas subterráneas históricos: Pozo Zanjón.....	116
Figura 4-10: 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 .....	121
Figura 4-11: Pozos muestreados que superan y que no superan la Norma de agua potable en al menos uno de los parámetros analizados.....	123
Figura 4-12: Pozos muestreados que superan y que no superan la Norma de agua riego en al menos uno de los parámetros analizados .....	125
Figura 4-13: Diagrama de Piper para el territorio.....	129
Figura 4-14: Diagramas de Stiff para la Cuenca de Carrizal.....	131
<b>Figura 4-15: Diagramas de Stiff para la Cuenca de Totoral .....</b>	<b>133</b>
Figura 4-16: Ubicación puntos de muestreo Isotópico (Cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal).....	135
Figura 4-17: Ubicación puntos de muestreo Isotópico (Cuenca Quebrada Carrizal y Costeras hasta Río Huasco) .....	136
Figura 4-18: Deuterio vs Oxígeno 18 de muestras de aguas subterráneas de las cuencas de Carrizal y Totoral .....	137
Figura 4-19: Ubicación Tranques de Relave en la Cuenca.....	139
Figura 4-20: Figura Derechos Aprovechamiento de Agua del CPA .....	142
Figura 4-21: Figura Derechos Aprovechamiento Concedidos Adoptados .....	146
Figura 4-22: Zonas de Restricción .....	148
Figura 5-1: Delimitación del sector de acople WEAP – MODFLOW.....	150
Figura 5-2: Punto de interés para calibración superficial sintética .....	152

---

Figura 5-3: Diagrama de dispersión de niveles freáticos observados y simulados....	155
Figura 5-4: Resultados calibración en punto de control Carrizal Desembocadura.....	157
Figura 5-5: Balance hídrico por componentes en sector del acuífero ubicado en cuenca Quebrada de Carrizal .....	159
Figura 5-6: Variación del volumen del acuífero en el sector Carrizal .....	160
Figura 5-7: Variación futura de la escorrentía superficial en punto de control .....	161
Figura 5-8: Balance hídrico futuro por componentes en sector del acuífero ubicado en cuenca Quebrada de Carrizal.....	162
Figura 5-9: Demanda de agua en la cuenca por tipo (panel superior) y como porcentaje del total (panel inferior) .....	164
Figura 5-10: Curva de variación estacional del sector Carrizal Desembocadura .....	167
Figura 5-11: Esquema de Indicadores Hídricos subterráneos .....	174
Figura 5-12: Comparación de Indicadores Hídricos adimensionales en escenarios Caso Base (CB) y Ventana Futura (VF).....	175
Figura 5-13: Escenarios modelados en WEAP .....	176
Figura 5-14: Variación del flujo evaporativo en humedal sector Canto del Agua.....	182
Figura 5-15: Curva Volumen demandado – Flujo evaporativo del humedal.....	183
Figura 5-16: Demanda de agua en la cuenca por tipo (panel superior) y como porcentaje del total (panel inferior) en escenario futuro G2 .....	185
Figura 5-17: Demanda de agua en la cuenca por tipo (panel superior) y como porcentaje del total (panel inferior) en escenario futuro G3 .....	186
Figura 5-18: Comparación de Indicadores Hídricos adimensionales en escenarios Caso Base (CB) y Gestión 2 (G2).....	188
Figura 5-19: Comparación de Indicadores Hídricos adimensionales en escenarios Caso Base (CB) y Gestión 3 (G3).....	189
Figura 6-1: Ficha Acción AP OH-1: Ampliación SSR Carrizal Bajo .....	200
Figura 6-2: Ficha Acción AP OH-2: Mejoramiento abastecimiento localidades menores .....	202

---

Figura 6-3: Ficha Acción AP NF-1: Evaluación potencial cosecha de nubes en la cuenca .....	204
Figura 6-4: Ficha Acción AP MG-1: Fomentar la gestión público-privada para el uso de desalación como fuente de abastecimiento .....	206
Figura 6-5: Ficha Acción AP OH-3: Identificación Instalación Sistemas de Acumulación .....	208
Figura 6-6: Ficha Acción AP OH-4: Identificación Mejoramiento Sistemas de Distribución .....	210
Figura 6-7: Ficha Acción AP OH-5: Tecnificación del riego .....	212
Figura 6-8: Ficha Acción AP OM-1: Monitoreo ambiental de humedales.....	214
Figura 6-9: Ficha Acción AP MG-2: Plan de fiscalización de extracciones .....	216
Figura 6-10: Ficha Acción AP MG-3: Aplicación Art 62 para limitar el uso de los derechos concedidos.....	218
Figura 6-11: Ficha Acción AP MG-4: Capacitación en Nuevo Código de Aguas.....	220
Figura 6-12: Ficha Acción AP MG-5: Capacitación en uso del agua .....	222
Figura 6-13: Ficha Acción AP MG-6: Apoyo y formación OUA's.....	224
Figura 6-14: Ficha Acción AP MG-7: Capacitación OUA's .....	227
Figura 6-15: Ficha Acción AP MG-8: Capacitación en desarrollo agropecuario a usuarios .....	229
Figura 6-16: Ficha Acción AP OH-6: Mejoramiento de red de control (Fluviometría, meteorología, calidad y nivel de aguas subterráneas).....	231
<b>Figura 7-1: Cronograma Propuesto PEGH Carrizal .....</b>	<b>243</b>
Figura 7-2: Distribución Costos por Actor Institucional .....	245
Figura 7-3: Distribución Valor Actualizado de Costos por Plazo Ejecución .....	246
Figura 7-4: Distribución VAC (millones \$) por Tipología, Entidad Encargada y Plazo de Ejecución.....	247
Figura 7-5: Distribución VAC (millones \$) por Eje Temático, Plazo y Tipología .....	247

---

Figura 8-1: Esquema Simplificado de los Pasos de Implementación del PEGH Carrizal .....	256
Figura 8-2: identificación de actores participantes en la Gobernanza propuesta para el PEGH Carrizal.....	257
Figura 8-3: Esquema de gobernanza propuesto .....	258
Figura 8-4: Detalle Gobernanza Propuesta .....	258
Figura 9-1: Esquema de revisión del PEGH .....	262

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1: Tipo de suelo en la Región de Atacama .....</b>	<b>13</b>
Tabla 2-2: Códigos BNA y Superficie de las cuencas y subcuencas del área de estudio .....	19
Tabla 2-3: Superficie comunal y porcentaje respecto a la cuenca.....	19
Tabla 2-4: Fluctuación habitantes en poblados del área de estudio entre periodos intercensales.....	22
<b>Tabla 2-5: Variación PIBR entre años 2013 y 2020.....</b>	<b>22</b>
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 .....	25
Tabla 2-8: Estaciones seleccionadas para caracterizar temperatura media .....	30
Tabla 2-9: Temperaturas medias mensuales (°C). Periodo común 1993 – 2010.....	30
Tabla 2-10: MCG seleccionados para proyecciones de cambio climático .....	33
Tabla 2-11: Principales flujos hidrológicos para la cuenca en estudio bajo diferentes escenarios de cambio climático.....	36
Tabla 2-12: Resumen de variaciones porcentuales de principales flujos hidrológicos para la cuenca en estudio .....	37
Tabla 2-13: Pisos vegetacionales presentes en la cuenca Quebrada Carrizal y Costeras hasta río Huasco.....	42

---

Tabla 2-14: Representatividad en superficie de los Pisos vegetacionales presentes en la cuenca Quebrada Carrizal Bajo y Costeras hasta río Huasco.....	45
Tabla 2-15: Humedales de la cuenca Quebrada Carrizal y Costeras hasta río Huasco	47
Tabla 2-16: Áreas de protección en pisos vegetacionales para la cuenca Quebrada Carrizal y Costeras hasta río Huasco .....	51
Tabla 2-17: Figuras de protección oficial y sitios prioritarios de la cuenca Quebrada Carrizal y Costeras hasta río Huasco .....	52
Tabla 2-18: Características SSR Concentrados Identificados en la Cuenca .....	57
Tabla 2-19: Estaciones Meteorológicas DGA en el territorio .....	59
Tabla 2-20: Red de Niveles de pozos DGA .....	61
Tabla 2-21: Sondajes nuevos.....	61
Tabla 2-22: Estación DGA Calidad de Aguas Subterráneas en la Cuenca .....	63
Tabla 2-23: Valores Mínimos Recomendados de Densidad de Estaciones (superficie, en km <sup>2</sup> por estación) .....	65
Tabla 2-24: Índice de Densidad Estaciones Fluviométricas Calculado.....	66
Tabla 2-25: Índice de Densidad Estaciones de calidad de aguas Calculado .....	66
Tabla 2-26: Índice de Densidad Estaciones de Niveles Calculado .....	68
Tabla 2-27: Problemáticas y su descripción.....	89
Tabla 2-28: Resultados Priorización de problemáticas .....	91
Tabla 2-29: Problemáticas adicionales identificadas .....	92
Tabla 3-1: Antecedentes Demandas de Agua .....	100
Tabla 3-2: Proyección de población (mes de máxima demanda) .....	100
Tabla 3-3: Demandas a Nivel de Usuario (m <sup>3</sup> /año) .....	101
Tabla 3-4: Demandas de Riego (l/s) .....	102
Tabla 3-5: Demanda minera de hierro (m <sup>3</sup> /año) proyectada en la cuenca .....	103
Tabla 3-6: Derechos Subterráneos Concedidos para Minería .....	104
Tabla 3-7: Demandas Pecuarías a Nivel Territorial .....	104

---

Tabla 3-8: Resumen demandas (m <sup>3</sup> /año) .....	105
Tabla 4-1: Oferta natural de la fuente superficial (m <sup>3</sup> /s), periodo 1990 – 2019.....	108
Tabla 4-2: Oferta natural de la fuente superficial (m <sup>3</sup> /s), periodo 2021 – 2050.....	108
Tabla 4-3: Volumen almacenado en el acuífero.....	110
Tabla 4-4: Volumen almacenado respecto a profundización de niveles piezométricos .....	112
Tabla 4-5: Información de calidad disponible .....	117
Tabla 4-6: Análisis Calidad de Aguas para Uso Potable. Comparación con Norma NCh 409 Of/84.....	118
Tabla 4-7: Análisis Calidad de Aguas para Uso Riego. Comparación con Norma NCh 1.133 Of/78 .....	118
Tabla 4-8: Catastro Tranques de Relave en el Territorio .....	138
Tabla 4-9: Tipos de referencias cartográficas existentes en el CPA.....	141
Tabla 4-10: Derechos de Aguas Subterráneos en el Territorio .....	143
Tabla 4-11: Zonas de Prohibición a nivel Territorial.....	147
Tabla 5-1: Indicadores de calidad de calibración del modelo en periodo histórico (1990 – 2019) en cuenca Quebrada de Carrizal .....	153
Tabla 5-2: Estadígrafos de calibración del sistema subterráneo .....	154
Tabla 5-3: Resumen estadístico de series fluviométricas simuladas en escenario CB (1990 – 2019).....	158
Tabla 5-4: Balance hidrogeológico (l/s) en acuífero Escenario de calibración .....	159
Tabla 5-5: Resumen estadístico de variación de series fluviométricas proyectadas en escenario VF (2021 – 2050).....	162
Tabla 5-6: Balance hidrogeológico (l/s) en acuífero Escenario de futuro base .....	163
Tabla 5-7: Síntesis de demandas brutas de agua y brecha hídrica en cuenca Quebrada de Carrizal.....	164
Tabla 5-8: Caudales ecológicos (l/s) en puntos de interés.....	167

---

Tabla 5-9: Balance hídrico para el sector Carrizal Desembocadura (m <sup>3</sup> /s).....	168
Tabla 5-10: Estado actual de SHACs en la cuenca.....	170
Tabla 5-11: Resultados de criterio volumen sustentable .....	170
Tabla 5-12: Resultados de criterio interferencia río-acuífero.....	171
Tabla 5-13: Resultados de criterio satisfacción de la demanda .....	172
Tabla 5-14: Indicadores Hídricos para la sustentabilidad del acuífero. Periodos 1990 – 2019 (CB) y 2021 – 2050 (VF) .....	174
Tabla 5-15: Volumen subterráneo demandado en escenarios de explotación.....	178
Tabla 5-16: Superficies agrícolas de riego (ha) proyectadas para distintos grupos de cultivo en cuenca Quebrada de Carrizal .....	179
Tabla 5-17: Proyecciones de demanda minera en cuenca Quebrada de Carrizal.....	179
Tabla 5-18: Balance hídrico subterráneo (l/s) de sub – escenarios Art 62 CdA.....	181
Tabla 5-19: Variación del flujo evaporativo en humedal del sector Canto del Agua en periodo futuro de aplicación del artículo 62 del CdA .....	182
Tabla 5-20: Comparación balance subterráneo, periodo futuro y último año.....	184
Tabla 5-21: Síntesis de demanda de agua y brecha hídrica en escenario G2 .....	186
Tabla 5-22: Síntesis de demanda de agua y brecha hídrica en escenario G3 .....	187
Tabla 5-23: Indicadores Hídricos para la sustentabilidad del acuífero. Periodos 1990 – 2019 (CB) y 2021 – 2050 (G2).....	187
Tabla 5-24: Indicadores Hídricos para la sustentabilidad del acuífero. Periodos 1990 – 2019 (CB) y 2021 – 2050 (G3).....	189
Tabla 6-1: Problemáticas adoptadas para la formulación de PEGH .....	193
Tabla 6-2: Ejes Temáticos Adoptados PEGH Carrizal .....	197
Tabla 6-3: Relación Problemas-Ejes Temáticos .....	197
Tabla 6-4: Tipologías de Obras PEGH Carrizal.....	198
Tabla 6-5: Ficha Acción AP OH-1: Ampliación SSR Carrizal Bajo .....	199

---

Tabla 6-6: Ficha Acción AP OH-2: Mejoramiento abastecimiento localidades menores .....	201
Tabla 6-7: Ficha Acción AP NF-1: Evaluación potencial cosecha de nubes en la cuenca .....	203
Tabla 6-8: Ficha Acción AP MG-1: Fomentar la gestión público-privada para el uso de desalación como fuente de abastecimiento .....	205
Tabla 6-9: Ficha Acción AP OH-3: Identificación Instalación Sistemas de Acumulación .....	207
Tabla 6-10: Ficha Acción AP OH-4: Identificación Mejoramiento Sistemas de Distribución .....	209
Tabla 6-11: Ficha Acción AP OH-5: Tecnificación del riego .....	211
Tabla 6-12: Ficha Acción AP OM-1: Monitoreo ambiental de humedales .....	213
Tabla 6-13: Ficha Acción AP MG-2: Plan de fiscalización de extracciones .....	215
Tabla 6-14: Ficha Acción AP MG-3: Aplicación Art 62 para limitar el uso de los derechos concedidos.....	217
Tabla 6-15: Ficha Acción AP MG-4: Capacitación en Nuevo Código de Aguas.....	219
Tabla 6-16: Ficha Acción AP MG-5: Capacitación en uso del agua .....	221
Tabla 6-17: Ficha Acción AP MG-6: Apoyo y formación OUA's.....	223
Tabla 6-18: Ficha Acción AP MG-7: Capacitación OUA's .....	225
Tabla 6-19: Ficha Acción AP MG-8: Capacitación en desarrollo agropecuario a usuarios .....	228
Tabla 6-20: Ficha Acción AP OH-6: Mejoramiento de red de control (Fluviometría, meteorología, calidad y nivel de aguas subterráneas).....	230
Tabla 7-1: Resultados Evaluación de Iniciativas.....	235
Tabla 7-2: Ranking Evaluación Iniciativas .....	239
Tabla 7-3: Distribución VAC (millones \$) por Eje PEGH.....	248
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 .....	260

---

## **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 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 Carrizal, 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 condiciones actuales, esperadas a futuro y de cambio climático, con un horizonte de análisis a 30 años, y también se utilizará para cuantificar 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 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 de Chile y pertenece al Sistema Hidrográfico Pacífico Seco que se caracteriza por ser el área más árida de Latinoamérica. Esto se muestra en la Figura 2-1.

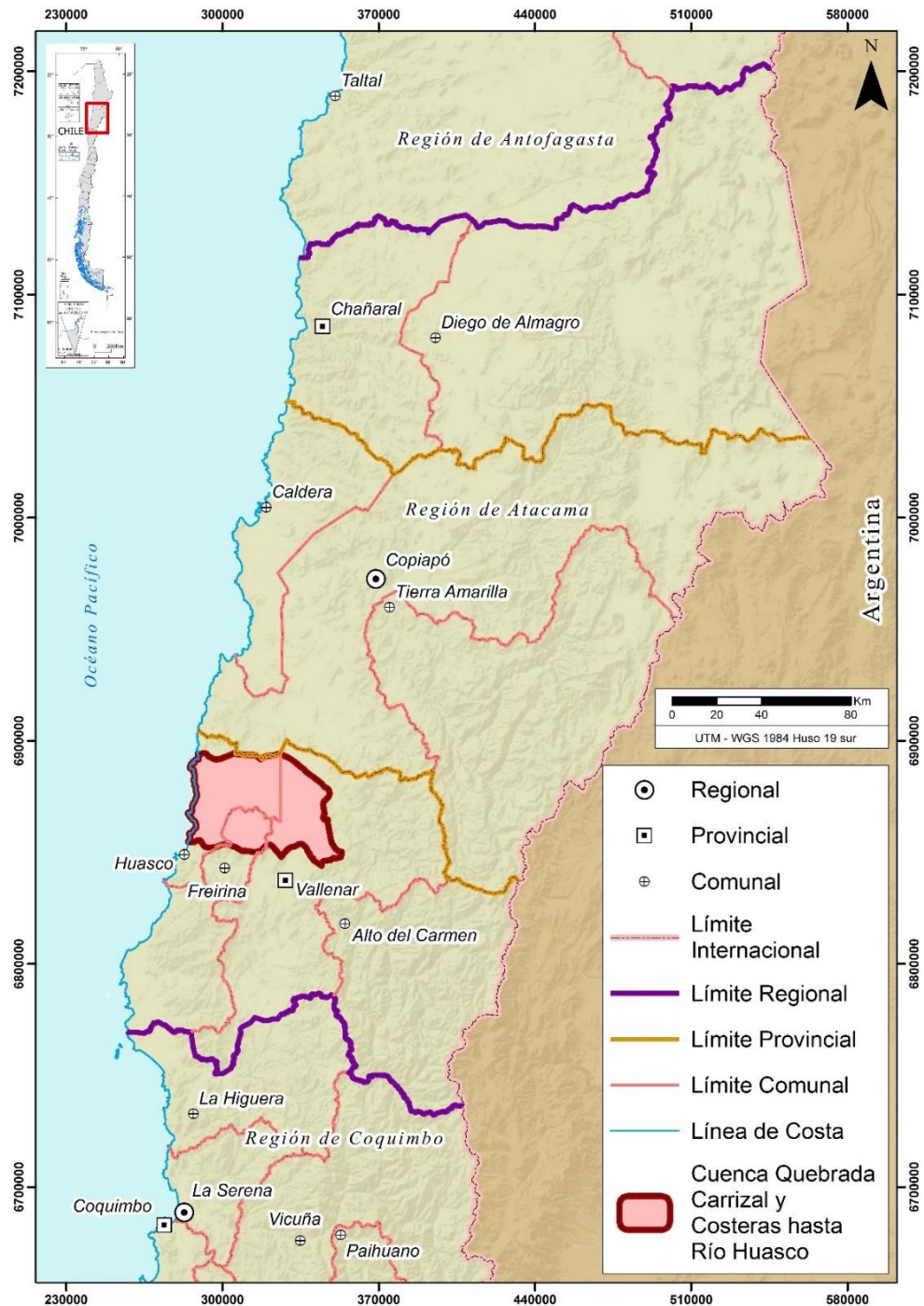
Uno de los fenómenos representativos de estas características de transición es el Desierto Florido, donde en un ambiente de árido a semiárido se producen lluvias que propician la aparición de vegetación estacional, sin embargo, este no es un fenómeno constante y depende que se supere cierto rango de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

La cuenca del presente estudio denominada por DGA como cuenca Quebrada Carrizal y Costeras hasta Río Huasco se ubica en la Región de Atacama, entre los 29°3' a 28°31' latitud sur y 70°11' a 70°32' longitud oeste. La cuenca es exorreica, posee un área de 2.400 km<sup>2</sup> aproximadamente y un perímetro del orden de 240 km. Su altura promedio es de aproximadamente 530 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 las cuencas son de carácter efímero y solo con lluvias intensas logran llevar aguas hasta el mar. Se destaca la quebrada Carrizal y el complejo sistema de drenes que tributan en dicha quebrada. También se destaca la quebrada Potrerillos al ser el principal alimentador de la quebrada Carrizal y nacer de la quebrada Algarrobal, perteneciente a la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal.

La cuenca abarca las comunas de Huasco, Freirina y Vallenar, perteneciendo las tres a la provincia de Huasco. La zona se caracteriza por su baja densidad de habitantes y la inexistencia de grandes urbes. La cuenca está compuesta por aldeas y caseríos que se concentran en la pampa central y la zona costera del estudio. Carrizal Bajo y Canto de

Agua son los poblados más reconocidos en el territorio, sin embargo, destacan pequeñas localidades como Los Toyos, Los Pozos o Llanos del Lagarto.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 2-1: Ubicación área de estudio**

---

### 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, pero detallando las características que diferencian a las unidades geomorfológicas, por ejemplo, la Depresión Intermedia de esta zona, con la presente en otros sectores del país.

De esta manera, Börgel (1983) describe 4 Unidades Geomorfológicas Homogéneas (UGH): 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:

**-Pampa transicional:** Unidad dominante ubicada en la Depresión Intermedia en el este 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. En la zona se encuentra los Llanos de Algarrobal, La Jaula, Chacritas y Las Campanas, los cuales se ven encajonados por las Sierras transversales y la Cordillera de la Costa. Se pueden identificar algunos pequeños cerros islas o sierras provenientes de la Cordillera de la Costa. En esta UGH se encuentran los poblados de Canto de Agua y Llanos del Lagarto.

**-Cordillera de la Costa:** Esta UGH se ubica al 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 fluviomarina. Sirve como biombo climático separando el ambiente marino de la Depresión intermedia.

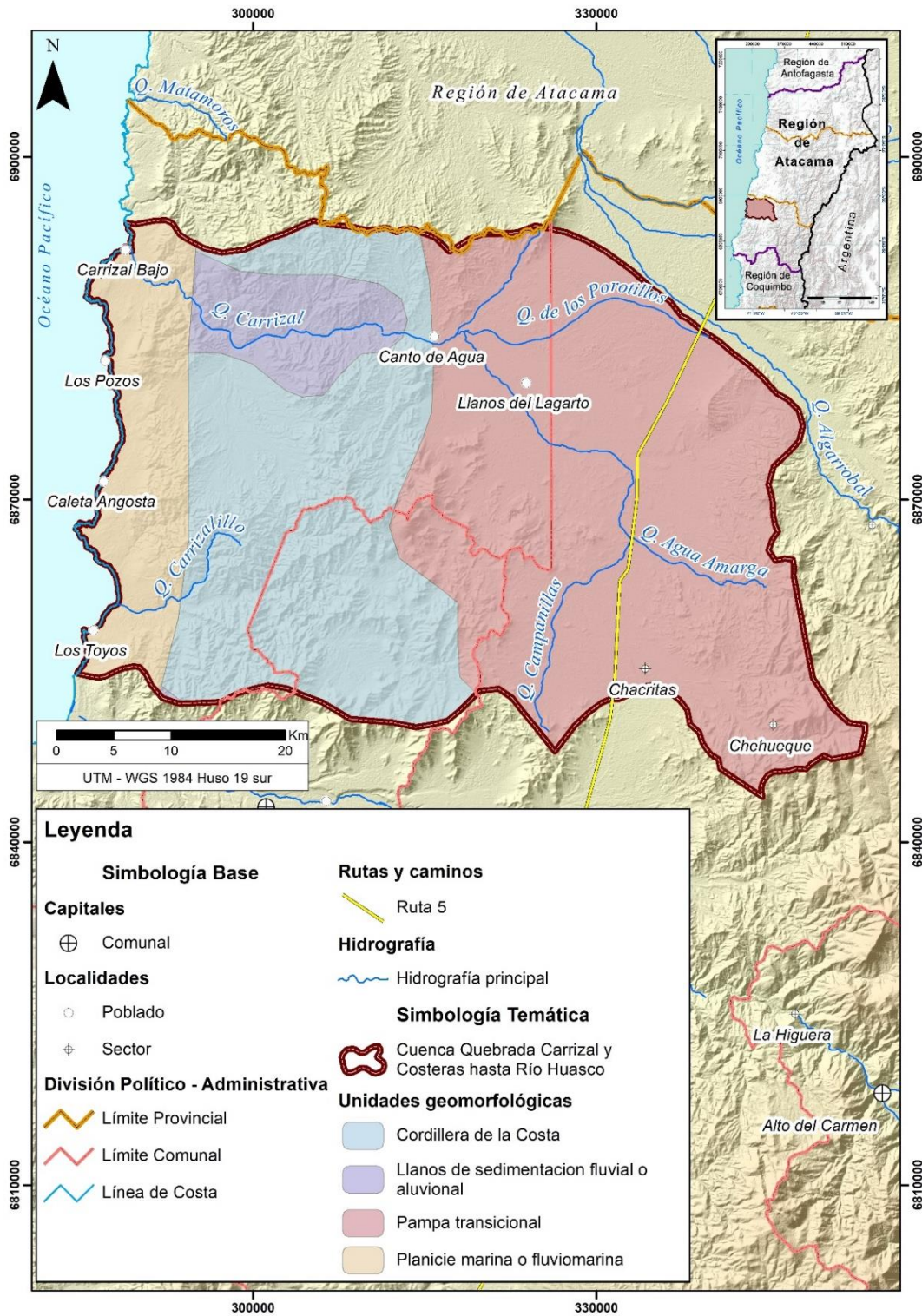
**-Llanos de sedimentación fluvial o aluvional:** A través de la Cordillera de la Costa se forman los Llanos de sedimentación, asociado a la Quebrada Carrizal. La formación de esta unidad tiene que ver con la lluvia por influencia marina que permitió una mayor activación de las quebradas, tanto la principal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

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.

Cabe destacar que Llanos de Challe (Parque Nacional) es una zona que no se encuentra asociada a esta Unidad, pero a través de imágenes satelitales se pudo identificar que la formación de este llano está asociada a la acción de conos aluviales y acción fluvial provenientes de las cumbres de los cerros de la Cordillera de la Costa.

**-Planicie marina o fluviomarina:** Se ubican al extremo oeste de la cuenca. La acción marina ha moldeado las planicies sumando los aportes realizados por las quebradas. 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 fluviomarinas.

Estas planicies han permitido la formación de pueblos costeros. En la zona destacan Carrizal Bajo y Los Toyos.



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

**Figura 2-2: Geomorfología en el área de estudio**

---

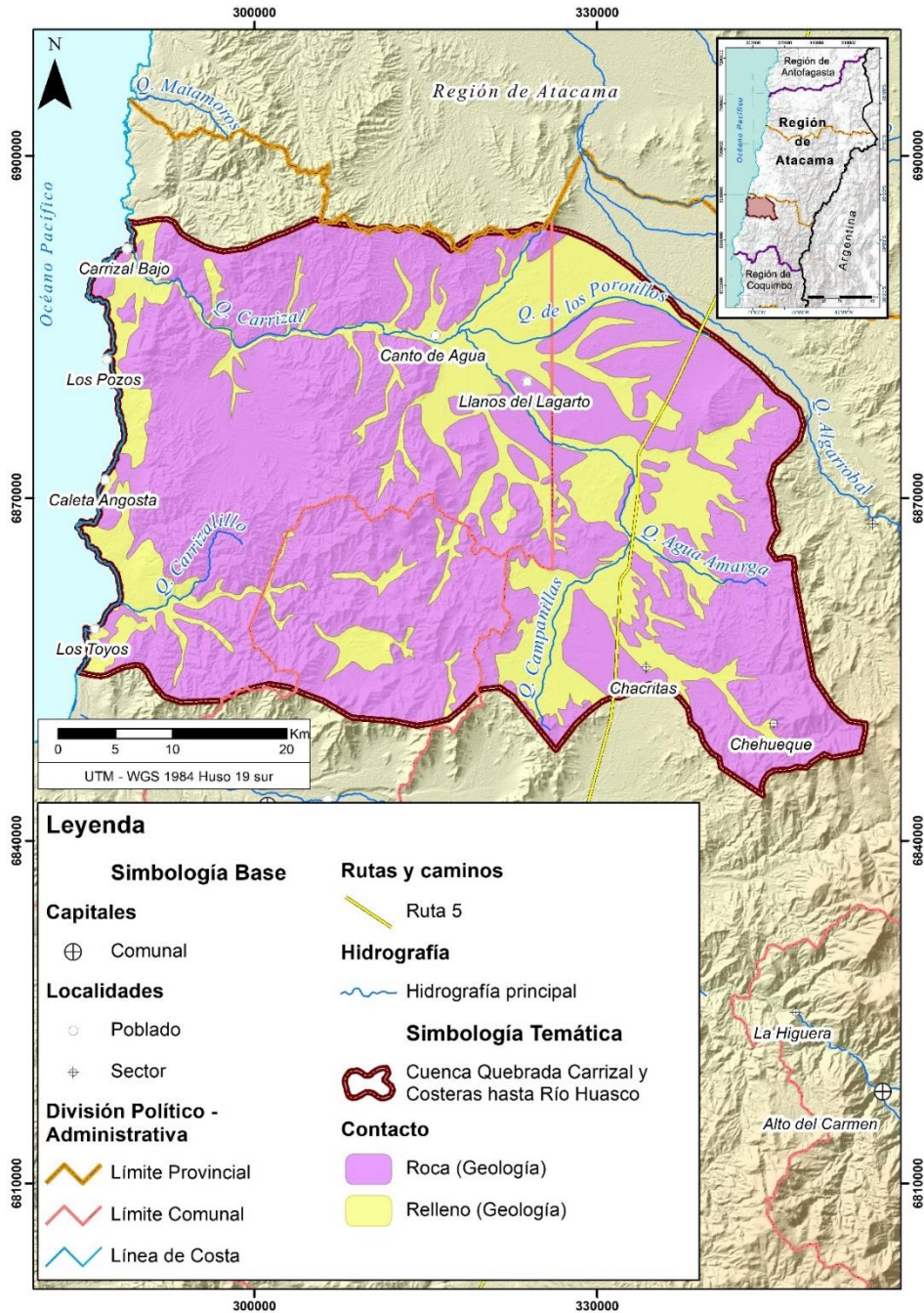
### 2.1.2 Geología

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, 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.

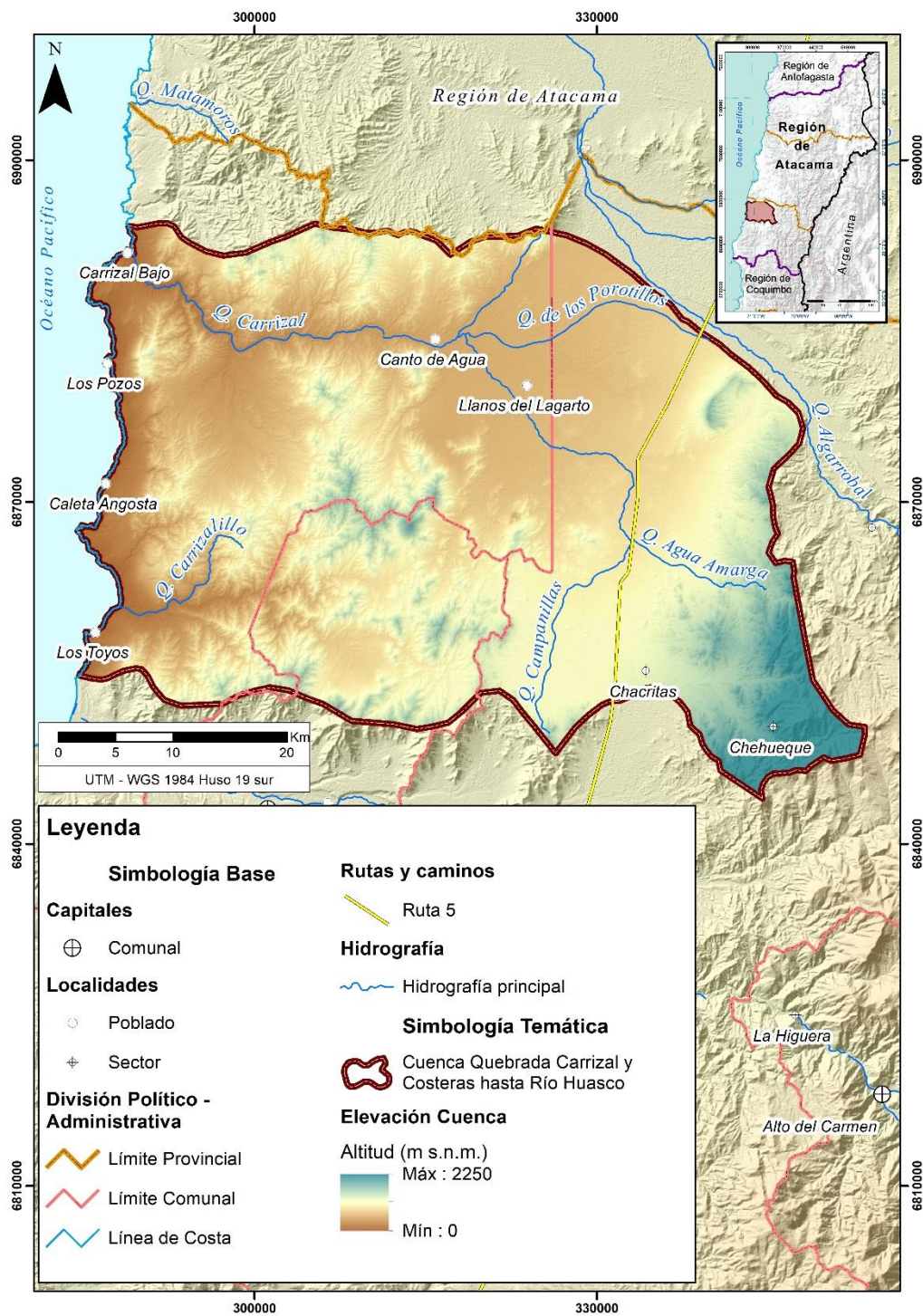
Por otro lado, las rocas presentes en la cuenca, en general, se presentan consolidadas, con bajo grado de fracturamiento y con una muy baja a nula concentración de pozos. Presentan un amplio rango de edades, esencialmente entre el Mioceno y el Carbonífero, representando las rocas más antiguas del sector. 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 más detalladas 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.



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 Carrizal**



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

**Figura 2-4: Altitud de la cuenca**

### 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, en la Región de Atacama existen 9 categorías de suelo, presentándose en la Tabla 2-1 su distribución. De esta forma, los serosoles 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**

<b>Suelo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Prop. Región</b>
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 FAO-UNESCO (2021).

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:

-Llano Central y Cordillera de la Costa (norte): Xerosoles cálcicos

-Cordillera de la Costa (sur): Cambisoles ócricos

-Planicie Litoral: Yermosoles cálcicos.

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 pardo oscuro y pardo rojizo, debido a segregación de óxido de hierro.

### **Cobertura de suelo**

La cobertura de suelo en el área de estudio (ver Figura 2-5) 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:

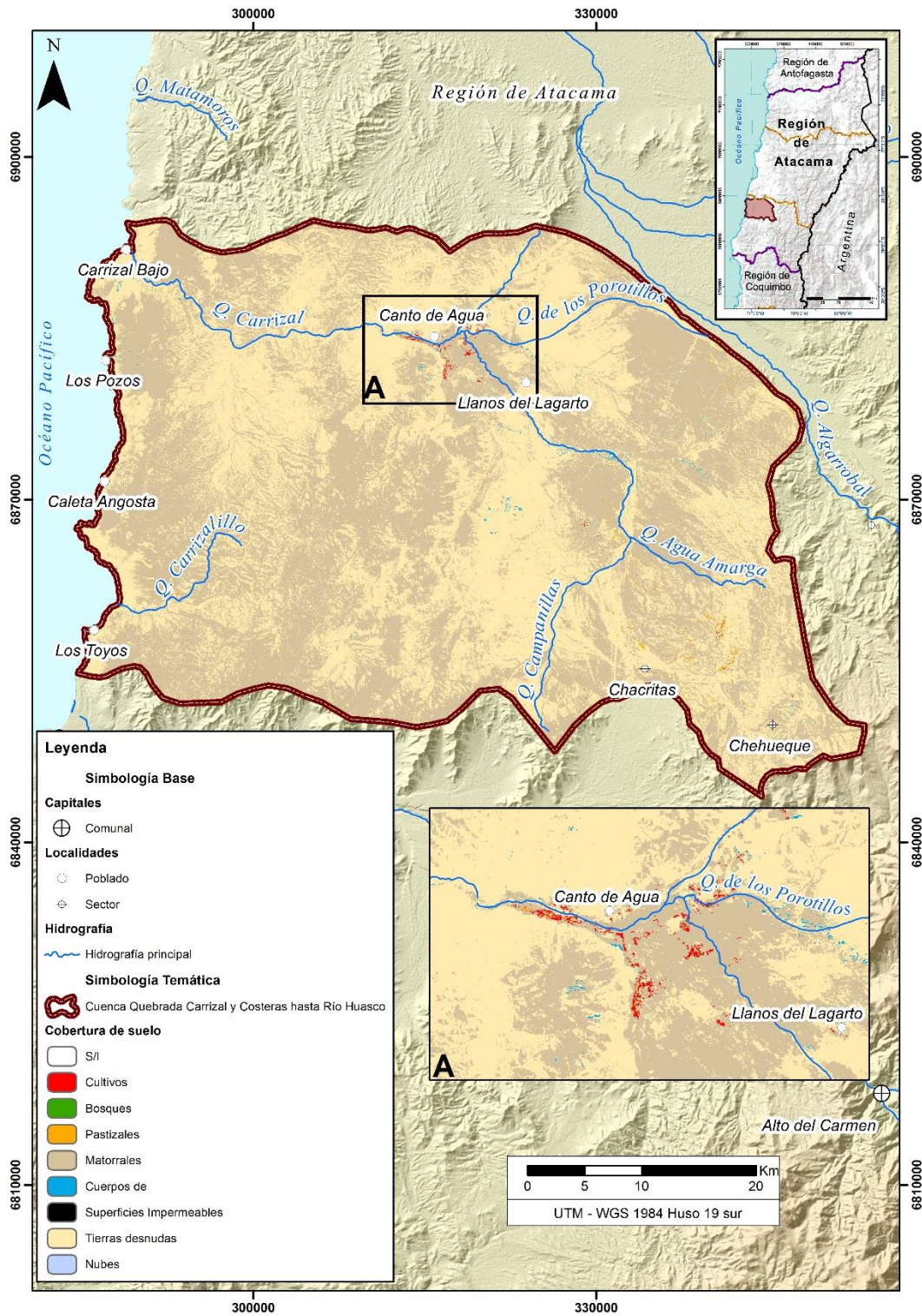
-Cuerpos de agua: asociados a aguas surgentes y formación de humedales

-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 (acápites 2.2 y 2.1.1, respectivamente) que permitieron el desarrollo de esta cobertura de suelo. Finalmente, mencionar los cultivos asociados a los poblados de Canto de Agua y Llanos del Lagarto.

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".



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

**Figura 2-5: Cobertura de Suelos**

---

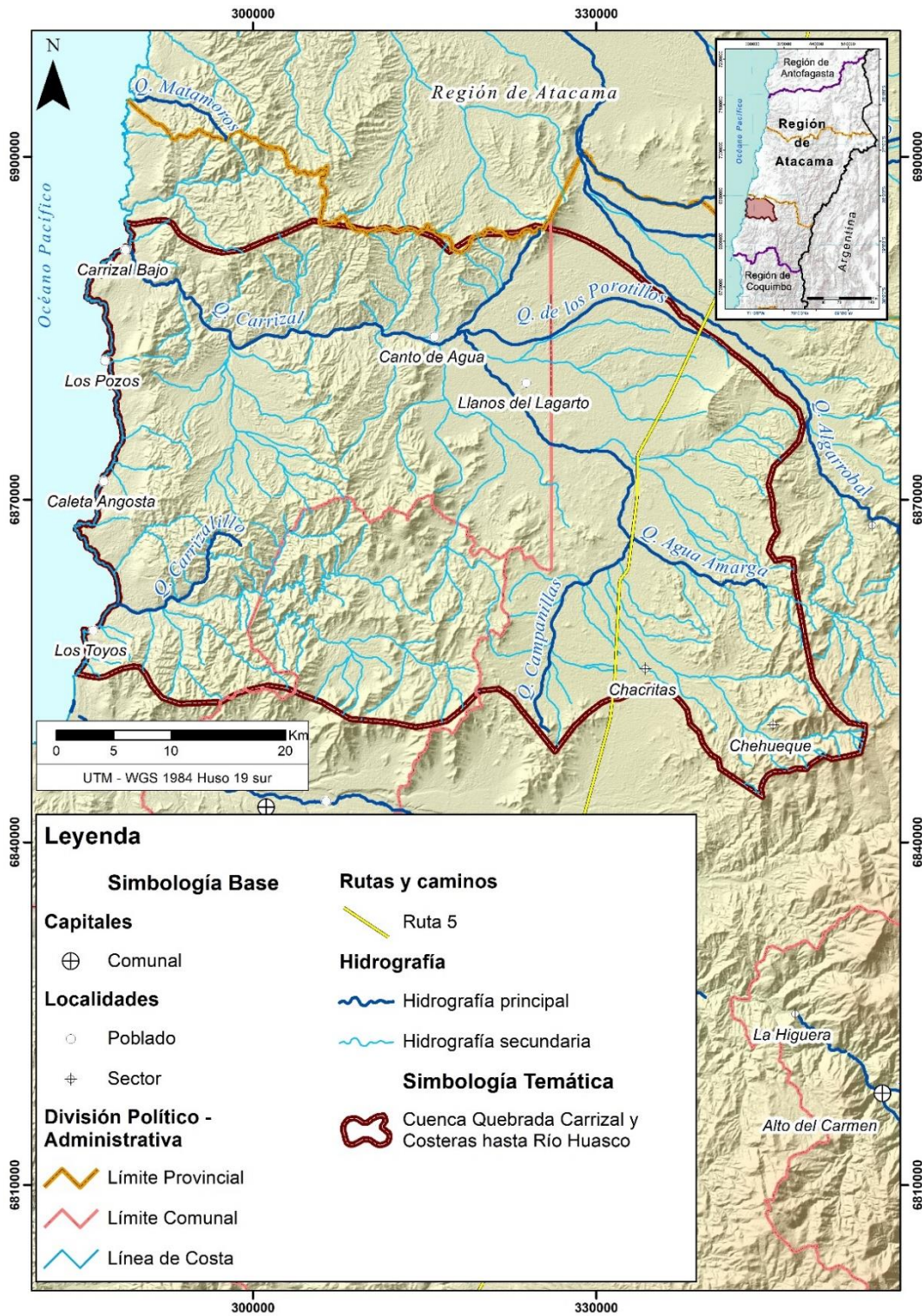
#### 2.1.4 Drenaje

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, dos destacan por su longitud, trayecto y número de aportaciones recibidas: la quebrada Carrizalillo y la quebrada Carrizal, tal como se muestra en la Figura 2-6.

Al entrar en la zona del llano central, parte del cauce de la quebrada Algarrobal se desvía con dirección poniente, naciendo una quebrada (quebrada de los Potrerillos) que después formará parte de la quebrada Carrizal. En el sector sur del área de estudio también hay un sistema de quebradas que finalmente aportarán en la quebrada Carrizal. Estas son la quebrada Campanillas, la cual aporta la quebrada Agua Amarga, y que a su vez tributa en la quebrada Tamarico. Finalmente, esta quebrada es la que tributa a la quebrada Carrizal.

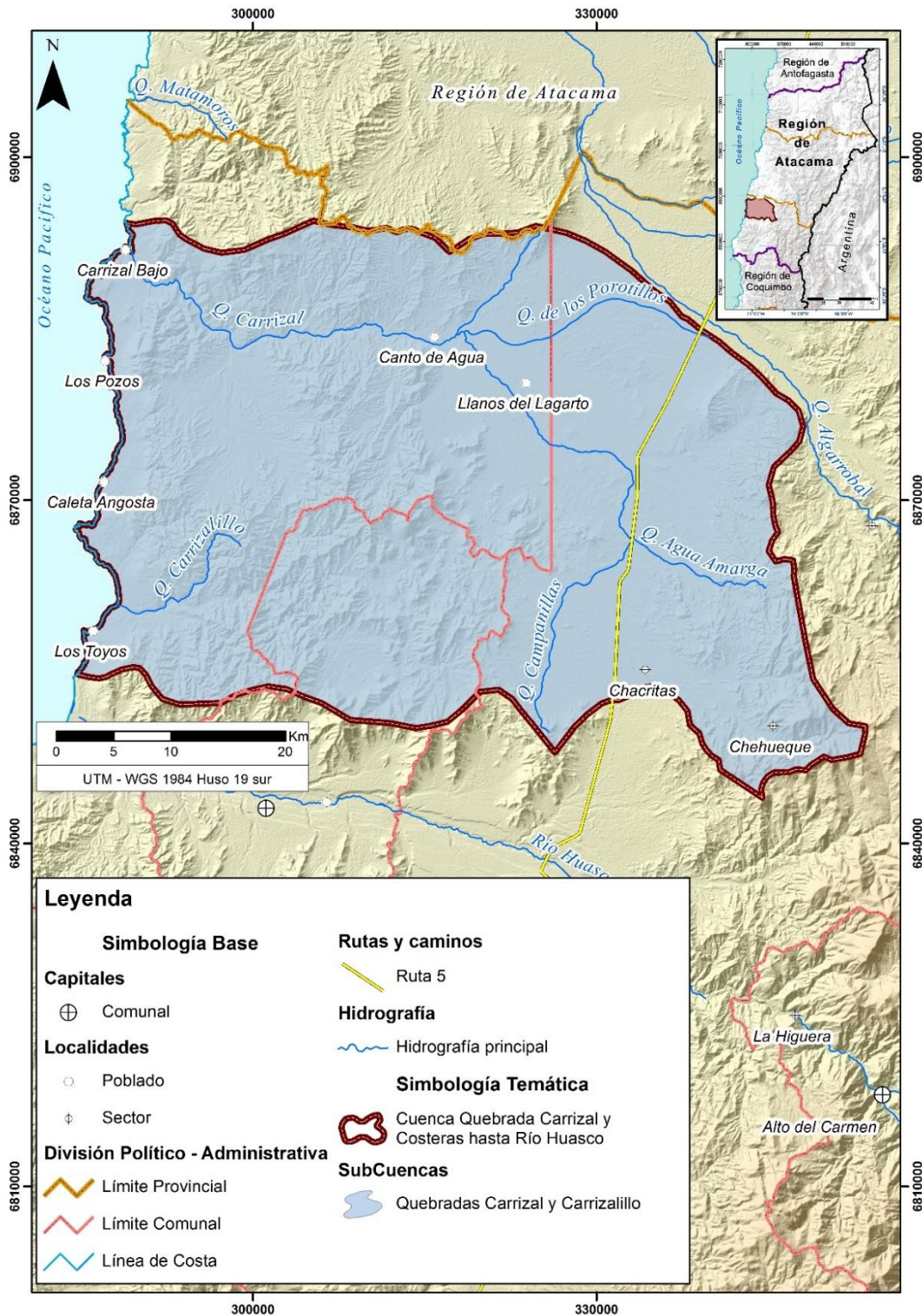
De esta forma, la quebrada Carrizal nace en el llano central a partir de diferentes tributos, continuando la red de quebradas originadas en diferentes sectores de la cuenca. Carrizal atraviesa la Cordillera de la Costa abriéndose camino hasta su desembocadura en la costa. Además, se puede encontrar una zona de afloramiento, donde se han desarrollado actividades agrícolas y junto con ello la formación de asentamientos. El poblado es Canto de Agua y se encuentra en la transición entre el ambiente de llano central y cordillerano costero.

Finalmente cabe destacar la quebrada Carrizalillo como el flujo que domina un área diferente de la cuenca. Ubicada en el suroeste, las quebradas que nacen a partir de la Cordillera de la Costa confluyen en el cauce de la Quebrada Carrizalillo, cuyo nacimiento también deriva de dicha cordillera. Cercano al poblado de Los Toyos, este flujo desemboca en el mar. En la Tabla 2-2 se observa los códigos BNA y superficie de la cuenca y subcuenca, mientras que en la Figura 2-7 se espacializa dicha información.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 2-6: Hidrografía del área de estudio**



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

**Figura 2-7: Subcuenas en el área de estudio**

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

<b>Código BNA</b>	<b>Cuenca</b>	<b>Código BNA</b>	<b>Subcuenca</b>	<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>
037	Cuenca Quebrada Carrizal y Costeras hasta Río Huasco	0370	Quebradas Carrizal y Carrizalillo	2.414,58

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

#### 2.1.5 División político-administrativa

La cuenca abarcada en el PEGH se encuentra íntegramente en la Región de Atacama. La Cuenca Quebrada Carrizal y Costeras hasta Río Huasco se encuentra únicamente en la provincia de Huasco, incluyendo a las comunas de Huasco, Freirina y Vallenar (Figura 2-8).

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

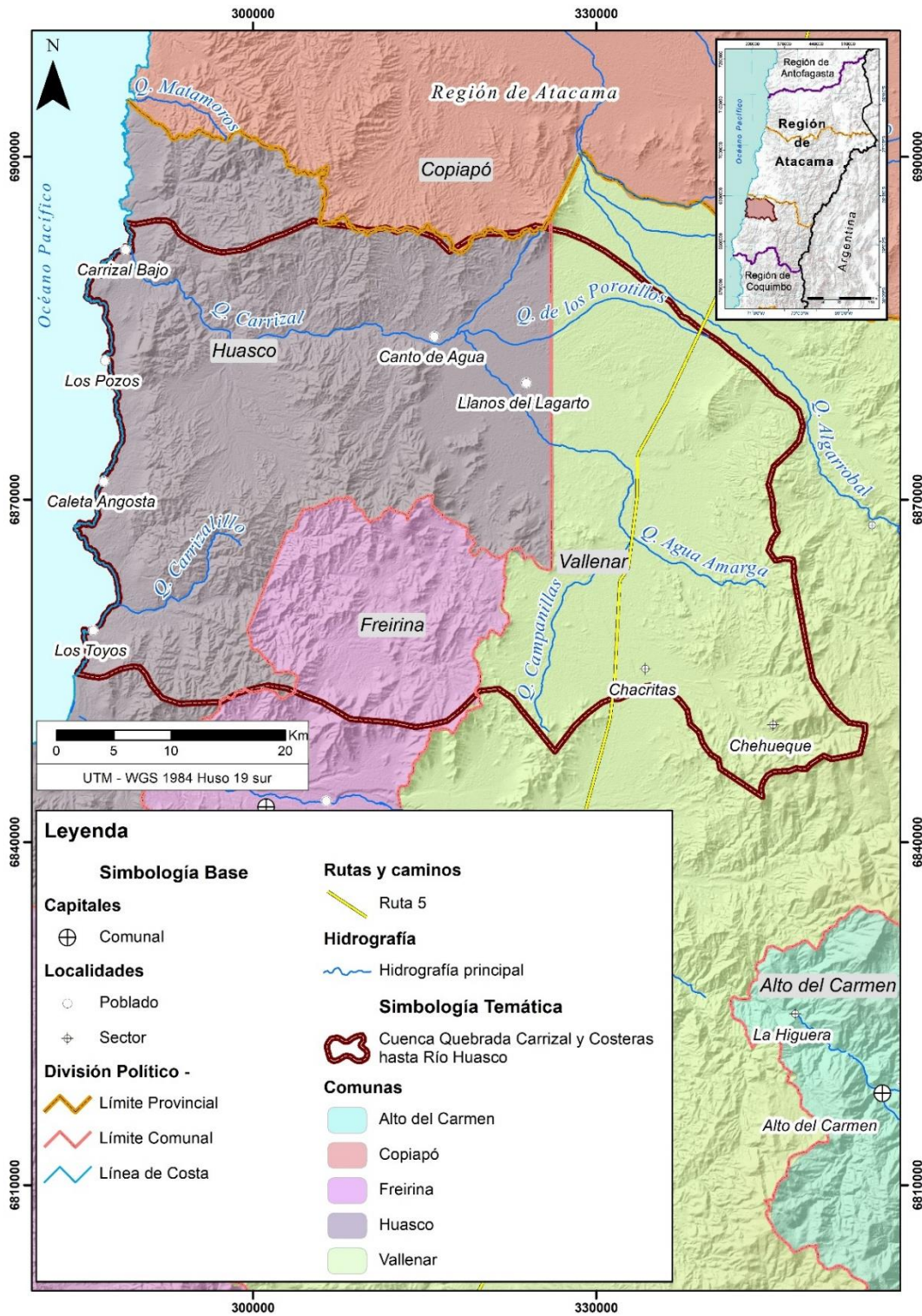
**Tabla 2-3: Superficie comunal y porcentaje respecto a la cuenca**

<b>Cuenca Quebrada Carrizal y Costeras hasta Río Huasco</b>			
<b>Provincia</b>	<b>Comuna</b>	<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje Superficie de la comuna en la Cuenca</b>
Huasco	Freirina	331,7	14%
Huasco	Huasco	1.201,7	50%
Huasco	Vallenar	877,2	36%

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. Los poblados de Carrizal Bajo y Canto de Agua son las principales referencias. En el sector de llano en el centro del área de estudio, es posible encontrar Canto de Agua y Llanos del Lagarto, mientras que en dirección sur – norte están los poblados costeros de Los Toyos, Caleta Angosta y Los Pozos, también está el pueblo de Carrizal Bajo.

Existen algunas zonas de la cuenca denominados 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.



Fuente: Elaboración propia.

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

---

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, sobre todo el más cercano a la desembocadura al río Huasco y el estuario formado hacia el norte hasta el humedal de Carrizal bajo. 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 como las ZPI-6 o el área Verde Intercomunal que brinda protección a dunas o el área del Parque Nacional respectivamente, pero existen zonas donde se promueve la construcción tratando de promover el turismo como es el sector de Caleta Angosta.

#### 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 población (154.000 habitantes aproximadamente). Freirina y Alto del Carmen son las comunas menos pobladas con alrededor de 7.000 y 5.000 habitantes respectivamente. En relación al porcentaje de población urbana/rural en las cuatro comunas abarcadas en el estudio, queda manifiesto que la población se concentra en las grandes urbes de la zona y dado que en la cuenca no existe dicho tipo de asentamiento, la cantidad de habitantes es muy baja (menos de 300 habitantes por localidad). En términos cuantitativos, el número de habitantes en el área de estudio es de aproximadamente 1.000 personas, concentrándose en la zona costera, seguida por la zona de pampa transicional. Mientras tanto, en el sector oriente del área de estudio se contabilizaron 53 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 Canto de Agua (ubicado en la zona del llano central) por ser la localidad de mayor poblado, Los Toyos debido a su aumento de población (localidad relacionada con la actividad turística) y Llanos de Lagarto dada su aparición individual en las mediciones censales en el periodo intercensal.

En el Censo 2017 se registró un total de 152 personas que se sienten pertenecientes a un pueblo indígena. Sobre esto, destacan los datos de CONADI (2022) que registra 4 comunidades indígenas presentes en el territorio. Dos comunidades se encuentran en el sector de Chacritas, una en Canto de Agua y la otra en Llanos del Lagarto. Estas comunidades pertenecen a la etnia Diaguita.

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

Provincia	Comuna	Localidad	Censo (habitantes)	
			2002	2017
Huasco	Huasco	Caleta Angosta	10	33
		Canto de Agua	140	205
		Carrizal Bajo	129	185
		Llanos del Lagarto	s/i	44
		Los Pozos	68	53
		Los Toyos	8	48

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

#### 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
<b>Variación anual (miles de millones \$)</b>	3.736	3.460	3.446	3.562	3.434	3.379	3.266	3.175
<b>Variación anual (%)</b>		-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 fines 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 industria turística en la zona. Estas tres actividades económicas son caracterizadas a continuación (GORE Atacama, 2015).

#### *2.1.7.2 Nivel Territorial*

##### **a) Actividad Minera**

En la cuenca se identifican 73 faenas mineras, siendo mayoría las faenas de cobre con 44 proyectos activos. 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.

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

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

<b>Tipo</b>	<b>Activas</b>		<b>Inactivas</b>		<b>Irregulares</b>		<b>Total</b>
	<b>Natural</b>	<b>Jurídica</b>	<b>Natural</b>	<b>Jurídica</b>	<b>Natural</b>	<b>Jurídica</b>	
Oro	1	0	0	0	0	0	1
Hierro	0	11	0	1	0	0	12
Cobre	33	11	3	4	0	0	51
Carbonatos de Calcio	0	9	0	0	0	0	9
Total	34	31	3	5	0	0	73

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

**b) Actividad agrícola**

Canto del agua y Llanos del lagarto son poblados en el área de estudio que se identifican como comunidades agrícolas. 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 Carrizal y el distrito Ttotal agrupan la información de los poblados señalados.

Destacan las 102 ha de superficie de riego que posee el distrito Carrizal, el mayor del área de estudio. Existen otros distritos en el área de estudio como Algarrobal y Capote. Ambos no superan las 1,5 ha de riego.

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 en la zona está relacionada principalmente con la zona de costa y el aprovechamiento de ecosistemas como sitios de interés. De manera más concreta, los poblados ubicados al borde de la costa en la cuenca Quebrada Carrizal tienen características de ser segundas viviendas y ser utilizados como balnearios. Esto se da principalmente en Los Toyos, donde existe una estrecha relación con la población de la ciudad de Huasco que visita dicho lugar en la época estival.

Respecto a los ecosistemas de interés, en el área de estudio destaca el Parque Nacional Llanos de Challe y el recientemente declarado Santuario de la Naturaleza Humedal Costero de Carrizal. 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 (SERNATUR, 2015).

### 2.1.7.3 Actividad Económica Potencial

La base de datos del Servicio de Evaluación Ambiental permite observar los proyectos que se ejecutarían en la cuenca. La Tabla 2-7 indica que la comuna de Vallenar es la que cuenta con mayor número de proyectos y que contrario a la creencia popular, el sector energía se impone al minero, sin embargo, ambos sectores concentran más del 75% de los proyectos en la zona. Huasco por su lado tiene más diversidad en los sectores productivos, mientras que Vallenar es el único que posee un proyecto relacionado con el sector agropecuario.

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

Comuna	Inversión en millones de dólares (N° de proyectos)					Total
	Agropecuario	Energía	Inmobiliarios	Minería	Saneamiento Ambiental	
Huasco			0,032 (1)	102,6 (3)	0,23 (1)	102,9 (5)
Vallenar	10 (1)	1949 (9)				1.959 (10)
Vallenar-Freirina-Huasco				169 (1)		169 (1)
Total	10 (1)	1949 (9)	0,032 (1)	271,6 (4)	00,23 (1)	2.230,9 (16)

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

---

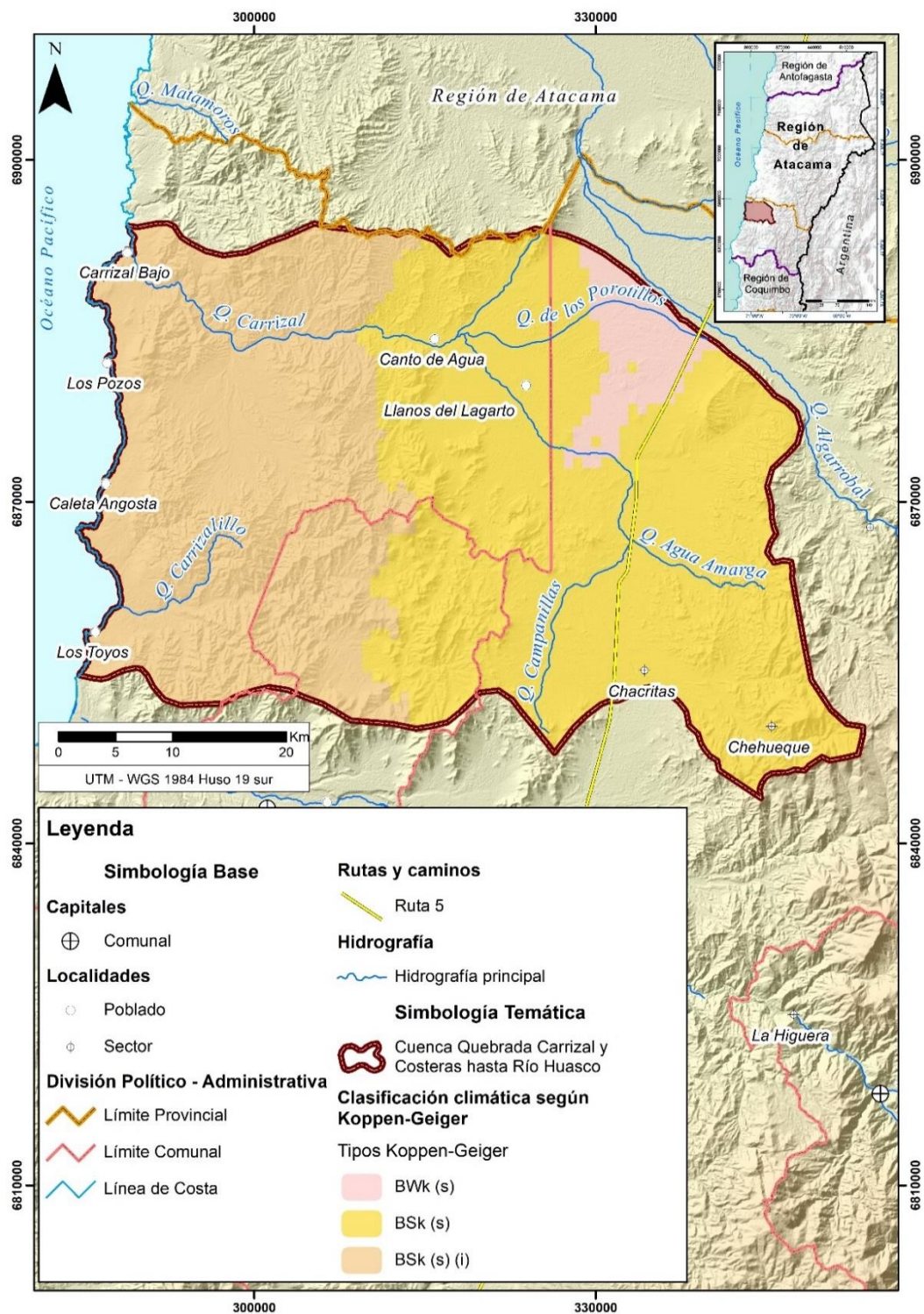
culmine de esta transición, con la aparición de los valles transversales. De esta forma, al norte de este punto, las temperaturas son altas y las precipitaciones escasas, mientras que hacia el sur existe un aumento de precipitaciones y disminución de temperaturas.

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 (Mendonça, 2017; Maldonado y Rozas, 2008; Juliá et al., 2008).

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 de 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 (Mendonça, 2017; Maldonado y Rozas, 2008; Juliá et al., 2008).

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 presenta la Clasificación de Köppen-Geiger aplicada en el área de estudio. Las categorías presentes en la cuenca serán descritas a continuación:



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

**Figura 2-9: Clasificación Climática de Koppen-Geiger**

---

**-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.

**-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 más frecuentes en este sector ya que son impulsadas por el retroceso de ASPS y el avance de los Vientos del Oeste.

**-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 el rol termorregulador del océano, las temperaturas no son extremas.

#### 2.2.2 Eventos extremos y variabilidad climática

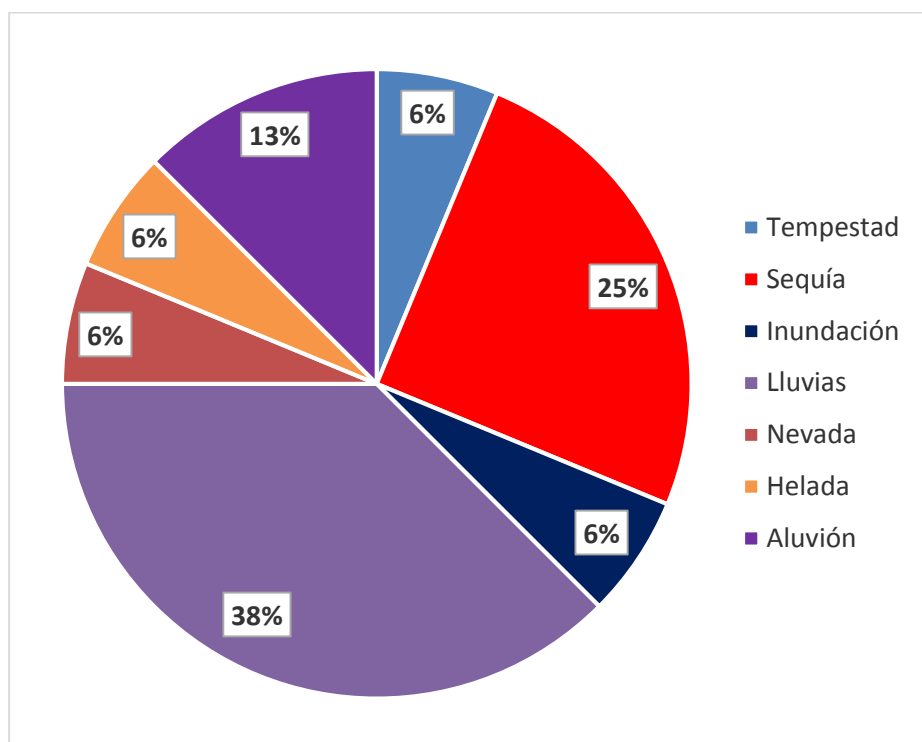
La base de datos de eventos extremos empleada en este estudio corresponde a la plataforma DesInventar (LA RED, 2009), una herramienta conceptual y metodológica para la generación de Inventarios Nacionales de Desastres y la construcción de bases de datos de daños, pérdidas y en general los efectos de los desastres. Posee una lista de 36 tipos de eventos predefinidos, cuya selección se basó en la consulta no exhaustiva 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 32 eventos diferentes en el periodo 1970 – 2014 para las tres comunas que abarcan la cuenca Quebrada de Carrizal y Costeras hasta Río Huasco (Freirina, Huasco y Vallenar). En la Figura 2-10 se muestra un resumen por tipo de eventos, siendo los asociados a lluvias los más comunes con un 38% del total, seguido por sequías (25%). Eventos extremos poco frecuentes corresponden a tempestad, inundación, nevada y helada (6%), 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 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 de Carrizal y Costeras hasta Río Huasco sólo la estación Canto de Agua registra temperatura, por lo que las demás 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**

<b>Código BNA</b>	<b>Nombre</b>	<b>Cota (m s.n.m.)</b>	<b>Sector</b>	<b>Registro</b>
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.

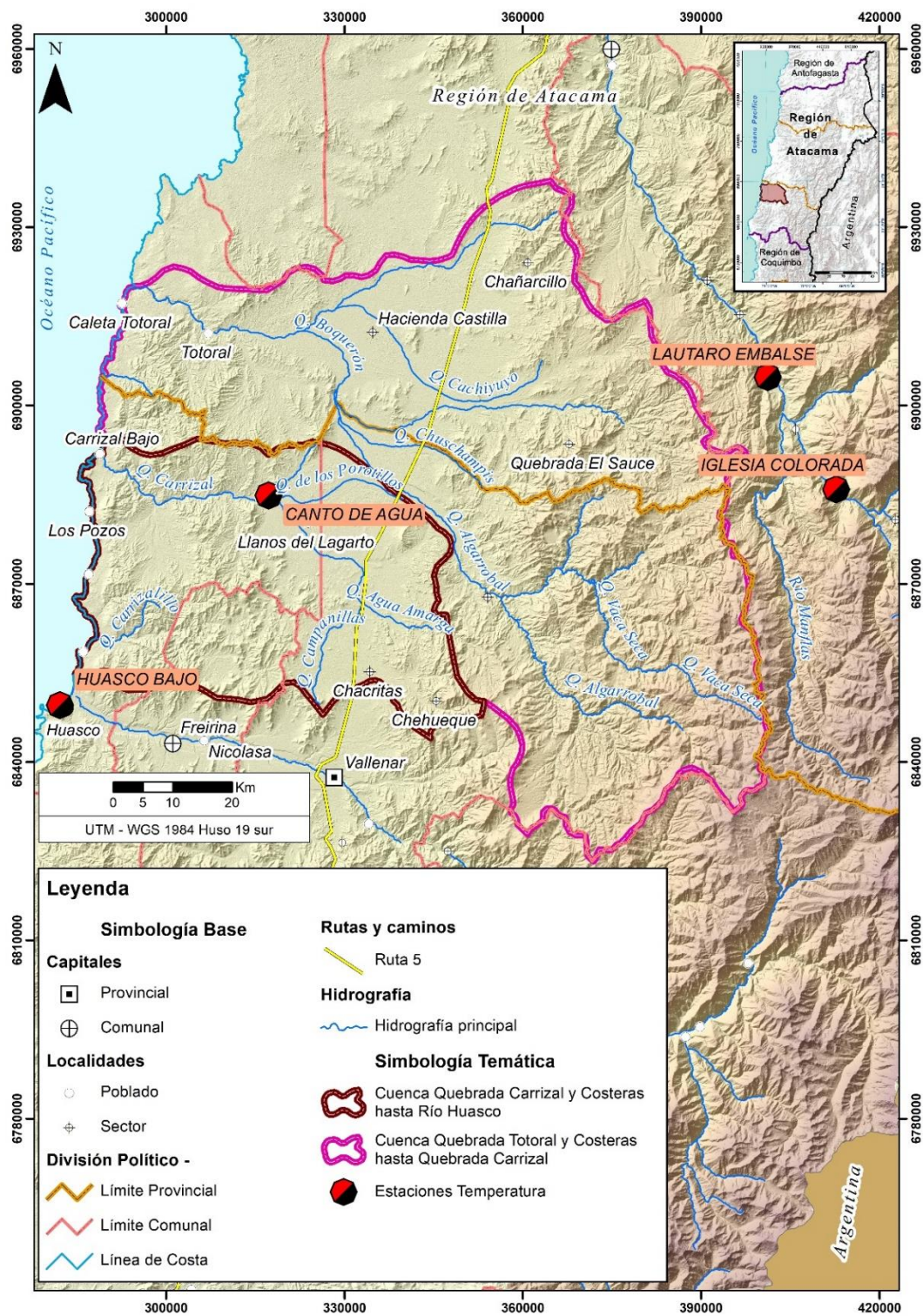
A continuación, se presenta en la Tabla 2-9 y Figura 2-12 la estadística mensual de temperaturas medias de las estaciones seleccionadas.

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

<b>Código</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>
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

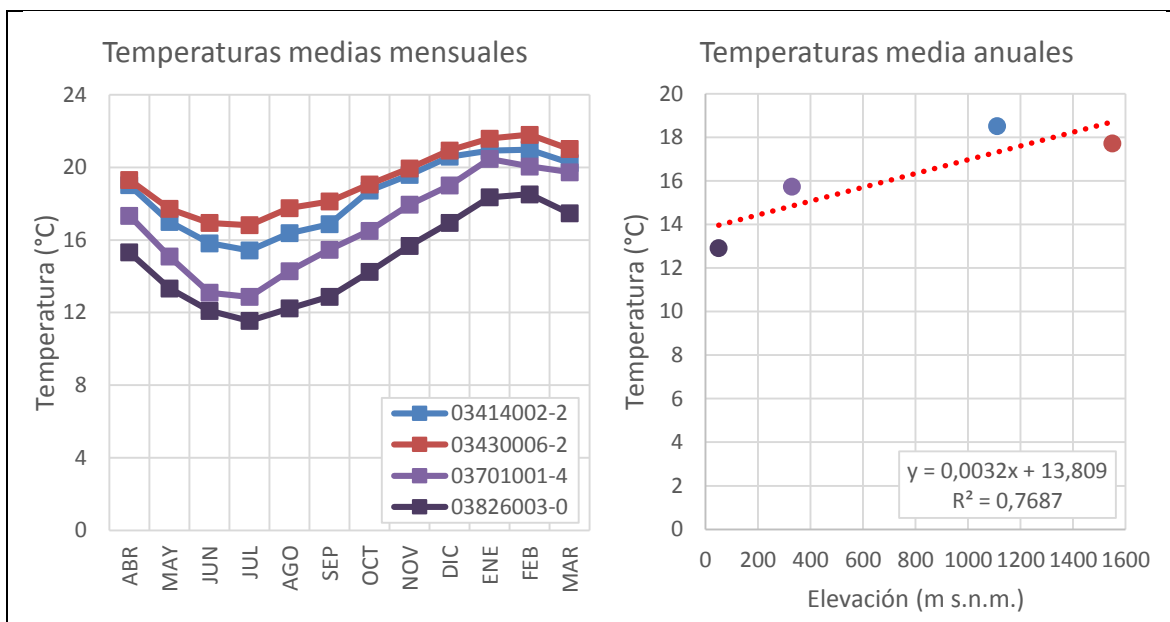
Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA.

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 CO<sub>2</sub>. 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**

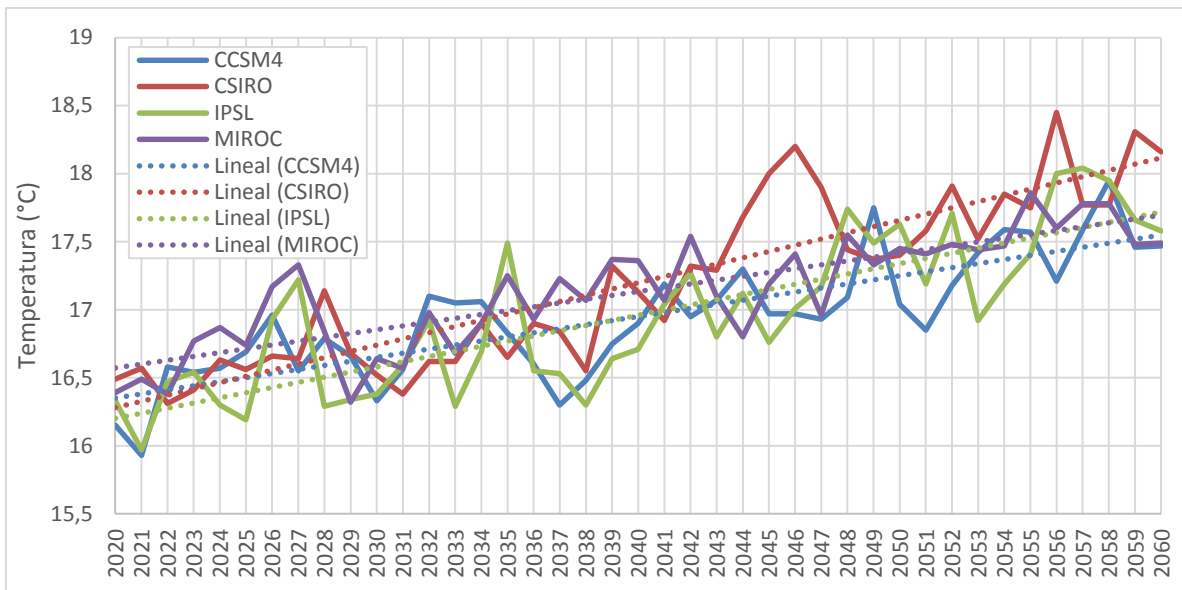
<b>Modelo</b>	<b>Institución</b>	<b>Sensibilidad climática</b>
CSIRO-MK3-6-0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization in collaboration with Queensland Climate Change Centre of Excellence, Australia	Baja Extrema
CCSM4	National Center for Atmospheric Research, USA	Baja moderada
MIROC-ESM	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).

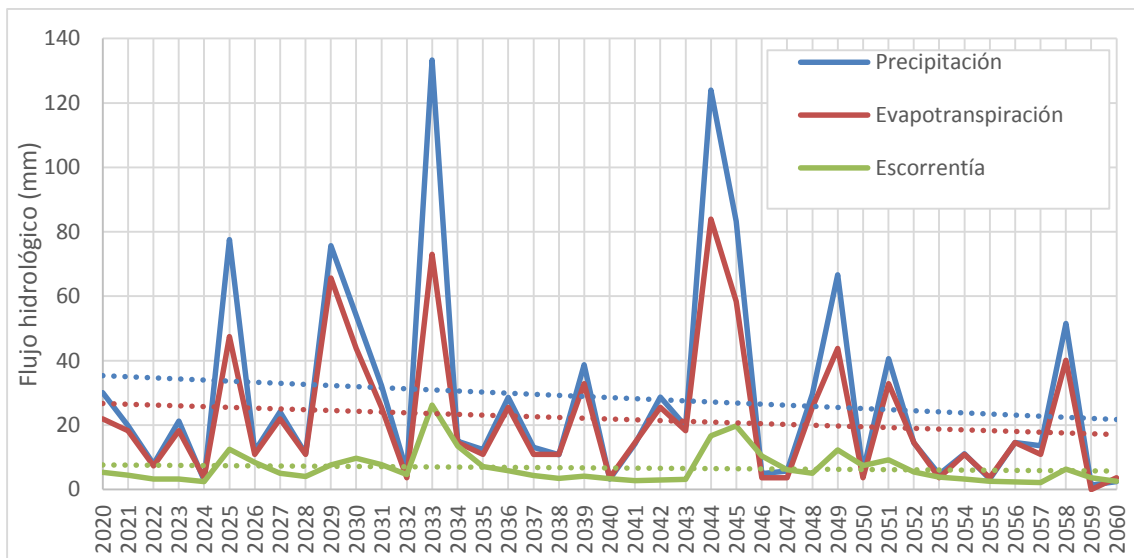
Los cambios a nivel de cuenca son entonces variados conforme se aumenta la latitud, no existiendo un único modelo que siempre muestre una tendencia marcada al ascenso o aumento, por ejemplo, de las precipitaciones.

En particular, para la cuenca Quebrada de Carrizal y 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.



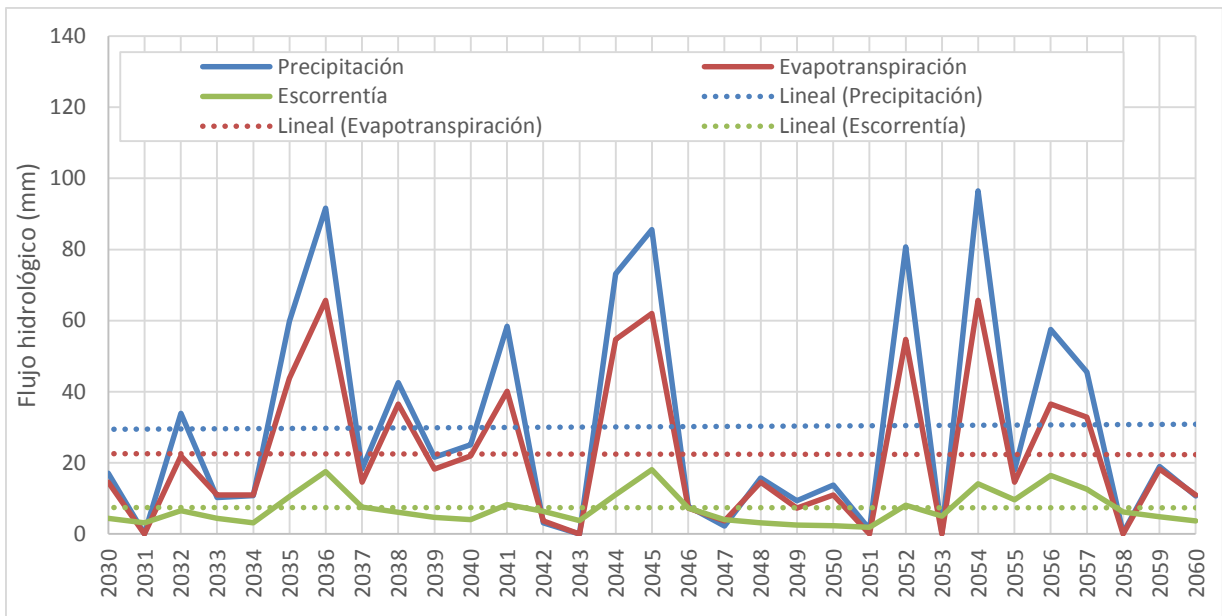
Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a).

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



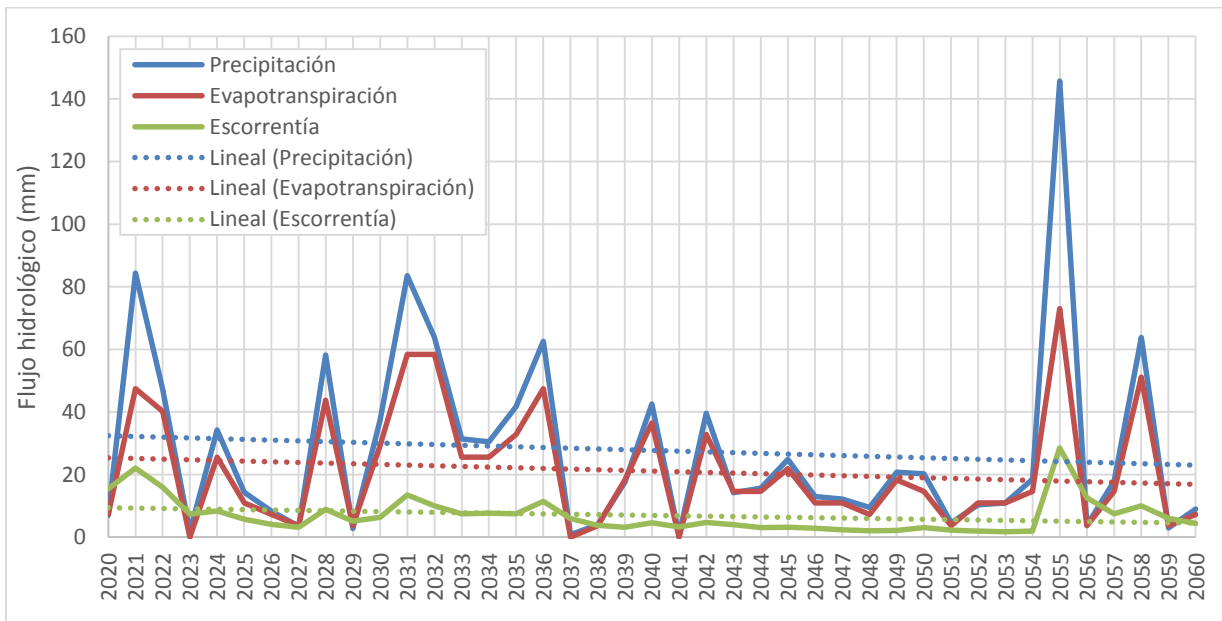
Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a).

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



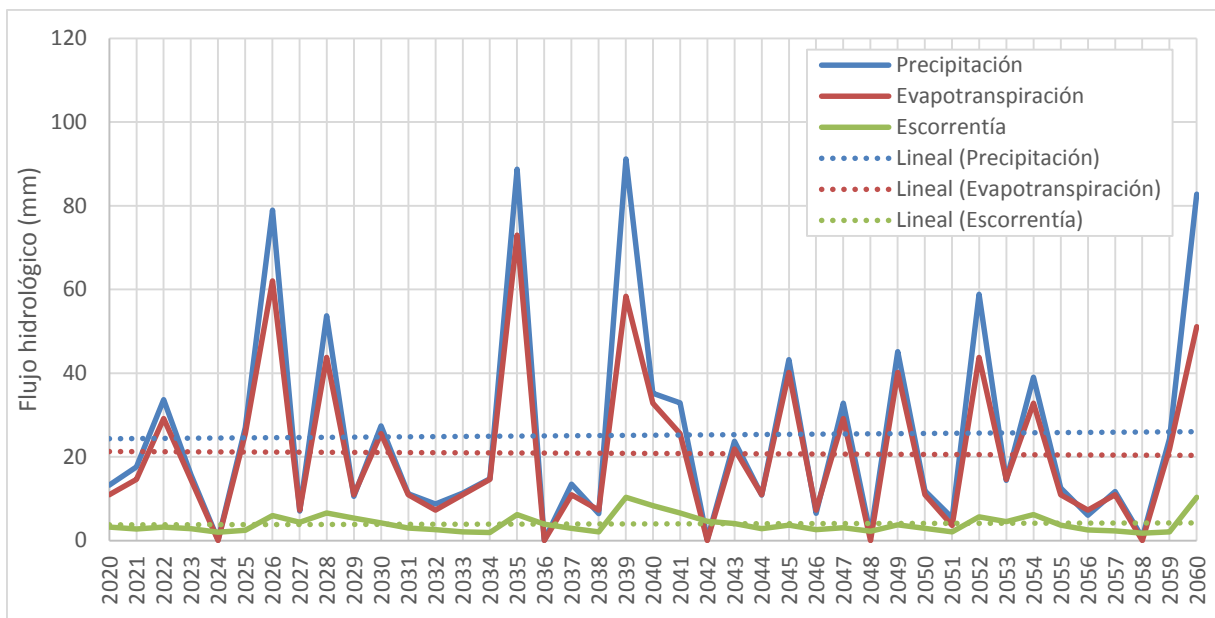
Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a).

**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
<b>CSIRO-MK3-6-0</b>					
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
<b>COSMO</b>					
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
<b>MIROC-ESM</b>					
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
<b>IPSL-CM5A-LR</b>					
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
<b>Promedio MCG</b>					
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-MK3-6-0	CCSM4	MIROC-ESM	IPSL-CM5A-LR
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 e IPSL-CM5A-LR imponen condiciones intermedias, aunque conservadoras, con disminución de la precipitación cercana al 14%.

---

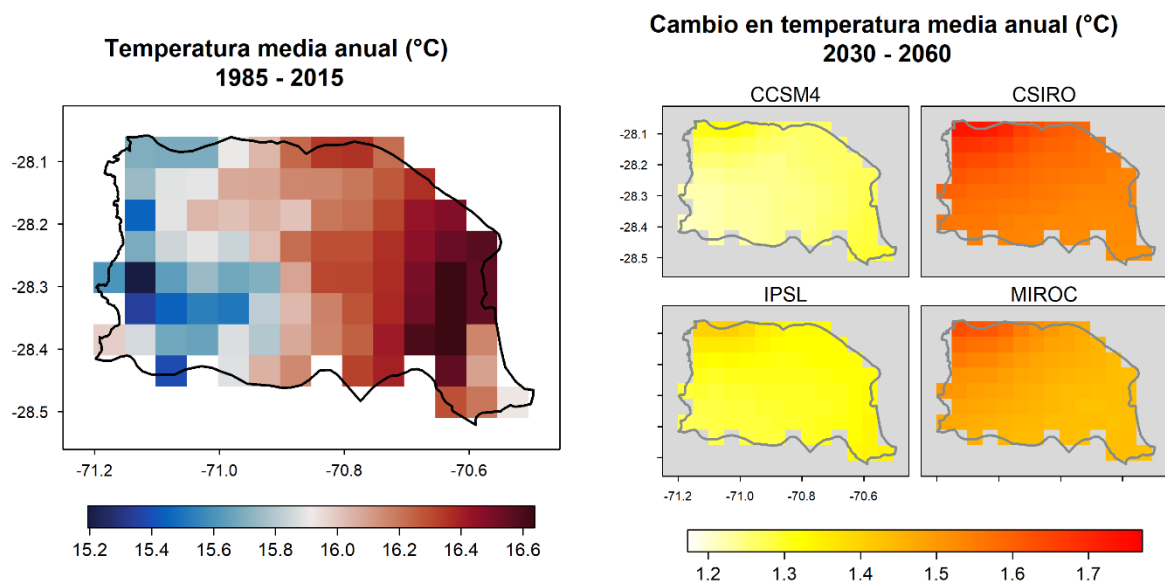
En particular, el flujo evapotranspirativo exhibe diferentes variaciones en todas las proyecciones, mientras que la demanda de riego se mantiene constante. Esto podría malinterpretarse como alguna falla sistemática en la metodología debido a la estrecha relación entre estos flujos. Sin embargo, se explica 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.

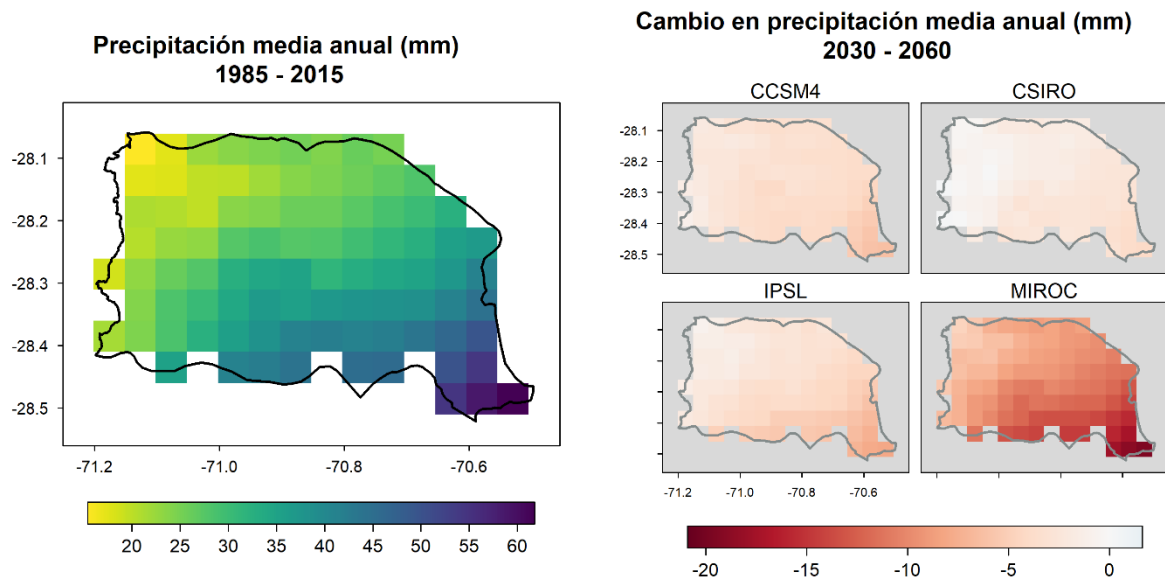
Como las áreas agrícolas de riego son mínimas, la componente de flujo (ii) ejerce una influencia baja sobre el monto total de evaporación. Por las características climáticas (Hiperárida; índice de aridez 47,4), el proceso dominante de la evaporación se ajusta a la componente de flujo (iii), que depende 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 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 Carrizal Bajo y Costeras hasta río Huasco (Quebrada Carrizal). De acuerdo con la clasificación de cuencas de la Dirección General de Aguas, DGA, corresponde a la N°037.

La dimensión ambiental se compone de las unidades ecosistémicas terrestres y acuáticas como también de las áreas de conservación existentes tanto oficiales como privadas (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 *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 Carrizal se localiza al sur de la cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal, en la zona costera de Copiapó-Vallenar al costado izquierdo de la desembocadura de la quebrada Carrizal del mismo nombre.

#### *2.3.1.1 Caracterización de la flora y vegetación*

Se indica a continuación una caracterización general 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 Plissock, 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. 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 Plissock, *op.cit.*). Específicamente se distinguen formaciones vegetacionales, que corresponden a desierto y estepa que se detallan a continuación:

Desiertos de los siguientes tipos: montano (1); floridos (2), interior (en este 1 alto andino y 2 esteparios); Estepa desértica y alto andina; y finalmente un área muy restringida sin vegetación en la alta cordillera (GORE Atacama, 2014).

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. De las provincias de Atacama, la de Huasco es la que posee la mayor cantidad de especies nativas (737 especies), le sigue Copiapó (669 especies) y luego Chañaral (con 467 especies), esta última es la que presenta la mayor proporción de especies con problemas de conservación (Squeo *et al.*, 2008).

Específicamente para la cuenca quebrada Carrizal se distinguen formaciones de matorrales correspondientes a cuatro (4) pisos vegetacionales (P) que son los siguientes: matorral desértico mediterráneo costero, dos tipos de matorral desértico mediterráneo interior y un matorral desértico mediterráneo andino. Estos representan ecosistemas, identificados bajo los siguientes códigos P14, P15 y P18 y P26, según Luebert y Plisscoff (2017), CIREN (2013) y MMA (2019a), indicados en la Tabla 2-13 y mostrados en la Figura 2-24.

**Tabla 2-13: Pisos vegetacionales presentes en la cuenca Quebrada Carrizal y Costeras hasta río Huasco.**

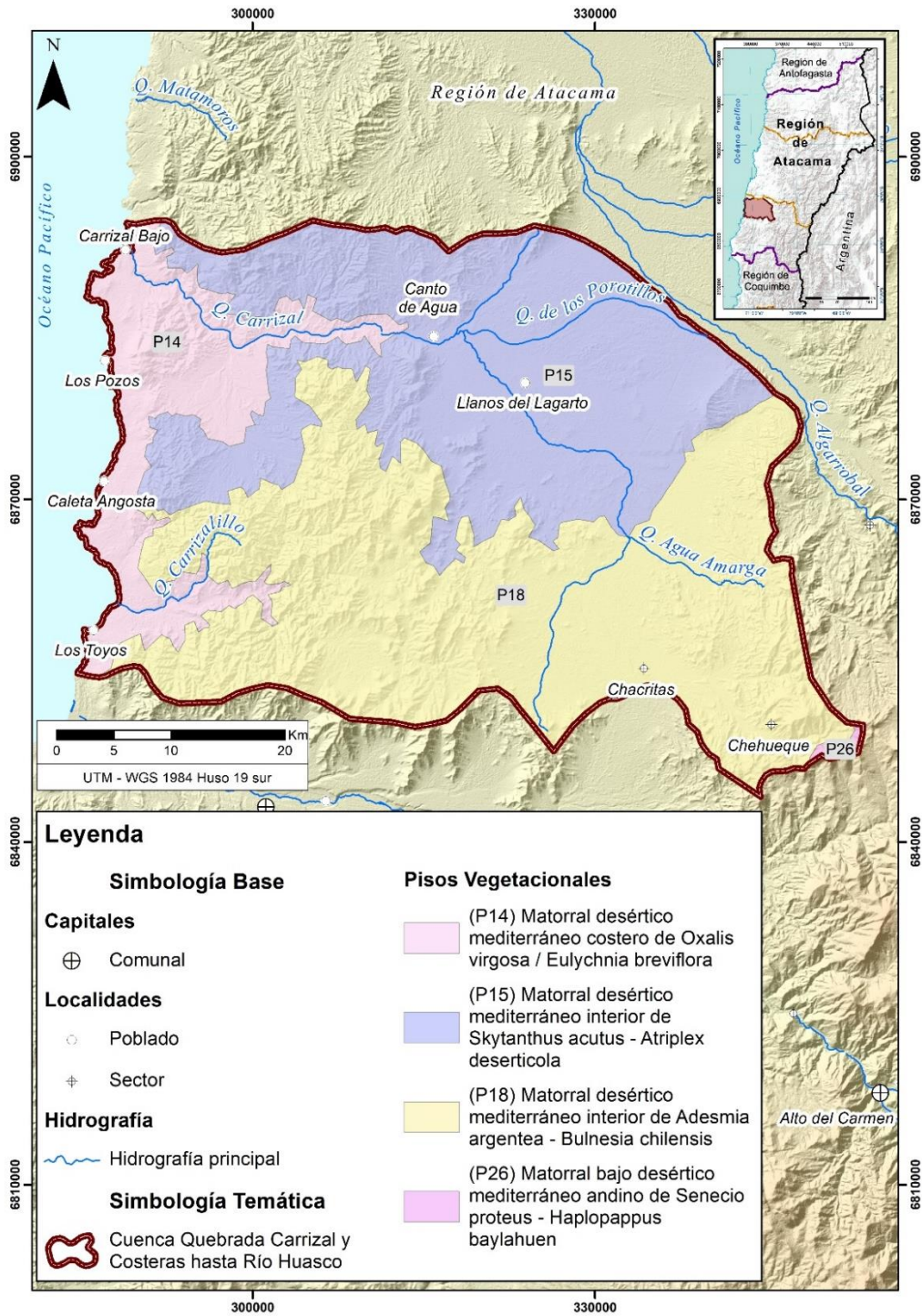
<b>Código N° Piso</b>	<b>Piso vegetacional</b>
14	Matorral desértico mediterráneo costero de <i>Oxalis virgosa</i> / <i>Eulychnia breviflora</i> .
15	Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Skytanthus acutus</i> / <i>Atriplex desertícola</i> .
18	Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Adesmia argentea</i> / <i>Bulnesia chilensis</i> .
26	Matorral bajo desértico mediterráneo andino de <i>Senecio proteus</i> - <i>Haplopappus baylahuen</i>

Fuente: Elaboración propia a base a Luebert y Pliscoff (2017), CIREN (2013) y MMA (2019).

---

A continuación, se describen las características generales de los cuatro pisos vegetacionales mencionados, cuyo detalle se especifica en el Anexo J05 - Pisos vegetacionales.

Se presenta en la cuenca el piso vegetacional código P14, correspondiente a "matorral desértico costero de *Oxalis virgosa/Eulychnia breviflora*", con vegetación de amplia distribución desde Huasco a Quillota entre los 5 a 1.200 m s.n.m. Presenta especies endémicas con categoría de conservación (MMA 2020a, 17° proceso RCE) y presencia de diversos hábitats tales como: desérticos, laderas sin escurrimientos y costeros. En este último es frecuente el desarrollo de matorrales por estar expuesto a mayor humedad, dada la presencia de niebla en el sector (Squeo et al., 2008). Este piso vegetacional tiene una representatividad en la cuenca de un 13,89% (Tabla 2-14). El segundo piso vegetacional es el P15 "Matorral desértico mediterráneo interior de *Skytanthus acutus/Atriplex deserticola*", con presencia de especies endémicas. Se distribuye entre los 200 a 1.500 m s.n.m., entre Antofagasta y Atacama. Su vegetación arbustiva es dependiente de las precipitaciones, sin embargo, se encuentran especies dominantes con resistencia a períodos de sequía. Su representatividad en la cuenca es de un 37,37%. El tercer piso es el P18 "Matorral desértico mediterráneo interior de *Adesmia argéntea/Bulnesia chilensis*", el cual presenta registro de especies endémicas y con categoría de conservación, (MMA 2020 a, 17° proceso RCE). Este piso se distribuye entre los 300 a 1800 m s.n.m. se desarrollan especies herbáceas ante presencia de precipitaciones y forma parte del desierto florido (Squeo et al., 2008). Posee una gran representatividad en la cuenca, siendo de un 48,45% (Tabla 2-14). Por último, hay un cuarto piso vegetacional de baja representatividad menor al 1% que corresponde al P26 "Matorral bajo desértico mediterráneo andino de *Senecio proteus - Haplopappus baylahuen*", el cual también presenta especies endémicas y se distribuye en la región subandina entre los 1.800 a 2.800 m s.n.m. (MMA, 2018a).



Fuente: Elaboración propia basada en Luebert y Plissock (2017).

**Figura 2-21: Distribución de los pisos vegetacionales de la cuenca Quebrada Carrizal y Costeras hasta río Huasco**

**Tabla 2-14: Representatividad en superficie de los Pisos vegetacionales presentes en la cuenca Quebrada Carrizal Bajo y Costeras hasta río Huasco**

<b>Código Piso vegetacional</b>	<b>Piso vegetacional (P)</b>	<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Superficie (%)</b>
P14	Matorral desértico mediterráneo costero de <i>Oxalis virgosa</i> / <i>Eulychnia breviflora</i> .	335,5	13,89
P15	Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Skytanthus acutus</i> / <i>Atriplex deserticola</i>	902,3	37,37
P18	Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Adesmia argénte</i> a/ <i>Bulnesia chilensis</i> .	1170,0	48,45
P26	Matorral bajo desértico mediterráneo andino de <i>Senecio proteus</i> - <i>Haplopappus baylahuen</i>	7,0	0,29

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

#### 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 Atacama, 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, 2008).

Se distinguen en general sectores asociados a la costa, otro sector interior y andino. Las formaciones de estepa interior, desierto costero y franja costera. Respecto al desierto costero en este abundan las neblinas y camanchaca, lo cual favorece el desarrollo vegetal con arbustos de baja altura, contrario a la estepa interior. Para la franja costera que se desarrolla en la línea de costa, el clima depende de la influencia marina, sector de alta radiación solar, con una costa muy productiva reflejado en el desarrollo de las comunidades costeras, con preponderancia del intermareal rocoso.

En el sector 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 de precipitaciones y son escasas en períodos de sequías. Los reptiles por el contrario son los más abundantes (Arcadis - Geotecnia, 2008).

En lo que sigue, se indican especies de fauna identificadas en la zona costera e interior (Arcadis -Geotecnia, op. cit.), que abarca en parte las cuencas en estudio. Para la faja costera se registraron 24 especies, de las cuales una 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, 2020a) que abarca hasta el último proceso finalizado de Resolución de Clasificación de Especie (RCE) (17 ° proceso RCE, 2020-2021), expuesto en el Anexo J05 – Fauna.

### 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, 2018b). Específicamente los humedales continentales de la región de Atacama abarcan un total de 18.745 ha (MMA, 2018b). 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 (CONAMA, 2005).

---

En la cuenca quebrada Carrizal, se distinguen dos sistemas hídricos uno bien delimitado el Humedal Costero Carrizal Bajo con una superficie aproximada de 38 ha y un conjunto de seis cuerpos de agua emergentes en el Sector Canto del Agua de aproximadamente 61 ha (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 Carrizal y Costeras hasta río Huasco**

<b>Humedales</b>	<b>Nºcuerpos de agua</b>	<b>Superficie (ha)</b>
Humedal Costero Carrizal Bajo	1	46,8
Sector Canto del agua	6	61

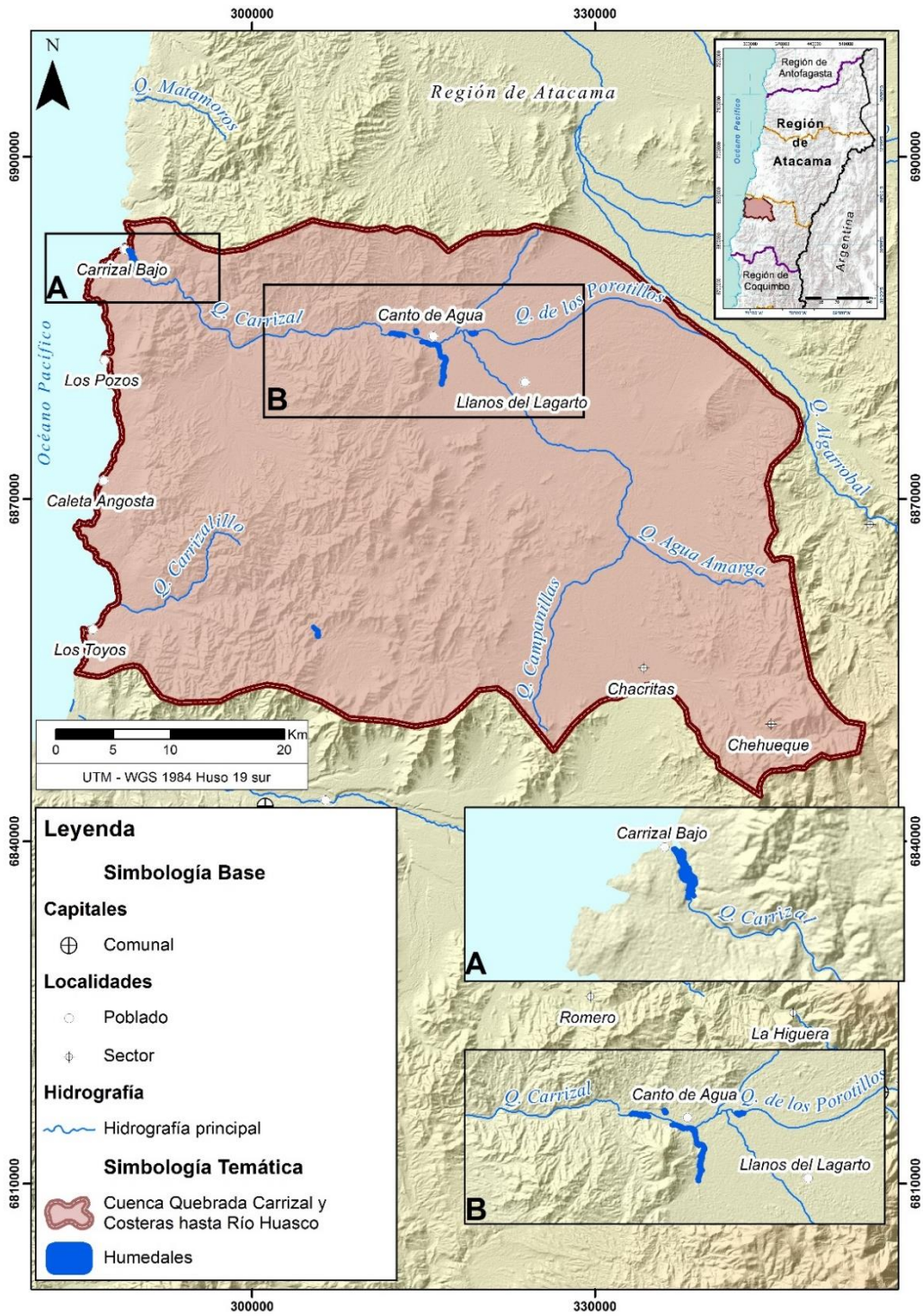
Fuente: MMA (2020b) y D.S.39 MMA (2019).

A continuación, se realiza una descripción de los humedales de acuerdo a la información disponible.

Los humedales de la quebrada Carrizal no presentan escurrimientos superficiales permanentes, y recibe aportes de precipitaciones.

Se destaca el "Humedal Carrizal Bajo" el cual formó parte de los humedales priorizados para la región de Atacama (MMA, 2018b) y ya fue declarado Santuario de la Naturaleza mediante el DS39/2019, MMA, presentada por Agrícola Quebrada Honda S.A. Se localiza a 3,5 km del Parque nacional Llanos de Challe, al sur de Copiapó, con una superficie de 47 ha. Se ubica al interior del sitio prioritario Estuario río Huasco y Carrizal.

Se destaca la importancia de proteger la Laguna Carrizal y las quebradas interiores por estar estas relacionadas con el aporte hídrico hacia las napas subterráneas que mantienen estos ecosistemas, siendo tan escasos los humedales costeros en la región. Este se ubica a 3,5 km del Parque Nacional Llanos de Challe, localización estratégica para realizar un plan de conservación integrado, basado en objetos de conservación en común.



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

**Figura 2-22: Distribución de los humedales en la cuenca Quebrada Carrizal Bajo y Costeras hasta río Huasco**

---

Este ecosistema es parte de la ruta de humedales costeros, siendo uno de los más importantes, de alta productividad y endemismo, de alto valor ecológico considerado un hotspots de importancia mundial, por su gran biodiversidad de especies. Posee 49 especies de flora, 76 de aves, 10 de reptiles, 2 de anfibios, y 12 de mamíferos. Posee diversas asociaciones vegetales que proporcionan alimento, refugio para fauna y aves migratorias, con especies en categoría de conservación (guanaco, puma, cururo), (Figura 2-23).

Este humedal consiste en los siguientes objetos de conservación: Comunidad Aviar, Sistema acuático y Unidad vegetacional del humedal.

Brindan servicios ecosistémicos como regulación de clima, provisión de agua, alimentos, conservación de biodiversidad, control de crecidas, recreación, educación, entre otros. Presentan vulnerabilidad por amenazas antrópicas y ante el cambio climático. Este Santuario es administrado por Agrícola Quebrada Honda S.A, y bajo la custodia del Ministerio Medio Ambiente.

Este Santuario se ubica al interior del sitio prioritario "Estuario Río Huasco y Carrizal" de gran importancia por la biodiversidad de aves residentes y migratorias (un total de 148 especies). Los humedales constituyen una prioridad de conservación para la región, para garantizar su viabilidad ecológica.



Fuente: MMA (2020b).

**Figura 2-23: Vista panorámica del Humedal Costero Carrizal Bajo**

---

### 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 (Metas AICHI), donde se propuso como estrategia proteger a nivel mundial al menos oficialmente el 17% de la superficie de los ecosistemas al año 2010 (Squeo *et al*, 2008). Para Chile se informa un 20,53 % de ecosistemas terrestres protegidos, lo cual es un avance respecto a años anteriores, pero sigue siendo insuficiente, pues se presentan formaciones vegetacionales con aumento en sus tasas de pérdida. Las altas presiones que sufren los ecosistemas en Chile, han significado pérdida y degradación de sus formaciones vegetacionales entre el año 2014 al 2018. Particularmente a nivel nacional, la tasa de pérdida de la formación matorral desértico, representado en la cuenca en estudio, aumentó en un 10,8 % (comparando períodos 2006-2014 y 2014-2018) (MMA, 2019a).

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 19300 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 por cada piso vegetacional (P) la superficie cubierta por alguna figura de protección. Se destaca para esta cuenca el P15 "Matorral desértico mediterráneo interior de *Skytanthus acutus/Atriplex deserticola*" por presentar la mayor área de protección considerando las áreas protegidas oficiales que poseen protección legal (Parque nacional, Santuario de la naturaleza) y Sitios prioritarios con un total de 52% seguido de P18 "Matorral desértico mediterráneo interior de *Adesmia argéntea/Bulnesia chilensis*" con un 39% (Tabla 2-16), mostrado en la Figura 2-24.

**Tabla 2-16: Áreas de protección en pisos vegetacionales para la cuenca Quebrada Carrizal y Costeras hasta río Huasco**

Código	Piso vegetacional	Superficie		Áreas de protección					
		(km <sup>2</sup> )	(%)	Parque y Reserva		Sitios prioritarios		TOTAL	
				(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)
P14	Matorral desértico mediterráneo costero de <i>Oxalis virgosa</i> / <i>Eulychnia breviflora</i> .	335,5	13,89	151	37	0	0	151	9
P15	Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Skytanthus acutus/Atriplex deserticola</i>	902,3	37,37	194	48	695	53	890	52
P18	Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Adesmia argéntea/Bulnesia chilensis</i>	1.170	48,45	59	15	618	47	677	39
P26	Matorral bajo desértico mediterráneo andino de <i>Senecio proteus</i> - <i>Haplopappus baylahuen</i>	7	0,29	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia basada en Luebert y Plischoff (2017), Comité Regional de Biodiversidad (2009) y MMA (2016).

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 Carrizal Bajo” y cuatro sitios prioritarios, que son: Desierto florido, Llanos de Challe, Chacritas y Estuario río Huasco.

**Tabla 2-17: Figuras de protección oficial y sitios prioritarios de la cuenca Quebrada Carrizal y Costeras hasta río Huasco**

Nombre	Figura	Área (km <sup>2</sup> )	Referencia Normativa
Llanos de Challe	PN -WDPA-032	403,7	D.S 946/1994, Ministerio Bienes Nacionales.
Humedal Costero Carrizal Bajo	SN -WDPA-199	0,44	Decreto 39, MMA, 2020c. Se declara Nov. 2019. CONAMA, ERB, 2002.
Zona desierto florido	SP1-055	1160	Decreto 40/2013, MMA. SEA (SP64) L.R. Atacama, 2008.
Llanos de Challe	SP1-132	206	L.R. Atacama, 2008.
Chacritas	SP2-123	37,6	L.R. Atacama, 2008.
Estuario río Huasco y Laguna Carrizal Bajo	SP1-056	35,1	Decreto 40/2013, MMA. SEA (SP64) ERB, 2002.

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

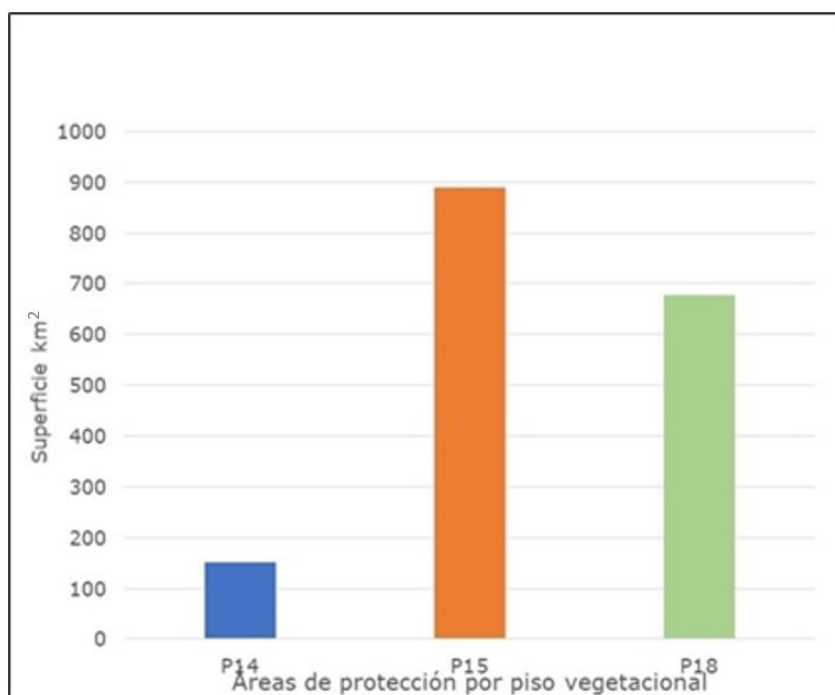
Fuente: Elaboración propia en base a E.R.B. Estrategia de la Biodiversidad (2002), L.R: Libro Rojo Atacama (2008), Comité Regional de Biodiversidad (2009) y MMA (2016).

En la Figura 2-24 se indica por cada piso vegetacional la superficie protegida, destacando por su mayor área tres pisos, P15 “Matorral desértico mediterráneo interior de *Skytanthus acutus/Atriplex desertícola*” seguido del P18 “Matorral desértico mediterráneo interior de *Adesmia argénte*a/ *Bulnesia chilensis*” y P14 “Matorral desértico mediterráneo costero de *Oxalis virgosa / Eulychnia breviflora*”.

La distribución de las figuras SNASPE y sitios prioritarios se muestra en la Figura 2-25 y en el Anexo J05- Fichas RNAP se incorporó por cada figura una Ficha descriptiva proveniente del Registro Nacional de Áreas Protegidas (MMA, 2021).

Todos los pisos vegetacionales de la cuenca presentan alguna figura de protección, se destaca el P18 “Matorral desértico mediterráneo interior de *Adesmia argénte*a/ *Bulnesia chilensis*” por contener la mayor diversidad de instrumentos de protección, representado por un total de cinco, e incluso con una vasta área protegida por el SP Chacritas (100%). Le sigue el P14 “Matorral desértico mediterráneo costero de *Oxalis virgosa / Eulychnia*

*breviflora*” con cuatro figuras, donde destaca en cobertura de protección el SN Humedal Costero Carrizal y SP Est. Río Huasco con un 100%. Luego el P15 “Matorral desértico mediterráneo interior de *Skytanthus acutus*/Atriplex desérticola” que alcanza a lo más tres figuras de protección donde la mayor cobertura de representatividad la tiene el Desierto Florido con un 53% (Figura 2-26).



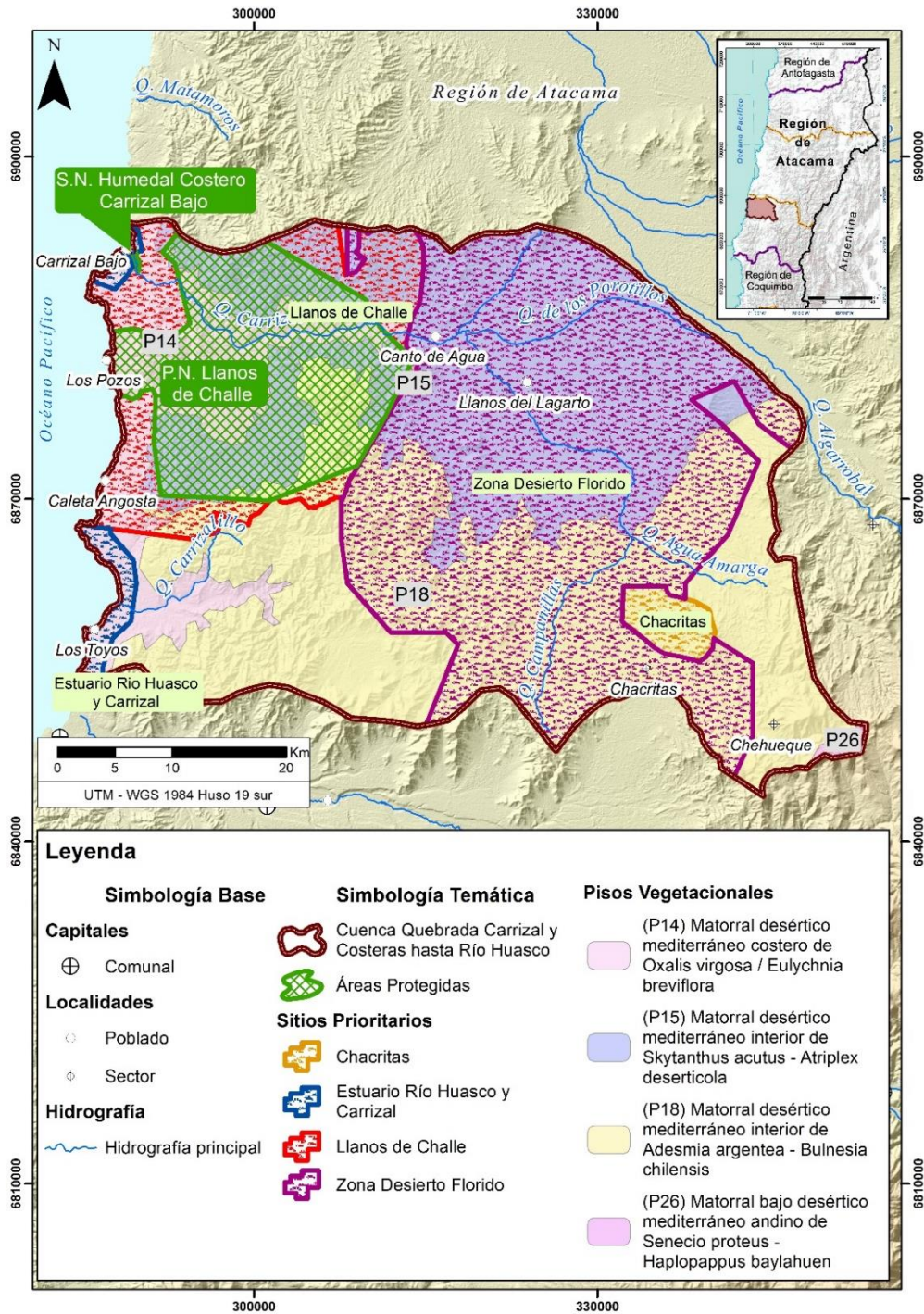
P: Piso vegetal

Fuente: MMA (2016).

### Figura 2-24: Áreas de protección total por piso vegetal

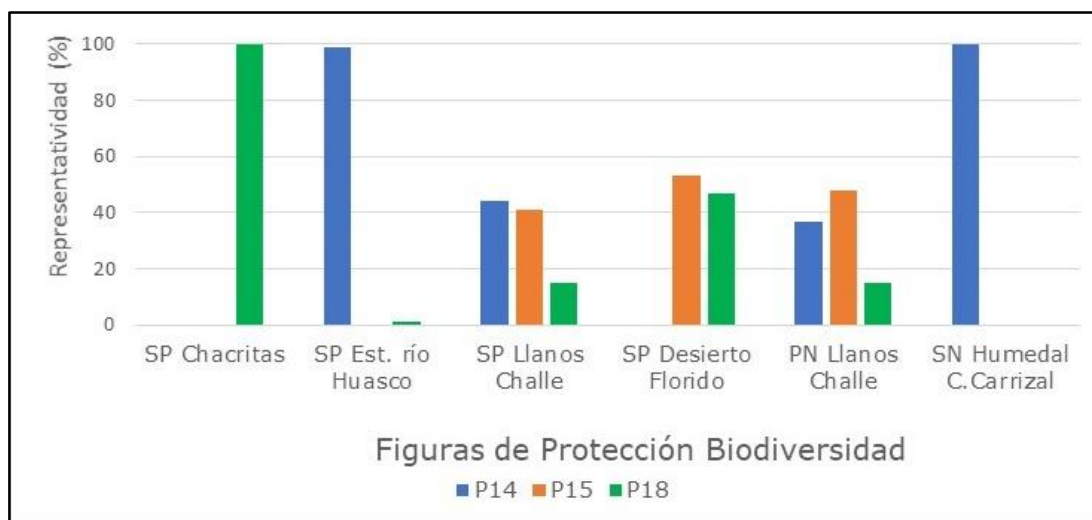
Se ha documentado que en general para esta región los ecosistemas protegidos alcanzan un 16,7% de superficie (Squeo *et al*, 2008), específicamente para humedales se informa un 7,7% (MMA, 2019a). A estas cifras habría que incorporar al menos dos nuevos aportes de esta cuenca que son el Santuario de la Naturaleza “Humedal costero Carrizal Bajo” decretado el año 2020 y el sitio prioritario Zona desierto Florido y estuario río Huasco y laguna Carrizal Bajo, decretado el año 2013.

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: Flora Costera del Norte de Chile (MMA, 2019b), Garra de León (MMA, 2020d), Chinchilla de Cola Corta (MMA, 2021a), y Golondrinas de Mar del Norte de Chile (MMA, 2022).



Fuente. Elaboración propia, basado en uso de dos capas de información: Sitios Prioritarios, MMA (2021c) y Pisos Vegetacionales, MMA (2016).

**Figura 2-25: Distribución de los sitios prioritarios y pisos vegetacionales de la cuenca Quebrada Carrizal y Costeras hasta río Huasco**



Fuente. Elaboración propia basada en MMA (2016) y MMA (2021c).

**Figura 2-26: Representatividad porcentual de pisos vegetacionales cubiertos por las figuras de protección para la cuenca Quebrada Carrizal y Costeras hasta río Huasco**

#### 2.3.4 Amenazas a la biodiversidad

La región de Atacama es de especial interés por constituir un hotspot de la biodiversidad a nivel mundial. Su alto endemismo y hábitats originales se ven muy impactados por la acción humana, acrecentada más aún por su sinergia con el cambio climático.

Es sabida la importancia de la biodiversidad para brindar los productos y servicios que proveen los ecosistemas conformando un sistema socioecológico. Más del 40% de la economía mundial y alrededor del 80% de las necesidades de la población del mundo derivan de la diversidad biológica.

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 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, 2022b) 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 (Sistemas de Saneamiento Rural), 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 el Art. 52 Bis (DFL MOP 382/88).

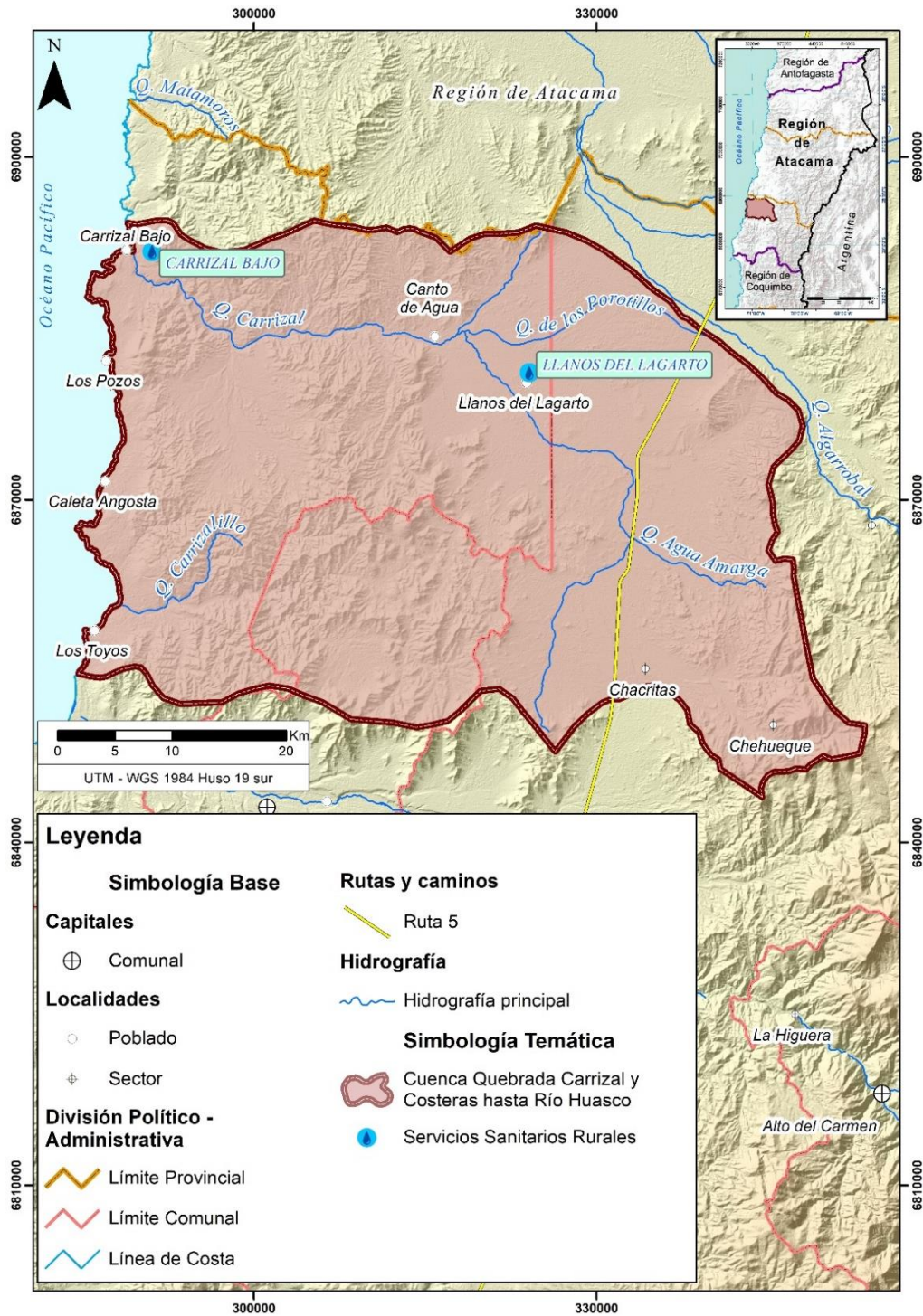
#### 2.4.2 Servicios Sanitarios Rurales

Usando como base el estudio DGA (2017a), además de lo informado en el "Observatorio de la Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico", se identificó 2 sistemas de SSR (ex APR, Servicios Sanitarios Rurales), con 388 beneficiarios al año 2017 en total. En la Tabla 2-18 se muestran las características de los sistemas concentrados en operación. La ubicación de estos sistemas se presenta 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. Esto constituye una brecha de información que debería ser resuelta.

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

<b>Nombre Sistema</b>	<b>Cuenca</b>	<b>Comuna</b>	<b>Año Puesta en Funcionamiento</b>	<b>Beneficiarios (estimación)</b>
Carrizal Bajo	Carrizal	Huasco	2002	296
Llanos del Lagarto	Carrizal	Huasco	2017	92

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



Fuente: Elaboración propia con antecedentes MOP: Observatorio de la Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico.

**Figura 2-27: Ubicación Servicios Sanitarios Rurales**

De acuerdo a DIRPLAN (2001), el proyecto corresponde a una planta de osmosis inversa que capta agua desde el acuífero, pero que dada su característica química debe ser tratada para transformarla a agua potable, captando hasta 12,2 l/s desde una fuente no identificada, cuyos derechos de agua a la fecha de presentación de la DIA estaban en trámite. El caudal máximo de producción de la planta es de 3,5 l/s.

Por otra parte, para Llanos del Lagarto, el sistema de abastecimiento fue construido en conjunto entre la DOH y el INDAP, entregando agua para riego y agua potable. No se logró identificar las características de esta obra, ya que el INDAP no facilitó la información solicitada formalmente en reunión de coordinación, lo que es una brecha de información.

#### 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

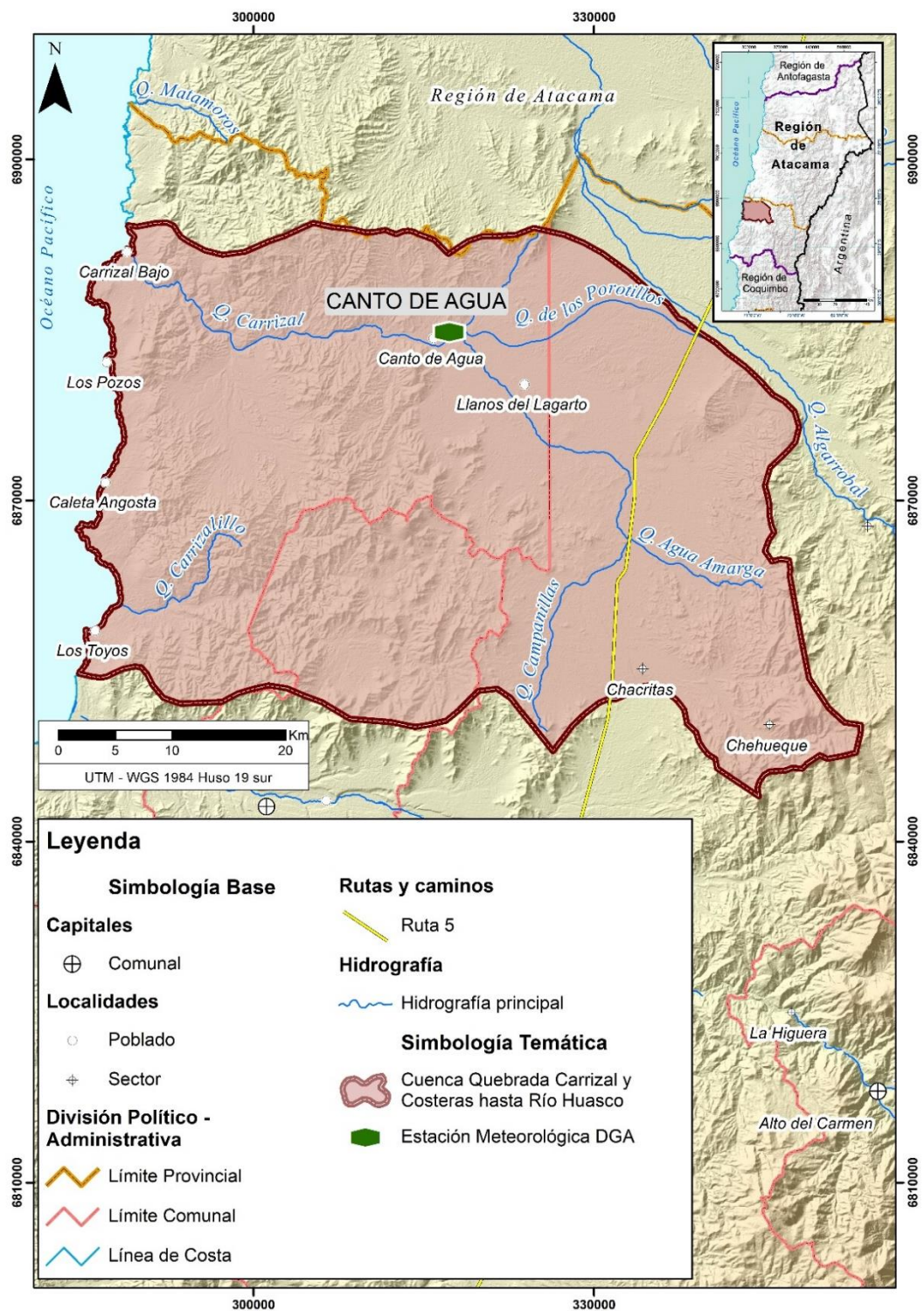
Para el territorio se identificó una estación, tal como se muestra en la Tabla 2-19, y su ubicación se presenta en la Fuente: **Elaboración propia con antecedentes BNA-DGA.**

#### 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)			
03701001-4	Canto de Agua	317.260	6.884.821	330	X	X

Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA-DGA.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes 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 6 pozos, donde 5 se encuentran 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.

**Tabla 2-20: Red de Niveles de pozos DGA**

#	Código BNA	Nombre	Coordenadas WGS 84 UTM 19S		Vigencia
			E (m)	N (m)	
1	03701003-0	Canto del Agua	311.720	6.885.112	Suspendida
2	03701007-3	Estación Algarrobal	338.965	6.887.012	Vigente
3	03701004-9	Milla Nueve	325.089	6.890.603	Vigente
4	03700001-9	Quebrada Porotillos	323.817	6.880.618	Vigente
5	03701002-2	Quebrada Tamarico	326.441	6.884.455	Vigente
6	03701005-7	Zanjón	321.999	6.887.645	Vigente

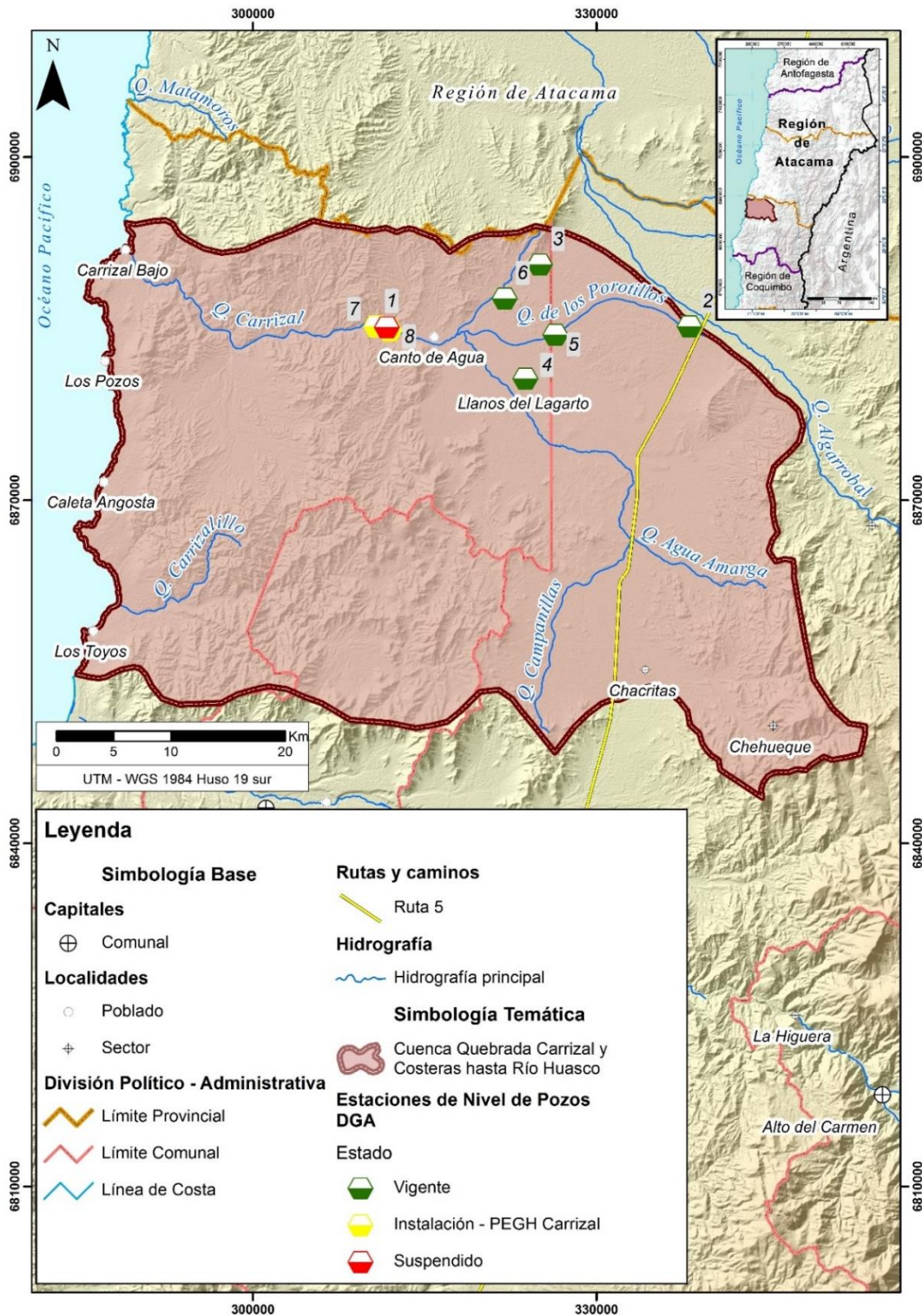
Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA-DGA.

En forma adicional, y como parte del PEGH se perforaron 2 piezómetros 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: Sondajes nuevos**

#	Código BNA	Nombre	Coordenadas WGS 84 UTM 19S		Vigencia
			E (m)	N (m)	
7	-	SC-1	310.785	6.885.215	Instalado
8	-	SC-2	311.952	6.884.852	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 Calidad de Aguas

Dado que no hay cursos superficiales permanentes, no hay estaciones 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 Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA-DGA.

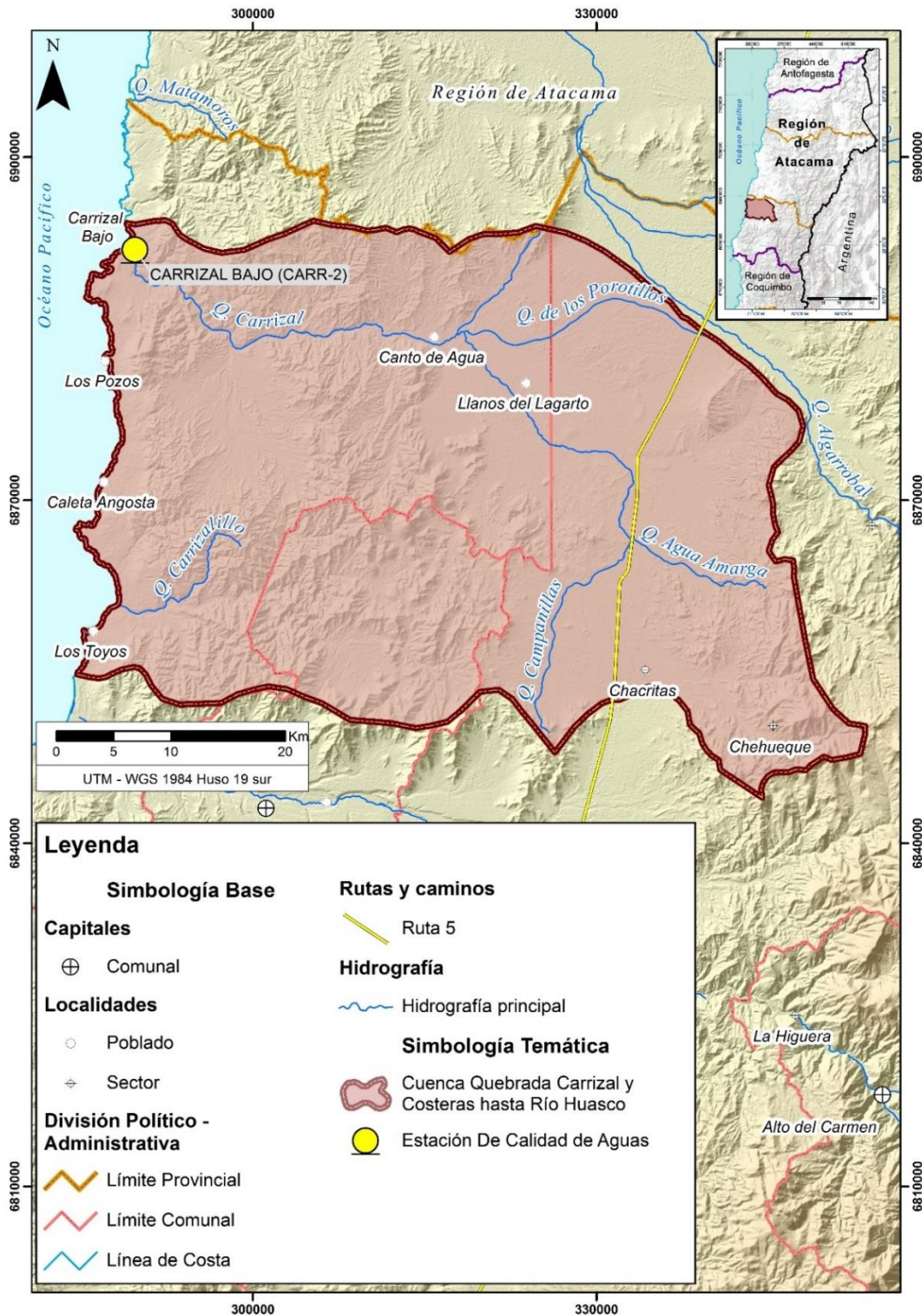
Figura 2-30. Se hace notar que aunque la estación Pozo Estación Algarrobal se encuentra fuera de la cuenca, permite caracterizar lo que ocurre en el territorio, por lo que se considera como parte de esta cuenca.

**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
03701008-1	Carrizal Bajo	289.694	6.891.870	Vigente	S/I

Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA-DGA.

Para la estación Carrizal Bajo no existe información, ya que entró en servicio en Mayo 2022.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA-DGA.

**Figura 2-30: Estaciones de calidad de aguas**

#### 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 km<sup>2</sup> 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 km<sup>2</sup>/estación. Dado que en la cuenca hay una sola estación, se determina una densidad de 2.415 km<sup>2</sup>/estación, lo que está acorde con lo establecido, por lo que con el fin de caracterizar la cuenca no se requieren cambios.

El análisis de la distribución territorial de estaciones fluviométricas 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 km<sup>2</sup>/estación. El análisis a nivel de subcuencas en base a la división por sectores establecida por el BNA se detalla en la Tabla 2-24.

Los resultados indican que no se cumple la densidad mínima sugerida por la OMM para la cuenca, ya que actualmente no existen estaciones fluviométricas. En consecuencia, se recomienda instalar al menos tres estaciones fluviométricas en los siguientes sectores de interés, cuya ubicación se muestra en la Figura 2-31:

- En quebrada Carrizal: aguas arriba del humedal de Carrizal y en la desembocadura de la subcuenca (sector de Canto de Agua), aguas arriba del humedal costero de Carrizal.
- En quebrada Carrizalillo: en la desembocadura de la subcuenca.

Se hace notar que son quebradas de flujo eventual, pero que en condiciones de crecida pueden tener caudales de importancia.

**Tabla 2-24: Índice de Densidad Estaciones Fluviométricas Calculado**

Subcuenca	Cantidad Estaciones		Área cuenca (km <sup>2</sup> )	Densidad (km <sup>2</sup> /estación)	
	Vigentes	Adicionales		Actual	Esperada
Quebradas Carrizal y Carrizalillo	0	3	2.415	N/A	805

Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA-DGA.

El análisis de la distribución territorial de estaciones de calidad de aguas DGA sigue los mismos lineamientos que el presentado en la Tabla 2-23, aunque para este caso hay que usar la densidad sugerida para estaciones de calidad de agua, definido como 20.000 km<sup>2</sup>/estación. El resultado del análisis mostrado en la Tabla 2-25, se muestra que es necesario instalar una estación, cuya ubicación se propone en conjunto con la estación fluviométrica ubicada en el sector de Canto de Agua, y que se muestra en la Figura 2-31.

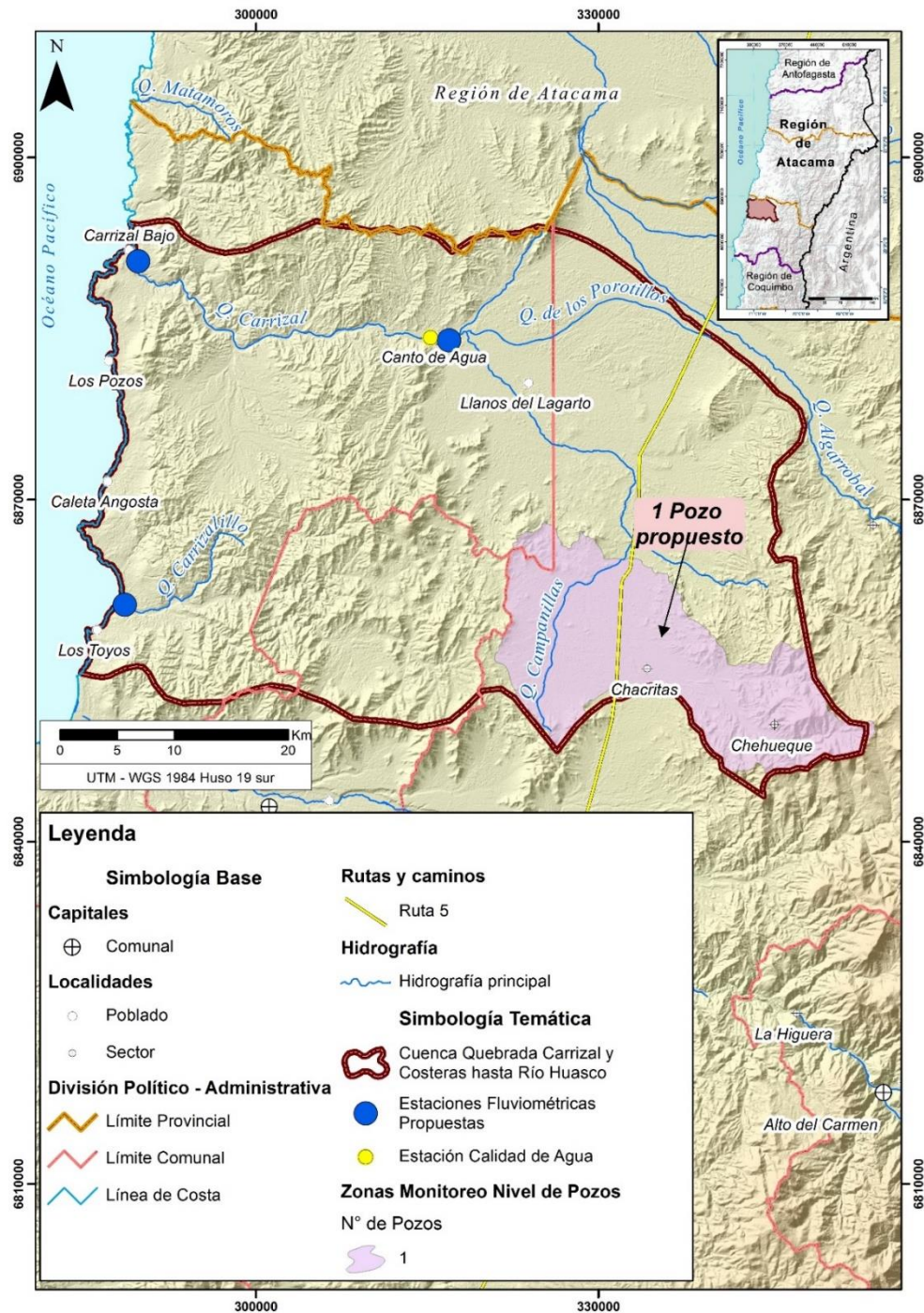
**Tabla 2-25: Índice de Densidad Estaciones de calidad de aguas Calculado**

Subcuenca	Cantidad Estaciones		Área cuenca (km <sup>2</sup> )	Densidad (km <sup>2</sup> /estación)	
	Vigentes	Adicionales		Actual	Esperada
Quebradas Carrizal y Carrizalillo	0	1	2.415	N/A	2.415

Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA-DGA.

Para determinar la representatividad de las redes de monitoreo de aguas subterráneas, se usa el índice recomendado por la Agencia Europea del Medioambiente (EEA, por sus siglas en inglés), que aconseja la instalación de un punto de monitoreo por cada 20 o 25 km<sup>2</sup> (EEA, 2008). Considerando sólo el área que contiene el cuerpo acuífero en la cuenca (484,3 km<sup>2</sup>) y las estaciones vigentes, se determina una densidad actual de 96,9 km<sup>2</sup>/estación, incumpliendo con la densidad mínima sugerida a nivel de cuenca. En

razón que el umbral propuesto no es un estándar definido, se consideró un valor 3 veces superior (75 km<sup>2</sup>/estación). Este análisis se muestra en la Tabla 2-26.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 2-31: Estaciones de monitoreo propuestas**

**Tabla 2-26: Índice de Densidad Estaciones de Niveles Calculado**

Subcuenca	Cantidad Estaciones			Área Acuífero cuenca (km <sup>2</sup> )	Densidad (km <sup>2</sup> /estación)		
	Vigentes	Propuestas			Vigentes	Propuestas	
		d=25	d=75			d=25	d=75
Quebradas Carrizal y Carrizalillo	5	20	7	484,3	96,9	24,2	69,2

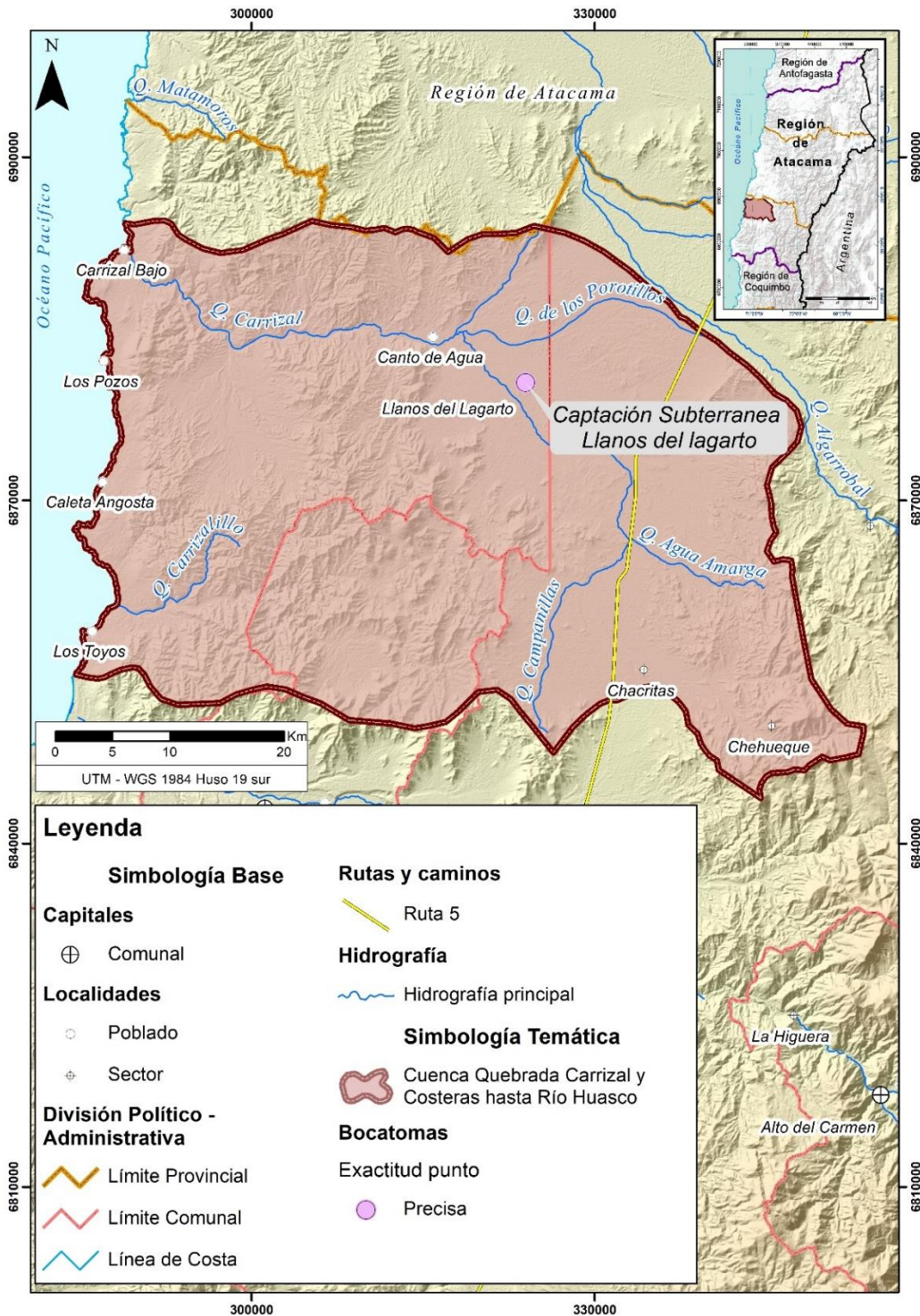
Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA-DGA.

En consecuencia, se recomienda instalar al menos dos nuevas estaciones de niveles de pozos. Ahora bien, tal como se indicó en el acápite 2.4.3.3, como parte de este trabajo se instalaron 2 piezómetros en la zona de Llanos del Challe, por lo que se propone agregar una estación en la zona del SHAC Llano de Chacritas. El detalle de la ubicación aproximada se presenta en la Figura 2-31.

Para calidad de aguas subterráneas, 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, donde existe un sistema mixto de abastecimiento de agua subterránea para riego y agua potable en Llanos del Lagarto. La ubicación de este sistema se presenta en la Figura 2-32. En el territorio se identificó un número importante de obras de riego intrapredial financiadas por INDAP, pero cuyas características no fueron facilitadas por INDAP, por lo que corresponde a una brecha de información, debido a problemas de coordinación inter-institucional.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes INDAP.

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

---

## 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 et al. (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:

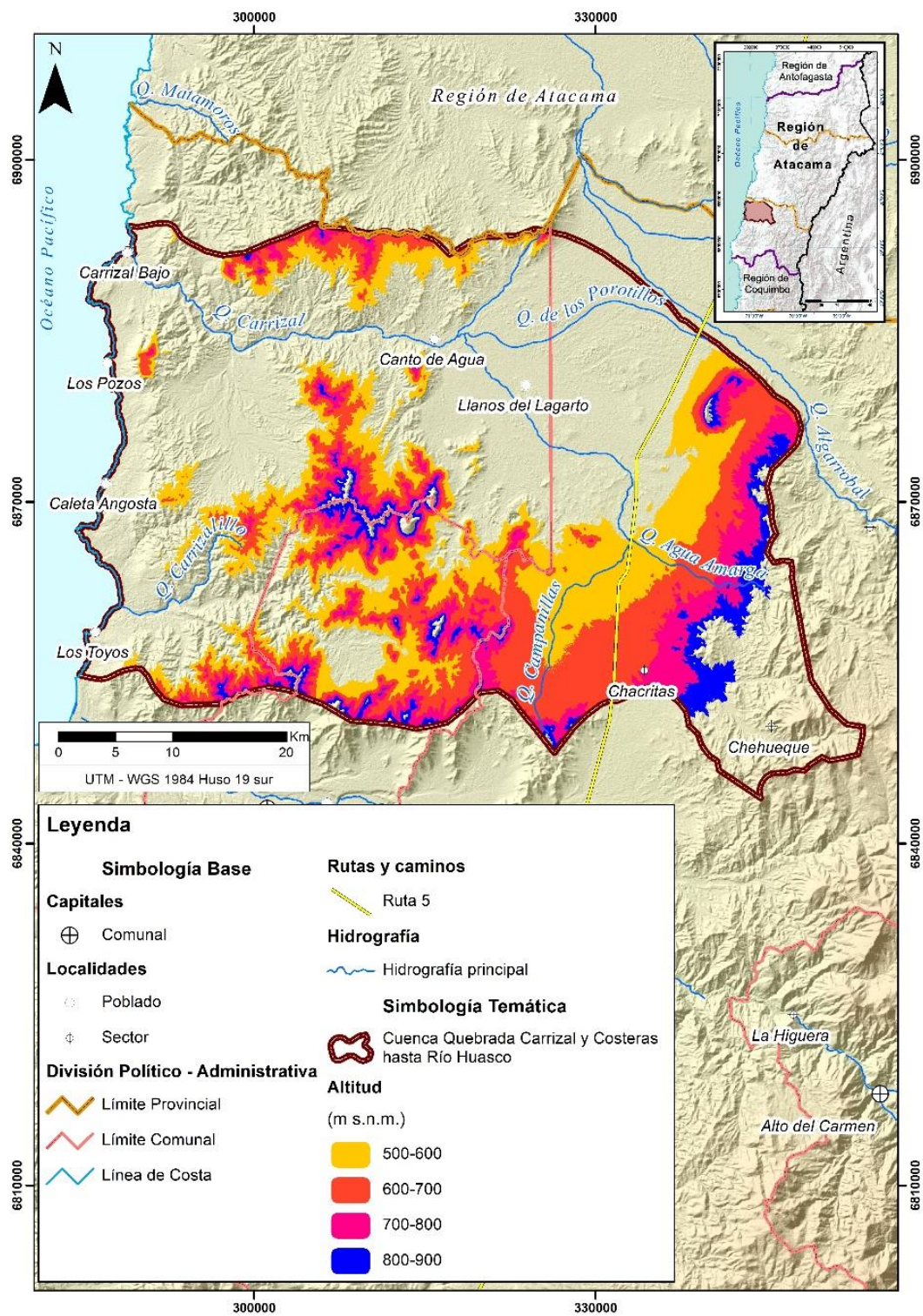
1. Altitud: 500 m s.n.m.-900 m s.n.m., mostrada en la Figura 2-33
2. Pendiente: 0°-30°, según se muestra en la Figura 2-34
3. Orientación de laderas: 180°-360°, que se observa en la Figura 2-35
4. Distancia de la línea de costa: Se analizó el territorio en una distancia no mayor a 40 km, mostrada en 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 poblados como Carrizal Bajo, Los Pozos y Caleta Angosta están en promedio a 4 km de distancia, tal como se muestran en la Figura 2-37.

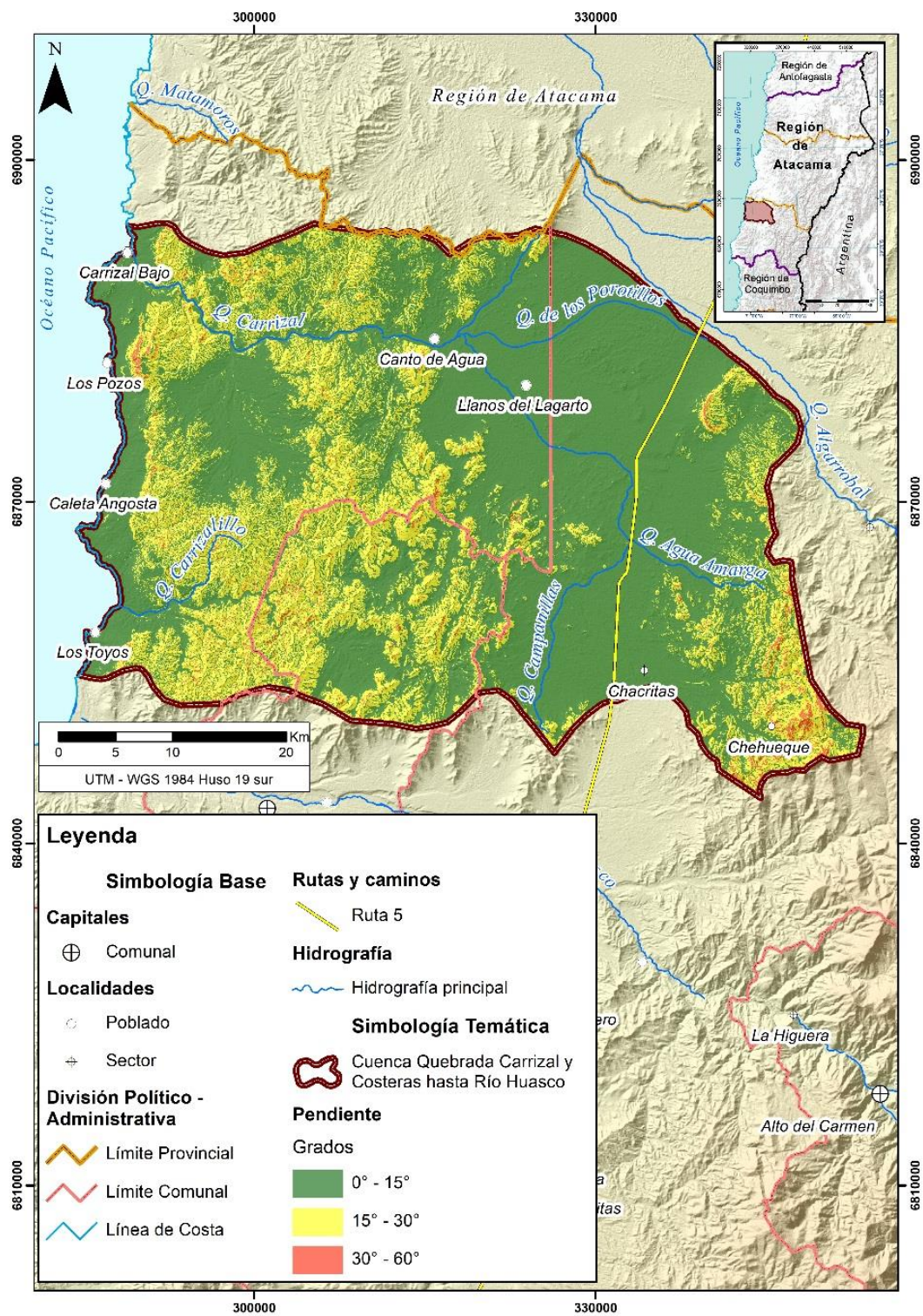
Las otras zonas de intersección de variables se encuentran muy lejos de algún poblado o muy distantes de la línea de costa, por lo que se estima que geográficamente no es factible el uso de esta fuente de agua, aunque se debería realizar estudios específicos en el territorio antes de descartar completamente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

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



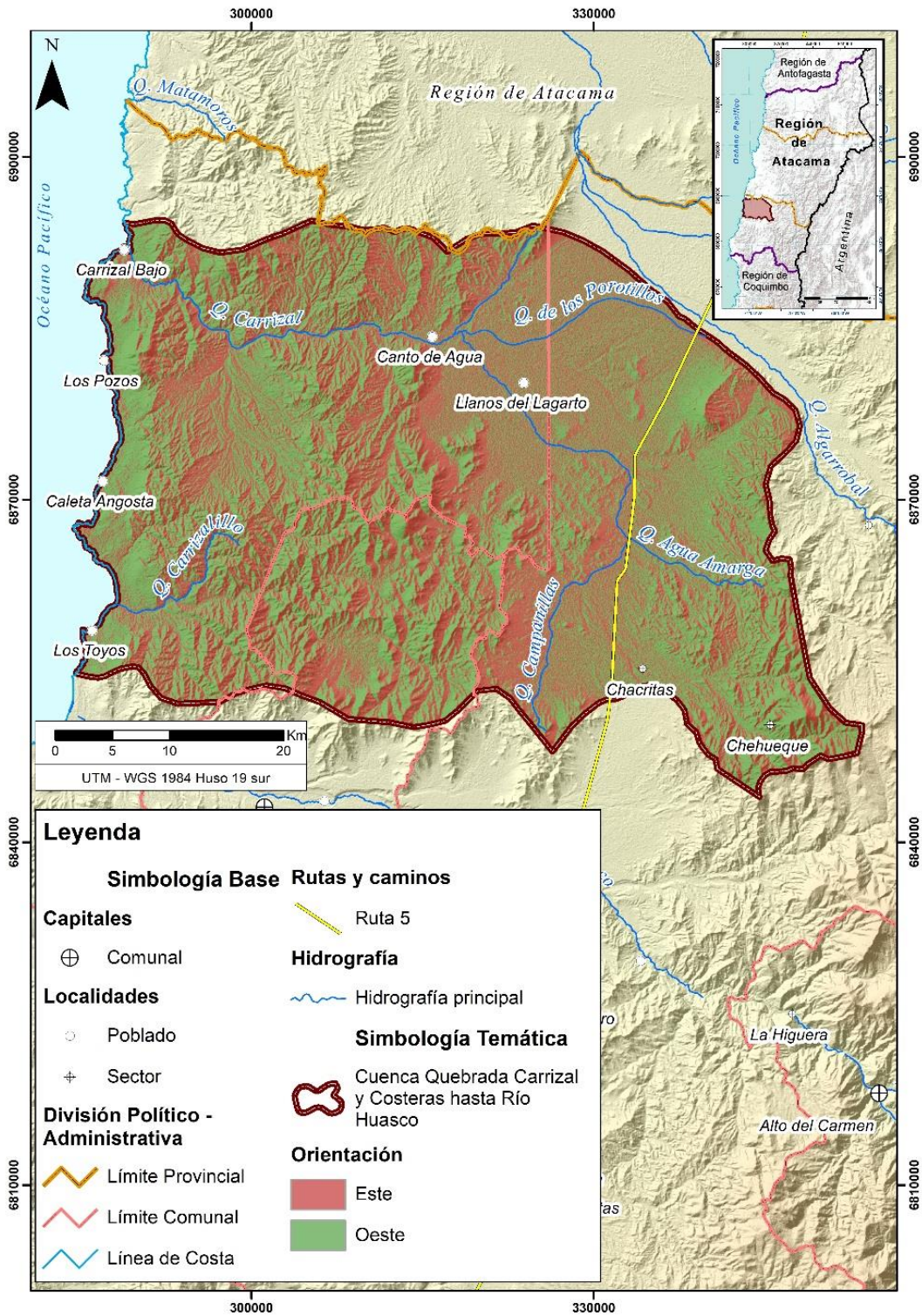
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 2-33: Franjas de Altitud**



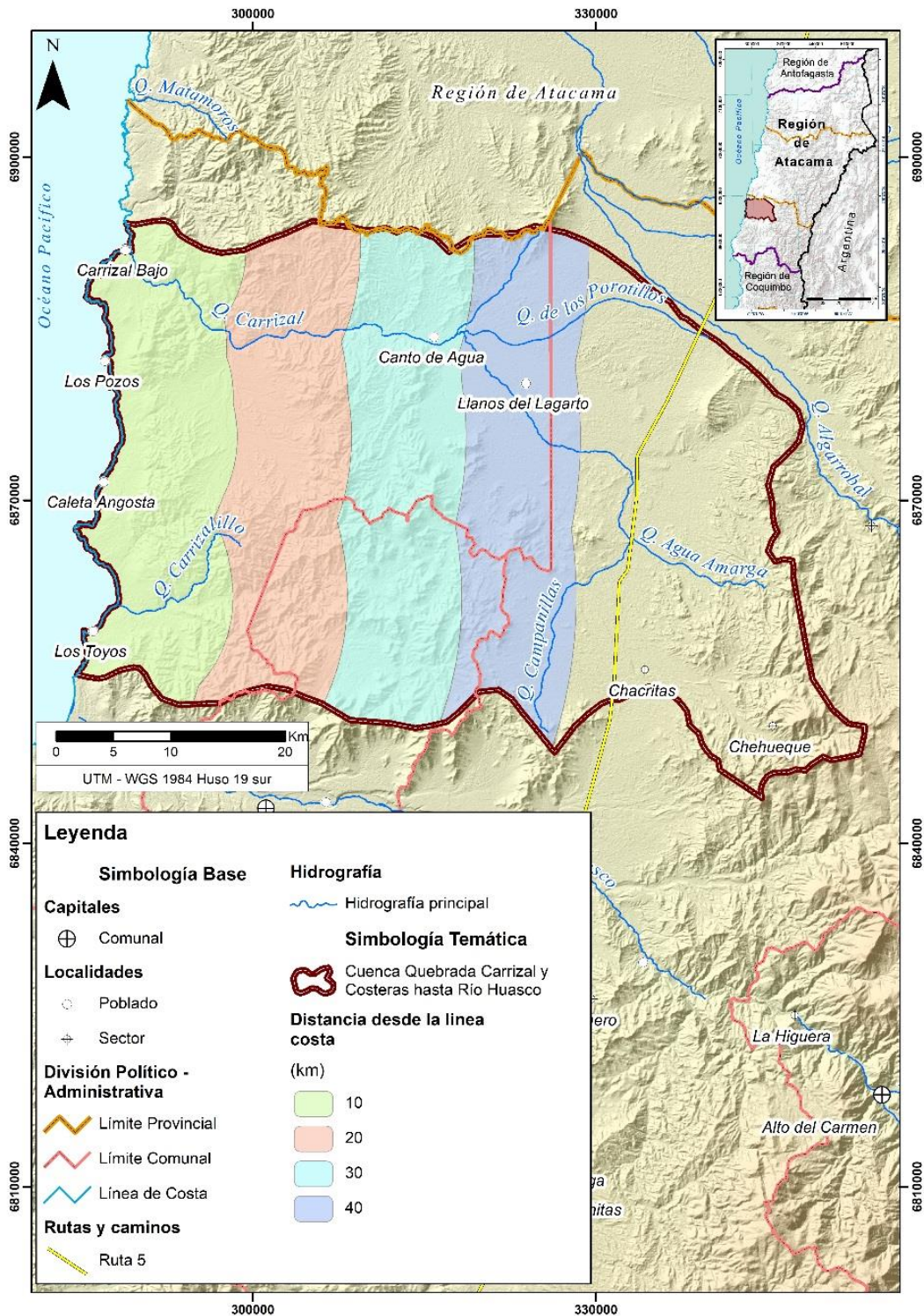
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 2-34: Clasificación de pendientes**



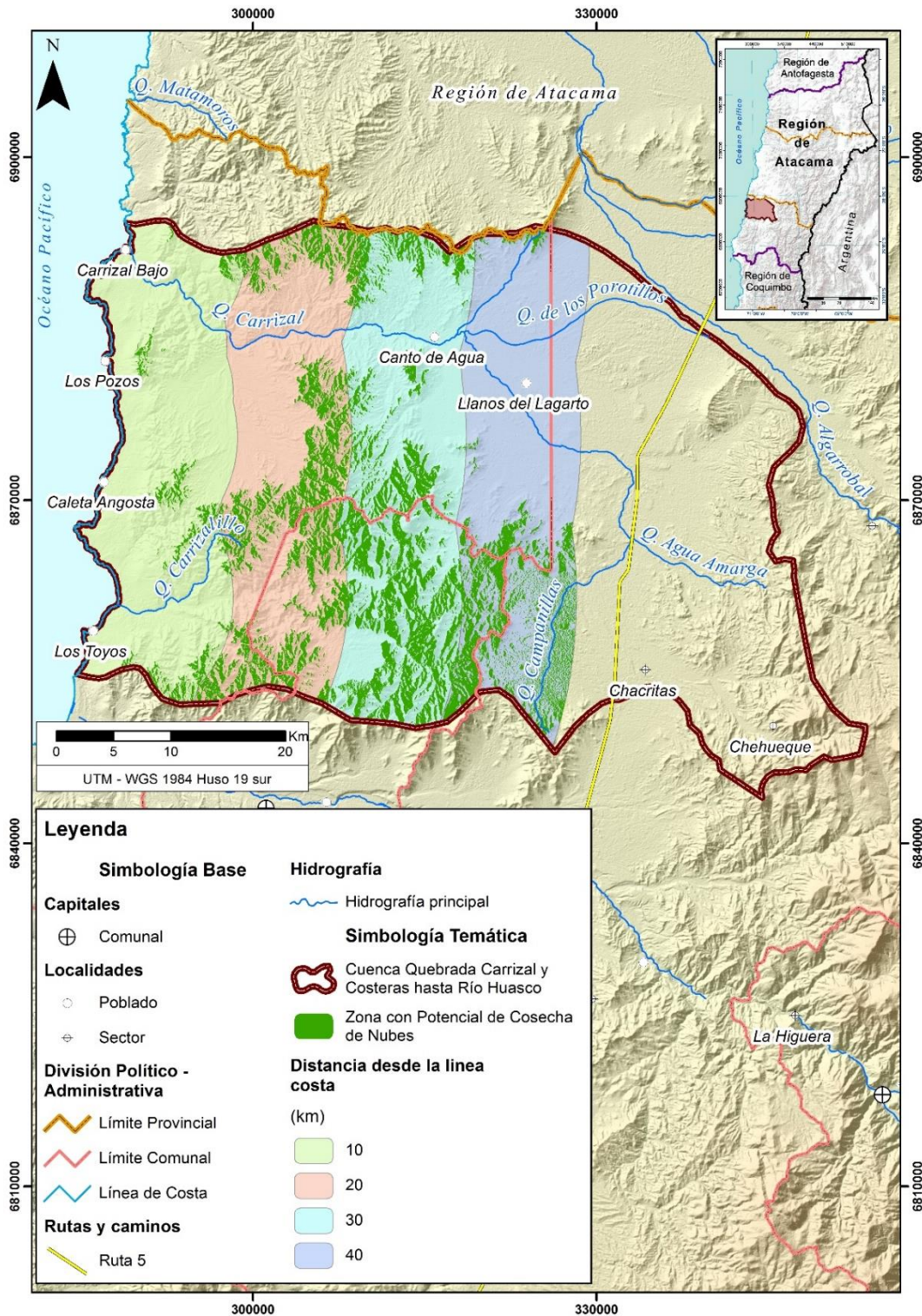
Fuente: Elaboración propia.

**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**

---

### 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 SEIA, 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.

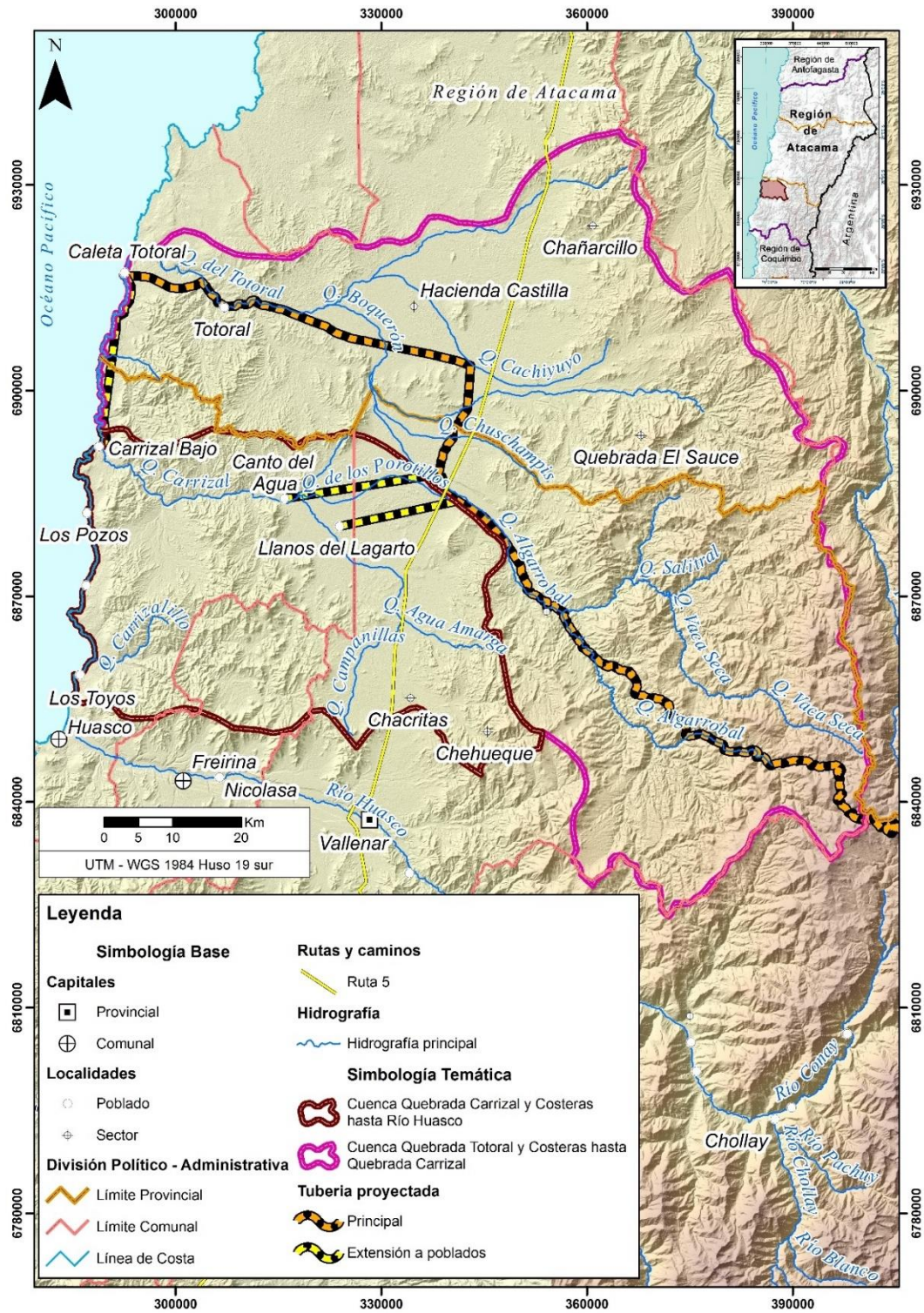
A modo de ejemplo, en la Figura 2-38 se muestra el desarrollo de la tubería del proyecto minero El Morro (SCMEM, 2008), que fue diseñado para captar hasta 740 l/s, requiriéndose para la faena minera 640 l/s, es decir hay 100 l/s de excedente. A modo referencial, para llevar el agua a Carrizal Bajo se requerirían adicionalmente cerca de 27 km de tubería, 18 km para llevar agua a Llanos del Lagarto y 23 km hasta Canto de Agua.

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.

La idea 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 reuso de aguas grises para riego de algunos cultivos permitidos. En todo caso, no se identificó este tipo de solución aplicada en el territorio, aunque su implementación es parte del PEGH Carrizal.

## **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 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 propuesta en el PEGH.
- D.** Relaciones conflictivas: Corresponde a actores que expresaron su desacuerdo, expresiones negativas y dificultades en la relación con otros actores.
- E.** Relaciones colaborativas directas: Corresponde a actores que, por las funciones establecidas para la gestión del agua, trabajan habitualmente.
- F.** Relaciones mixtas (colaboración y conflicto): Corresponde a actores que por funciones establecidas deben generar vínculos de colaboración, pero también existen conflictos en dichas vinculaciones.

A continuación, se identifican los acrónimos que podrán encontrarse en el Mapa de Actores:

#### 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 \*\*
  - COMAG Comunidades de Aguas
  - CONADI Corporación Nacional de Desarrollo Indígena \*
  - 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 \*\*
  - 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
  - MMA Ministerio de Medio Ambiente
  - MINVU Ministerio de Vivienda y Urbanismo
  - 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.

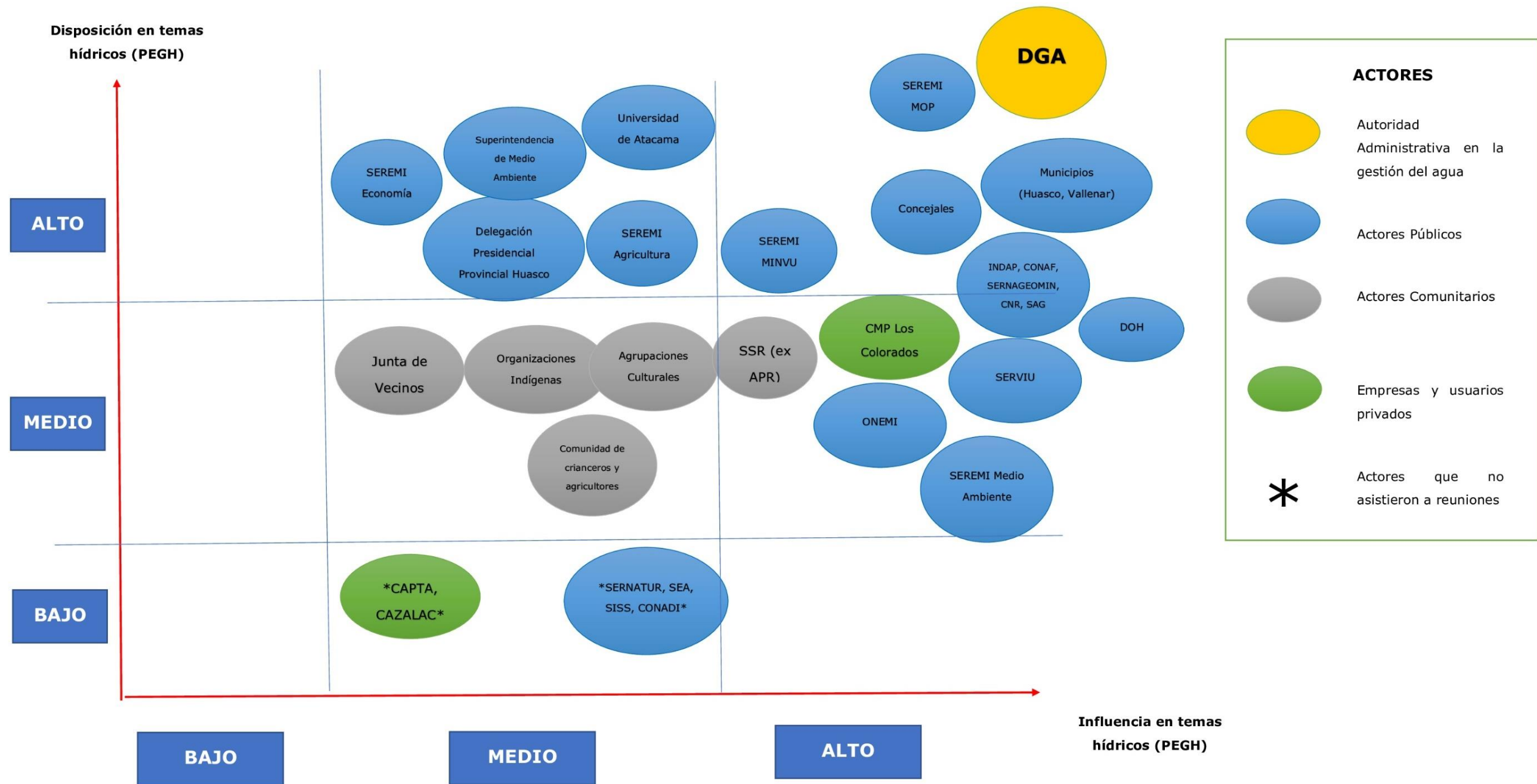
La DOH también es un actor considerado con una alta influencia, ya que se espera que realice un trabajo colaborativo directo con la DGA, entendiendo sus funciones en relación con los SSR (ex APR). En el desarrollo del presente estudio tuvo una mediana disposición.

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 (Huasco, Vallenar). 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.

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. Como se ha manifestado en las reuniones de participación ciudadana, las comunidades no mantienen una relación fluida con algunos organismos estatales, ya que indican que constantemente presentan problemas con el recurso hídrico y no han tenido soluciones por años. Aquello, permite comprender que tanto los SSR, como las Juntas de Vecinos, comunidades Indígenas, Agrupaciones Culturales y las Comunidades de Crianceros y Agricultores, tendrían una disposición más bien media para con el estudio.

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, mantienen una desconfianza hacia la institucionalidad estatal (DGA), y por ende, se ubicarían con una mediana disposición.

Un actor que se ubica con un grado alto de influencia es la empresa minera CMP, cuya mina Los Colorados, ubicada en la comuna de Huasco, cerca de Carrizal Bajo, Llanos del Lagarto, Los Pozos, Los Toyos y Caleta Angosta, tendría una mediana disposición con el proyecto, ya que se pudo concretar una entrevista con sus representantes y han facilitado información, pero no han participado de ninguna otra reunión de participación ciudadana. Cabe destacar también que ellos financian con un camión aljibe la entrega de agua potable hacia una comunidad del área de estudio.

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*

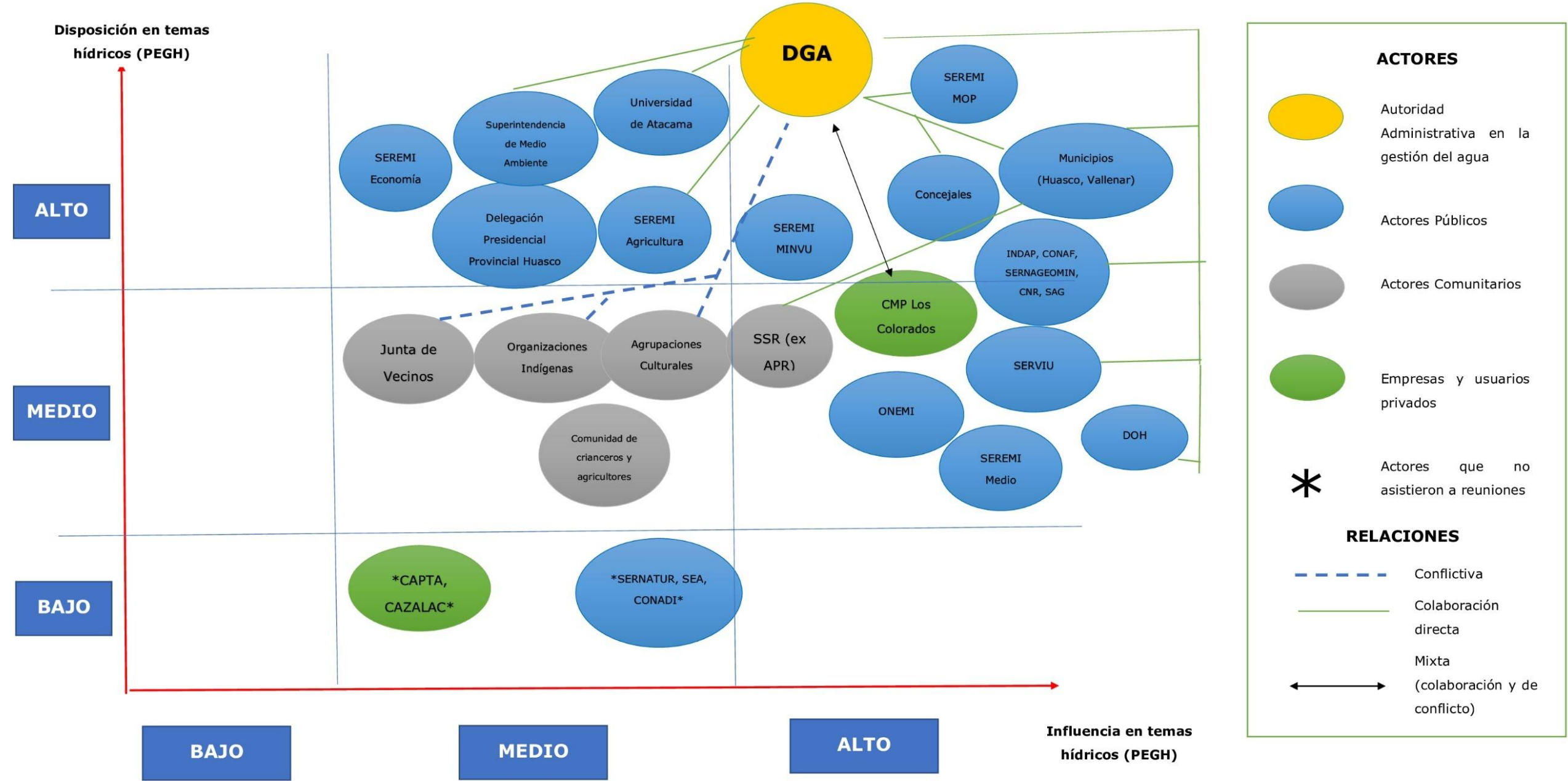
Para avanzar en el análisis de los actores, en la Figura 2-40, se representa la dinámica de relación entre algunos actores sociales e institucionales, públicos y privados que son susceptibles de interés para el estudio en la cuenca Quebrada de Carrizal y Costeras hasta Río Huasco. A partir de la información 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, SSR, Organizaciones Indígenas, entre otras, no mantienen una muy buena relación con organismos estatales, específicamente con la DGA, debido a los conflictos que han tenido en el pasado y el problema crítico que se vive con respecto al recurso hídrico en la región en general<sup>1</sup>. Esto se ve reflejado en los relatos de los asistentes, ya que mencionan, la desconfianza de las comunidades hacia el actuar del Estado (DGA) en materia hídrica.

---

<sup>1</sup> La relación conflictiva de la DGA con las localidades y organizaciones se explica por el tipo de relación, vinculación e inserción de la DGA en el área de estudio. La molestia de los dirigentes y vecinos se resume en la baja frecuencia de las visitas a terreno de los funcionarios de la DGA, la modalidad de realizar las denuncias (vía internet), la percepción de una baja fiscalización y la demora/dilación de una respuesta a los problemas que dichas organizaciones le han 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 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.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 2-40: Mapa de Actores-Relaciones**

Por otra parte, se puede destacar una relación de cooperación entre las municipalidades del área de estudio (Vallenar y Huasco) 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.

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.

## 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 2-27 se indica el nombre de la problemática y su descripción.

**Tabla 2-27: Problemáticas y su descripción**

<b>Problemática</b>	<b>Descripción</b>
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)

<b>Problemática</b>	<b>Descripción</b>
Deterioro ambiental en las fuentes de agua	Contaminación de Humedal en Carrizal Bajo. Debido a problemas de putrefacción, la fauna se ha ido extinguiendo
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
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, reuso 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.

El detalle de las reuniones de presentación se encuentra en el Anexo I, Acápito 5.2

#### 2.6.2.2 Reuniones Intermedias (talleres)

Los talleres intermedios realizados fueron 4. Por el COVID-19 2 talleres se realizaron de forma virtual y 2 en forma presencial. En la Tabla 2-28 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. El detalle de las Reuniones Intermedias (talleres) se encuentra en el Anexo I, Acápito 5.4.

A partir de la Tabla 2-28, 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, mas 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, académico y privado.

**Tabla 2-28: Resultados Priorización de problemáticas**

<b>Problemática</b>	<b>Total</b>
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 en el manejo 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 DAA; 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 2-29 se enumeran las problemáticas que adicionalmente se presentaron en los talleres.

**Tabla 2-29: Problemáticas adicionales identificadas**

<b>N°</b>	<b>Nombre del problema</b>
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
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) considerando las dinámicas que existen
5	Uso de agua no regulado ni cuantificado, amparado en el artículo 56 del Código de Aguas para uso doméstico y de subsistencia
6	Comunidad de Canto de Agua informa sobre preocupación por ocupación de la Vega del sector por parte de privados
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	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
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	El impacto negativo de la minería a gran escala aguas arriba de la cuenca
14	Baja prioridad política para implementar programas y planes de intervención y mejoramiento en comunidades rurales
15	La existencia del decreto de restricción que divide la cuenca de Totoral
16	Inadecuada Ubicación de lo SSR (Distribución SSR)
17	Existencia 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 5. Por el COVID-19, 3 talleres se realizaron de forma virtual y 2 en forma presencial. En la 2-30 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 PAC Apéndice 8.

**Tabla 2-30 Reuniones Finales**

<b>Nombre reunión</b>	<b>Fecha</b>	<b>Temas Relevantes</b>
Reunión Final unificado con Comunidades Carrizal Bajo, Llanos del Lagarto, Los Pozos, Los Toyos, Caleta Angosta	10-05-2022	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se resalta la importancia de fomentar las fiscalizaciones de la DGA.</li><li>• Se comenta la relevancia de impulsar la constitución de comunidades de agua.</li></ul>
Reunión Final con Funcionarios Públicos, Municipales, Autoridades y Universidades	11-05-2022	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se destaca la importancia del monitoreo, seguimiento y/o evaluación del plan, enfatizando en la necesidad de especificar responsabilidades profesionales e institucionales.</li><li>• 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.</li><li>• Se subraya la propuesta relativa a fomentar nuevas comunidades de agua subterránea.</li><li>• Se alude a la importancia de las iniciativas relativas el mejoramiento de SSR en razón de las demandas de la comunidad.</li><li>• Se comenta que la región debe ser incluida en la red hidrometereológica nacional para combatir los problemas de falta de información.</li><li>• Se expresa la disponibilidad de INIA para participar de manera más activa en el plan.</li></ul>
Reunión Final con Actores Privados (Agrogénesis, Hacienda Castilla, Mina Los Colorados)	11-05-2022	<ul style="list-style-type: none"><li>• 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.</li><li>• Se expresa la preocupación respecto a los cambios del Código de Aguas.</li><li>• 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.</li></ul>

Nombre reunión	Fecha	Temas Relevantes
Reunión Final con Comunidad Totoral	13-05-2022	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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.</li> <li>• 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.</li> <li>• Se hace referencia a la propuesta sobre la constitución de Consejos de Cuenca, enfatizando en la metodología a utilizar para su instalación y funcionamiento.</li> <li>• 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.</li> <li>• Se aborda la exigencia de la instalación de medidores en el marco de la norma de monitoreo de extracciones efectivas.</li> <li>• 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.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

### 2.6.3 Brechas de coordinación

Se identificaron las siguientes brechas entre organizaciones públicas:

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.

- 3. Coordinación Político-Administrativa Municipalidad de Freirina:** Se ha identificado una brecha, específicamente con la Municipalidad de Freirina, ya que administrativamente está incorporada dentro del Plan, pero territorialmente no, pues el porcentaje involucrado en las cuencas es demasiado pequeño. Por ello, ha quedado la interrogante en el Municipio y sus funcionarios, en cuanto a su participación en las actividades PAC, debido a que su territorio se involucra menormente en el Plan, no visualizando el aporte que podrían realizar. Sin embargo, Freirina colinda con las comunas que sí se involucran más fuertemente en el Plan y se han mencionado (en las mismas reuniones de presentación) los trabajos colaborativos entre la Municipalidad de Freirina y la Municipalidad de Huasco, por lo que se considera que la Municipalidad de Freirina sí podría aportar con ideas, sugerencias y/o comentarios hacia el Plan.

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 km<sup>2</sup>/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 las cuencas no existen 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 donde 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 efectivas<sup>2</sup> en consideración a los estándares y plazos establecidos en las Resoluciones D.G.A. 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

---

<sup>2</sup> <https://snia.mop.gob.cl/observatorio/>

---

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 mas bien genérica, y extrapolada al territorio.

**8. Falta de información de turismo:** Dada las características de aislamiento que tiene la zona, la información referente a turismo es escasa. Principalmente guarda relación con los paisajes naturales como playas, humedales y desierto florido, pero la información referente a estos sitios guarda relación con la ocurrencia del fenómeno (desierto florido) o por problemas relacionados con la población flotante que visita estos lugares. De esta manera, la información disponible es descriptiva y se enmarca en informes regionales de la oferta turística. Por otro lado, los datos referentes al desierto florido no detallan sectores en específico y este fenómeno excede los límites de la cuenca.

---

### **3 DEMANDA FÍSICA Y LEGAL DIFERENTES USOS**

En este capítulo se presenta una caracterización de las diferentes demandas de agua existentes en la cuenca, siendo estas de uso humano, agrícola, minería, pecuaria y necesidades mínimas ambientales. También se presenta información relativa al mercado de aguas.

#### **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 clientes 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, existen 2 SSR en el territorio. En forma adicional, se identificaron varios sistemas que se abastecen con camiones aljibe. En la Tabla 3-1 se resume la información disponible: tipo sistema, beneficiarios 2021 y tasa de crecimiento. Para este último valor existen diferentes fuentes de información. Para Llanos del Lagarto se calculó con antecedentes entregados por la directiva del SSR, y para los restantes servicios se usaron las recomendaciones del manual DOH. Para proyectar la demanda a nivel de usuario, se considera una dotación de 100 l/hab/día, y para los sistemas abastecidos por camiones aljibe de 80 l/hab/día, siguiendo las recomendaciones DOH (2019).

Se debe hacer notar que en las reuniones PAC se informó que existe una importante población flotante durante el verano y en otras ocasiones del año, llegando a triplicarse, por lo que en la actualidad el sistema no tiene capacidad de entregar agua a todos los usuarios no permanentes.

En base a los antecedentes de la Tabla 3-1 se prepara la proyección de población que se presenta en la Tabla 3-2. Se destaca que DIRPLAN (2001) proyecta una población de 2.149 habitantes al año 2021 (horizonte del diseño), es decir, en la situación actual o año base de la evaluación existe un déficit de cerca de 1.350 habitantes, ya que la estimación actual es cercana a 3.500 habitantes. Posteriormente, en la Tabla 3-3 se muestra la demanda anual por localidad.

Las proyecciones desarrolladas se presentan en el Anexo J-07.

**Tabla 3-1: Antecedentes Demandas de Agua**

Nombre Sistema	Tipo	Beneficiarios 2021	Tasa de Crecimiento	
			Valor	Fuente
Carrizal Bajo	SSR	296	4,0%	Manual DOH
Llanos del Lagarto	SSR	128	6,8%	Cálculo con antecedentes recopilados
Los Pozos	Aljibe	30	4,0%	Manual DOH
Caleta Angosta	Aljibe	30	4,0%	Manual DOH
Los Toyos	Aljibe	30	4,0%	Manual DOH

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3-2: Proyección de población (mes de máxima demanda)**

Año	Carrizal	Llanos del Lagarto	Los Pozos	Caleta Angosta	Los Toyos	Total
2021	3.498	336	30	30	30	3.924
2022	3.501	339	31	31	31	3.933
2023	3.504	342	32	32	32	3.942
2024	3.507	345	33	33	33	3.951
2025	3.510	348	34	34	34	3.960
2026	3.513	351	35	35	35	3.969
2027	3.516	354	36	36	36	3.978
2028	3.519	357	37	37	37	3.987
2029	3.522	360	38	38	38	3.996
2030	3.525	363	39	39	39	4.005
2031	3.528	366	40	40	40	4.014
2032	3.531	369	41	41	41	4.023
2033	3.534	372	42	42	42	4.032
2034	3.537	375	43	43	43	4.041
2035	3.540	378	44	44	44	4.050
2036	3.543	381	45	45	45	4.059
2037	3.546	384	46	46	46	4.068
2038	3.549	387	47	47	47	4.077
2039	3.552	390	48	48	48	4.086
2040	3.555	393	49	49	49	4.095
2041	3.558	396	50	50	50	4.104
2042	3.561	399	51	51	51	4.113
2043	3.564	402	52	52	52	4.122
2044	3.567	405	53	53	53	4.131
2045	3.570	408	54	54	54	4.140
2046	3.573	411	55	55	55	4.149
2047	3.576	414	56	56	56	4.158
2048	3.579	417	57	57	57	4.167
2049	3.582	420	58	58	58	4.176
2050	3.585	423	59	59	59	4.185

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3-3: Demandas a Nivel de Usuario (m<sup>3</sup>/año)**

<b>Año</b>	<b>Carrizal Bajo</b>	<b>Llanos del Lagarto</b>	<b>Los Pozos</b>	<b>Caleta Angosta</b>	<b>Los Toyos</b>	<b>Total</b>
2021	103.687,4	11.152,8	876,0	876,0	876,0	117.585,0
2022	103.787,8	11.264,3	905,2	905,2	905,2	117.884,5
2023	103.888,1	11.375,8	934,4	934,4	934,4	118.184,0
2024	103.988,5	11.487,4	963,6	963,6	963,6	118.483,5
2025	104.088,9	11.598,9	992,8	992,8	992,8	118.783,0
2026	104.189,3	11.710,4	1.022,0	1.022,0	1.022,0	119.082,5
2027	104.289,6	11.821,9	1.051,2	1.051,2	1.051,2	119.382,0
2028	104.390,0	11.933,5	1.080,4	1.080,4	1.080,4	119.681,5
2029	104.490,4	12.045,0	1.109,6	1.109,6	1.109,6	119.981,0
2030	104.590,8	12.156,5	1.138,8	1.138,8	1.138,8	120.280,5
2031	104.691,1	12.268,1	1.168,0	1.168,0	1.168,0	120.580,0
2032	104.791,5	12.379,6	1.197,2	1.197,2	1.197,2	120.879,5
2033	104.891,9	12.491,1	1.226,4	1.226,4	1.226,4	121.179,0
2034	104.992,3	12.602,6	1.255,6	1.255,6	1.255,6	121.478,5
2035	105.092,6	12.714,2	1.284,8	1.284,8	1.284,8	121.778,0
2036	105.193,0	12.825,7	1.314,0	1.314,0	1.314,0	122.077,5
2037	105.293,4	12.937,2	1.343,2	1.343,2	1.343,2	122.377,0
2038	105.393,8	13.048,8	1.372,4	1.372,4	1.372,4	122.676,5
2039	105.494,1	13.160,3	1.401,6	1.401,6	1.401,6	122.976,0
2040	105.594,5	13.271,8	1.430,8	1.430,8	1.430,8	123.275,5
2041	105.694,9	13.383,3	1.460,0	1.460,0	1.460,0	123.575,0
2042	105.795,3	13.494,9	1.489,2	1.489,2	1.489,2	123.874,5
2043	105.895,6	13.606,4	1.518,4	1.518,4	1.518,4	124.174,0
2044	105.996,0	13.717,9	1.547,6	1.547,6	1.547,6	124.473,5
2045	106.096,4	13.829,4	1.576,8	1.576,8	1.576,8	124.773,0
2046	106.196,8	13.941,0	1.606,0	1.606,0	1.606,0	125.072,5
2047	106.297,1	14.052,5	1.635,2	1.635,2	1.635,2	125.372,0
2048	106.397,5	14.164,0	1.664,4	1.664,4	1.664,4	123.890,3
2049	106.497,9	14.275,6	1.693,6	1.693,6	1.693,6	124.160,6
2050	106.598,3	14.387,1	1.722,8	1.722,8	1.722,8	124.430,9

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 la cuenca Quebrada de Carrizal, calculados como se especifica en la metodología expuesta en el Anexo F acápite 2.4.5 del presente informe, tiene como resultado que el caudal ecológico es 0,1 l/s en los meses de febrero, julio, agosto y septiembre, mientras que el resto del año es nulo. En total, la demanda mínima ambiental anual es de 1.036,8 m<sup>3</sup>.

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 55% de la demanda estimada en el estudio DGA (2017a).

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

Año	Antecedentes estudio DGA (2017a)							Corregida (hm <sup>3</sup> )
	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 <sup>3</sup> )	
2021	0,9	171,3	10,1	1,9	177,0	361,2	1,15	0,63
2030	1,1	190,5	11,8	2,1	190,4	395,9	1,27	0,69
2040	1,2	208,0	13,4	2,3	203,4	428,3	1,37	0,77
2050	1,3	227,3	15,1	2,1	216,6	462,4	1,48	0,85

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

---

### 3.4 Demanda minera y derechos

Para cuantificar la demanda hídrica del uso minero se utiliza la información del estudio DGA (2017a), el que considera a los siguientes tres grupos:

1. demanda hídrica en la minería del cobre (sulfuros de cobre y óxidos de cobre).
2. demanda hídrica en la minería no cuprífera (oro, plata y hierro).
3. demanda hídrica en la minería no metálica (nitratos, carbono de litio, cloruro de potasio, yodo y ácido bórico).

Para la cuenca Quebrada de Carrizal, la única demanda hídrica identificada corresponde a minería no cuprífera (hierro). La Tabla 3-5 presenta el volumen anual demandado por esta actividad en la situación actual y ventana futura, donde se diferencia entre la proyección inferior, central y superior. El nivel de confianza para establecer el rango de la demanda corresponde al 70%, ya que éste combina lo que se considera una amplitud moderada de la banda de resultados y un nivel aceptable de confianza. Para efectos del análisis desarrollado, se adoptó la tendencia central de las demandas, que es lo que se presenta. Para el año 2050 se presenta una extrapolación de la demanda adoptada, tomando en cuenta que de acuerdo a lo recopilado, se espera que las operaciones mineras se encuentren en operación.

**Tabla 3-5: Demanda minera de hierro (m<sup>3</sup>/año) proyectada en la cuenca**

<b>Año</b>	<b>Demanda Proyectada</b>
2021	2.222.347
2030	2.859.601
2040	3.513.251
2050	4.109.628

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

Las demandas se complementan con la información de derechos asociados a la minería que se presentan en la Tabla 3-6, además de verificar que de acuerdo a lo presentado en el SEA (CMP, 2021) los derechos se estarían usando en forma íntegra en el SHAC de Chacritas y Las Campanas.

**Tabla 3-6: Derechos Subterráneos Concedidos para Minería**

<b>Expediente</b>	<b>Peticionario</b>	<b>Uso</b>	<b>Volumen Total Anual (m<sup>3</sup>/año)</b>
SHAC Llanos de Algarrobal y La Jaula			
ND-0303-465	Sociedad Química y Minera de Chile S.A.	Minería	946.080,0
SHAC Llanos Chacritas y Las Campanas			
ND-0303-918	Compañía Minera del Pacífico S.A.	Minería	157.680
ND-0303-414	Compañía Minera del Pacífico S.A.	Minería	1.106.914

Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA.

### **3.5 Demanda industrial y derechos**

Usando como fuente el informe DGA (2017a), no se identifica este tipo de demanda en el territorio, lo cual fue ratificado en la búsqueda en el CPA, y en el SEA.

### **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, 55% 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 3-7.

**Tabla 3-7: Demandas Pecuarias a Nivel Territorial**

<b>Año</b>	<b>Demanda (m<sup>3</sup>/año)</b>
2021	660
2030	880
2040	1.045
2050	1.265

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 3-8 un resumen con las demandas adoptadas para los distintos usos en la cuenca. 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 3-8: Resumen demandas (m<sup>3</sup>/año)**

<b>Año</b>	<b>SSR</b>	<b>Ambiental</b>	<b>Riego</b>	<b>Minería</b>	<b>Pecuarías</b>	<b>Total</b>
2021	117.585	1.037	630.000	2.222.347	660	2.971.629
2030	120.281	1.037	690.000	2.859.601	880	3.671.799
2040	123.271	1.037	770.000	3.513.251	1.045	4.408.604
2050	124.431	1.037	850.000	4.109.628	1.265	5.086.361

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 a la base de datos se reduce a que no hay registros en el territorio, por lo que no es posible evaluar el costo del agua con información del territorio.

---

## **4 Oferta hídrica**

En este capítulo se presenta la caracterización de la oferta hídrica, tanto superficial como subterránea, tanto en términos de identificación de fuentes, oferta, calidad, posibles fuentes de contaminación y derechos. 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, la Quebrada Carrizal destaca por su longitud, trayecto y número de aportaciones recibidas.

#### **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 las estaciones de control fluviométricas.

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 fluviométrico.

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**

<b>Punto de Control</b>	<b><math>Q_{5\%}</math></b>	<b><math>Q_{50\%}</math></b>	<b><math>Q_{85\%}</math></b>
Carrizal Desembocadura	0,074	0,019	0,017

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 ( $m^3/s$ ), periodo 2021 – 2050**

<b>Punto de Control</b>	<b><math>Q_{5\%}</math></b>	<b><math>Q_{50\%}</math></b>	<b><math>Q_{85\%}</math></b>
Carrizal Desembocadura	0,060	0,017	0,014

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

---

#### 4.1.4 Calidad actual

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

#### 4.1.5 Fuentes de contaminación

No se identificaron en este territorio, especialmente al no existir fuentes superficiales a contaminar.

#### 4.1.6 Derechos concedidos

En lo que respecta a derechos de aguas superficiales, en el CPA no se identificaron derechos de este tipo.

### **4.2 Agua subterránea**

#### 4.2.1 Identificación

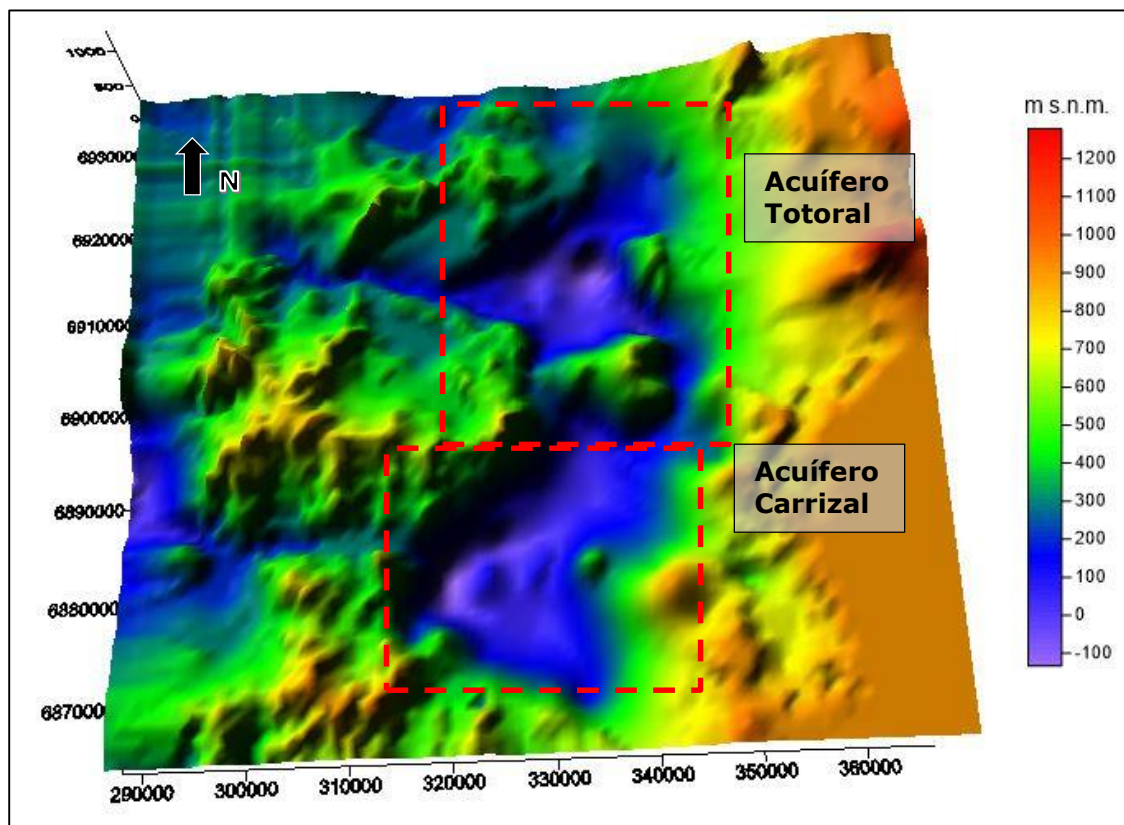
Mediante la interpretación de los resultados geofísicos sumado a los antecedentes estratigráficos de pozos profundos y a la geología disponible en el área de estudio, se pudo determinar la existencia de una única unidad acuífera interconectada (acuífero Carrizal-Totoral, con una profundidad máxima de 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-Totoral (ver Tabla 4-3). 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.



Fuente: Elaboración propia.

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

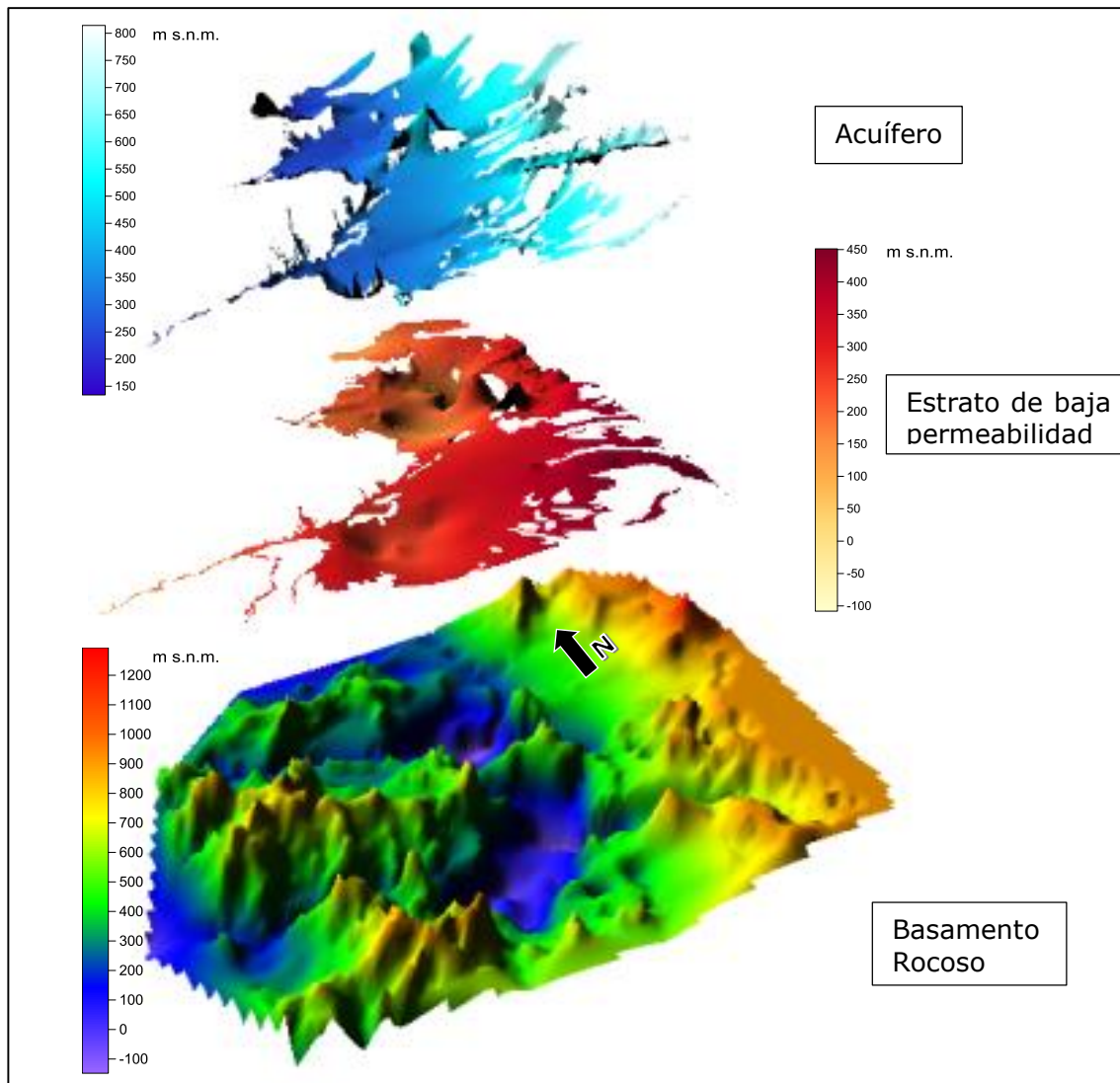
**Tabla 4-3: Volumen almacenado en el acuífero**

Resumen	Volumen almacenado (hm <sup>3</sup> )	Volumen agua almacenada (hm <sup>3</sup> ) - Porosidad (0,15)
Volumen Relleno Acuífero	37.393,32	
Volumen Relleno Saturado	24.675,17	3.701,28

Fuente: Elaboración propia.

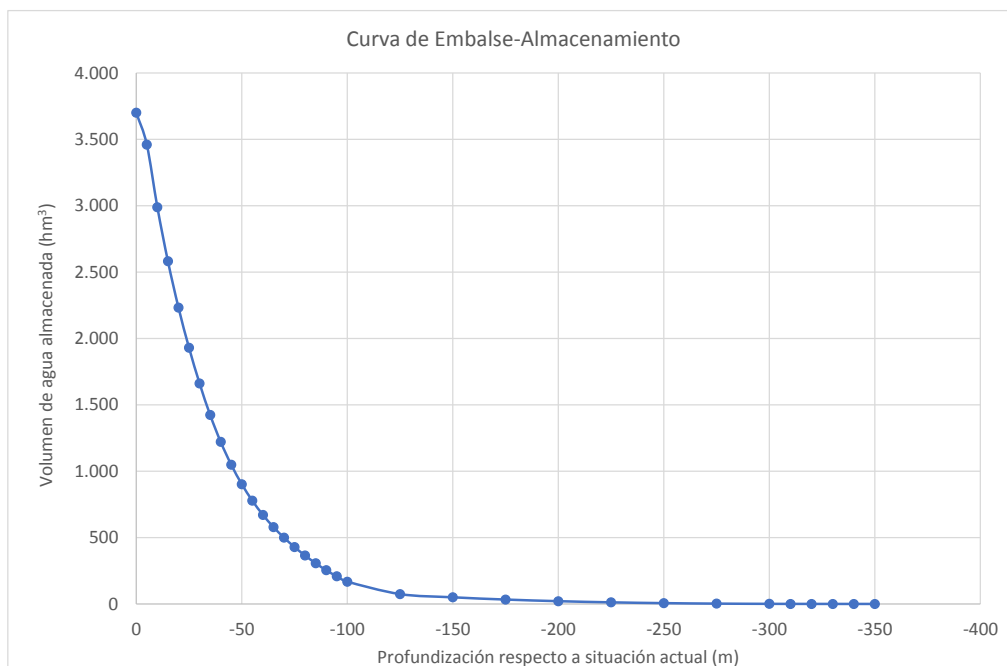
En la Tabla 4-4 se presenta la curva de almacenamiento del acuífero, teniendo como línea base de los niveles piezométricos el catastro realizado en septiembre de 2021 y profundizando según lo presentado en la tabla. Además, en la Figura 4-3 se presenta de

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



Fuente: Elaboración propia.

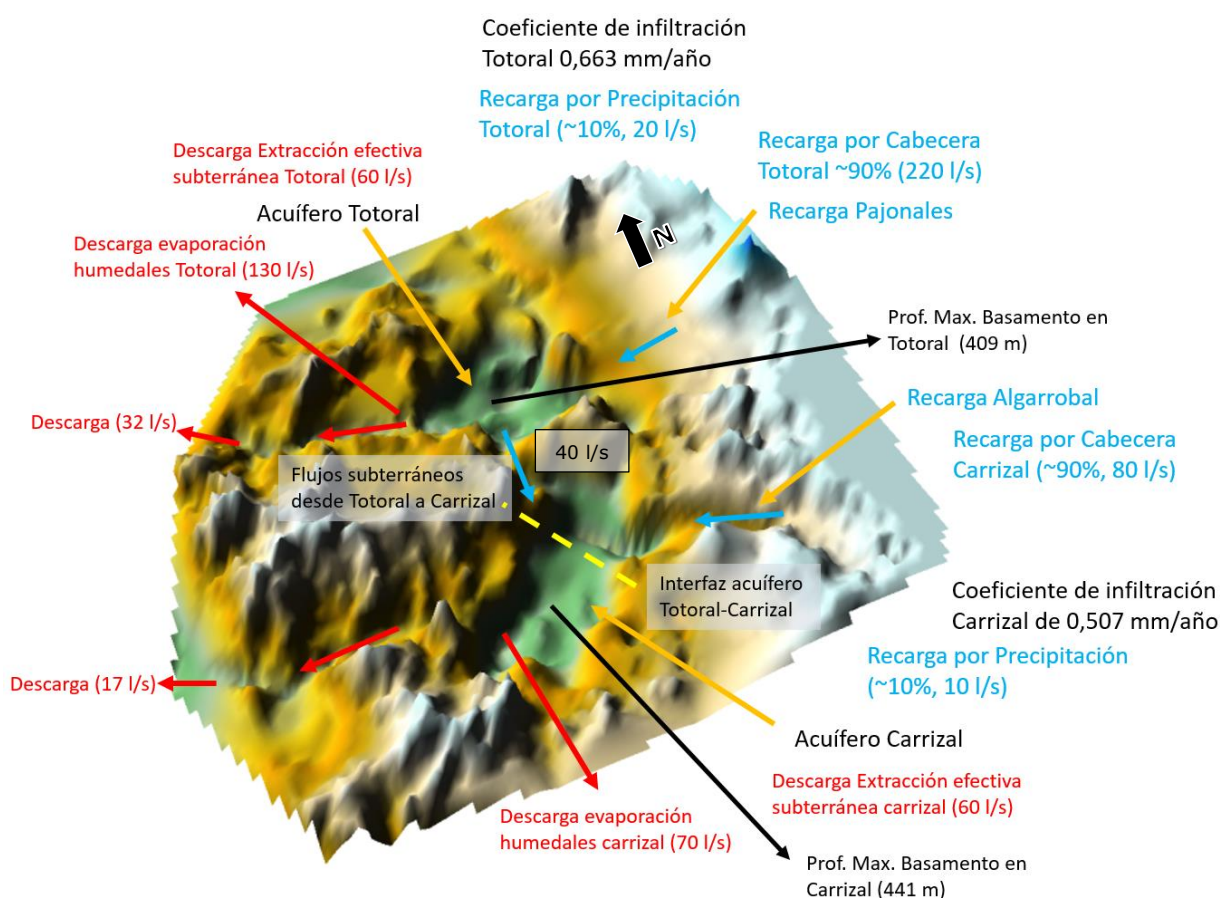
**Figura 4-3: Curva de embalse del acuífero**

**Tabla 4-4: 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.

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 presenta en el Anexo H. 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 4-4: Modelo Conceptual 3D**

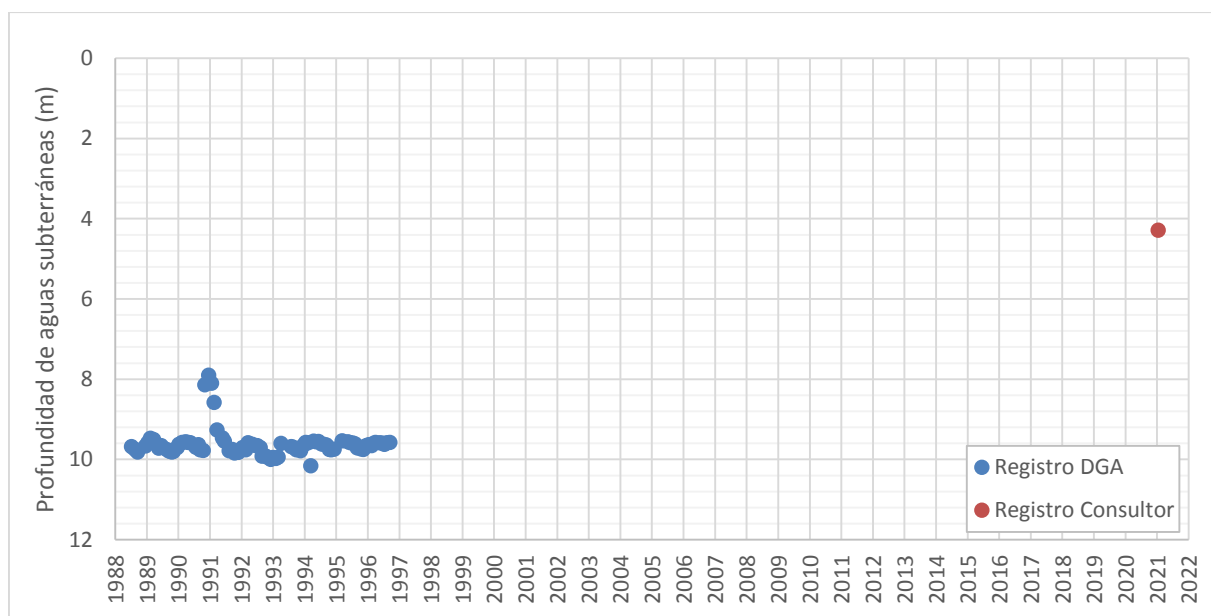
#### 4.2.2 Stock, recarga y niveles

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.

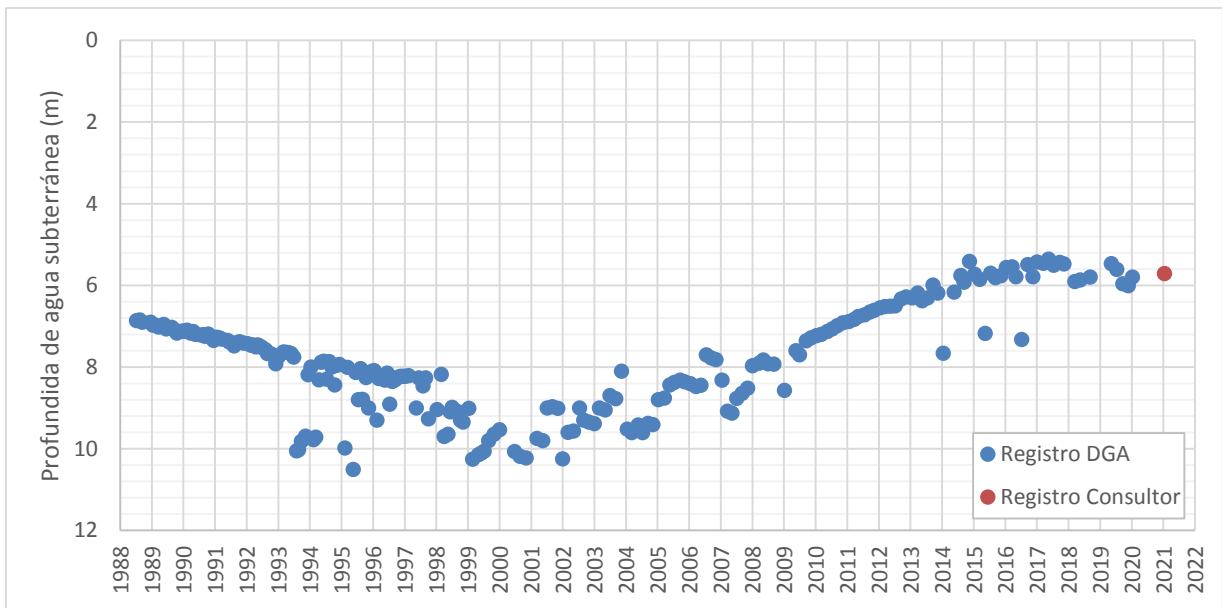
Posteriormente, y al aplicar la metodología al periodo histórico extendido, se determinó una recarga promedio de 100 l/s en la cuenca de Carrizal y de 237 l/s para la cuenca de Totoral. Se hace notar que los valores finales se ajustaron de modo que en la modelación se logaran mejores ajustes entre lo 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 4-9 todos los registros mensuales junto con el nivel medido por el consultor en la campaña de terreno de septiembre de 2021. No se muestran las series de las estaciones Pozo Totoral Bajo y Yervas Buenas, ya que sólo informan 7 y 1 registros, respectivamente.



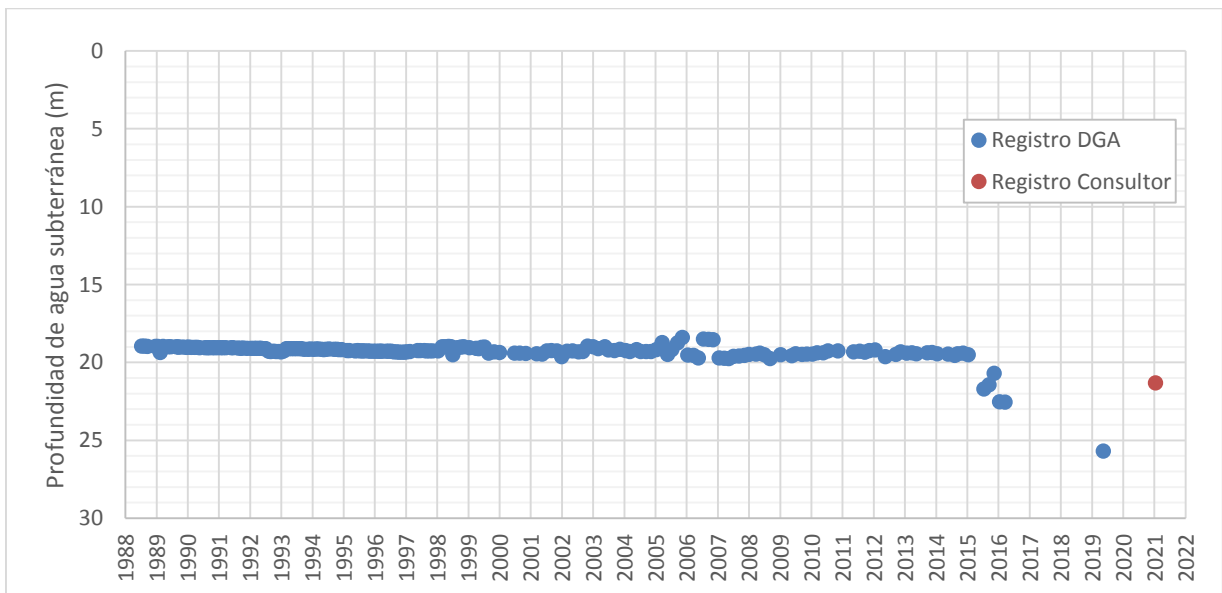
Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes DGA.

**Figura 4-5: Niveles aguas subterráneas históricos: Pozo Canto de Agua**



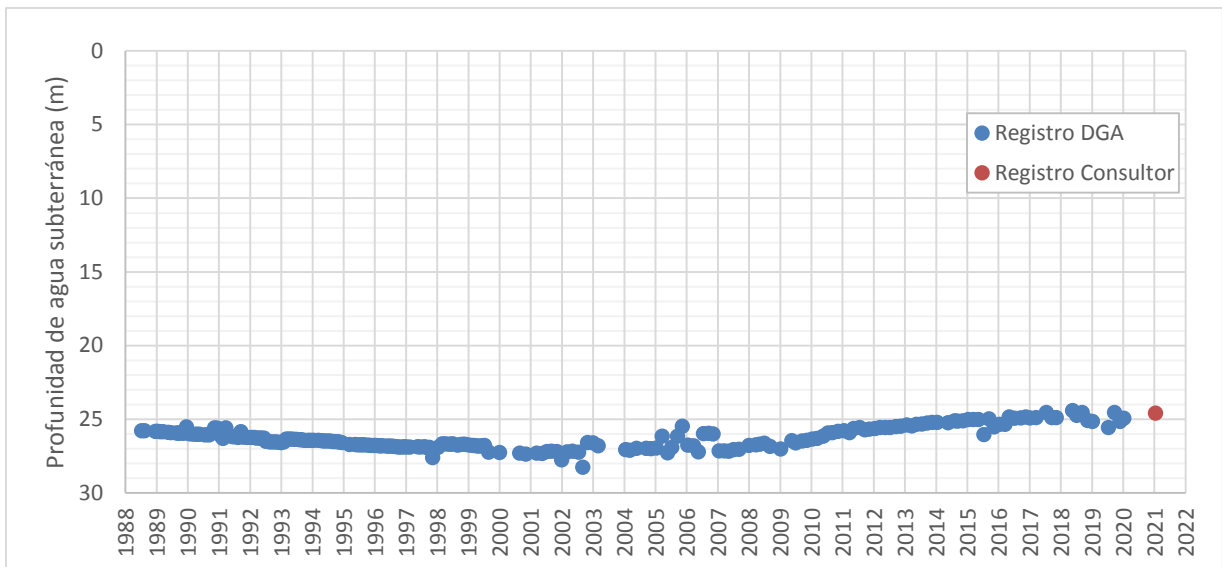
Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes DGA.

**Figura 4-6: Niveles aguas subterráneas históricos: Pozo Milla Nueve**



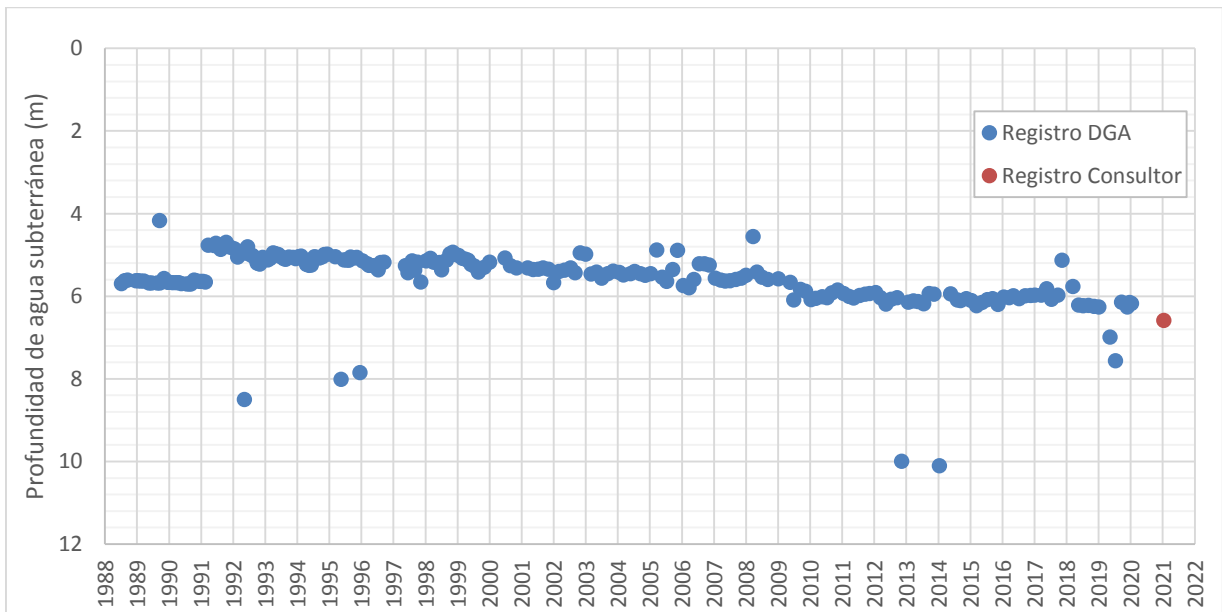
Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes DGA.

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



Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes DGA.

**Figura 4-8: Niveles de aguas subterráneas históricos: Pozo Quebrada Tamarico**



Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes DGA.

**Figura 4-9: Niveles de aguas subterráneas históricos: Pozo Zanjón**

### 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 química 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 4-5.

**Tabla 4-5: Información de calidad disponible**

Parámetro	N° 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 4-6) y con la norma para riego (ver Tabla 4-7). 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 establecidos 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 4-6: 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 4-7: 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

Parámetro	Mín	Máx	Unidad	Comentario
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.

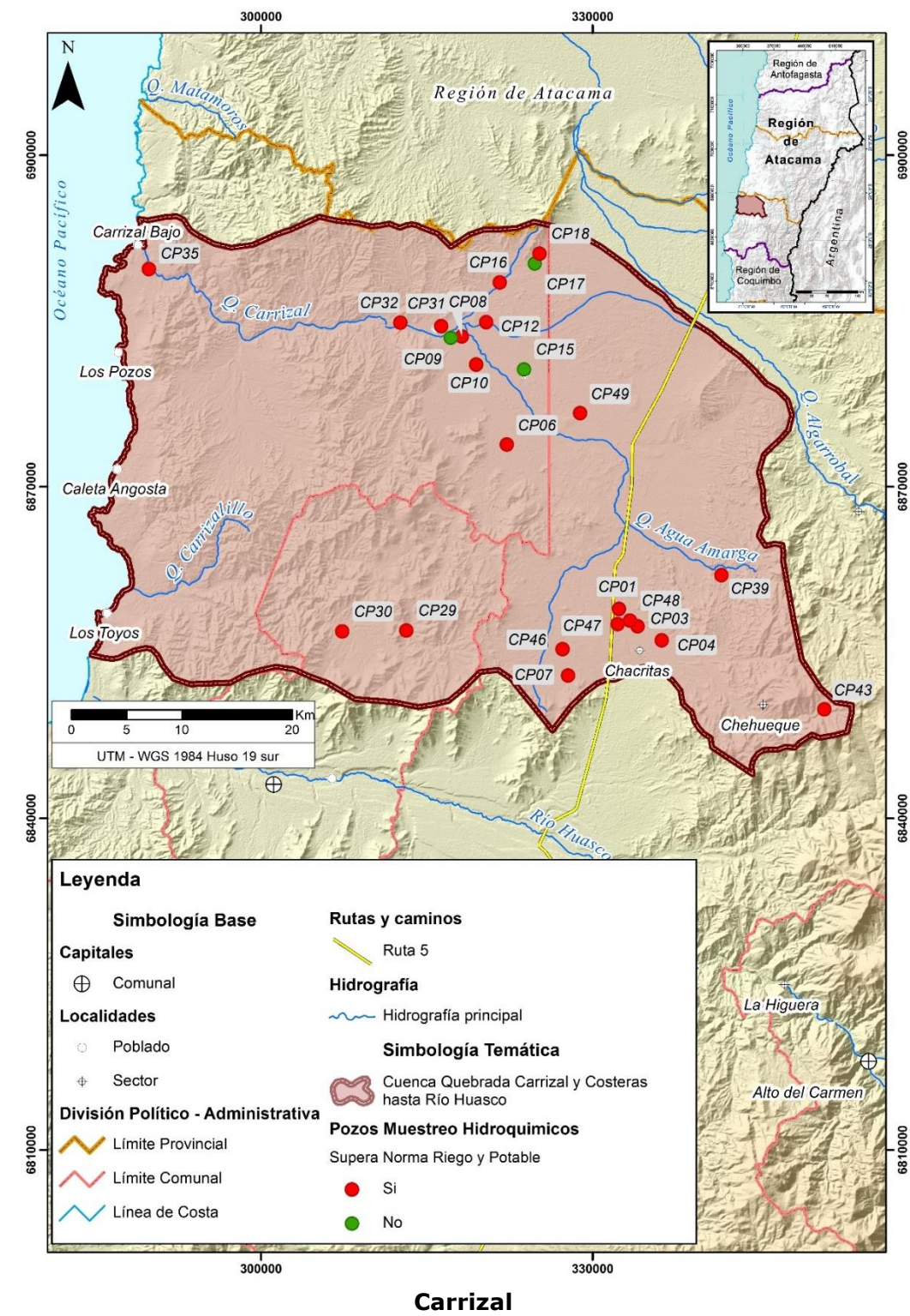
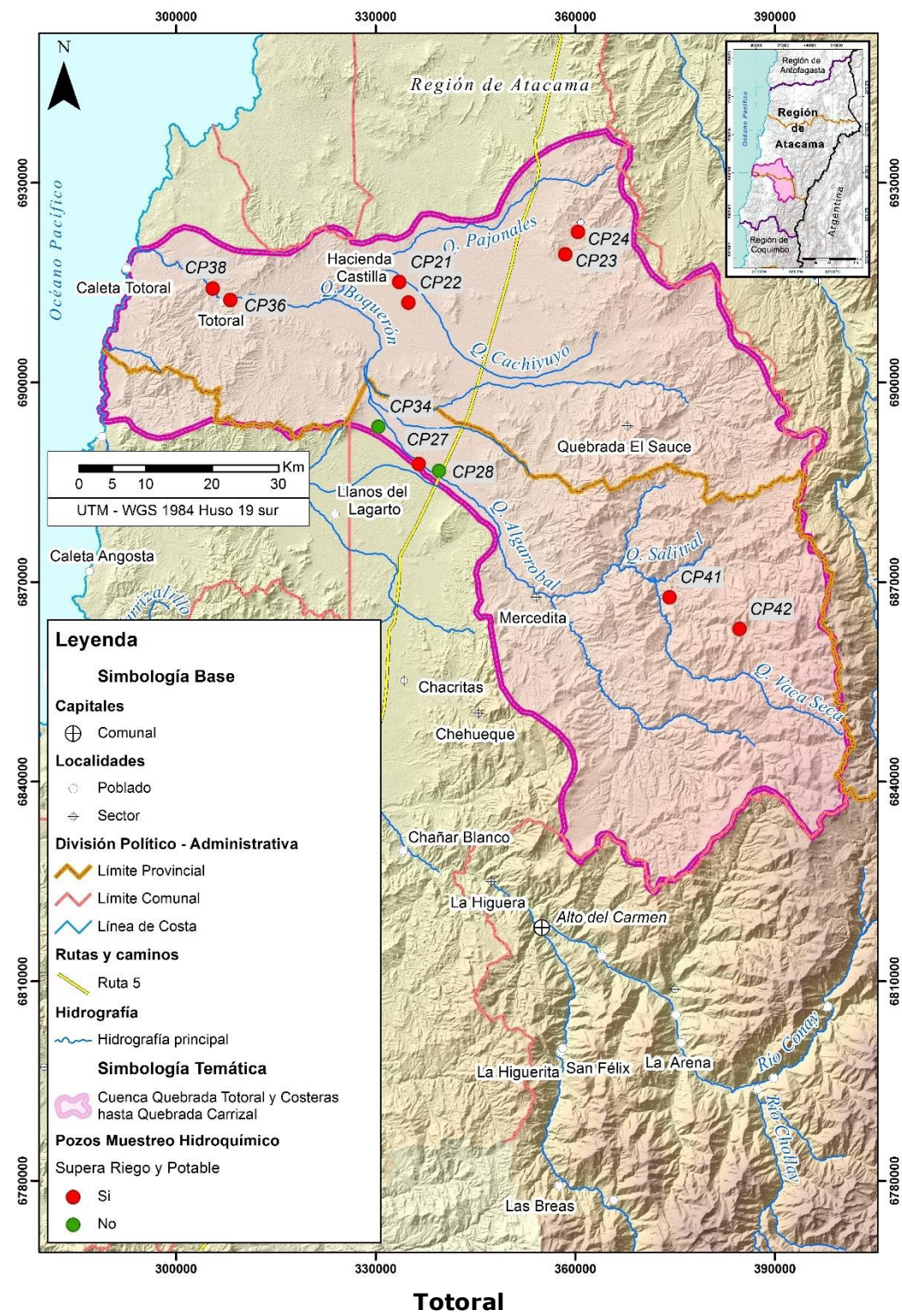
Los valores resultantes de estos análisis muestran que gran parte de las aguas subterráneas analizadas presentan valores por sobre las normas de agua potable y riego a la vez (Figura 4-10). Para distinguir cuales son los sectores donde ocurren estos excesos, en la Figura 4-11 se muestran los pozos donde se supera la norma potable y en la Figura 4-12 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.

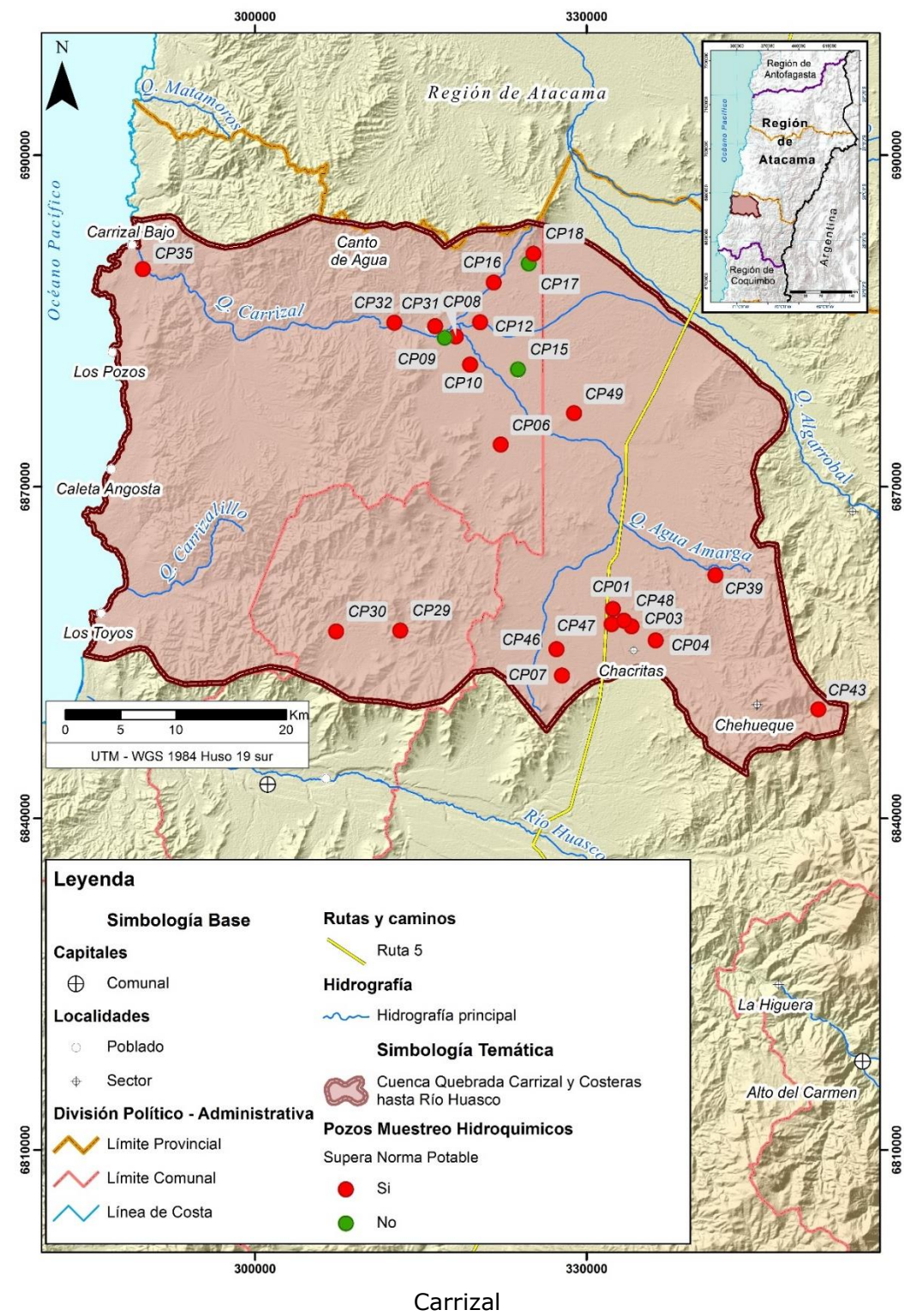
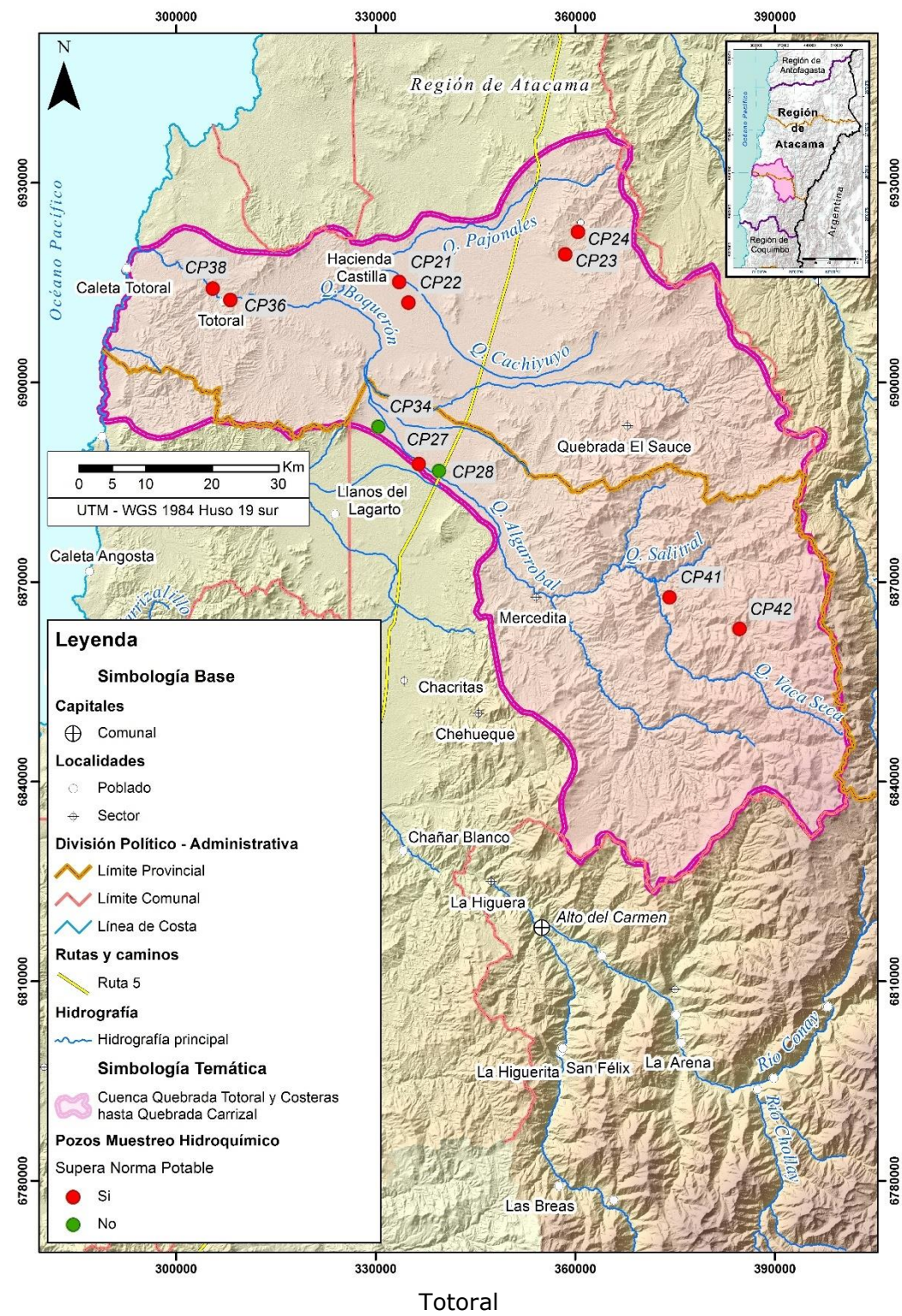
Respecto al criterio de turbiedad, la norma potable indica que cada servicio debe cumplir simultáneamente con que la turbiedad media mensual debe ser menor o igual a 2 UNT, que más del 95 % de las muestras mensuales presenten un valor menor que 4 UNT, que ninguna muestra exceda el valor de 20 UNT en 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.



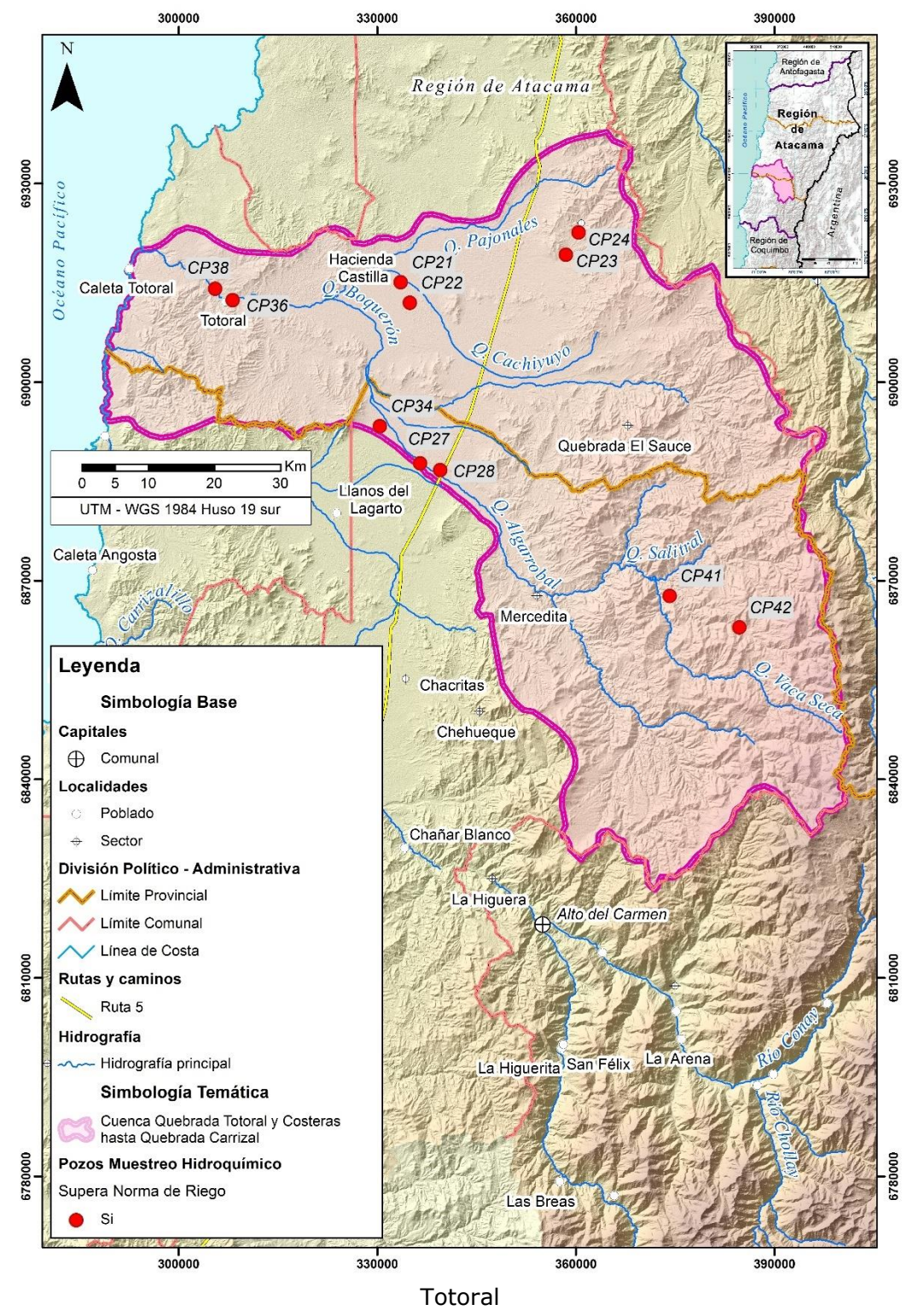
Fuente: Elaboración propia con antecedentes AGQLabs.

**Figura 4-10: 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**

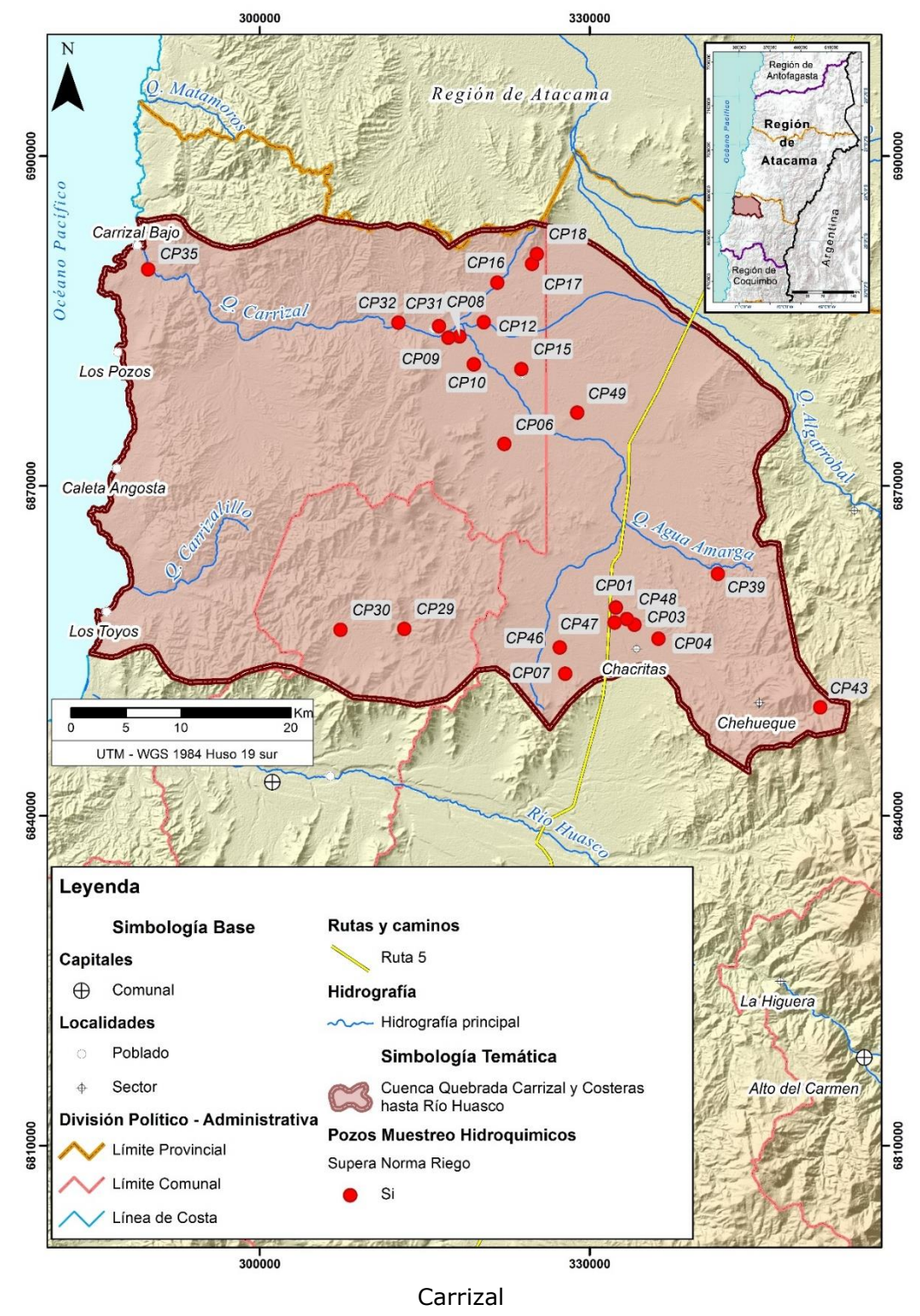


Fuente: Elaboración propia con antecedentes AGQLabs.

**Figura 4-11: Pozos muestreados que superan y que no superan la Norma de agua potable en al menos uno de los parámetros analizados**



Totoral



Carrizal

Fuente: Elaboración propia con antecedentes AGQLabs.

**Figura 4-12: 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 4-13), 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 4-14). 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),

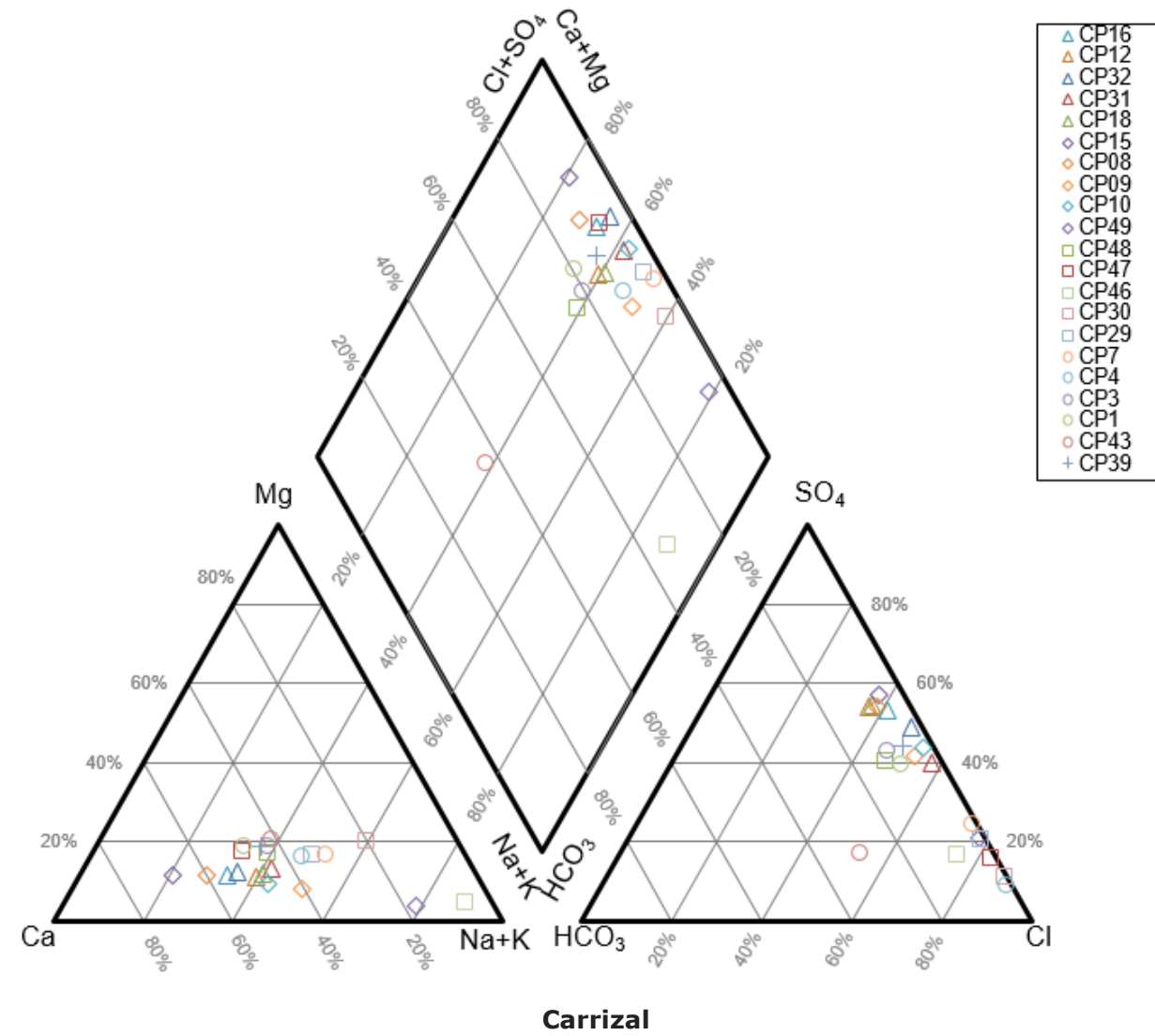
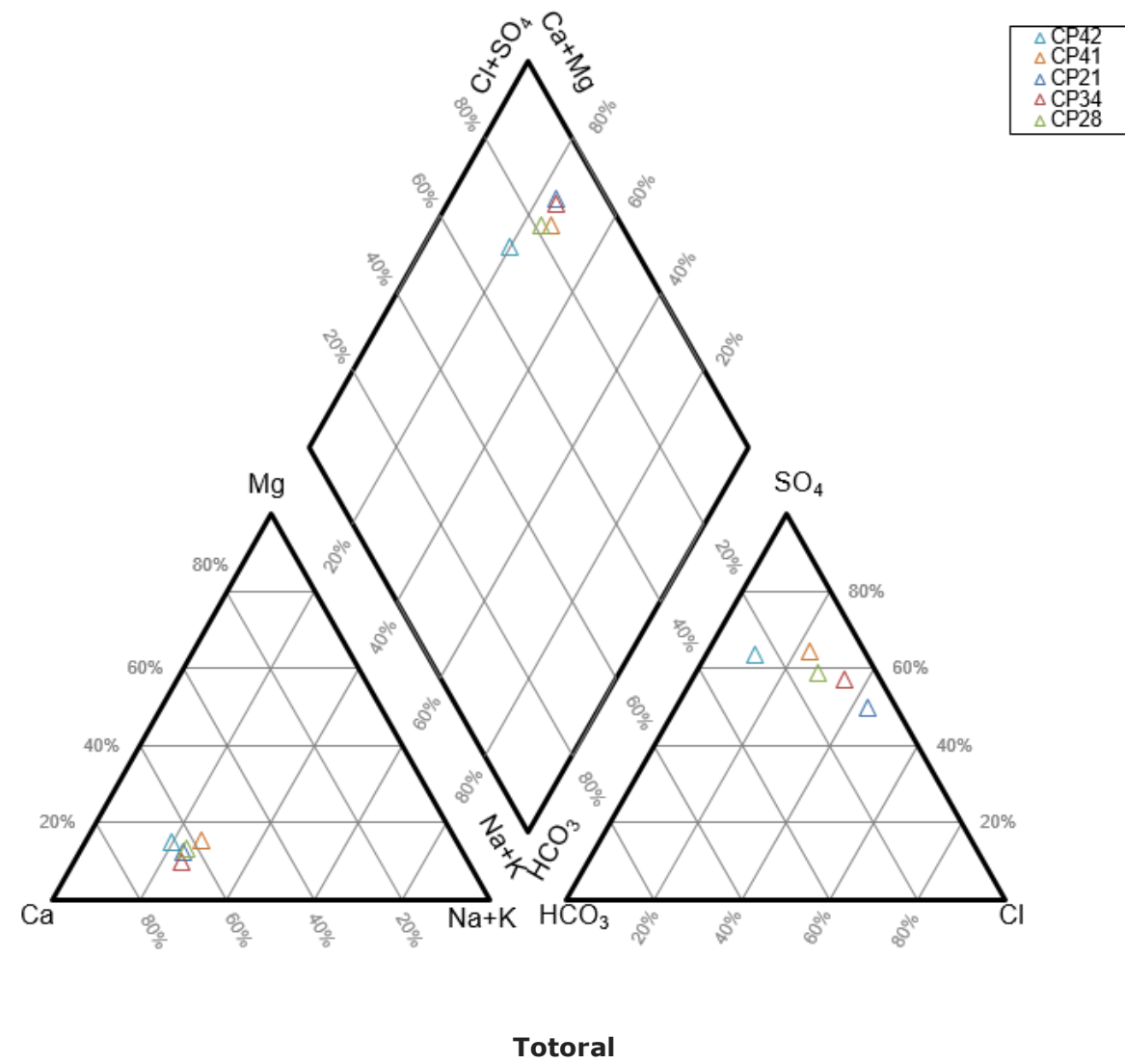
---

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 Cálctica/Sódica. El menor grado de mineralización se observa en las muestras CP-18, CP-15, CP-12 y CP-08 del tipo Sulfatada/Clorurada-Cálctica/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 Cálcticas y en las muestras CP-29, CP-30 que son claramente Cloruradas-Sódicas.

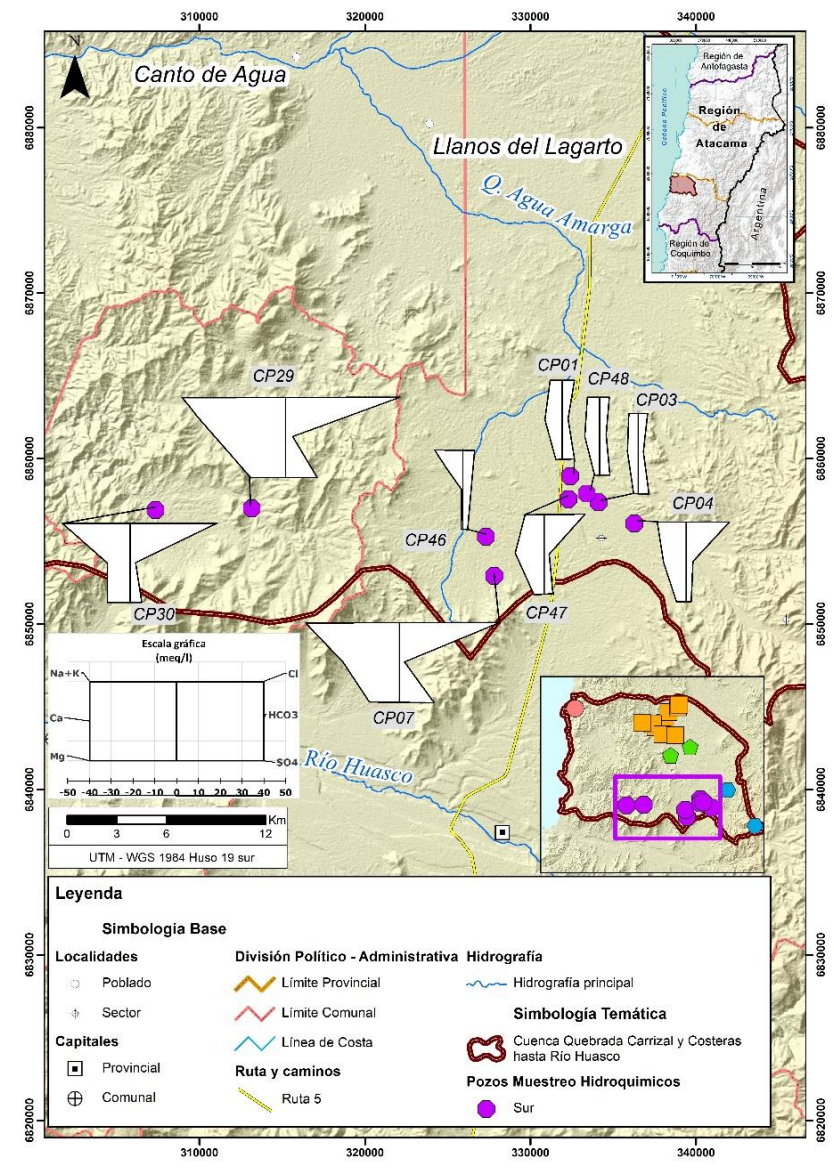
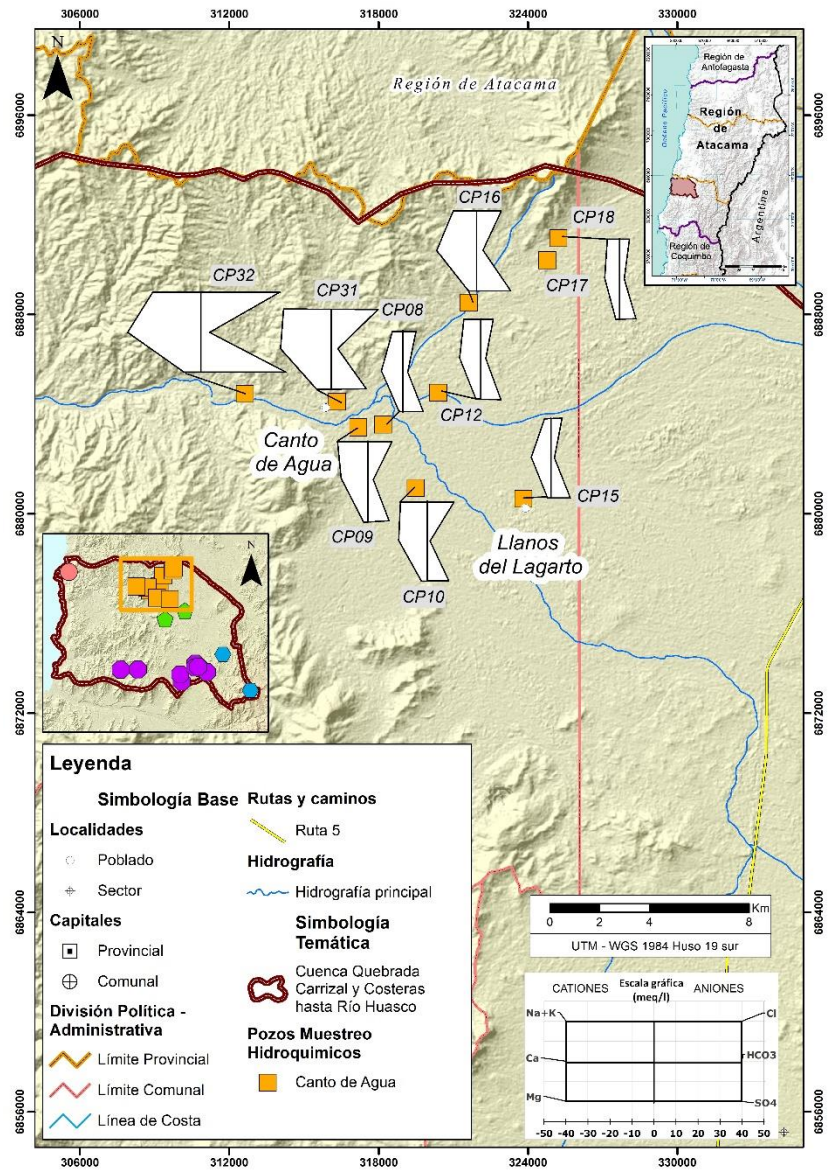
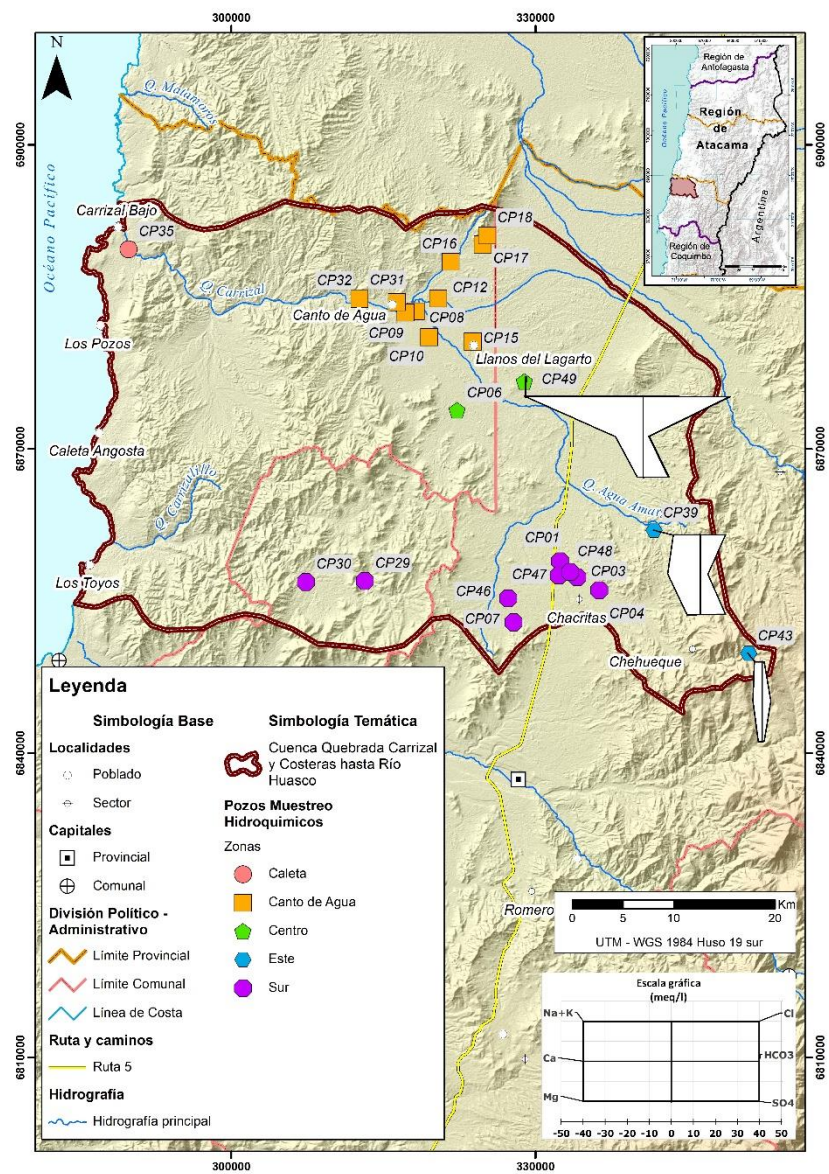
Para las muestras de la Quebrada Totoral, los diagramas de Stiff mostrados en la Figura 4-15 se disponen de resultados de análisis químico de aguas subterráneas validados para las muestras CP-42, CP-41, CP-28, CP-34 y CP-21.

- 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.



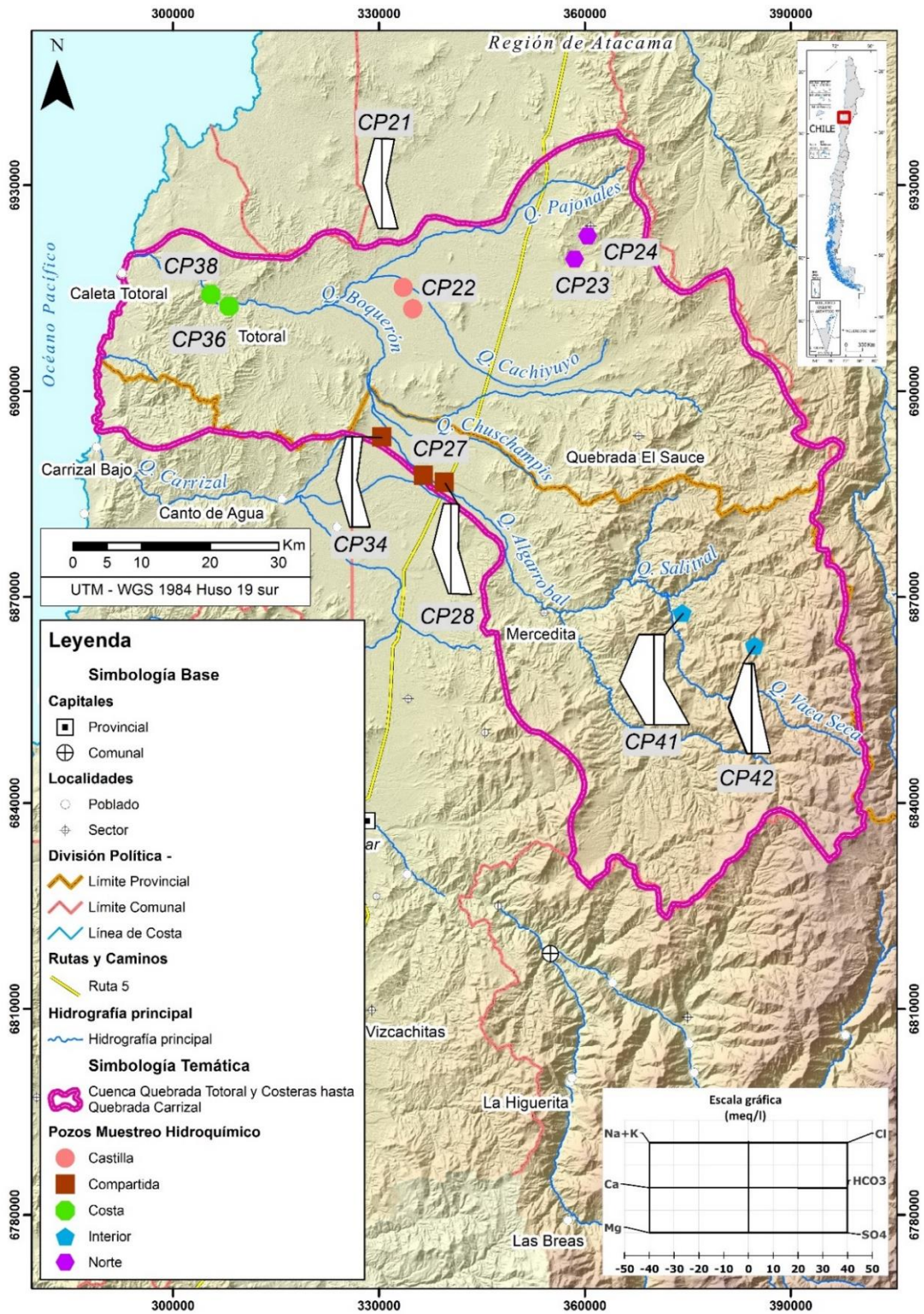
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-13: Diagrama de Piper para el territorio**



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-14: Diagramas de Stiff para la Cuenca de Carrizal



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-15: Diagramas de Stiff para la Cuenca de Totoral**

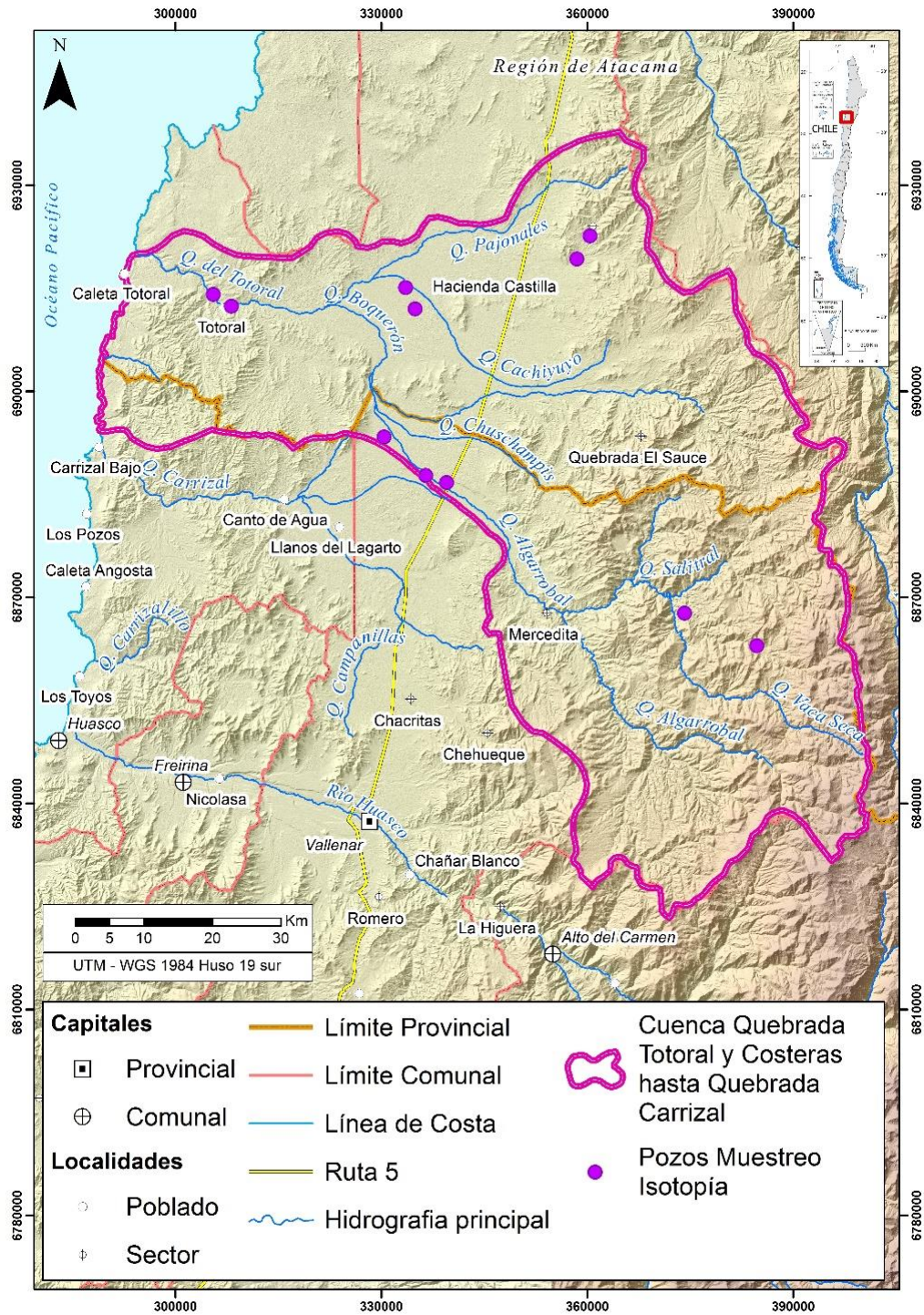
---

#### 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 4-16 muestra la ubicación de los puntos de muestreo en la cuenca de la quebrada de Totoral, mientras que en la Figura 4-17, los de la quebrada de Carrizal.

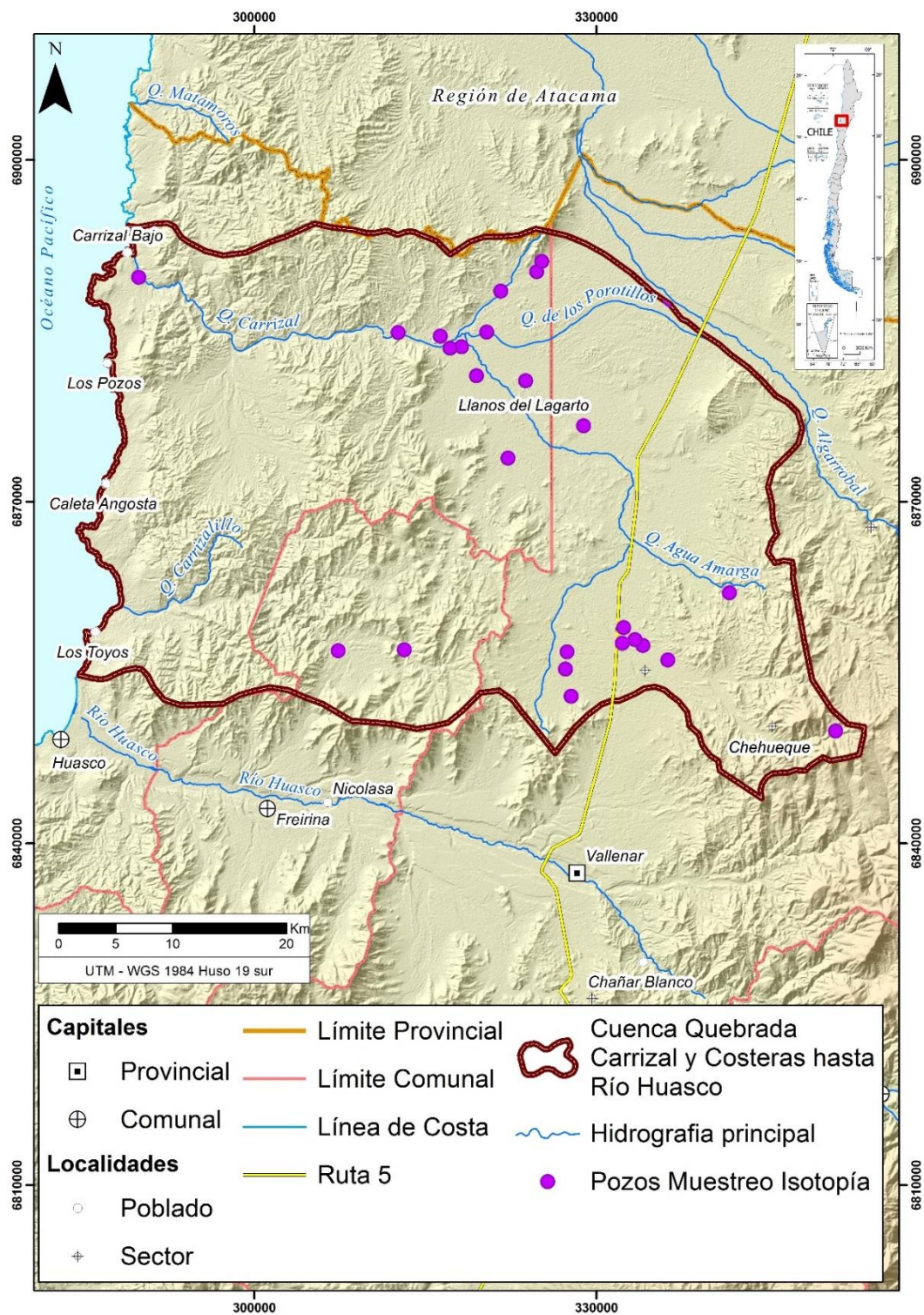
La Figura 4-18 muestra una gráfica de estos resultados comparándola con la recta de Aguas Meteóricas de Craig (1961) y de los trabajos de SERNAGEOMIN en la cuenca de Copiapó. De esta gráfica se deduce que las muestras de aguas subterráneas correspondientes a las cuencas de Quebrada Carrizal y Totoral 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.



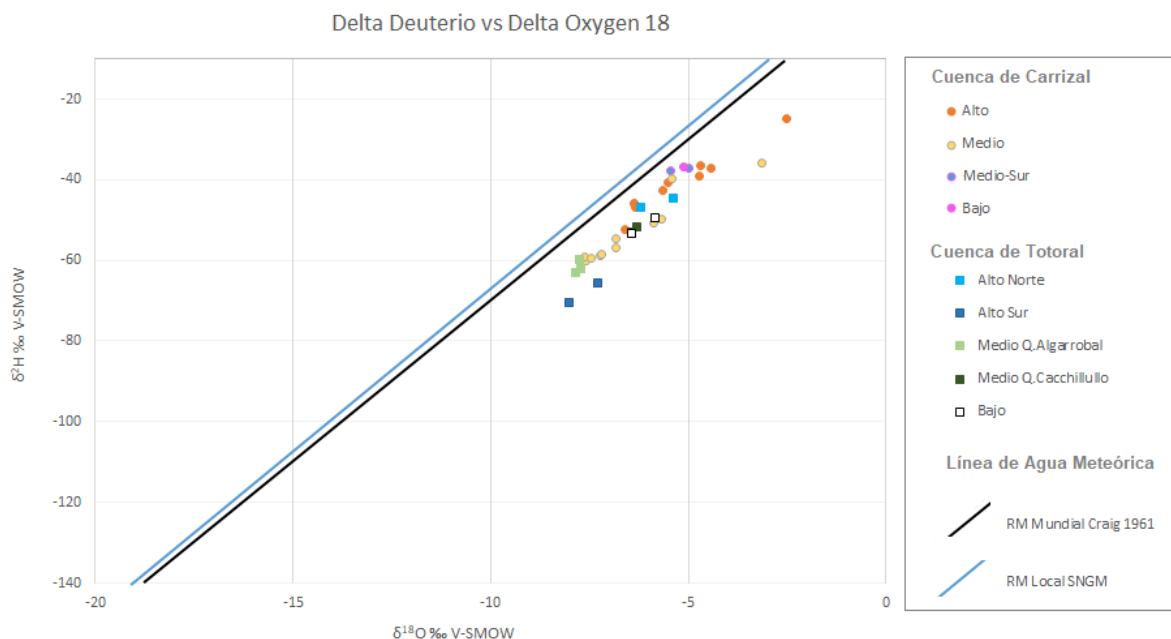
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-16: Ubicación puntos de muestreo Isotópico (Cuenca Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal)**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 4-17: Ubicación puntos de muestreo Isotópico (Cuenca Quebrada Carrizal y Costeras hasta Río Huasco)**



Fuente: Elaboración propia con antecedentes Universidad de Arizona.

**Figura 4-18: 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  $^{18}\text{O}$  y -60,91 ‰ a -24,80 ‰ de  $^2\text{H}$ , 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 (STD). Los isótopos estables se encuentran en rangos de valores de -8,02 ‰ a -5,39 ‰ como  $^{18}\text{O}$  y -70,32 ‰ a -44,74 ‰ de  $^2\text{H}$ , 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 abandonada, la que podría constituirse en un pasivo ambiental 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 4-19 se muestra su ubicación, en la Tabla 4-8 sus características principales y en el Anexo J-13 se entrega la base de datos en su totalidad.

**Tabla 4-8: Catastro Tranques de Relave en el Territorio**

Faena	Comuna	Nombre	Tipo	Recurso	Estado
Capote	Huasco	Capote	Tranque de Relave	Oro	Abandonado

Fuente: Elaboración propia con antecedentes SERNAGEOMIN (2020).



Fuente. Elaboración propia con antecedentes SERNAGEOMIN (2020).

**Figura 4-19: 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 web 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 Carrizal se encuentran 113 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. 86 derechos presentan coordenadas UTM, en huso 19, siendo 56 derechos en datum PSAD 1956 y 30 en datum WGS 1984. Por otro lado, dentro de los derechos restantes hay algunos que no poseen coordenadas UTM, ni geográficas, habiendo una descripción de la ubicación en base a hitos territoriales (23 derechos), otros derechos cuentan con datos de coordenadas y huso, pero sin datum (3) y 1 derecho cuenta con coordenadas geográficas.

Se realizó la georreferenciación de los 113 derechos con coordenadas UTM. De los 56 derechos con datum PSAD56, 17 derechos están ubicados fuera de la cuenca quebrada Carrizal, mientras que, de los 30 derechos con datum WGS84, 4 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 4-9 resume y especifica los diferentes formatos en que se presentan los datos cartográficos.

**Tabla 4-9: Tipos de referencias cartográficas existentes en el CPA**

<b>Tipo de Coordenada</b>	<b>N° de DAA</b>
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).

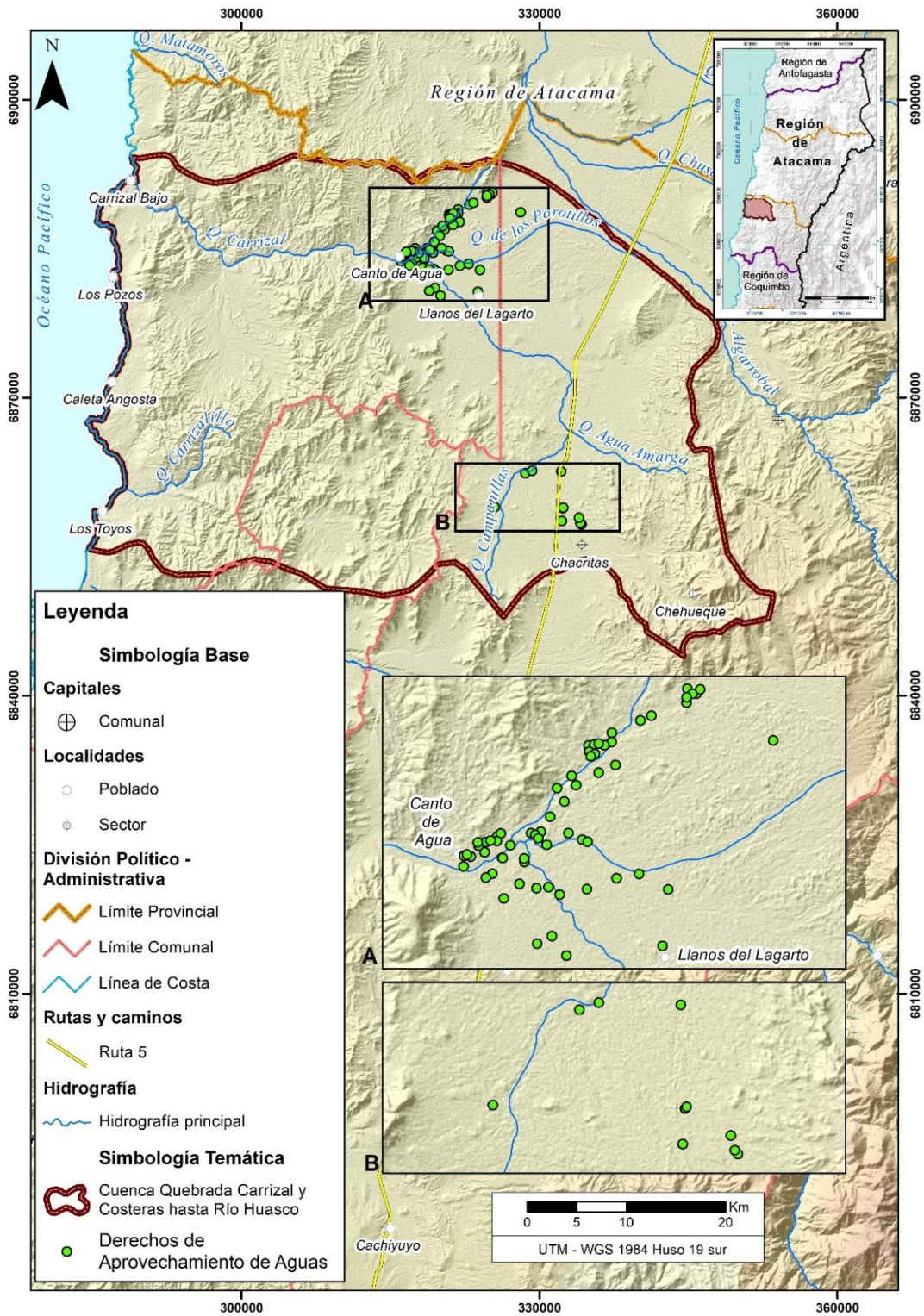
Se georreferenciaron los 898 derechos que poseían algún tipo de coordenada. En los derechos que contaban sin un datum o huso, se optó por darle el datum WGS84 huso 19S, sabiendo que, ante un error, el error en la ubicación real de ese derecho sería de aproximadamente  $\pm 400$  m. Con esta nueva metodología se ubicaron 87 derechos en la cuenca Carrizal

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 24 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.

Los derechos identificados con este proceso se muestran en la Figura 4-20.

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 4-20: Figura Derechos Aprovechamiento de Agua del CPA**

Por otra parte, se tienen los derechos reportados en el estudio DGA (2018c), en el que se decretó zona de prohibición en los SHAC Llanos de Algarrobal y La Jaula y SHAC Llanos Chacritas y Las Campanas, los que se presenta en la Tabla 4-10. 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 4-21.

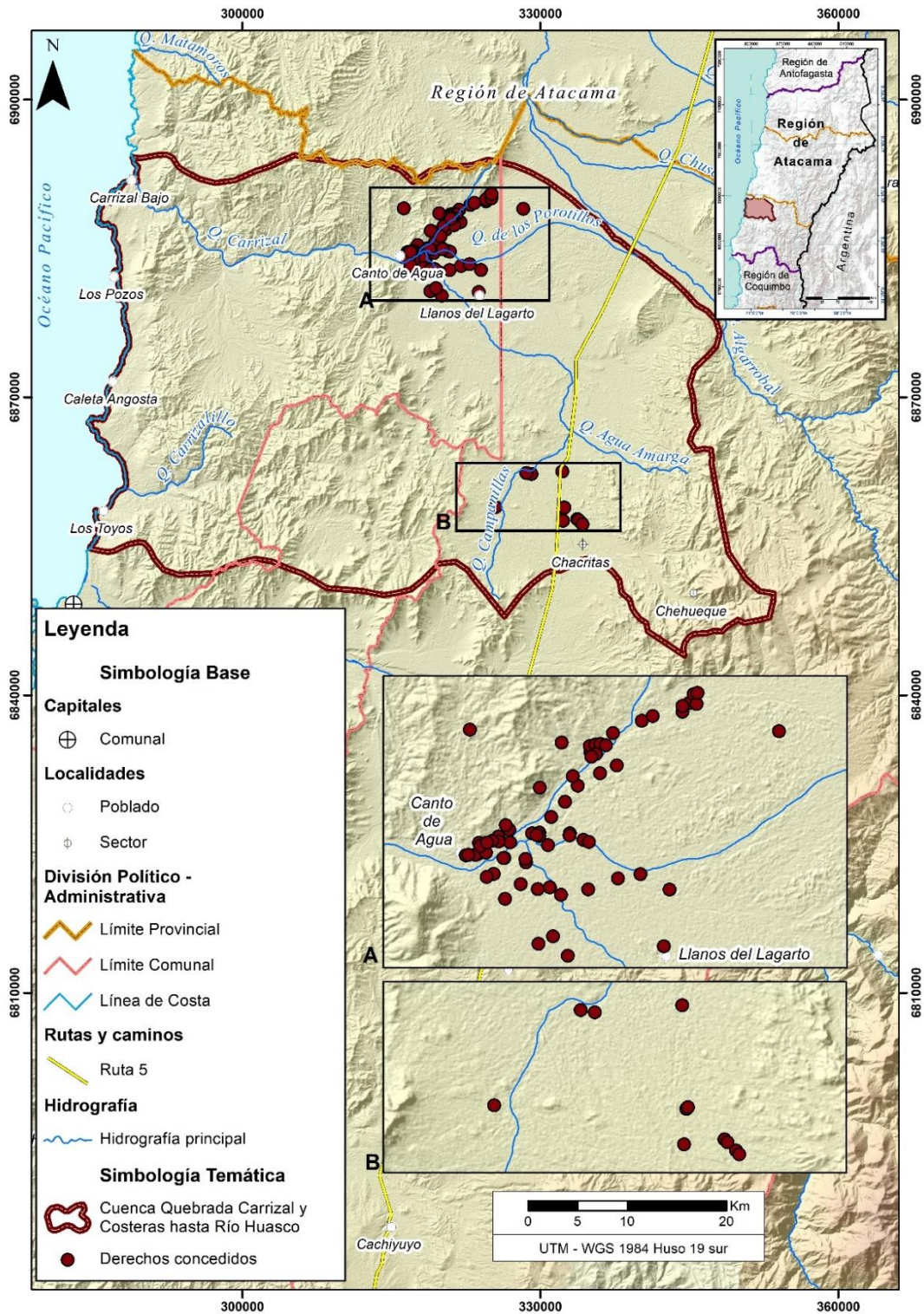
**Tabla 4-10: Derechos de Aguas Subterráneos en el Territorio**

<b>Expediente</b>	<b>Peticionario</b>	<b>Uso</b>	<b>Volumen Total Anual Acumulado (m<sup>3</sup>/año)</b>
SHAC Llanos de Algarrobal y La Jaula			
ND-0303-34	Luis Rodillo Barcelo	Riego	378.432,0
ND-0303-234	Marcos Gleiser Portugueis	Riego	160.833,6
ND-0303-234	Marcos Gleiser Portugueis	Riego	186.062,4
ND-0303-234	Marcos Gleiser Portugueis	Riego	220.752,0
ND-0303-234	Marcos Gleiser Portugueis	Riego	94.608,0
ND-0303-234	Marcos Gleiser Portugueis	Riego	186.062,4
ND-0303-401	Martin Alejandro Vitali Guyot	Riego	252.288,0
ND-0303-416	Juan Antonio Castro Pérez	Riego	189.216,0
ND-0303-465	Sociedad Química y Minera de Chile S.A.	Minería	946.080,0
ND-0303-536	Corporación de Rehabilitación Social	Riego	630.720,0
ND-0303-663	Alberto Transito Villegas Valladares	Riego	78.840,0
ND-0303-662	Teodoro Del Rosario Campillay Montaña	Riego	94.608,0
ND-0303-779	Empresa de Inversiones Sergio Hudson Y C	Riego	1.324.512,0
ND-0303-781	Sergio Eduardo Hudson Pérez	Riego	2.081.376,0
ND-0303-850	Carlos Enrique Jerez Caballero	Riego	12.614,0
ND-0303-912	Danisa Del Carmen Guzman Araya	Riego	5.046,0
ND-0303-930	Francisco Vergara Castro	Riego	2.838,0
ND-0303-931	Francisco Vergara Castro	Riego	4.352,0
ND-0303-913	Ivar Iván Cortez Altamirano	Riego	4.415,0
ND-0303-916	Arnaldo Del Campo Arias	Riego	12.614,0
ND-0303-941	Emino Segundo Torres Godoy	Riego	7.569,0
ND-0303-991	Gotz y Betancuort Ltda.	Riego	3.154,0
ND-0303-992	Orlando Abraham Jofre Jofre	Riego	12.614,0
ND-0303-1028	Carlos Arturo Vigorena Vallejos	Riego	8.893,0
ND-0303-1023	Eduardo Segundo Guzman Araya	Riego	4.037,0
ND-0303-1022	Roberto Alejandro Araya Talamilla	Riego	3.217,0
ND-0303-1335	Arnoldo Ernesto Ordenes Salinas	Riego	2.081,0
ND-0303-1336	Miriam Del Rosario Cortes Piñones	Riego	5.676,0
ND-0303-1326	Johanna Jacqueline Madrigal Fritis	Riego	11.984,0
ND-0303-1322	Jorge Yañez Gonzalez	Riego	12.614,0
ND-0303-1323	Jorge Yañez Gonzalez	Riego	12.614,0

<b>Expediente</b>	<b>Peticionario</b>	<b>Uso</b>	<b>Volumen Total Anual Acumulado (m<sup>3</sup>/año)</b>
ND-0303-1318	Ricardo Bernardino Chepillo Flores	Riego	11.100,0
ND-0303-1319	Ricardo Bernardino Chepillo Flores	Riego	12.614,0
ND-0303-1353	Cesar Aime Fuentes	Riego	9.019,0
ND-0303-1356	Gustavo Ambrosio Gallardo Godoy	Riego	3.784,0
ND-0303-1355	Jorge Alberto Aime Bravo	Riego	12.614,0
ND-0303-1360	Jorge Alberto Aime Bravo	Riego	12.614,0
ND-0303-1361	Jorge Alberto Aime Bravo	Riego	12.614,0
ND-0303-1354	Luz Maria Aime Bravo	Riego	12.614,0
ND-0303-1383	Digno Emérito Araya Rosas	Riego	5.046,0
ND-0303-1384	Inés Rojas	Riego	12.614,0
ND-0303-1379	Javier Andres Guerra Marco	Riego	9.461,0
ND-0303-1380	Oriel Valenzuela Reinuaba	Riego	8.199,0
ND-0303-935	Alejandra Irene Valenzuela Maluenda	Riego	2.208,0
ND-0303-934	Digno Emérito Araya Rosas	Riego	8.830,0
ND-0303-936	Horacio De Los Reyes Vicencio Juárez	Riego	9.461,0
ND-0303-939	Jose Miranda Pizarro	Riego	2.081,0
ND-0303-933	Juan Antonio Rodriguez	Riego	11.353,0
ND-0303-938	Juan Rivera Valdes	Riego	12.614,0
ND-0303-940	Raúl Del Carmen Alvarez	S/I	2.081,0
ND-0303-937	Zulema Delmira Mena	Riego	883,0
ND-0303-979	Albertina Del Carmen Morales Salazar	Riego	12.614,0
ND-0303-988	Marianella Del Carme Andrade Luna	Riego	10.722,0
ND-0303-989	Oriel Valenzuela Reinuaba	Riego	10.092,0
ND-0303-990	Roberto Misael Pérez Saavedra	Riego	12.614,0
ND-0303-1020	Maria Angélica Veliz Cruz	Riego	8.830,0
ND-0303-1021	Maria Angélica Veliz Cruz	Riego	10.092,0
ND-0303-1025	Miriam Luz Pérez Ceura	Riego	5.046,0
ND-0303-1026	Teresa Trujillo Araya	Riego	5.046,0
ND-0303-1024	Tiburcio Escobar	Riego	12.614,0
ND-0303-1320	Andres Gerardo Alfaro Araya	Riego	3.028,0
ND-0303-1325	Guillermo Del Carmen Chacana	Riego	12.614,0
ND-0303-1330	Joselyn Victoria Alfaro Araya	Riego	10.722,0
ND-0303-1329	Nelly Irene Araya Guerra	Riego	5.046,0
ND-0303-1327	Paul John Vicencio Barrios	Riego	12.614,0
ND-0303-1324	Silvia Patricia Ramirez Morales	Riego	9.461,0
ND-0303-1321	Yazmin Viluvina Guzman Araya	Riego	7.569,0
ND-0303-1352	Cecilia Maria Guzman Araya	Riego	6.307,0
ND-0303-1357	Javier Reinaldo Sánchez Palma	Riego	6.938,0
<b>SHAC Llanos Chacritas y Las Campanas</b>			
ND-0303-918	Compañía Minera Del Pacifico S.A.	Minería	157.680
ND-0303-33	Abraham Humberto Araya Ocampo	Riego	268.056
ND-0303-403	Agrícola Chacritas S.A.	Riego	403.661
ND-0303-403	Agrícola Chacritas S.A.	Riego	523.498

<b>Expediente</b>	<b>Peticionario</b>	<b>Uso</b>	<b>Volumen Total Anual Acumulado (m<sup>3</sup>/año)</b>
ND-0303-404	Comercial Puerto Viejo S.A.	Riego	633.874
ND-0303-414	Compañía Minera Del Pacifico S.A.	Minería	1.106.914
ND-0303-452	Leopoldo Tello Guzman	Riego	1.132.142
ND-0303-688	Osvaldo Antonio Diaz Cobian	Riego	1.135.611
ND-0303-863	Omar Vicente López Serrazina	Riego	1.136.242
ND-0303-1148	Juan Antonio Rojas Navarro	Riego	1.140.026
ND-0303-1149	Juan Antonio Rojas Navarro	Riego	1.148.225
ND-0303-832	Osvaldo Antonio Diaz Cobian	Riego	1.463.585
ND-0303-832	Osvaldo Antonio Diaz Cobian	Riego	1.778.945
ND-0303-832	Osvaldo Antonio Diaz Cobian	Riego	2.094.305
ND-0303-918	Compañía Minera Del Pacifico S.A.	Minería	157.680
ND-0303-33	Abraham Humberto Araya Ocampo	Riego	268.056
ND-0303-403	Agrícola Chacritas S.A.	Riego	403.661
ND-0303-403	Agrícola Chacritas S.A.	Riego	523.498
ND-0303-404	Comercial Puerto Viejo S.A.	Riego	633.874
ND-0303-414	Compañía Minera Del Pacifico S.A.	Minería	1.106.914

Fuente: Elaboración propia con antecedentes CPA-BNA.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes CPA-BNA.

**Figura 4-21: Figura Derechos Aprovechamiento Concedidos Adoptados**

---

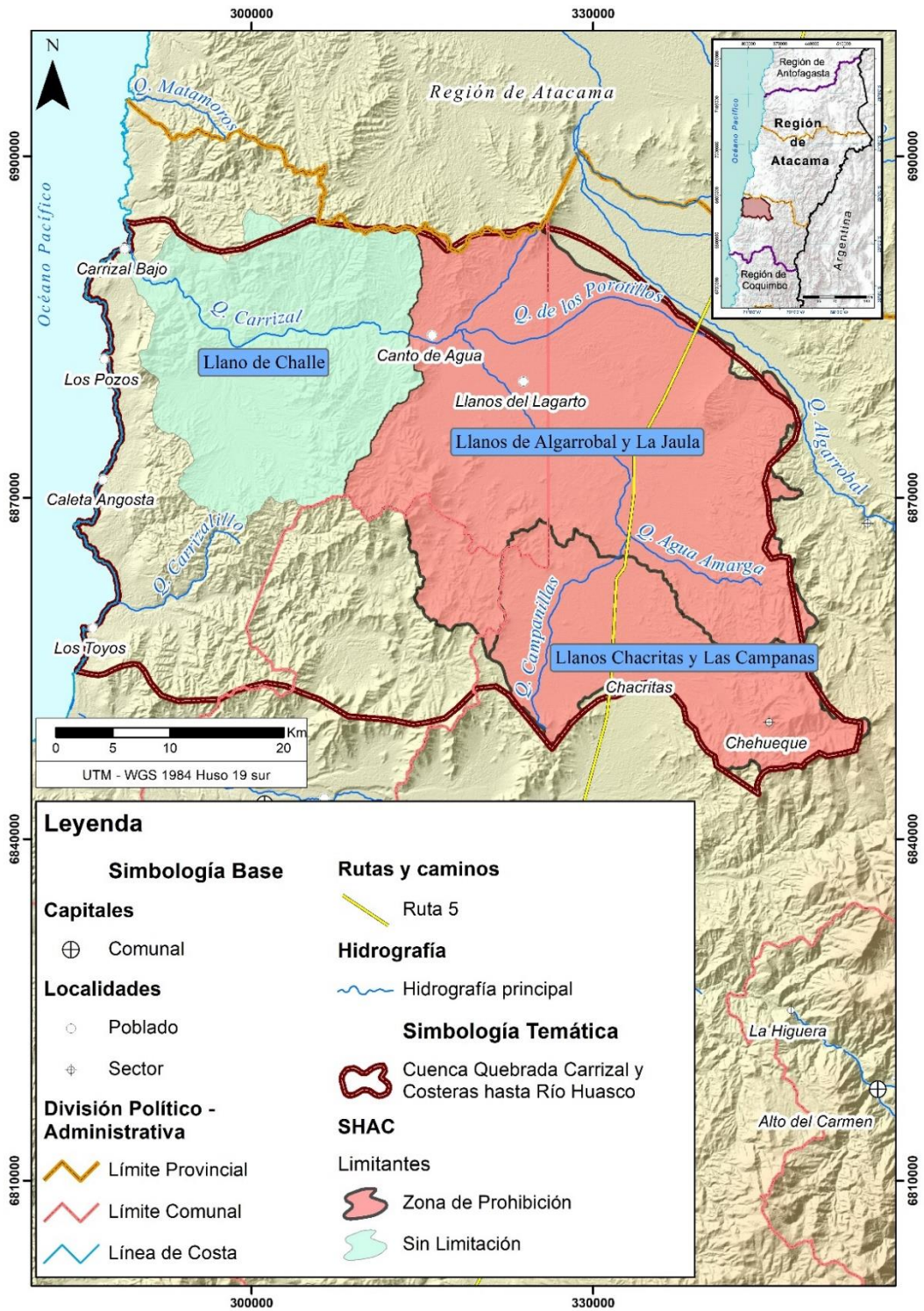
#### 4.2.6 Zonas de Prohibición

Actualmente existen 2 zonas de prohibición para nuevas explotaciones de aguas subterráneas en el territorio, lo que se resume en la Tabla 4-11, y se muestran gráficamente en la Figura 4-22. Se hace notar que para el SHAC de Llano del Challe no se decretó prohibición, y se denota con un color claro en la figura.

**Tabla 4-11: Zonas de Prohibición a nivel Territorial**

<b>SHAC</b>	Llanos Chacritas y Las Campanas
<b>Tipo Limitación</b>	Zona de Prohibición
Nº de Resolución DGA	24
Fecha Resolución DGA	09-11-2018
<b>SHAC</b>	Llanos de Algarrobal y La Jaula
<b>Tipo Limitación</b>	Zona de Prohibición
Nº de Resolución DGA	24
Fecha Resolución DGA	09-11-2018

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA.

**Figura 4-22: Zonas de Restricción**

---

## **5 BALANCE DE AGUA**

Para la ejecución del presente estudio, se desarrollaron 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 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 de Carrizal, a partir de los modelos numéricos existentes y facilitados por la 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, por lo tanto, es imposible independizar los efectos que generan las acciones de un territorio sobre el otro, tal como se presenta en el acápite 1.2 del Anexo H.

La simulación hidrológica se realiza mediante el acople del código MODFLOW, que permite la representación del sistema subterráneo en la plataforma WEAP, utilizada en la modelación del sistema superficial. El detalle de la metodología y plataformas utilizadas para alcanzar un acople efectivo se presentan en los acápites 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 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



---

#### **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 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 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**

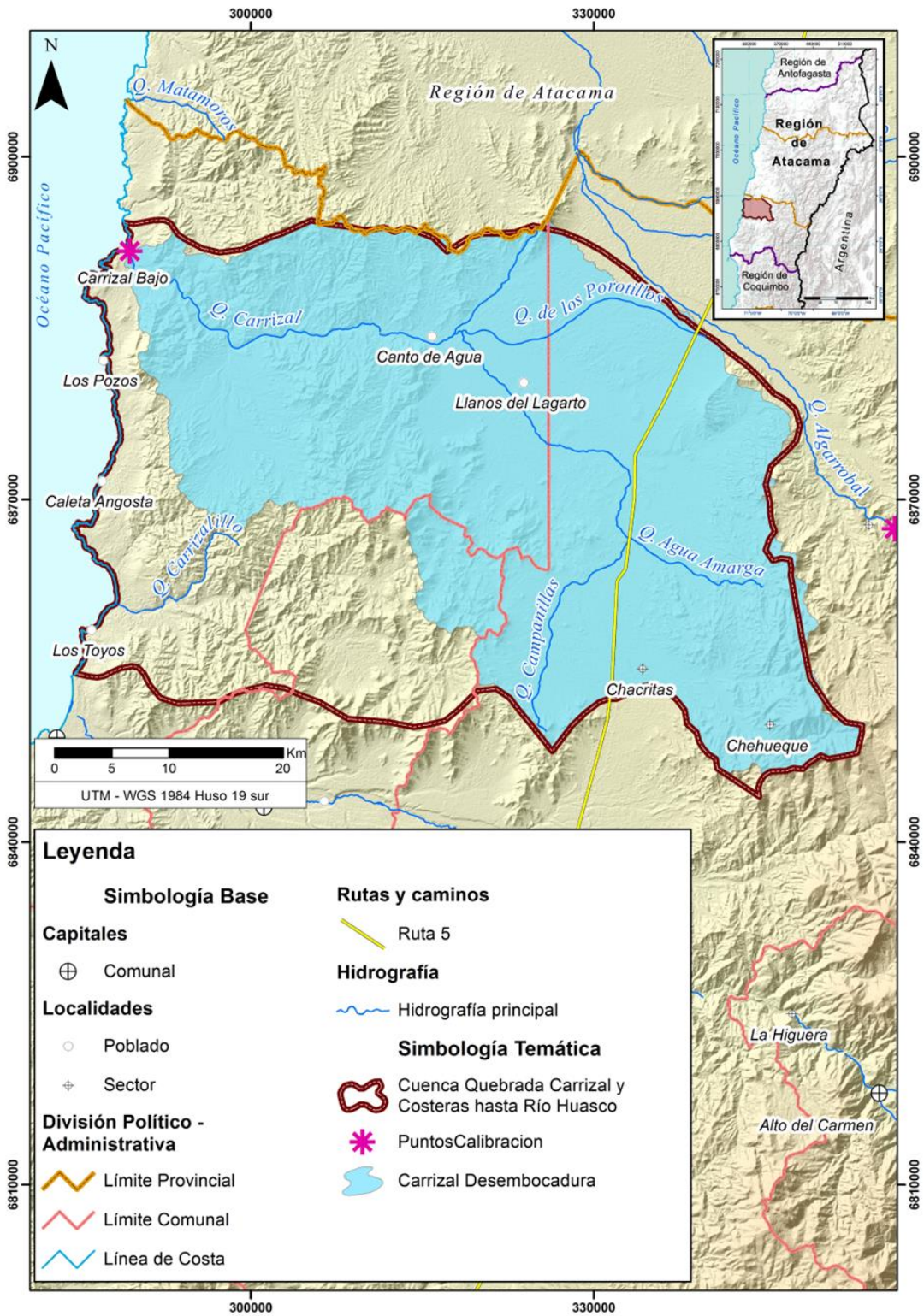
En el capítulo 3 del Anexo H se presenta la construcción del modelo acoplado WEAP-MODFLOW de la cuenca Quebrada de Carrizal, conforme a la metodología indicada.

#### **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 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 obtienen los indicadores de calibración en el punto de control más relevantes de la cuenca, correspondiente a la desembocadura y mostrados en la Figura 5-2.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-2: Punto 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) en cuenca Quebrada de Carrizal**

Punto	KGE	NSE	$R^2$	PBIAS	ME
Carrizal Desembocadura	0,64	0,24	0,47	4,7	0,00

Fuente: Elaboración propia.

La cuenca 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 adecuada, donde la calibración superficial sintética entrega resultados Satisfactorios para KGE ( $>0,3$ ) y Muy buenos para PBIAS ( $< 10\%$ ).

#### **5.1.1.5 Calibración de niveles subterráneos**

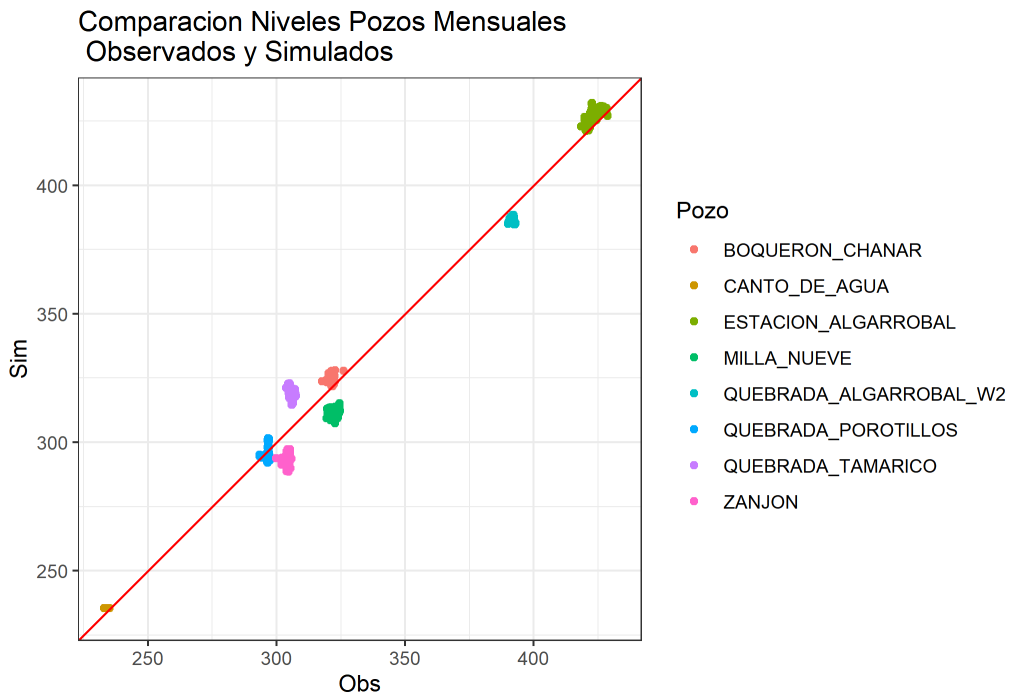
En la componente subterránea se observa una buena calidad en los ajustes del periodo 1990-2019; con un MAE y RMSE normalizado inferior a 5% (3,8% y 4,5%, respectivamente), acorde con los criterios de cierre recomendados por la Guía de Modelación Subterránea (SEA, 2012). Así también, en el acápite 5.2.1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

<b>Estadígrafo</b>	<b>Valor</b>
Coefficiente de determinación - R <sup>2</sup>	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 de Carrizal.

#### 5.1.2.1 Selección de Modelos de Circulación General disponibles

En el capítulo 5 del Anexo H se presenta el detalle de la selección de los MCG. 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-CMSA-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 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 promedio en las precipitaciones de 15,4% y un aumento de 1,16 °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 si se considera la existencia de cambio climático a través del uso de modelos climáticos, según las consideraciones enunciadas en el acápite precedente. En particular, la superficie agrícola de riego durante este período se mantiene constante desde el año 2019 (96,1 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**

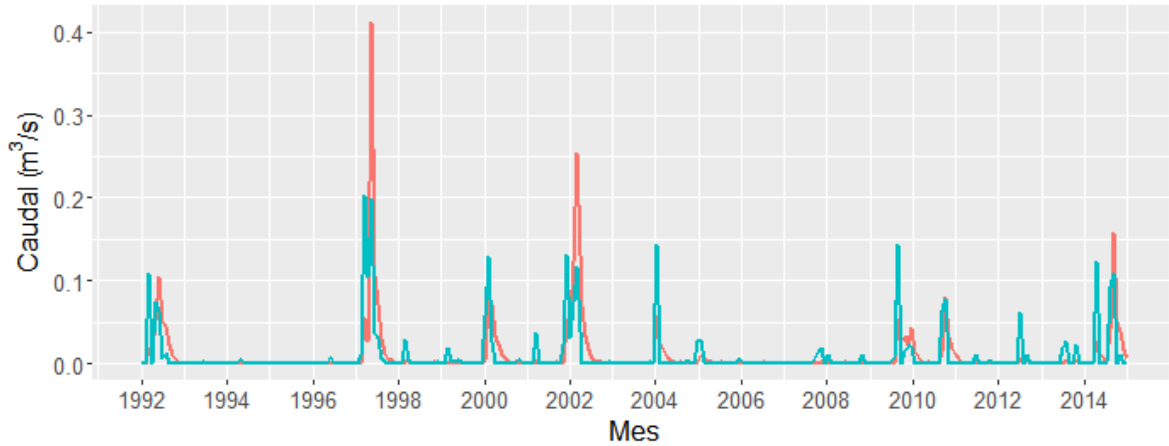
### **5.2.1 Resultados de Escenario Base**

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.

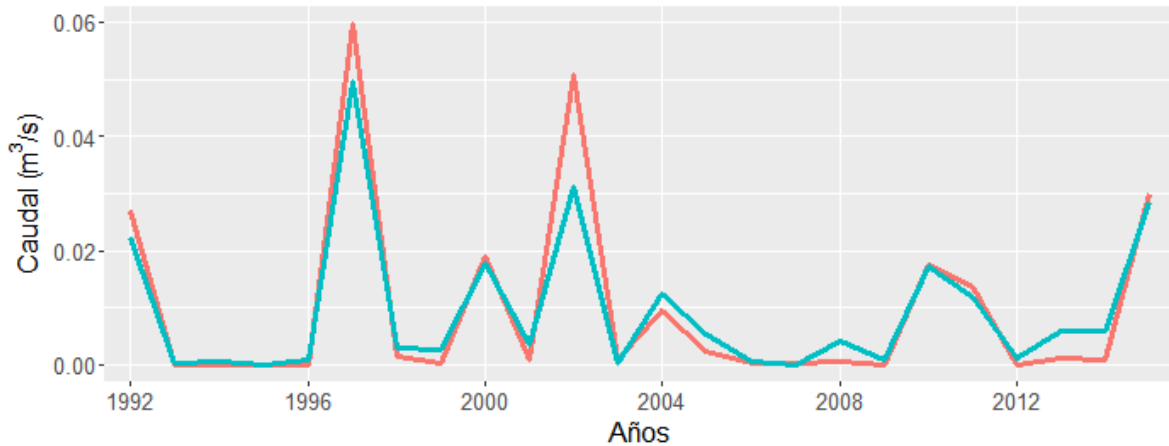
#### ***5.2.1.1 Flujos superficiales en puntos de control***

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 en la Quebrada de Carrizal, las que se resumen en la Tabla 5-1 y se muestra en Figura 5-4.

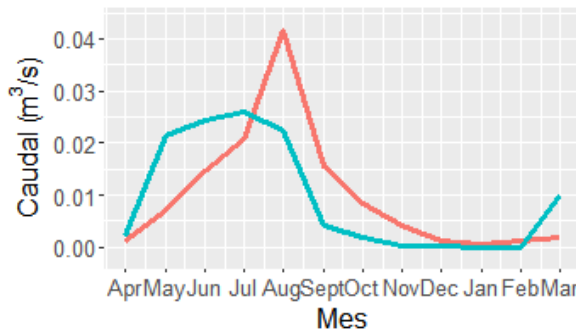
**Ajuste de caudales superficiales observados y WEAP - Cuencas Costeras Totoral**  
**Streamflow - Q Carrizal\_**  
**Caudal mensual**



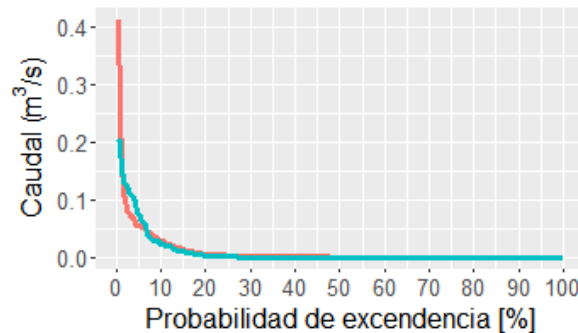
**Caudal medio anual**



**Caudal medio mensual**



**Curva de duracion**



— WEAP sim — zOBS

$KGE = 0.64$  ;  $NSE = 0.24$  ;  $RMSE = 0.03$  ;  $R^2 = 0.47$  ;  $PBIAS = 4.7$  ;  $ME = 0$

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-4: Resultados calibración en punto de control Carrizal Desembocadura**

En la salida de la cuenca, el punto de control Carrizal Desembocadura presenta un indicador de KGE satisfactorio y un error medio muy bajo ( $PBIAS < 5\%$ ), pero no es capaz de reproducir un flujo base con una estacionalidad pluvio-nival mayor a la observada. Esto se produce porque el modelo es más sensible a la respuesta de la precipitación en la parte alta, donde también existen estas sobrestimaciones. Sin embargo, el modelo sí está reproduciendo crecidas que son asociadas a eventos extremos en el mes y que probablemente tampoco se pudieron registrar de buena manera en la estadística.

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 ( $\sigma$ ) aumentan a medida que se desciende por la cuenca.

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

<b>Estación/Estadístico</b>	<b>Max (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Min (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b><math>\bar{x}</math> (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b><math>\sigma</math> (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>CV (-)</b>
Carrizal Desembocadura	0,423	0,013	0,028	0,035	1,25

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

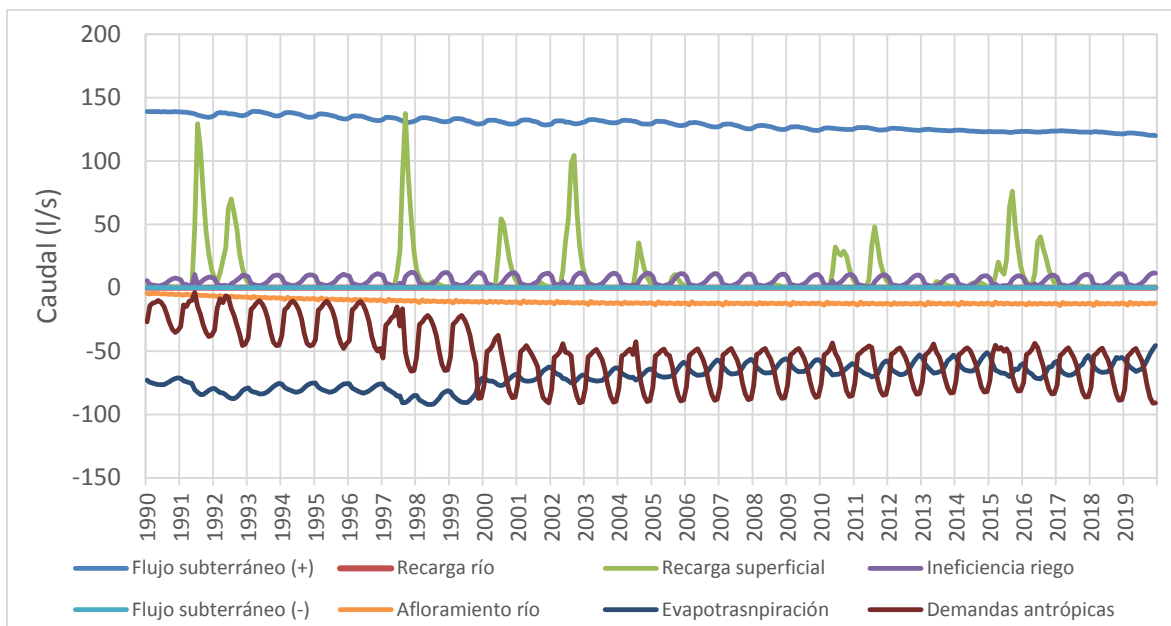
Fuente: Elaboración propia.

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 5-5 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 5-5: Balance hídrico por componentes en sector del acuífero ubicado en cuenca Quebrada de Carrizal**

El detalle de los flujos de entrada y salida para las condiciones históricas y último año de simulación es mostrado en la Tabla 5-4.

**Tabla 5-4: Balance hidrogeológico (l/s) en acuífero Escenario de calibración**

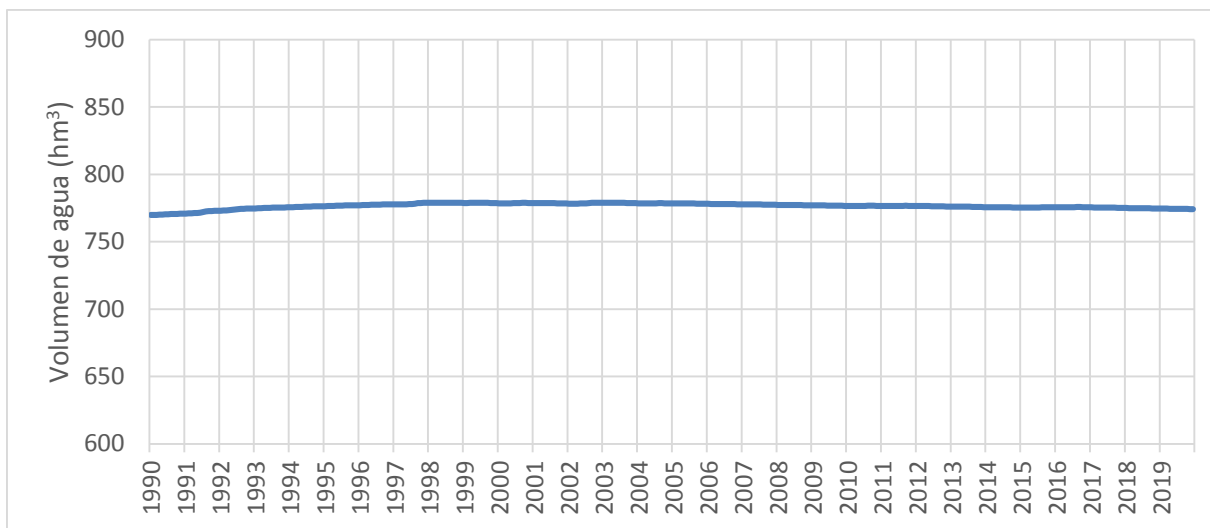
Sector	1990 - 2019	2019
<b>Entradas (l/s)</b>		
Flujo subterráneo	129	121
Recarga río	0	0
Recarga superficial	9	0
Ineficiencia riego	5	6
<b>Total</b>	<b>143</b>	<b>127</b>
<b>Salidas (l/s)</b>		
Flujo subterráneo <sup>a</sup>	0	0
Afloramiento río	-11	-13
Evapotranspiración <sup>b</sup>	-70	-59
Demandas antrópicas	-53	-67
<b>Total</b>	<b>-134</b>	<b>-138</b>
<b>Variación del almacenamiento (l/s)</b>	<b>9</b>	<b>-11</b>

<sup>a</sup> corresponde al flujo que transita desde el sector acuífero Carrizal hacia el de Totoral.

<sup>b</sup> considera exclusivamente la evapotranspiración del humedal del sector Canto del Agua.

Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia que para la condición actual (año 2019) la variación en el almacenamiento alcanza los -11 l/s. Esto ocurre principalmente por la disminución del flujo subterráneo aportante al acuífero y a una mayor demanda antrópica. Finalmente, se muestra en la Figura 5-6 la variación del volumen acuífero modelado en el sector ubicado en la cuenca Quebrada de Carrizal para todo el periodo de modelación.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-6: Variación del volumen del acuífero en el sector Carrizal**

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 5 hm<sup>3</sup> al año 2019.

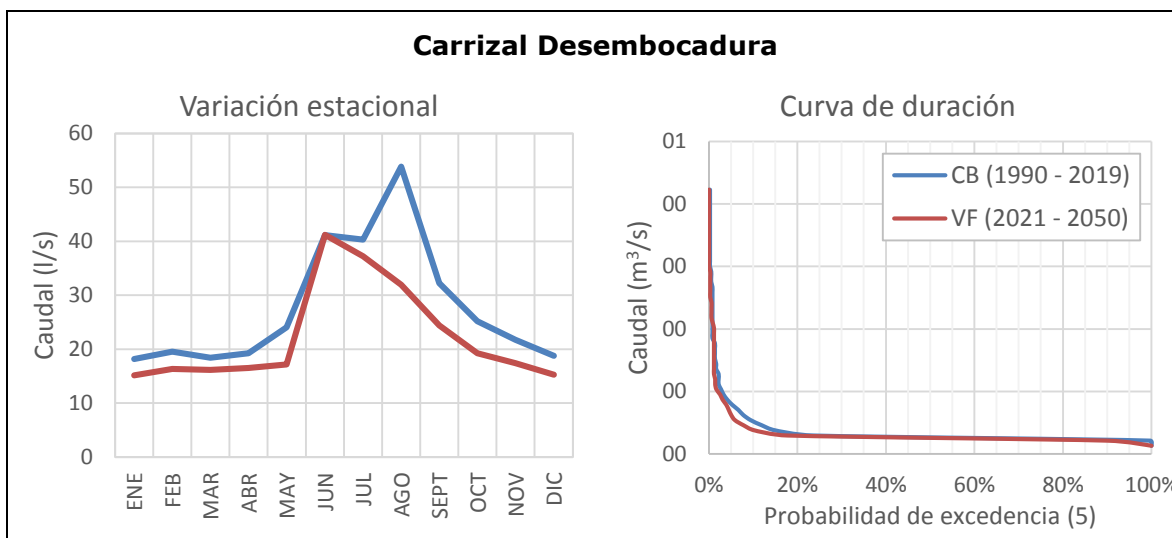
### 5.2.2 Resultados de escenario Cambio Climático seleccionado

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 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 5-7 se presentan las curvas de variación estacional y las curvas de duración de caudales del punto de control de la cuenca. La comparación se realiza respecto a los caudales simulados para el periodo de calibración.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-7: Variación futura de la escorrentía superficial en punto de control**

La Figura 5-7 muestra que el punto de control de la cuenca mantiene una curva de duración de caudales similares en el escenario VF y CB para probabilidades de excedencia entre 20% 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 CF existen disminuciones en la magnitud del caudal medio mensual en todos los meses.

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

Se aprecia que el máximo (Max), mínimo (Min), promedio ( $\bar{x}$ ) y desviación estándar ( $\sigma$ ) presentan 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.

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

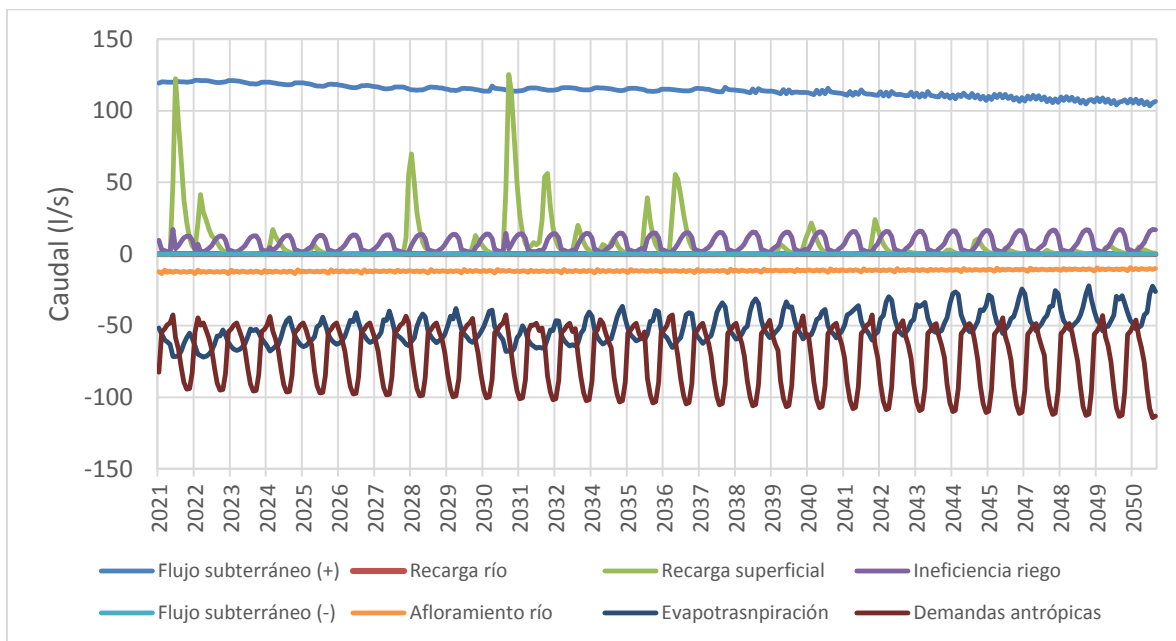
Estación/Estadístico	Max (m <sup>3</sup> /s)	Min (m <sup>3</sup> /s)	$\bar{x}$ (m <sup>3</sup> /s)	$\sigma$ (m <sup>3</sup> /s)	CV (-)
Carrizal Desembocadura	0,291	0,012	0,022	0,027	1,19

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

Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.2.2 Balance hídrico subterráneo proyectado

La Figura 5-8 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.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-8: Balance hídrico futuro por componentes en sector del acuífero ubicado en cuenca Quebrada de Carrizal**

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

**Tabla 5-6: Balance hidrogeológico (l/s) en acuífero Escenario de futuro base**

<b>Sector</b>	<b>2021- 2050</b>	<b>2050</b>
<b>Entradas (l/s)</b>		
Flujo subterráneo	110	100
Recarga río	0	0
Recarga superficial	7	2
Ineficiencia riego	6	6
Total	123	107
<b>Salidas (l/s)</b>		
Flujo subterráneo <sup>a</sup>	0	0
Afloramiento río	-10	-9
Evapotranspiración <sup>b</sup>	-44	-32
Demandas antrópicas	-76	-76
Total	-130	-117
<b>Variación del almacenamiento (l/s)</b>	<b>-7</b>	<b>-10</b>

<sup>a</sup> corresponde al flujo que transita desde el sector acuífero Carrizal hacia el de Totoral.

<sup>b</sup> considera exclusivamente la evapotranspiración del humedal del sector Canto del Agua.

Fuente: Elaboración propia.

### **5.2.3 Síntesis de brechas entre oferta y demanda**

La demanda de agua y brecha hídrica en la cuenca 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.

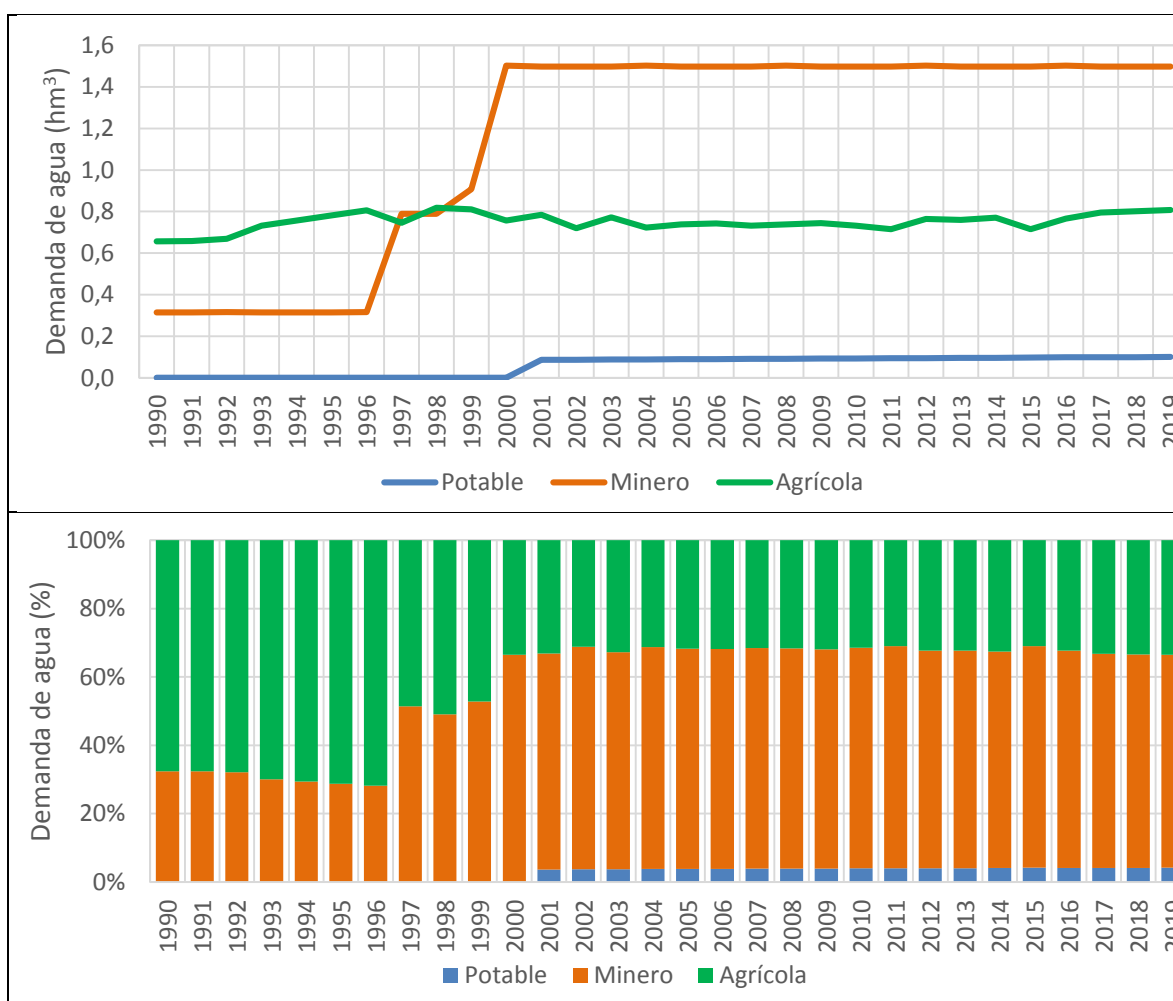
#### *5.2.3.1 Requerimiento de agua*

A continuación, se muestra en la Tabla 5-7 y Figura 5-9 la síntesis de los requerimientos de agua en la cuenca, categorizados según su uso. El detalle de la información ingresada al modelo se muestra en el capítulo 2 del Anexo H.

**Tabla 5-7: Síntesis de demandas brutas de agua y brecha hídrica en cuenca Quebrada de Carrizal**

Periodo	1990 – 2019		2019	
	hm <sup>3</sup>	%	hm <sup>3</sup>	%
Potable	0,06	3%	0,10	4%
Minería	1,16	59%	1,50	62%
Agrícola	0,75	38%	0,81	34%
Total	1,97	100%	2,41	100%

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-9: Demanda de agua en la cuenca por tipo (panel superior) y como porcentaje del total (panel inferior)**

Es claro que a partir de 1998 la demanda hídrica asociada a la minería es la predominante en el territorio, requiriendo 1,5 hm<sup>3</sup> al año 2019. Considerando que la

---

demanda total en la cuenca para aquel año es de 2,4 hm<sup>3</sup>, en la situación actual el sector minero abarca el 62% de la demanda bruta consuntiva en toda la cuenca.

#### 5.2.3.2 Brecha hídrica

La brecha hídrica en la cuenca 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 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 un sector de interés y punto 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 (acápites 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.

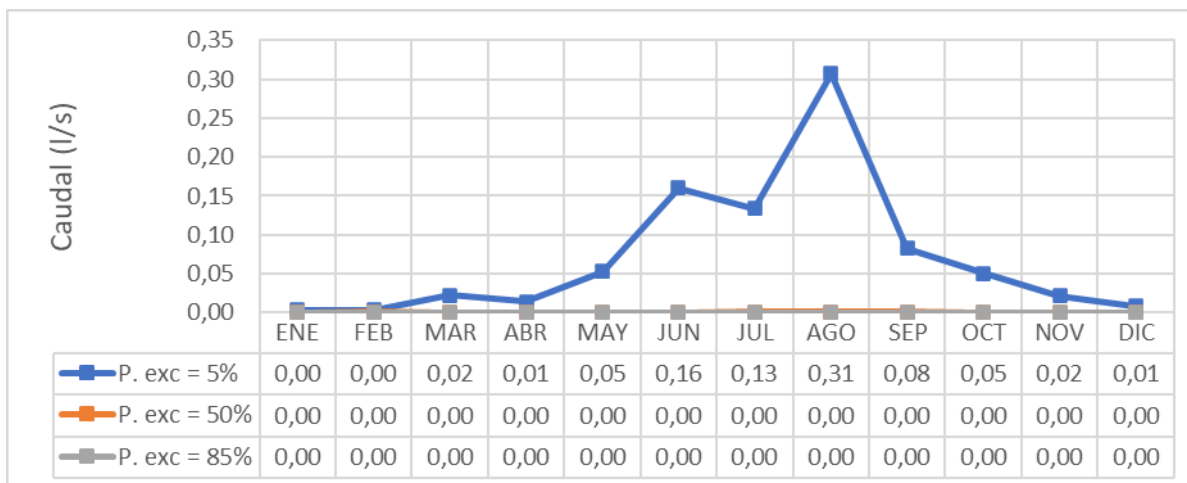
La intervención antrópica involucra a cualquier acción realizada por el ser humano, tal como: deforestación, pesca, agricultura, construcción, entre otras; por lo que la configuración de un régimen natural en el territorio implica suprimir todas aquellas intervenciones antrópicas. Este estado se conceptualiza 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 presenta en la Figura 5-10 los gráficos de curvas de variación estacional de caudales con probabilidad de excedencia de un 5%, 50% y 85%, para el punto de control de la cuenca Quebrada de Carrizal mostrado 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 5-10: Curva de variación estacional del sector Carrizal Desembocadura**

### 5.3.1.2 Actualización de los derechos otorgados y en trámite de todo tipo

Como se indica en el acápite 4.1.6 más atrás, no se identificaron DAA superficiales.

### 5.3.1.3 Caudal ecológico

La actualización de los caudales ecológicos en el tramo de interés de la cuenca Quebrada de Carrizal, calculado 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
Carrizal Desembocadura	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	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 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 se presentan los resultados de la metodología aplicada para el sector que define el punto Carrizal Desembocadura. 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 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 Carrizal Desembocadura (m<sup>3</sup>/s)**

<b>Sector</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
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 <sup>a</sup>	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

<sup>a</sup> 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.

### 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 (DARH; 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 de SHACs**

En la cuenca Quebrada de Carrizal actualmente existen tres SHACs definidos por DGA, correspondientes a Llano del Challe; Llano de Algarrobal y La Jaula; y Llanos las Chacritas y Las Campanas. 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 5-10.

Los resultados del análisis de los criterios de sustentabilidad aplicados a la cuenca Quebrada de Carrizal se presentan sólo para el SHAC Llano de Algarrobal y La Jaula, ya que este es el único modelado íntegramente a través del acople WEAP – MODFLOW.

**Tabla 5-10: Estado actual de SHACs en la cuenca**

<b>SHAC</b>	<b>Estado</b>
Llanos de Challe	Abierto
Llano de Algarrobal y La Jaula	Zona de Prohibición
Llanos las Chacritas y Las Campanas	Zona de Prohibición

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA.

#### **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 5-11.

**Tabla 5-11: Resultados de criterio volumen sustentable**

<b>SHAC</b>	Llano de Algarrobal y la Jaula
<b>Código WEAP</b>	GW_Carrizal
<b>Volumen año 2000 (hm<sup>3</sup>)</b>	778,6
<b>Volumen año 2050 (hm<sup>3</sup>)</b>	765,6
<b>Cambio (%)</b>	1,67
<b>Criterio</b>	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Considerando que el volumen de explotación sustentable para un periodo de 50 años corresponde a una variación máxima del 5%, el SHAC analizado cumple con el primer criterio. Este criterio corresponde al primer filtro, ya que basta con que uno de los criterios no se cumpla para establecer que no exista oferta sustentable subterránea dentro de la cuenca.

#### **ii. Criterio 2: Interferencia río-acuífero**

Este criterio implica inicialmente el cálculo del caudal medio anual con una probabilidad de excedencia del 85% ( $Q_{85\%}$ ). Para ello, en el modelo acoplado se incorporan estaciones de control de flujo superficial a la salida de cada SHAC, de manera de 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 5-12.

**Tabla 5-12: Resultados de criterio interferencia río-acuífero**

<b>SHAC</b>	Llano de Algarrobal y la Jaula
<b>Código WEAP</b>	GW_Carrizal
Recarga río año 2000 (l/s)	0,0
Afloramiento año 2000 (l/s)	10,7
<b>Flujo neto hacia el río año 2000 (l/s)</b>	10,7
Recarga río año 2050 (l/s)	0,0
Afloramiento año 2050 (l/s)	8,8
<b>Flujo neto hacia el río año 2050 (l/s)</b>	8,8
<b>Variación de Flujo neto hacia el río en periodo 2000 – 2050 (l/s)</b>	1,9
<b>Q<sub>85%</sub> - Caudal medio anual con probabilidad de excedencia del 85% (l/s)</b>	17,2
<b>10% * Q<sub>85%</sub> - Máximo caudal de interferencia (l/s)</b>	1,7
<b>Criterio</b>	No Cumple

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a lo anterior, se concluye que el SHAC Llano de Algarrobal y la Jaula no cumple el criterio de interferencia río-acuífero, ya que la variación del flujo neto hacia el río supera el máximo caudal de interferencia.

### iii. Criterio 3: Satisfacción de la demanda

Mediante el escenario de simulación que considera un periodo de 50 años, se determinó el porcentaje de cumplimiento de la demanda subterránea en el SHAC Carrizal.

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 5-13 sintetiza los resultados de la aplicación del criterio.

**Tabla 5-13: Resultados de criterio satisfacción de la demanda**

<b>SHAC</b>	Llano de Algarrobal y la Jaula
<b>Código WEAP</b>	GW_Carrizal
<b>Demanda bruta media 2000 – 2050 (l/s)</b>	75,2
<b>Demanda suplida media 2000 – 2050 (l/s)</b>	75,2
<b>Satisfacción de demanda (%)</b>	100,0%
<b>Criterio</b>	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados determinan que la satisfacción de demanda para el SHAC Llano de Algarrobal y la Jaula en periodo 2000 – 2050 es 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 de Carrizal sólo el SHAC Llano de Algarrobal y la Jaula 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**

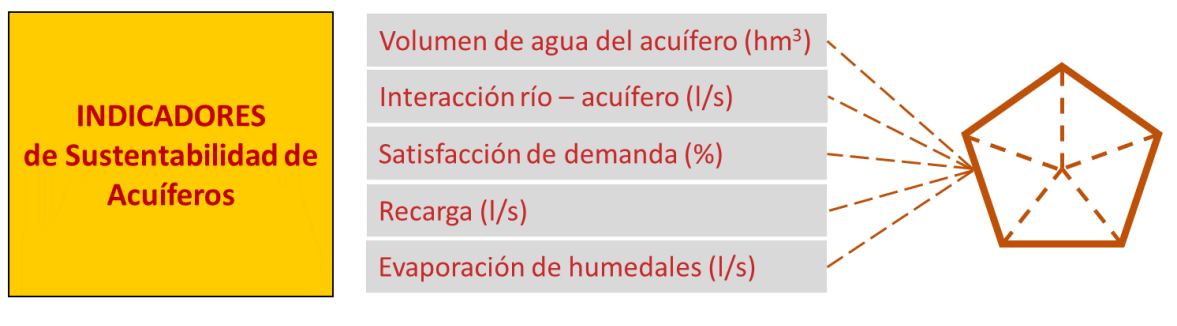
Para complementar la evaluación de los resultados presentados en los acápites precedentes, se utilizan Indicadores Hídricos para la sustentabilidad de acuíferos. Se descartan de antemano indicadores de uso del recurso superficial debido a su casi nulo uso dentro de la cuenca Quebrada de Carrizal.

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 del sector Canto del Agua.

Todos los Indicadores Hídricos para la sustentabilidad del acuífero ostentan la misma relevancia y son presentados en la Figura 5-11. Dichos indicadores permiten visualizar el comportamiento a nivel subterráneo y pueden ser utilizados como referencia en el seguimiento y monitoreo del Plan de Acción.

## Indicadores de Sustentabilidad y Seguridad Hídrica

Se utilizan indicadores para representar el estado de cada SHAC en distintos escenarios de gestión



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-11: Esquema de Indicadores Hídricos subterráneos**

### 5.4.1 Resultados de los indicadores

La Tabla 5-14 entrega los valores de los cinco Indicadores Hídricos para la sustentabilidad del acuífero para el periodo Caso Base 1990 – 2019 (90 – 19) y para la Ventana Futura 2021 – 2030 (21 – 30), 2031 – 2040 (31 – 40) y 2041 – 2050 (41 – 50).

**Tabla 5-14: Indicadores Hídricos para la sustentabilidad del acuífero. Periodos 1990 – 2019 (CB) y 2021 – 2050 (VF)**

<b>Indicador Hídrico</b>	<b>90 – 19</b>	<b>21 – 30</b>	<b>31 – 40</b>	<b>41 – 50</b>
Volumen de agua en acuífero (hm <sup>3</sup> )	777	774	772	770
Interacción río – acuífero (l/s)	-10,2	-10,7	-10,2	-9,3
Satisfacción demandas (%)	100%	100,00%	100,00%	100,00%
Recarga (l/s)	130,0	114,3	109,8	102,4
Evaporación humedales (l/s)	-67,0	-48,4	-45,5	-35,2

Fuente: Elaboración propia.

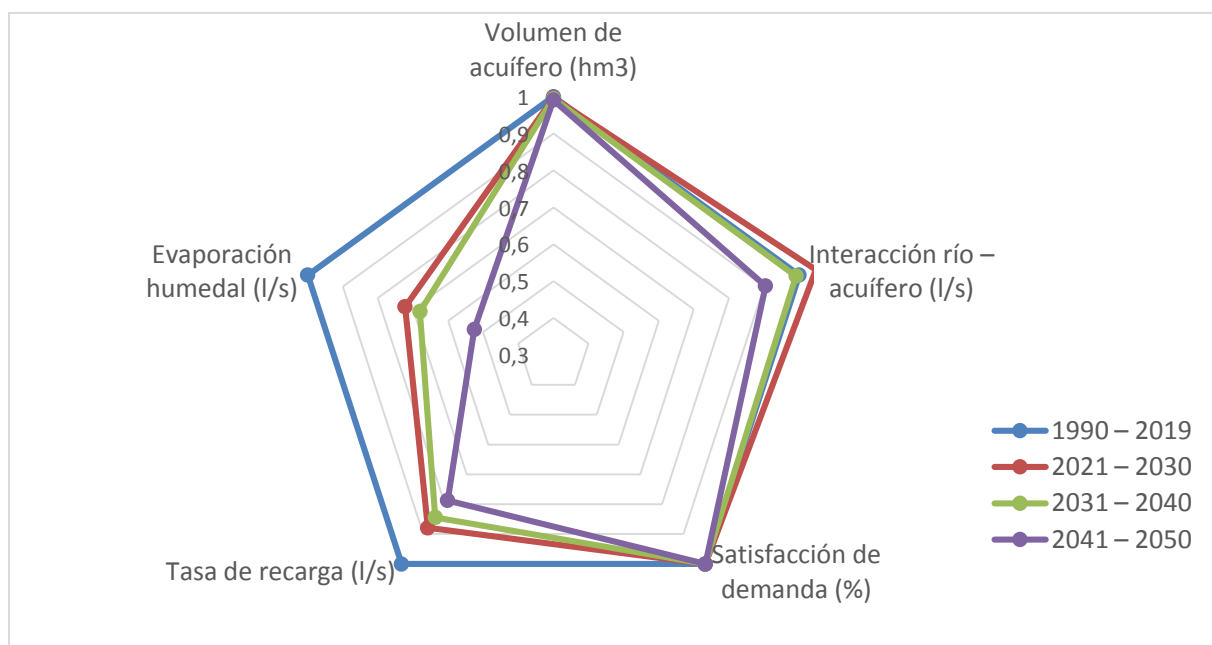
Se observa que en todos los Indicadores Hídricos, los valores asociados al Caso Base siempre son mayores para la Ventana Futura, con excepción de la Satisfacción de la demanda, que se mantiene igual en todos los periodos considerados.

#### 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 5-12 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 5-14) por lo que las curvas se desplazan hacia dentro del polígono.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-12: Comparación de Indicadores Hídricos adimensionales en escenarios Caso Base (CB) y Ventana Futura (VF)**

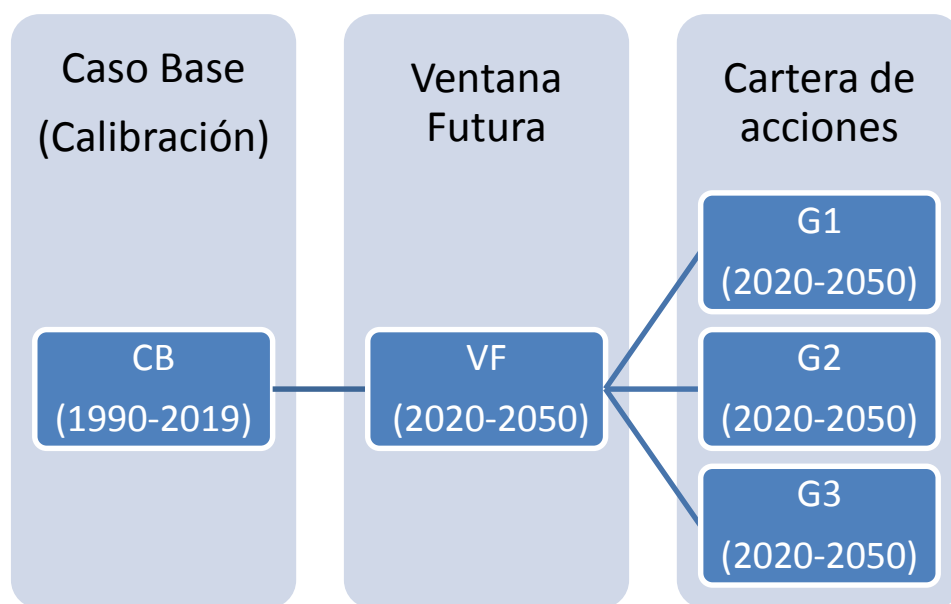
Se destaca que los indicadores evaluados son menores en cada década sucesiva, lo que da cuenta de problemas a futuro producto del cambio climático. En específico, la mayor disminución ocurre para el indicador Evaporación del humedal, seguido por la tasa de recarga e Interacción río - acuífero. El Volumen del agua en el acuífero también

disminuye, pero en menor medida relativa, mientras que la Satisfacción de la demanda es igual tanto en el escenario CB y en los periodos del 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 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 5-13 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 5-13: Escenarios modelados en WEAP**

### 5.5.1 Definición de escenarios

A continuación, se detallan los escenarios mostrados en la Figura 5-13 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 están anidadas 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, 2022a), 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 a toda la cuenca Quebrada de Carrizal, ya que actualmente posee una gran cantidad de DAA otorgados, alcanzando los 331,9 l/s (10,47 hm<sup>3</sup>/año). La implementación es en razón al perjuicio potencial que provocaría un aumento en la explotación de las aguas subterráneas sobre un objeto de protección, definido como el humedal del sector Canto del Agua (Figura 2-22). De acuerdo a ello, se han evaluado las posibles variaciones en los flujos evaporativos del humedal, los que se asocian a la variación de niveles freáticos en la zona, producto de la explotación y los flujos aportantes debido al cambio climático. Es importante mencionar que este instrumento sólo logra abordar la sustentabilidad de los ecosistemas desde el punto de vista cuantitativo, no incorporando la naturaleza química de los acuíferos y la estabilidad de la interfaz salina que permite gran parte del desarrollo de los sistemas lagunares, cuestión que toma relevancia en los sistemas endorreicos.

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 se detalla en la Tabla 5-15.

El análisis de la variación de los flujos evaporativos se realiza mediante la comparación de los entregables del modelo de simulación Flujos subterráneos de entrada y salida: Evaporación, para todos los sub – escenarios.

**Tabla 5-15: Volumen subterráneo demandado en escenarios de explotación**

<b>Escenario explotación</b>	<b>Volumen demandado (%)</b>	<b>Volumen demandado (hm<sup>3</sup>/año)</b>
CD10	10%	1,05
CD15	15%	1,57
CD25	25%	2,62
CD35	35%	3,68
CD50	50%	5,23
CD100	100%	10,47

Fuente: Elaboración propia.

#### *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 SSR está asociada con extracciones subterráneas por lo que no se debe considerar por esto una variación en la demanda superficial. El aumento se realizó sobre los pozos existentes, de acuerdo con la discretización del modelo WEAP, y no representa un análisis específico del punto de captación, sino un análisis más general a nivel de SHAC y cuenca, acorde a los objetivos del presente estudio.

La estimación de la demanda agrícola utiliza la proyección de superficies agrícolas de riego realizada por DGA (2017a), estudio en el cual 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 5-16 se presentan las proyecciones por cultivo hasta el año 2050.

Finalmente, para la estimación futura de la demanda de uso minero, se realiza una simplificación en el cálculo de proyección. Para esto, se utiliza la estimación de demanda futura para uso minero indicada en el acápite 3.4, a la cual se calcula el porcentaje de crecimiento de la demanda desde el 2020 a 2040, con respecto al año 2019. Este aumento porcentual se muestra en la Tabla 5-17.

**Tabla 5-16: Superficies agrícolas de riego (ha) proyectadas para distintos grupos de cultivo en cuenca Quebrada de Carrizal**

<b>Distrito</b>	<b>Nombre WEAP</b>	<b>ID Cultivo</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2040</b>	<b>2050</b>
Carrizal (0330402)	ZR_Carrizal	CER	0,5	0,7	0,8	0,9
		FOP	3,9	2,9	1,8	0,8
		HOR	0,2	0,0	0,0	0,0
		VIÑ	0,0	0,0	0,0	0,0
		FRU	87,0	101,6	116,3	129,7
		<b>Total</b>	<b>91,6</b>	<b>105,2</b>	<b>118,9</b>	<b>131,4</b>

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

**Tabla 5-17: Proyecciones de demanda minera en cuenca Quebrada de Carrizal**

<b>Año</b>	<b>Cambio con respecto a 2019 (%)</b>
2020	0,4%
2021	14,1%
2022	15,0%
2023	18,0%
2024	23,4%
2025	16,2%
2026	22,1%
2027	15,0%
2028	32,7%
2029	33,1%
2030	46,8%
2031	47,7%
2032	50,8%
2033	56,1%
2034	48,9%
2035	54,8%
2036	47,8%
2037	65,4%
2038	65,8%
2039	79,6%
2040	80,4%

Fuente: DGA (2017a).

Se aplicó entonces este porcentaje de crecimiento a la demanda año 2019 presentada en el acápite 5.2.3 más atrás, obteniendo de esta forma una demanda propia para los años 2030 y 2040. Utilizando la ecuación de la recta para extrapolar, se estiman las demandas para el periodo 2041 – 2050, generando un aumento proporcional al caudal

---

para cada pozo y captación, con excepción de los DAA asociados a los titulares Minera Los Colorados, ya que ellos informaron en su plan de desarrollo que no aumentarán la demanda de agua subterránea en el futuro.

#### *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 1,6 hm<sup>3</sup>/año, equivalente al 66% de la demanda de agua total en la cuenca, según lo indicado anteriormente en el acápite 5.2.3 más atrás.

Se destaca 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 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 de volumen demandado – Evaporación del humedal sector Canto del Agua*

La Tabla 5-18 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, se tiene una reducción en las

entradas del modelo hidrogeológico asociado a la merma en precipitaciones. Como es de esperar, a medida que aumenta el volumen de explotación máxima, la reducción en el almacenamiento del acuífero aumenta proporcionalmente, sin embargo, parte relevante de este aumento en las extracciones es a cargo de también deprimir el flujo evaporativo.

**Tabla 5-18: Balance hídrico subterráneo (l/s) de sub – escenarios Art 62 CdA**

<b>Sub – escenario</b>	<b>CD10</b>	<b>CD15</b>	<b>CD25</b>	<b>CD35</b>	<b>CD50</b>	<b>CD100</b>
<b>Entradas (l/s)</b>						
Flujo subterráneo	107	108	109	110	112	116
Recarga río	0	0	0	0	0	0
Recarga superficial	7	7	7	7	7	7
Ineficiencia riego	0	0	0	0	0	0
Total	114	115	116	117	119	123
<b>Salidas (l/s)</b>						
Flujo subterráneo <sup>1</sup>	0	0	0	0	0	0
Afloramiento río	-12	-11	-11	-11	-11	-9
Evapotranspiración <sup>2</sup>	-71	-59	-43	-29	-12	-6
Demandas antrópicas	-28	-42	-61	-79	-101	-118
Total	-111	-113	-116	-119	-123	-134
<b>Variación del almacenamiento (l/s)</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>-2</b>	<b>-5</b>	<b>-11</b>

<sup>1</sup> corresponde al flujo que transita desde el sector acuífero Carrizal hacia el de Totoral.

<sup>2</sup> considera exclusivamente la evapotranspiración del humedal del sector Canto del Agua.

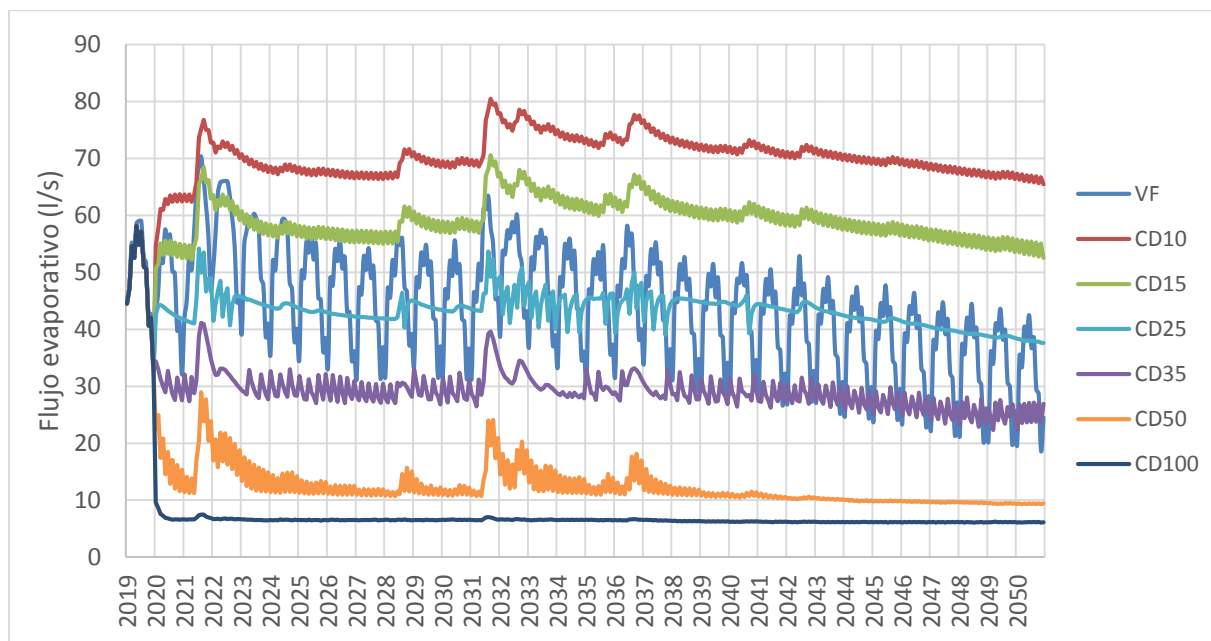
Fuente: Elaboración propia.

Considerando que la aplicación del artículo 62 del CdA sobre el objeto de protección corresponde a las variaciones sobre el flujo evaporativo del humedal del sector Canto del Agua, se presenta en la Figura 5-14 la variación del afloramiento para cada escenario de evaluación en el periodo 2020 – 2050.

Se observa que el escenario VF, el cual tiene un nivel de extracciones subterráneas en el periodo 2020 – 2050 catalogado como sustentable (ver acápite 5.3.2 más atrás), presenta un descenso sostenido del flujo evaporativo. Es decir, el humedal del sector Canto de Agua afrontaría una merma base asociada a las variaciones provocadas por el cambio climático.

Se ha determinado, de acuerdo a la metodología, que el efecto del volumen de explotación proyectado para los 30 años de simulación es posible observarlo en los últimos cinco años, es decir el periodo 2045 – 2050. El valor promedio del flujo

evaporativo en este periodo de evaluación es comparado para cada modelo de simulación frente al escenario VF, ante lo cual se construye la Tabla 5-19 presentando los porcentajes de variación.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-14: Variación del flujo evaporativo en humedal sector Canto del Agua**

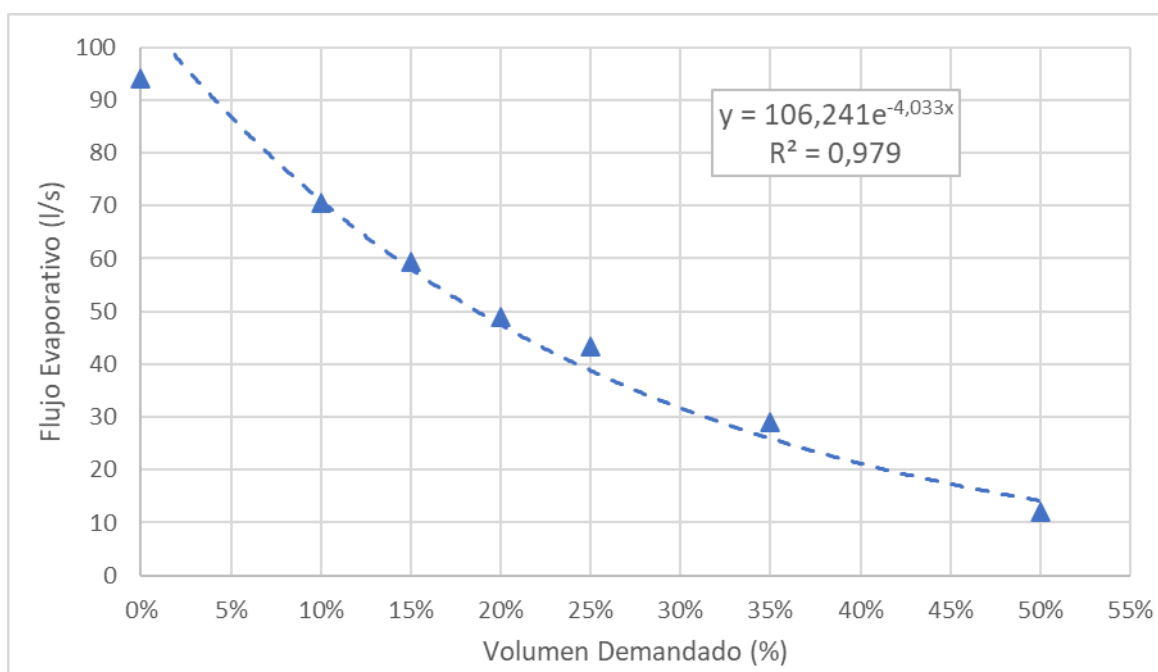
**Tabla 5-19: Variación del flujo evaporativo en humedal del sector Canto del Agua en periodo futuro de aplicación del artículo 62 del CdA**

Sub - Escenario	Evaporación promedio 2045 - 2050 (l/s)	Evaporación con respecto al escenario VF (%)
VF	35	-
CD10	68	197%
CD15	56	162%
CD25	40	115%
CD35	26	75%
CD50	10	28%
CD100	6	18%

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados presentados y considerando que la aplicación del artículo 62 estima una variación máxima de 10% entre el escenario VF frente a aquellos con

demanda, el volumen de explotación que cumpliría con este criterio se encontraría entre un 25% (CD25) y 35% (CD35). 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 la variación de 10% de los flujos evaporativos en el humedal del sector Canto del Agua como valor límite impuesto (31,5 l/s), correspondería a un 30,5% del volumen total de la demanda subterránea de la cuenca Quebrada de Carrizal, equivalente a 101 l/s (3,19 hm<sup>3</sup>/año), tal como se presenta en la Figura 5-15.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-15: Curva Volumen demandado – Flujo evaporativo del humedal**

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 5-20 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, mientras que G3 muestra una disminución en las demandas antrópicas y un aumento en el flujo evaporativo del humedal del sector Canto del Agua.

**Tabla 5-20: Comparación balance subterráneo, periodo futuro y último año**

Periodo	2021 – 2050			2050		
	VF	G2	G3	VF	G2	G3
<b>Flujos</b>						
<b>Entradas (l/s)</b>						
Flujo subterráneo	110	111	110	100	100	98
Recarga río	0	0	0	0	0	0
Recarga superficial	7	7	7	2	2	2
Ineficiencia riego	6	7	7	6	8	8
Total	124	125	125	123	125	108
<b>Salidas (l/s)</b>						
Flujo subterráneo <sup>a</sup>	0	0	0	0	0	0
Afloramiento río	-10	-10	-11	-9	-9	-11
Evapotranspiración <sup>b</sup>	-44	-37	-63	-32	-19	-71
Demandas antrópicas	-76	-88	-49	-76	-94	-35
Total	-130	-135	-123	-117	-122	-117
<b>Variación del almacenamiento (l/s)</b>	<b>-7</b>	<b>-10</b>	<b>1</b>	<b>-10</b>	<b>-12</b>	<b>-9</b>

<sup>a</sup> corresponde al flujo que transita desde el sector acuífero Carrizal hacia el de Totoral.

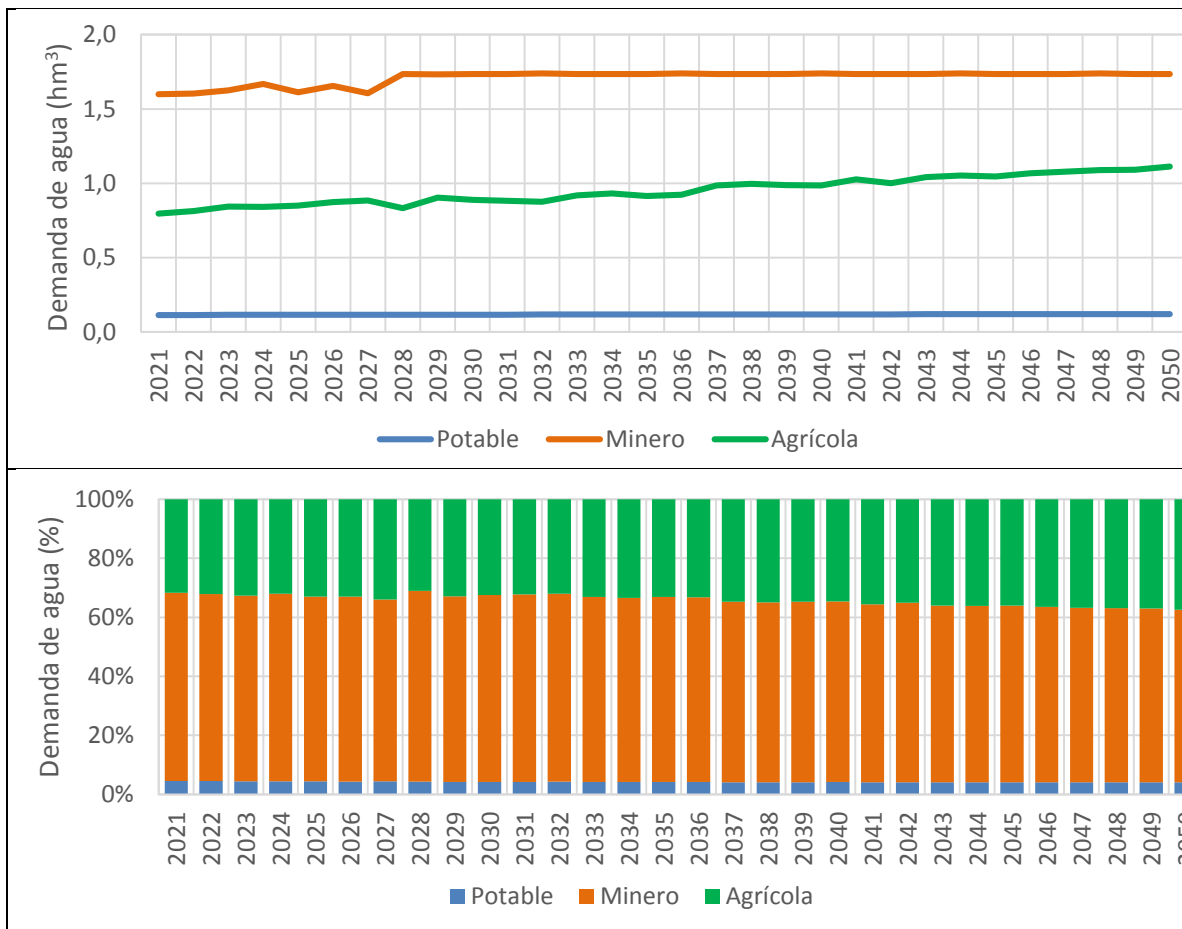
<sup>b</sup> considera exclusivamente la evapotranspiración del humedal del sector Canto del Agua.

Fuente: Elaboración propia.

### 5.5.2.3 Brecha hídrica y Demanda

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 5-16 muestra las demandas de agua del modelo WEAP según los supuestos del escenario G2.

Se observa que la demanda hídrica asociada a la minería es predominante en el escenario G2, requiriendo 1,73 hm<sup>3</sup> al año 2050. Considerando que la demanda total en la cuenca para aquel año es de 2,97 hm<sup>3</sup>, en la situación futura el sector minero abarca el 58% de la demanda bruta consuntiva en toda la cuenca.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-16: Demanda de agua en la cuenca por tipo (panel superior) y como porcentaje del total (panel inferior) en escenario futuro G2**

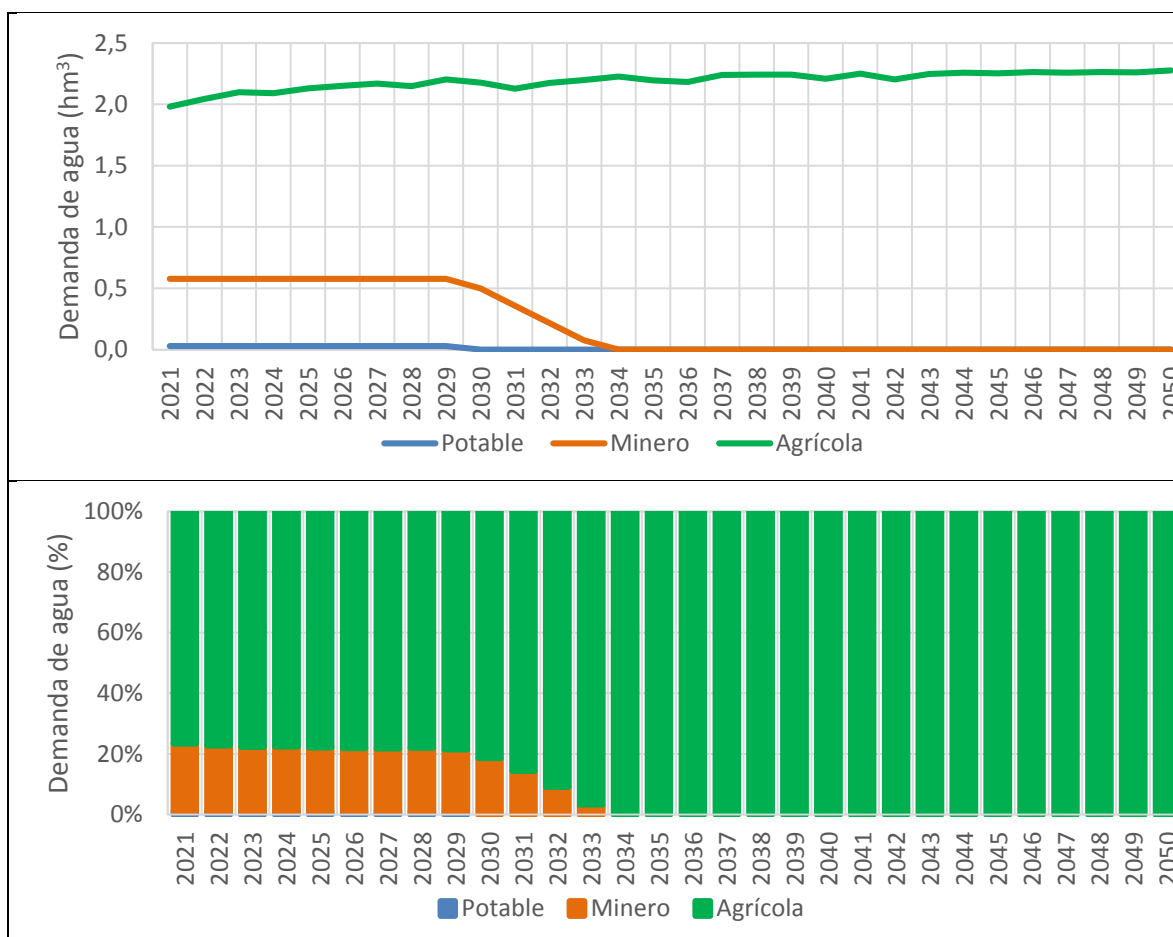
La brecha hídrica en la cuenca Quebrada de Carrizal es nula, ya que casi la totalidad del recurso hídrico se extrae desde fuentes subterráneas. El supuesto base considerado en el modelo WEAP – MODFLOW para evaluar la brecha hídrica subterránea de algún actor, es que el pozo solo deja de bombear si es que la celda en la cual se encuentra se seca. Finalmente, se presenta en la Tabla 5-21 la síntesis de la demanda bruta de agua y la brecha hídrica en la cuenca, sectorizadas por el uso del agua.

**Tabla 5-21: Síntesis de demanda de agua y brecha hídrica en escenario G2**

Tipo	Demanda bruta de agua				Brecha hídrica			
	2021 – 2050		2050		2021 – 2050		2050	
	(hm <sup>3</sup> )	(%)	(hm <sup>3</sup> )	(%)	(hm <sup>3</sup> )	(%)	(hm <sup>3</sup> )	(%)
Potable	0,12	4%	0,12	4%	-	-	-	-
Minería	1,71	62%	1,73	58%	-	-	-	-
Agrícola	0,95	34%	1,11	37%	-	-	-	-
Total	2,78	100%	2,97	100%	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Se muestran en la Figura 5-17 las demandas de agua del modelo WEAP según los supuestos del escenario G3.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-17: Demanda de agua en la cuenca por tipo (panel superior) y como porcentaje del total (panel inferior) en escenario futuro G3**

Se observa que la demanda hídrica asociada a la agricultura es predominante en el escenario G3, requiriendo 1,11 hm<sup>3</sup> al año 2050 y abarcando el 100% de la demanda bruta consuntiva en toda la cuenca. 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, donde nuevamente la brecha hídrica es nula debido a los mismos argumentos esgrimidos anteriormente.

**Tabla 5-22: Síntesis de demanda de agua y brecha hídrica en escenario G3**

Tipo	Demanda bruta de agua				Brecha hídrica			
	2021 – 2050		2050		2021 – 2050		2050	
Unidad	(hm <sup>3</sup> )	(%)	(hm <sup>3</sup> )	(%)	(hm <sup>3</sup> )	(%)	(hm <sup>3</sup> )	(%)
Potable	0,03	2%	0,00	0%	-	-	-	-
Minería	0,61	38%	0,00	0%	-	-	-	-
Agrícola	0,95	60%	1,11	100%	-	-	-	-
Total	1,60	100%	1,11	100%	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.5.2.4 Indicadores Hídricos para la sustentabilidad de acuíferos

La Tabla 5-23 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)

**Tabla 5-23: Indicadores Hídricos para la sustentabilidad del acuífero. Periodos 1990 – 2019 (CB) y 2021 – 2050 (G2)**

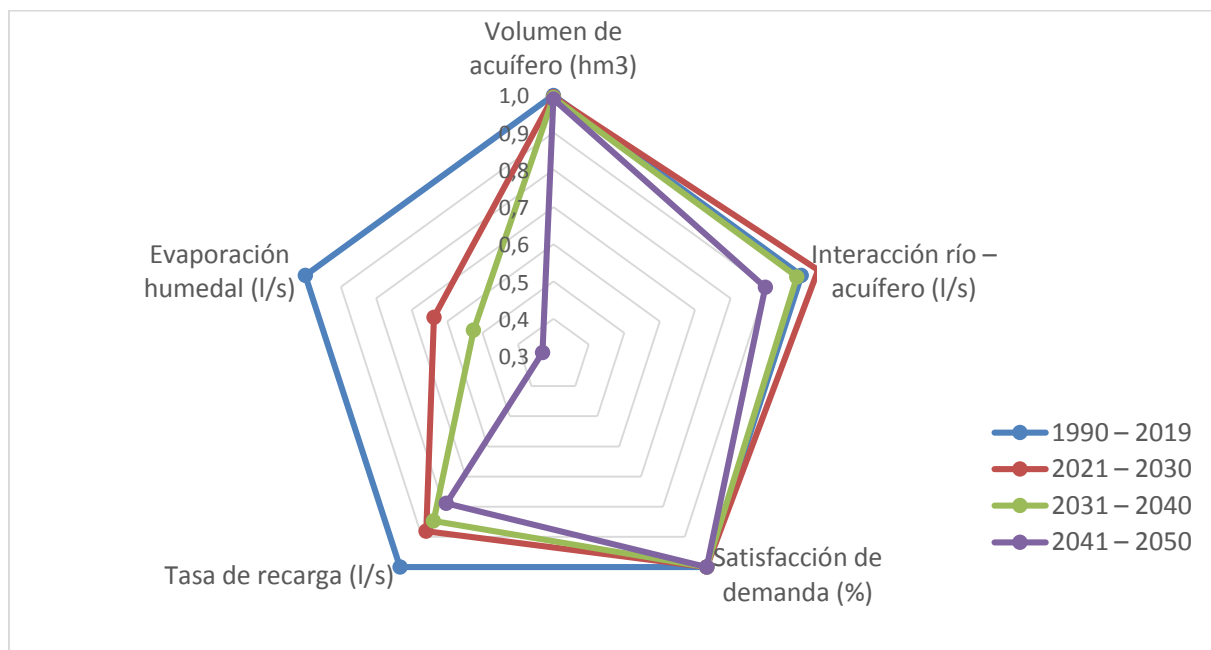
Indicador Hídrico	90 – 19	21 – 30	31 – 40	41 – 50
Volumen de agua en acuífero (hm <sup>3</sup> )	777	774	772	769
Interacción río – acuífero (l/s)	-10,2	-10,7	-10,1	-9,2
Satisfacción demandas (%)	100%	100%	100%	100%
Recarga (l/s)	130,0	114,6	110,2	102,6
Evaporación humedales (l/s)	-67,0	-42,6	-35,2	-22,2

Fuente: Elaboración propia.

Comparativamente a los indicadores asociados al escenario VF, se observa que el Volumen de agua en el acuífero y la Interacción río – acuífero disminuyen sutilmente a partir del decenio 31 – 40. La recarga proyectada permanece en constante descenso, pero es igual en ambos escenarios debido a que es un factor climático externo al uso que se le da al acuífero. 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. Finalmente, la satisfacción de demandas se mantiene igual que la del escenario VF.

Se presenta en la Figura 5-18 los resultados de la variación de los Indicadores Hídricos adimensionales, que ilustra que mientras más alejado temporalmente se evalúan los indicadores, menores son sus valores, lo que da cuenta de posibles problemas a futuro.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-18: Comparación de Indicadores Hídricos adimensionales en escenarios Caso Base (CB) y Gestión 2 (G2)**

La Tabla 5-24 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).

Comparativamente a los indicadores asociados al escenario VF, la mayor diferencia se encuentra para el Volumen de agua en el acuífero, Interacción río – Acuífero y Evaporación de humedales, donde aumentan a partir del decenio 31 – 40 ya que la demanda minera decrece a partir de 2030 en algunos sectores de la cuenca, lo que eleva el stock de agua subterráneo del acuífero, genera mayores flujos netos hacia el río y eleva el nivel freático de la napa subterránea. La recarga proyectada permanece en

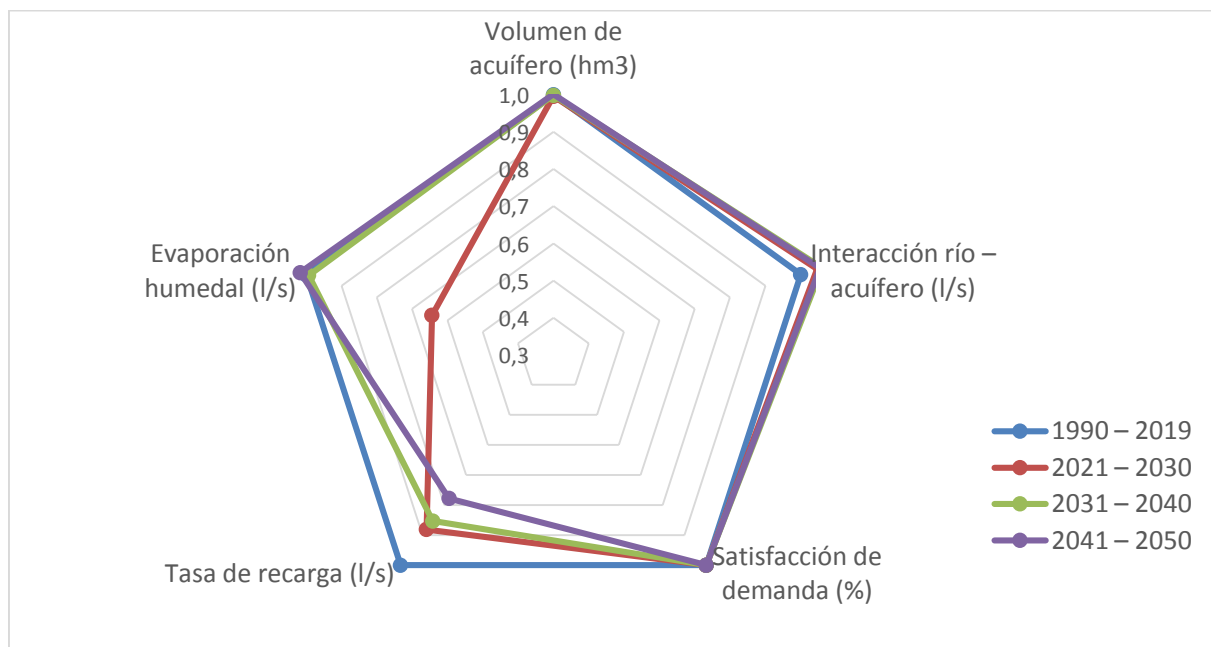
constante descenso, pero es igual en ambos escenarios debido a que es un factor climático externo al uso que se le da al acuífero. Finalmente, la satisfacción de demandas se mantiene igual que la del escenario VF.

**Tabla 5-24: 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 <sup>3</sup> )	777	774	776	778
Interacción río – acuífero (l/s)	-10,2	-10,7	-10,9	-10,8
Satisfacción demandas (%)	100%	100%	100%	100%
Recarga (l/s)	130,0	114,6	110,9	101,2
Evaporación humedales (l/s)	-67,0	-43,1	-66,5	-68,1

Fuente: Elaboración propia.

Se presenta en la Figura 5-19 los resultados de la variación de los Indicadores Hídricos adimensionales, los que confirman que a partir de 2030 existen mejoras destacables en todos los indicadores, con excepción de la Satisfacción de la demanda, que permanece constante.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5-19: 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 Carrizal, 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 Totoral en la propuesta de ubicación geográfica de aplicación de las iniciativas propuestas, que para el presente PEGH son exclusivas de la cuenca 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 Carrizal.

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

<b>Problemática adoptada</b>	<b>Problemas Identificados en PAC</b>	<b>Descripción</b>
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 acercarse 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, capacitación, 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 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		

<b>Problemática adoptada</b>	<b>Problemas Identificados en PAC</b>	<b>Descripción</b>
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 Carrizal, 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 Carrizal**

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 Carrizal, 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 Carrizal**

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>
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.

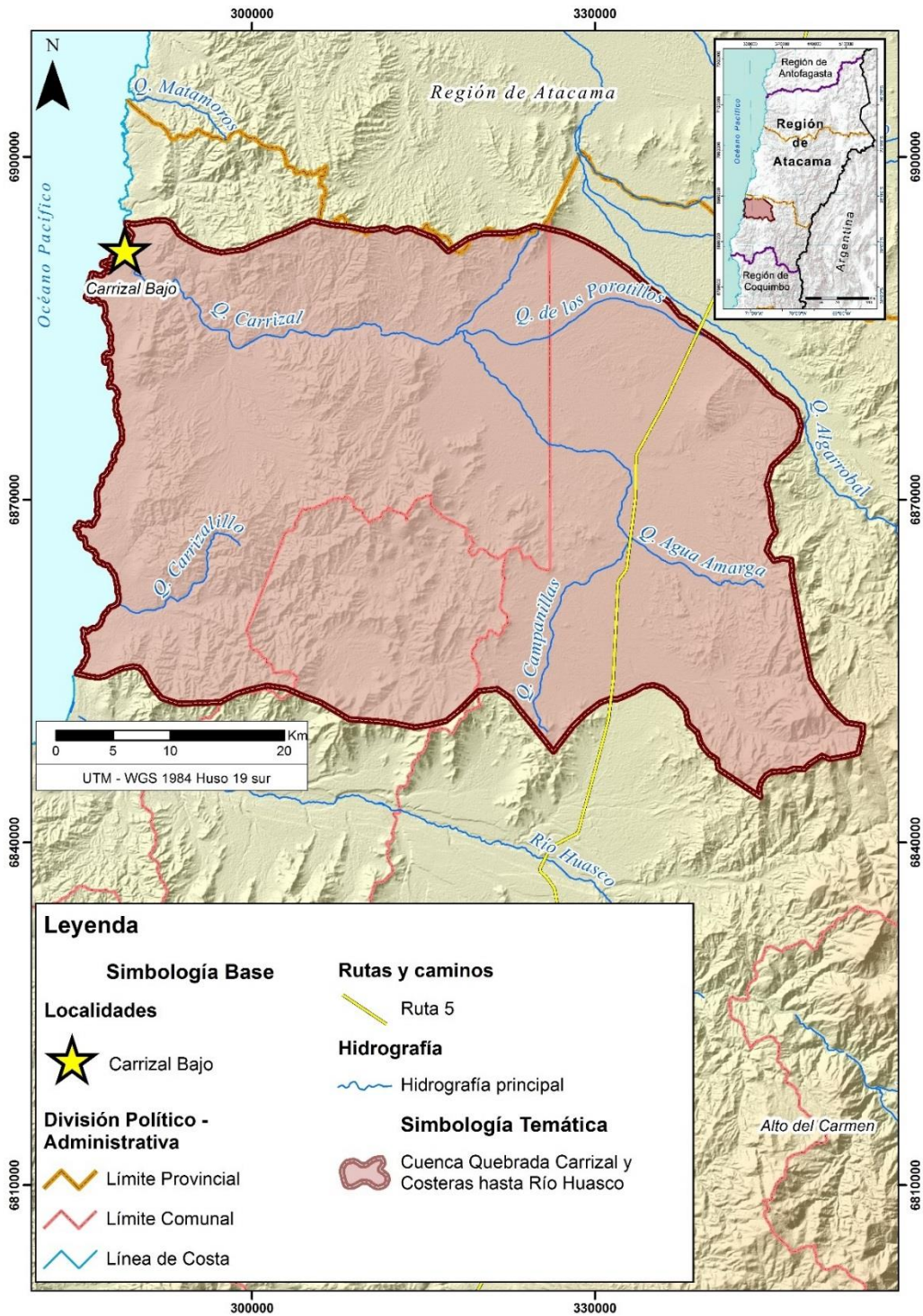
Para cada acción se presenta una ficha en la Tabla 6-5 a Tabla 6-19, y una imagen en la Figura 6-1 a Figura 6-16.

6.4.1 Ficha Acción AP OH-1: Ampliación SSR Carrizal Bajo

**Tabla 6-5: Ficha Acción AP OH-1: Ampliación SSR Carrizal Bajo**

Código	AP OH-1
Acción	Ampliación SSR Carrizal Bajo
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.

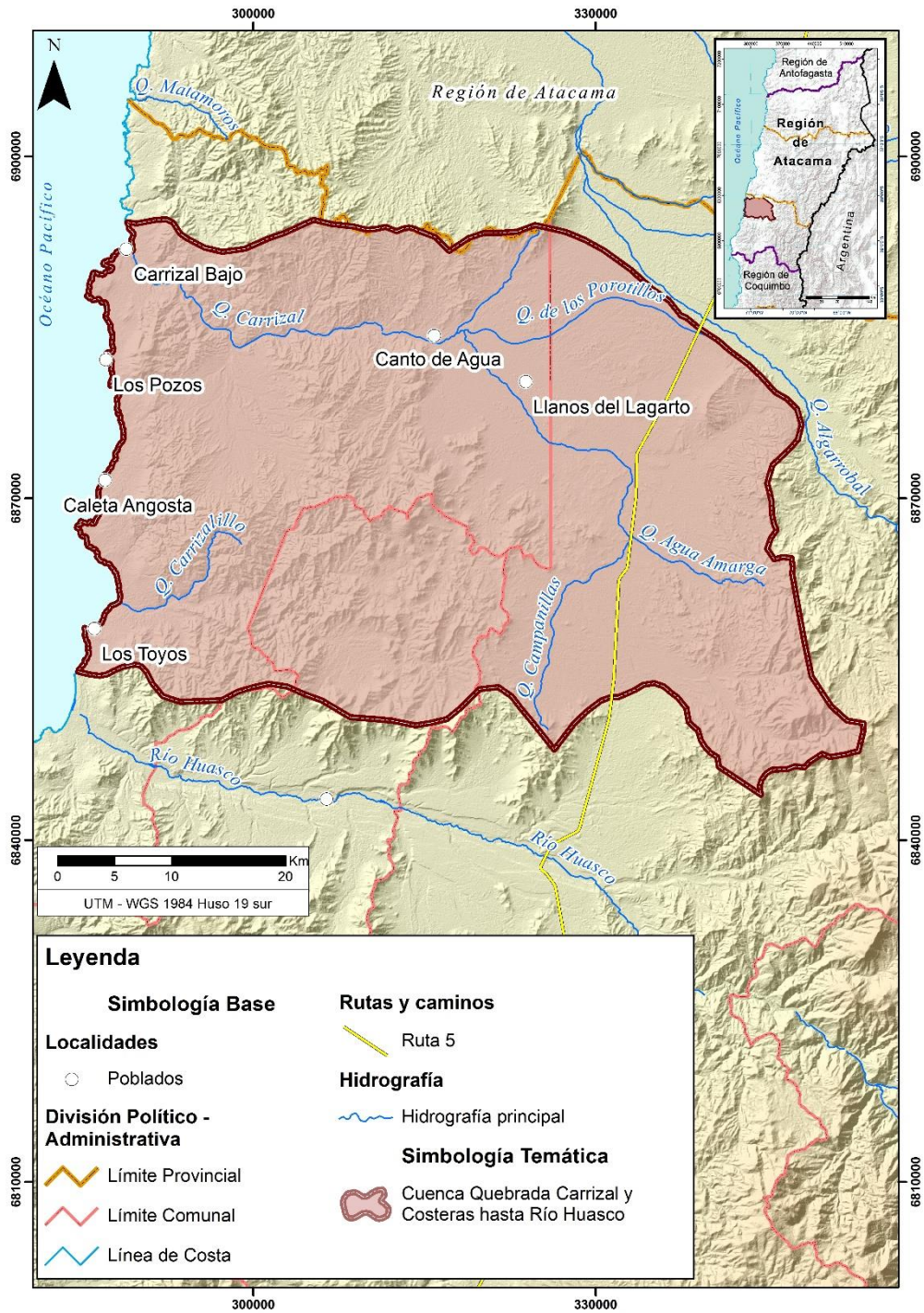
**Figura 6-1: Ficha Acción AP OH-1: Ampliación SSR Carrizal Bajo**

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
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.

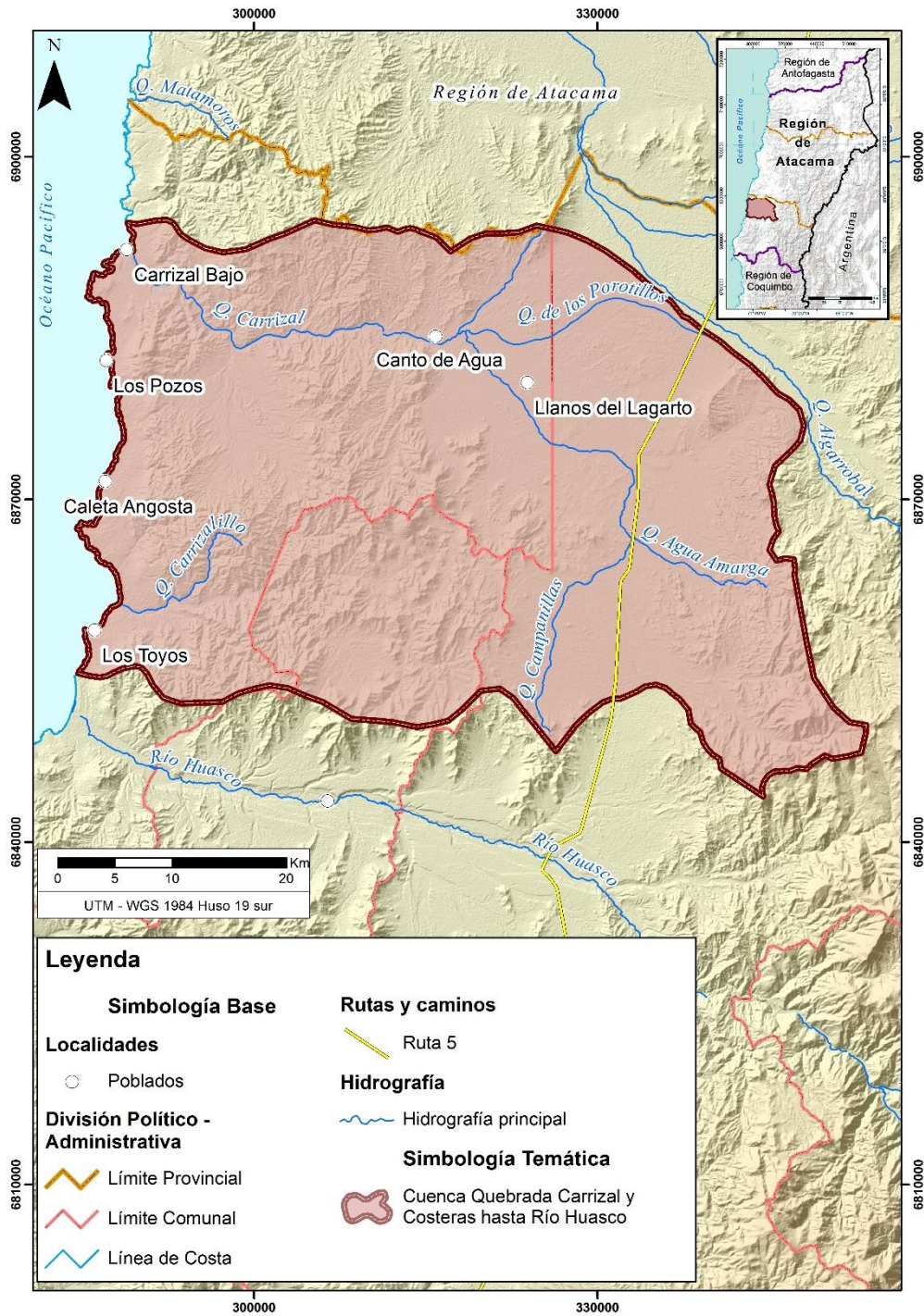
**Figura 6-2: Ficha Acción AP OH-2: Mejoramiento abastecimiento localidades menores**

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.

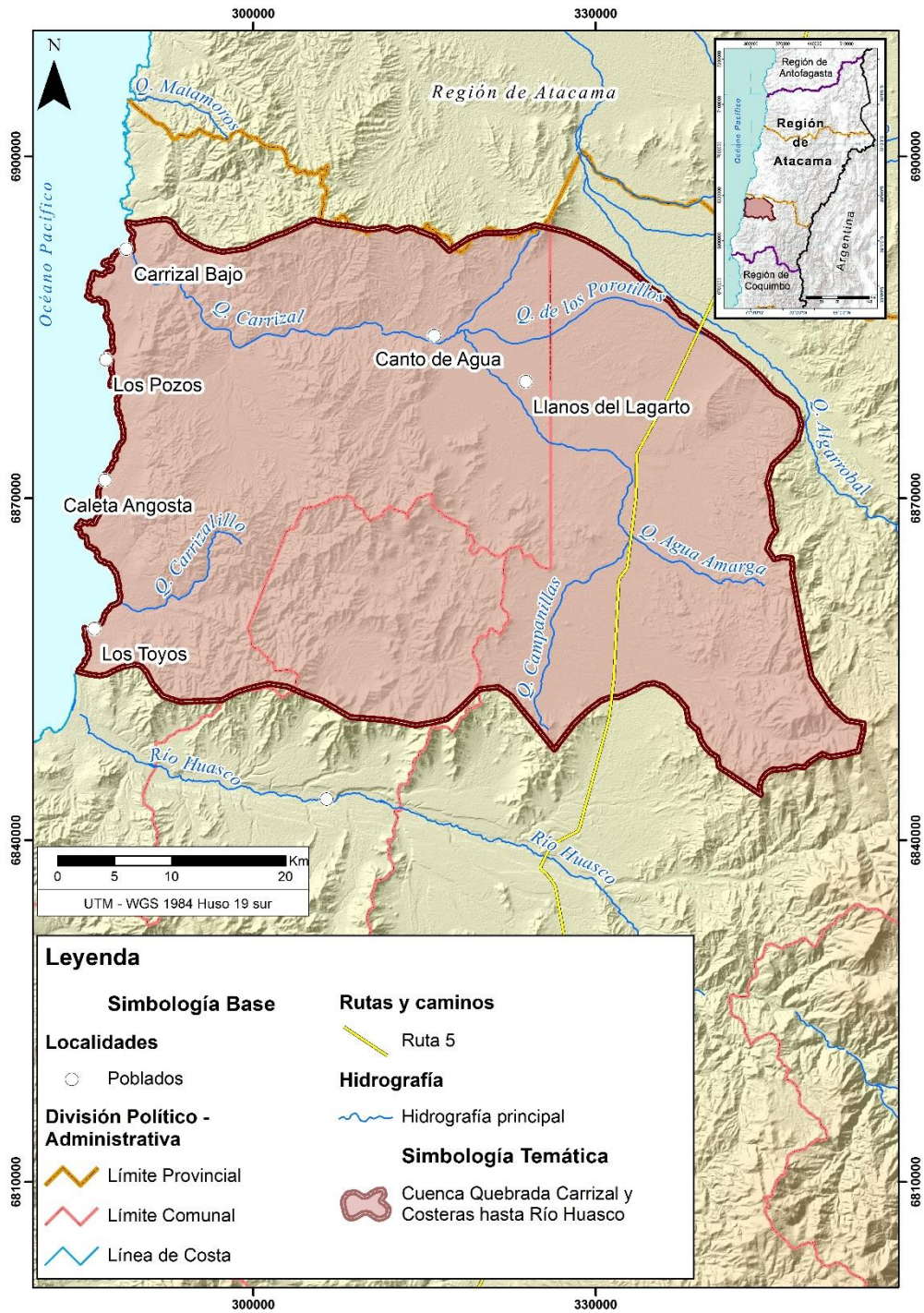


6.4.5 Ficha Acción AP OH-3: Identificación Instalación Sistemas de Acumulación

**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.

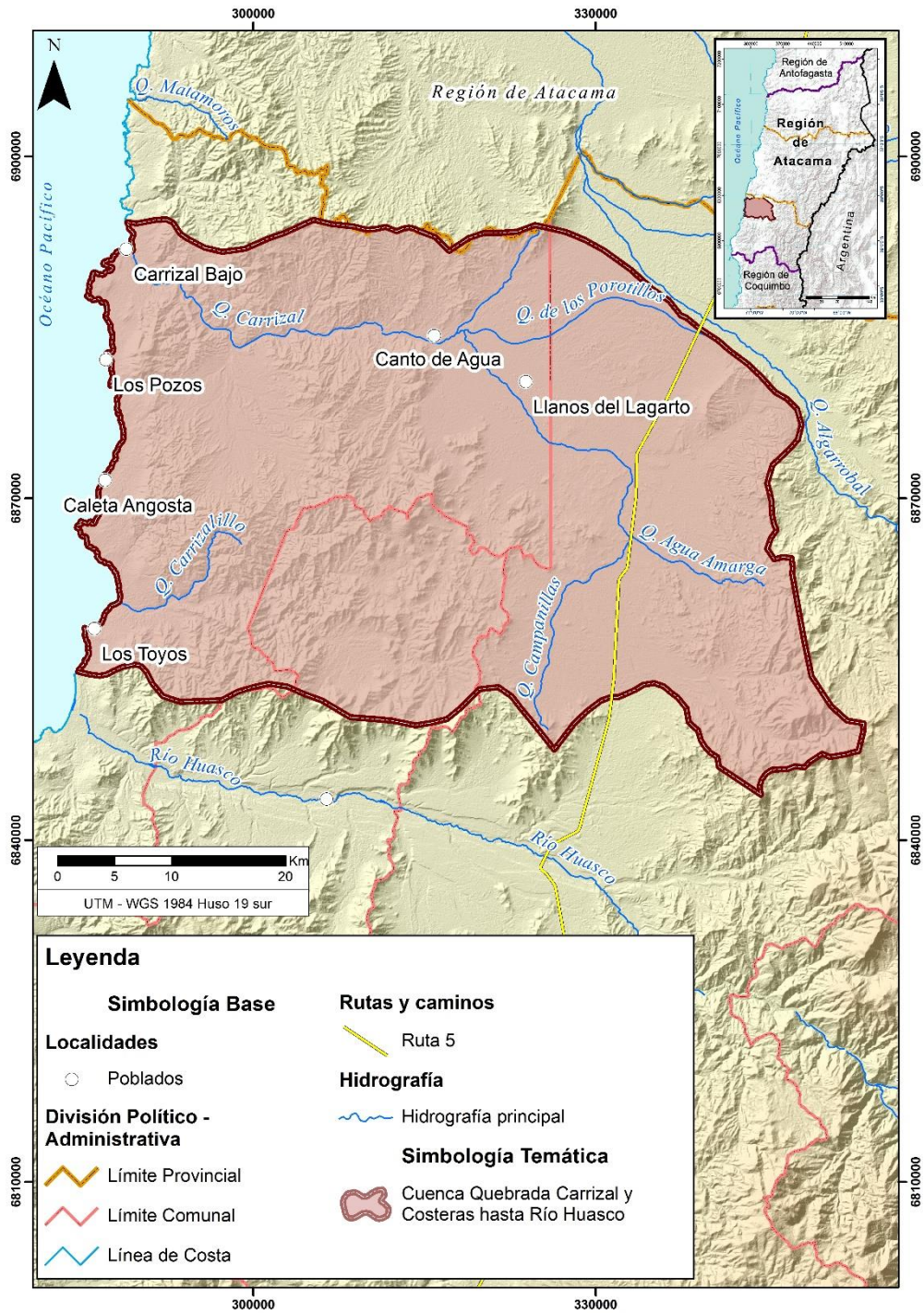
**Figura 6-5: Ficha Acción AP OH-3: Identificación Instalación Sistemas de Acumulación**

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
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.

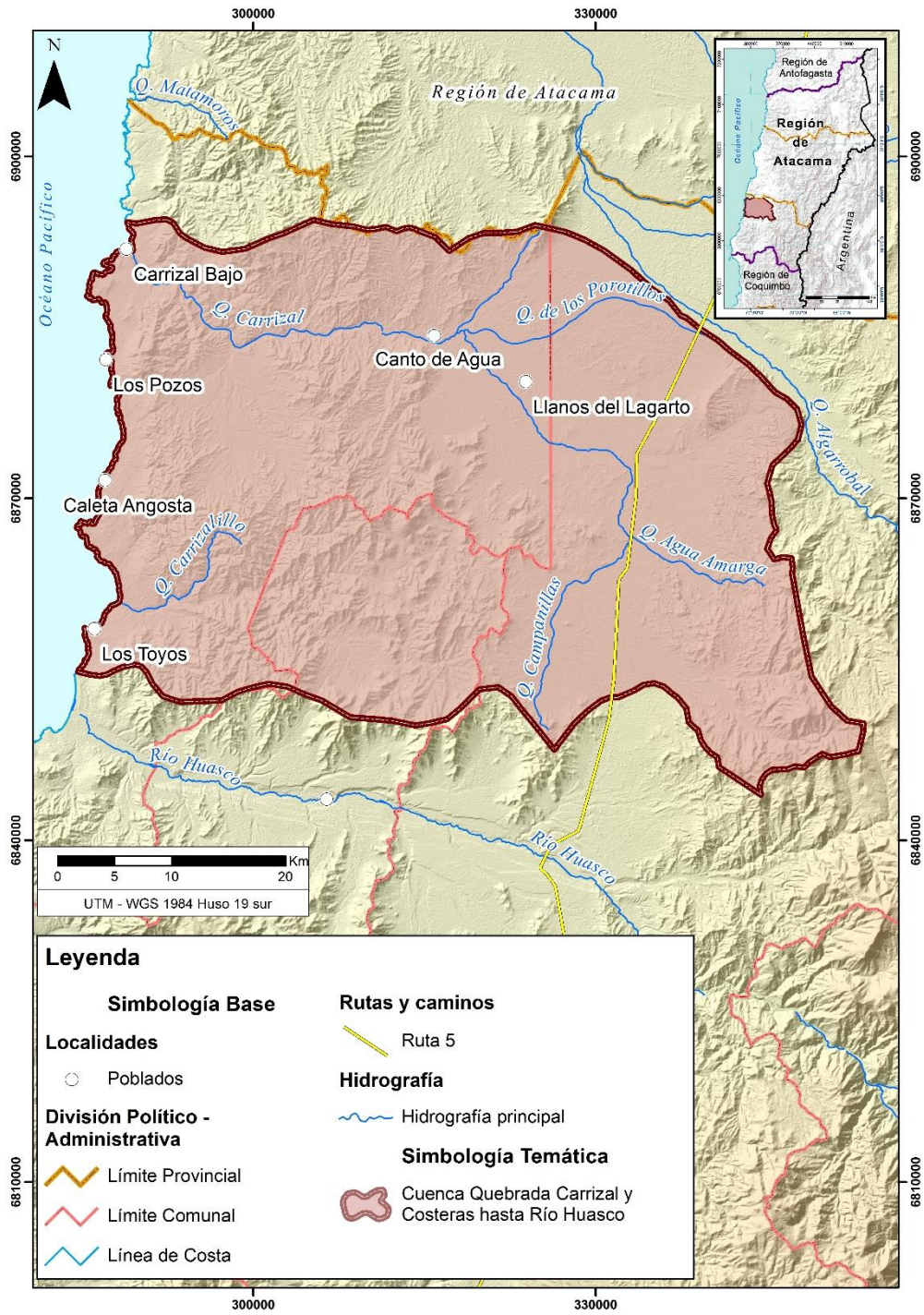
**Figura 6-6: Ficha Acción AP OH-4: Identificación Mejoramiento Sistemas de Distribución**

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	Sectorial
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.

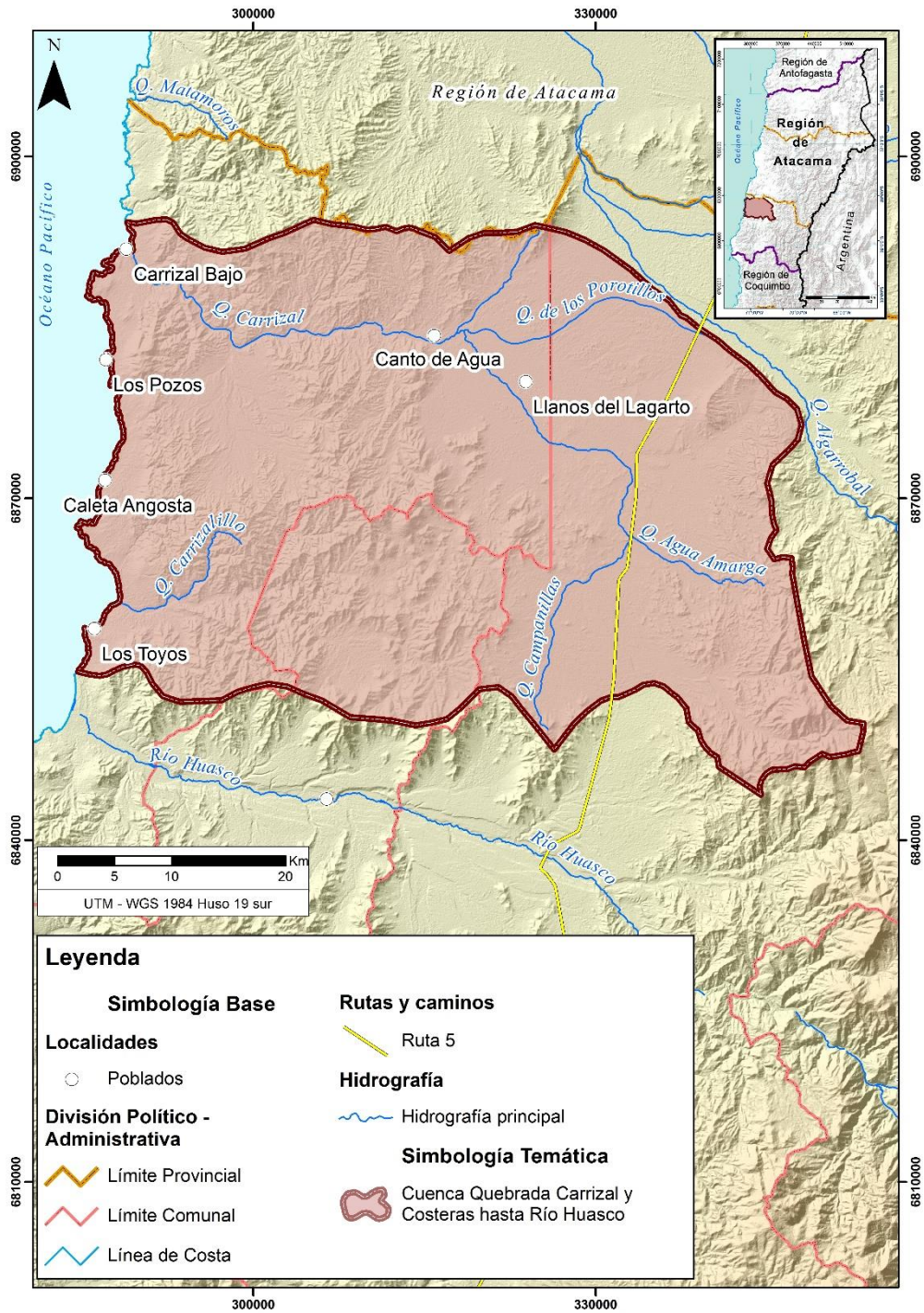
**Figura 6-7: Ficha Acción AP OH-5: Tecnificación del riego**

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.

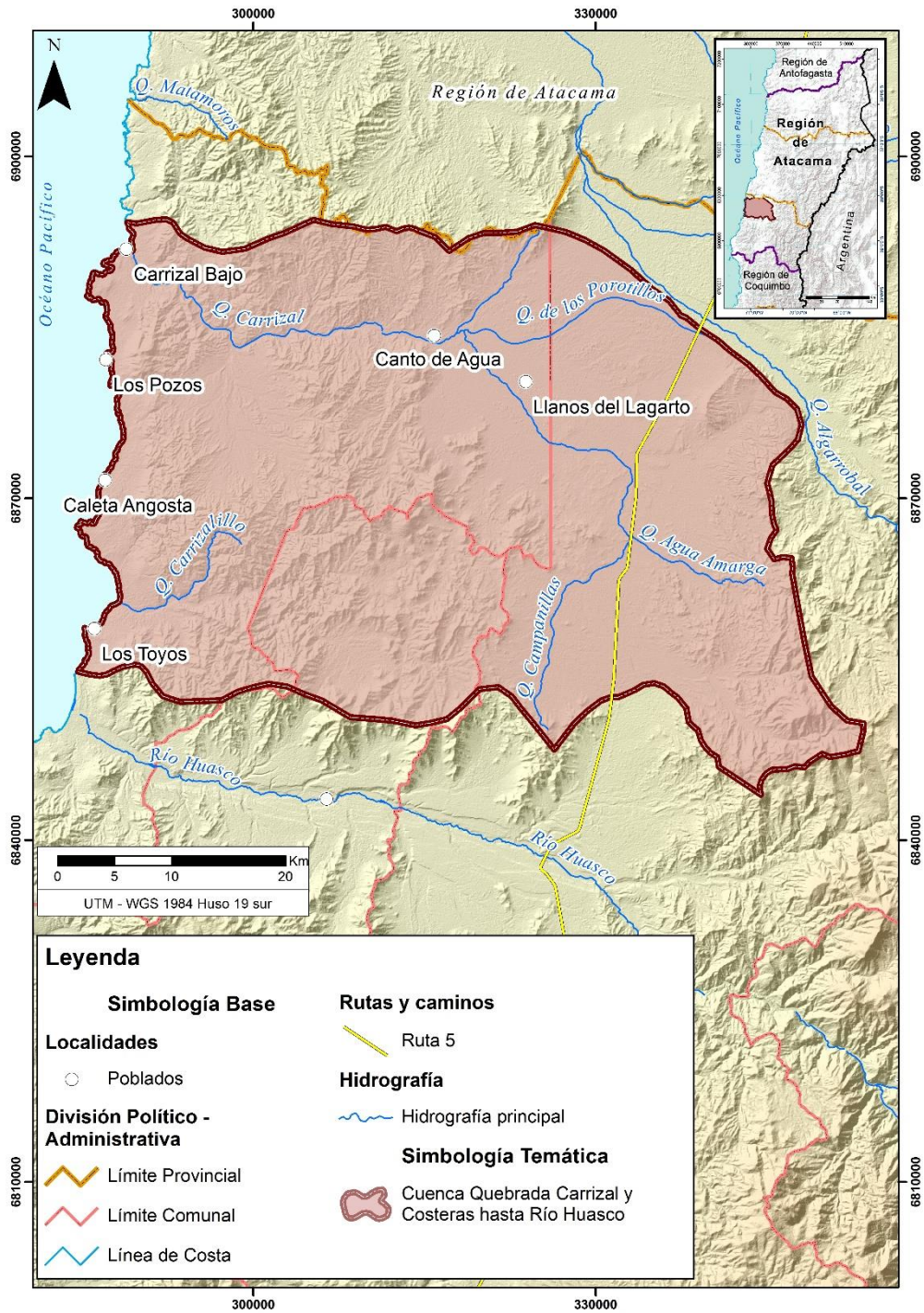
**Figura 6-8: Ficha Acción AP OM-1: Monitoreo ambiental de humedales**

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.

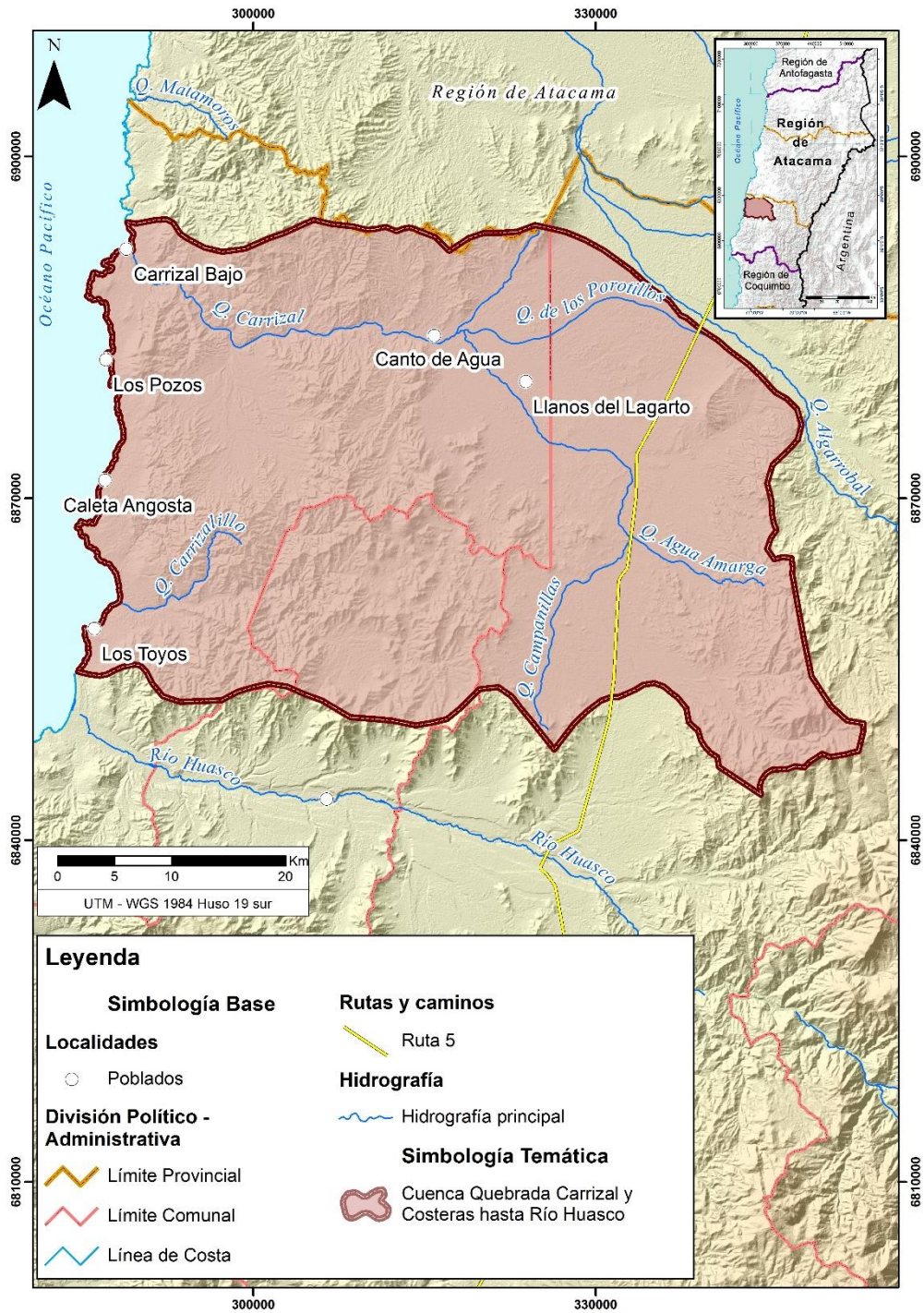
**Figura 6-9: Ficha Acción AP MG-2: Plan de fiscalización de extracciones**

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.

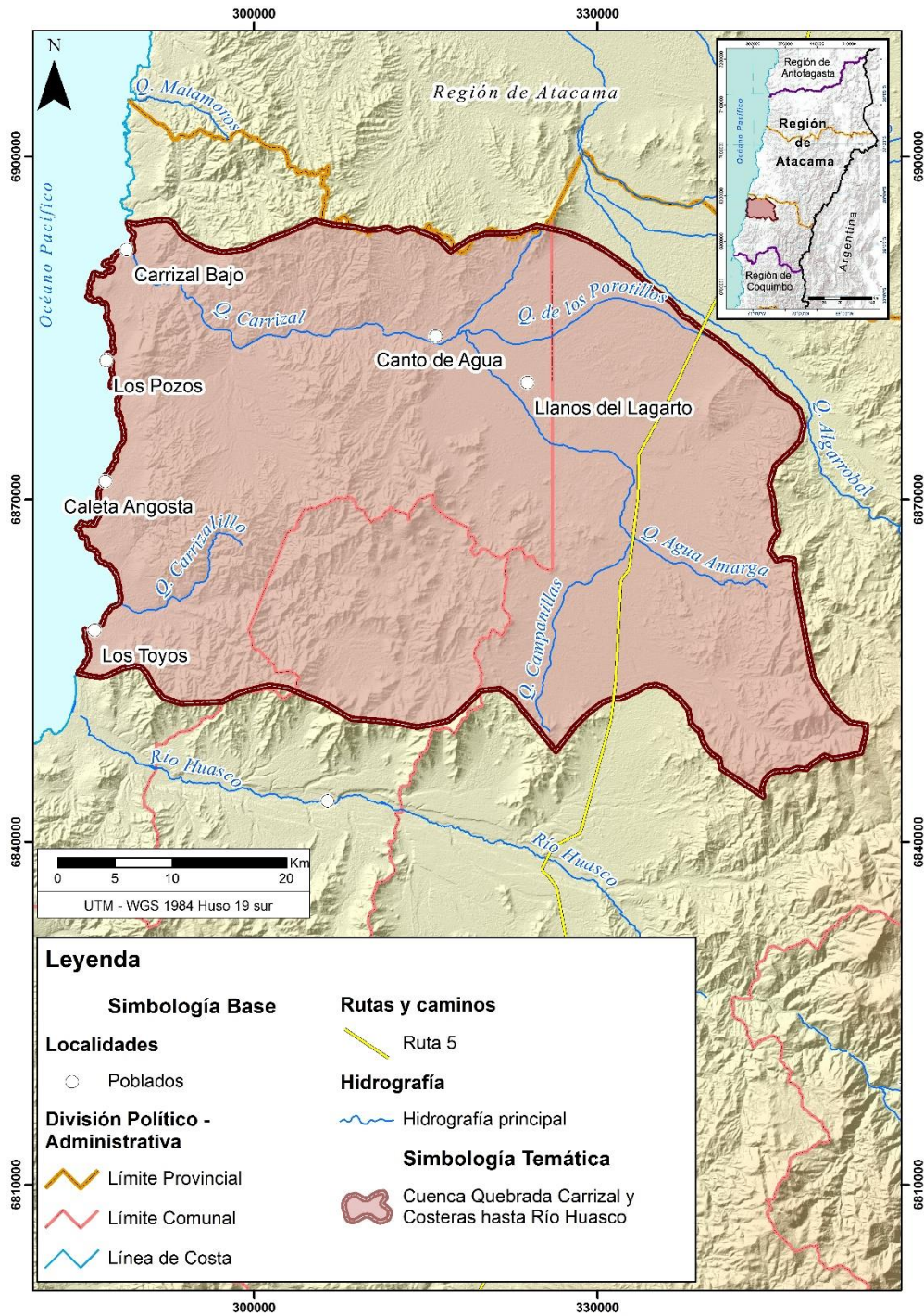
**Figura 6-10: Ficha Acción AP MG-3: Aplicación Art 62 para limitar el uso de los derechos concedidos**

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.

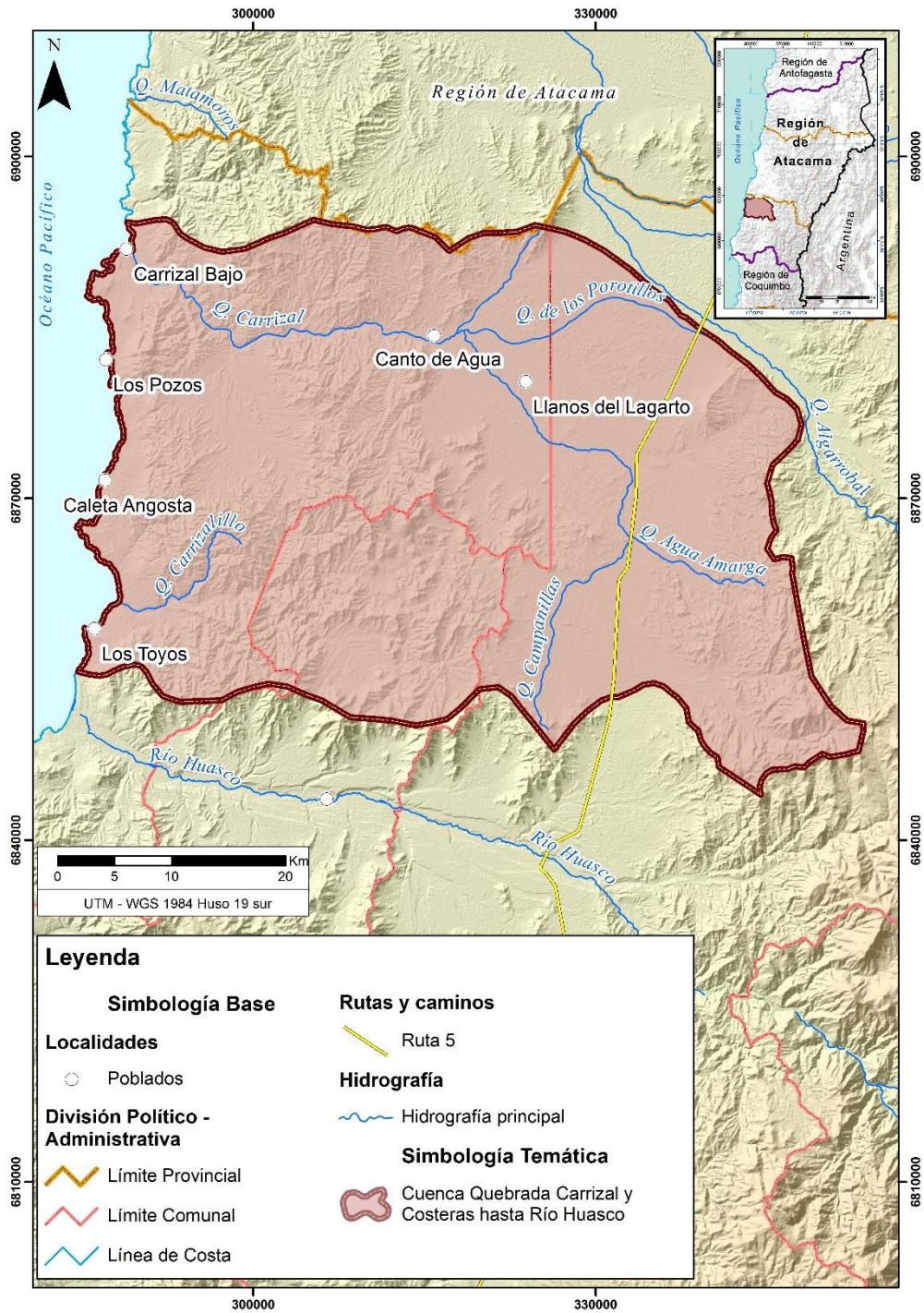
**Figura 6-11: Ficha Acción AP MG-4: Capacitación en Nuevo Código de Aguas**

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.

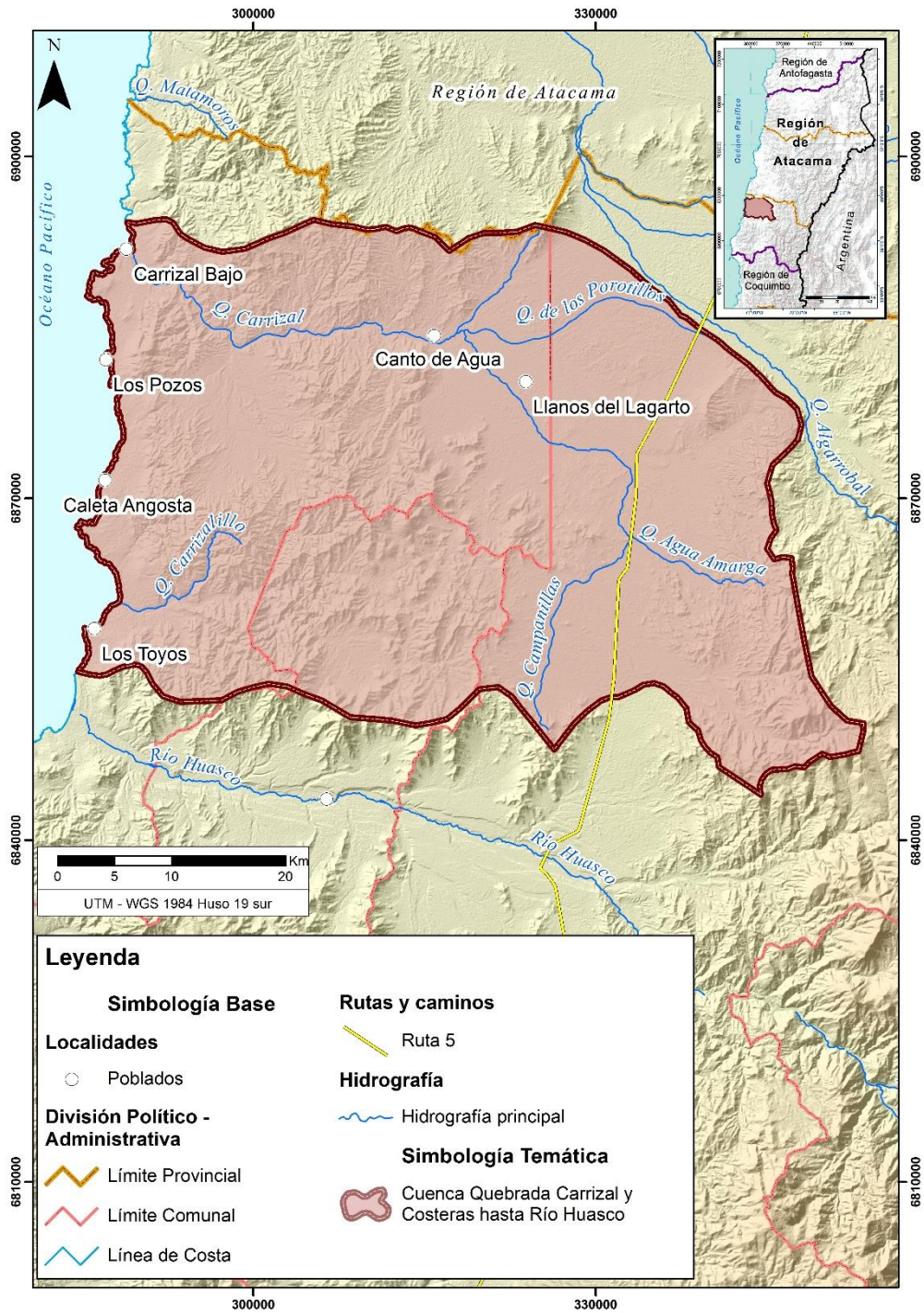
**Figura 6-12: Ficha Acción AP MG-5: Capacitación en uso del agua**

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	<p>El presente programa busca proveer la formación de OUA's en el territorio.</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"> <li>* Revisión y propuesta de mejora de organigrama y estatutos de la OUA.</li> <li>* Formación sobre los derechos y deberes de los usuarios y las OUA.</li> <li>* Actualización de aspectos legales de usuarios y OUA.</li> </ul>
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

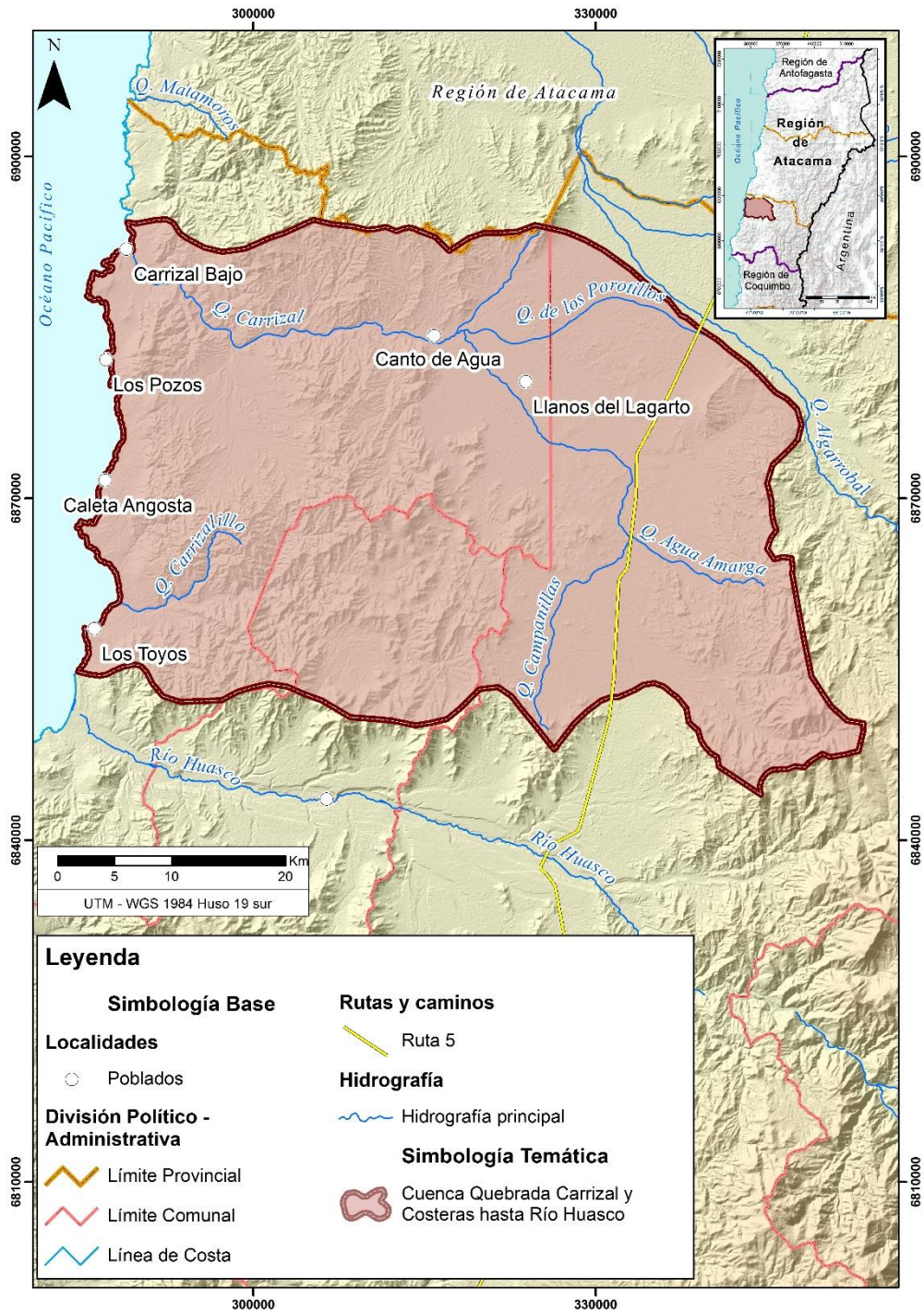
**Tabla 6-18: Ficha Acción AP MG-7: Capacitación OUA's**

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"> <li>* Revisión y propuesta de mejora de organigrama y estatutos de la OUA.</li> <li>* Formación sobre los derechos y deberes de los usuarios y las OUA.</li> <li>* Actualización de aspectos legales de usuarios y OUA.</li> </ul> <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"> <li>* Consideraciones técnicas para la operación de una OUA apuntando a los derechos y deberes de usuarios y OUA.</li> <li>* Sistemas de gestión y plataformas de información.</li> </ul>

---

	* 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.

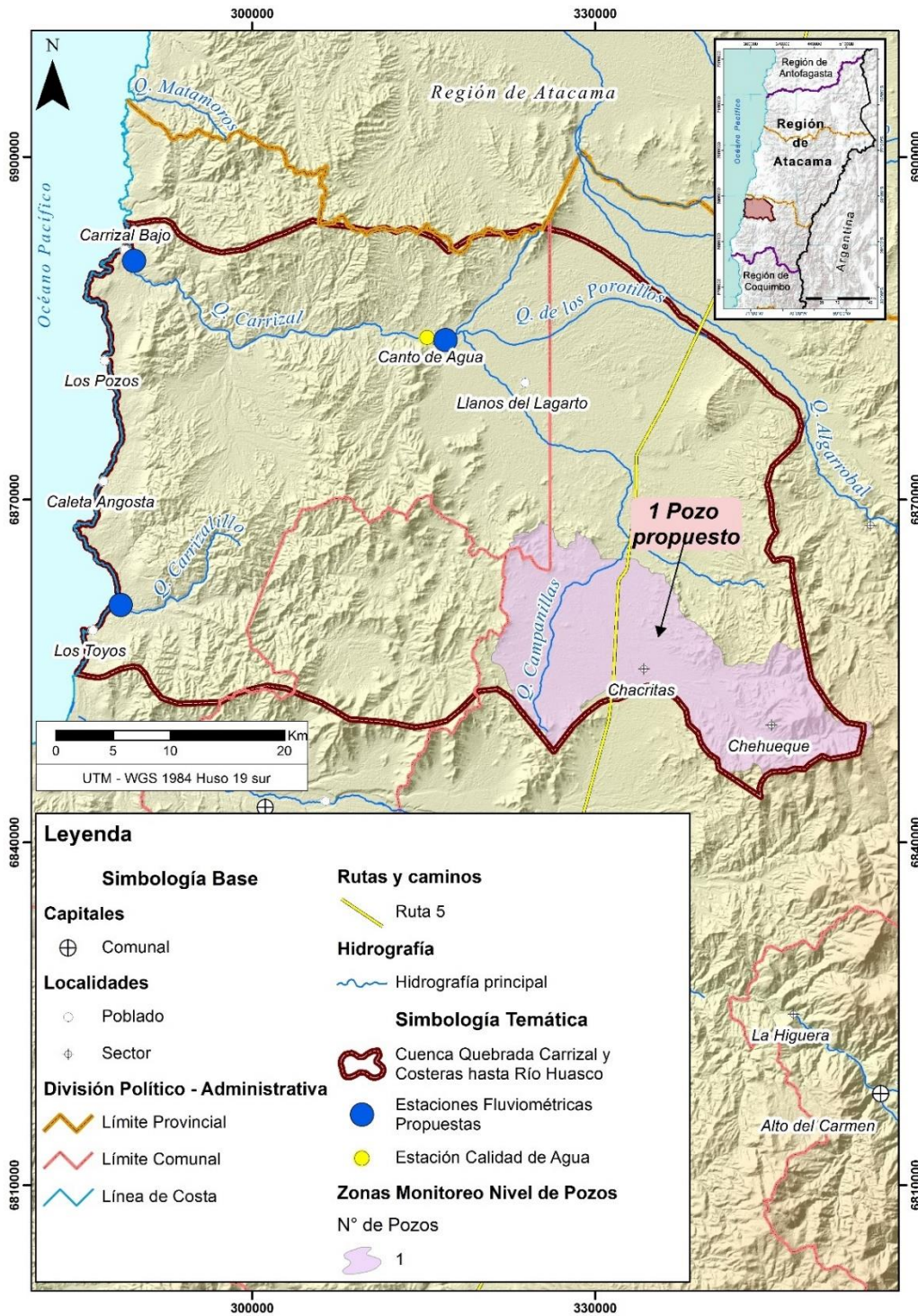
**Figura 6-15: Ficha Acción AP MG-8: Capacitación en desarrollo agropecuario a usuarios**

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 Carrizal, 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 Carrizal Bajo	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 Carrizal. 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 Carrizal. 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**

<b>Código</b>	<b>Iniciativa</b>	<b>VAC (\$)</b>	<b>Global</b>	<b>Ranking Original</b>	<b>Comentario</b>	<b>Ranking Modificado</b>	<b>Plazo</b>
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 Carrizal Bajo	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 Carrizal Bajo: 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													■	■	■		

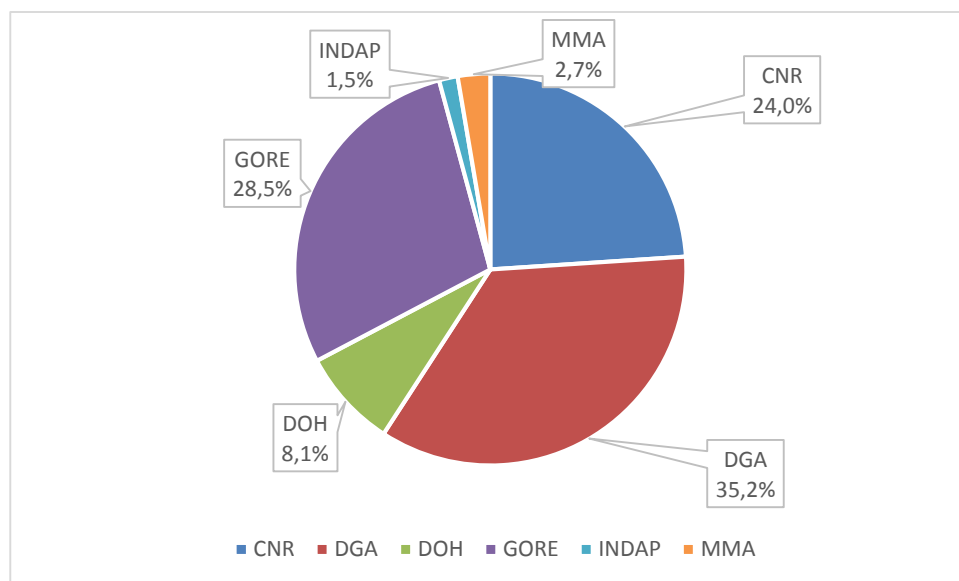
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 7-1: Cronograma Propuesto PEGH Carrizal**

## 7.4 Valorización Económica del Plan Estratégico de Gestión Hídrica

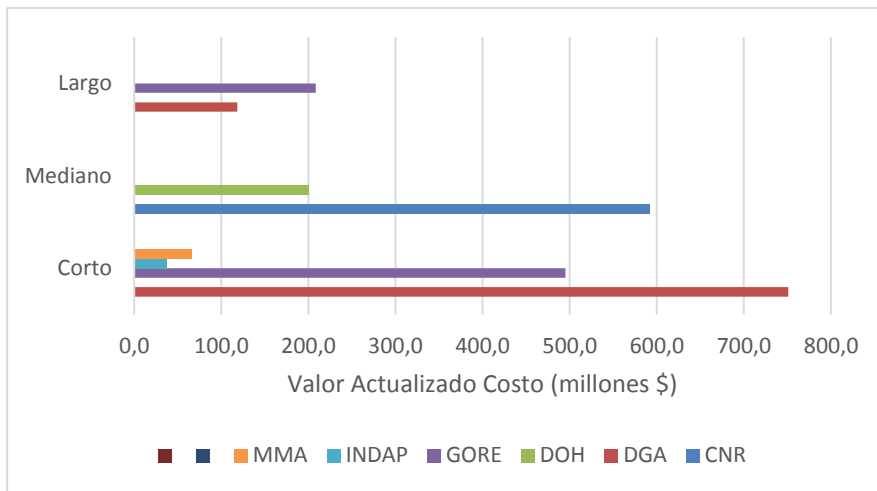
### 7.4.1 Acciones a Ejecutar por Actor

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.



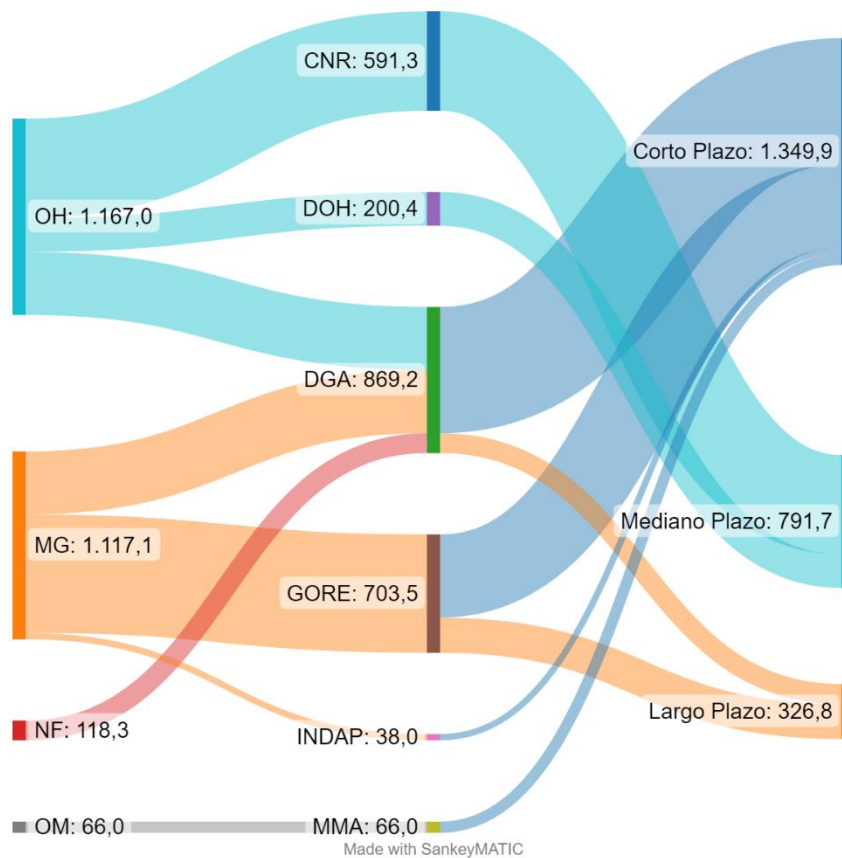
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 7-2: Distribución Costos por Actor Institucional**



Fuente: Elaboración propia.

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

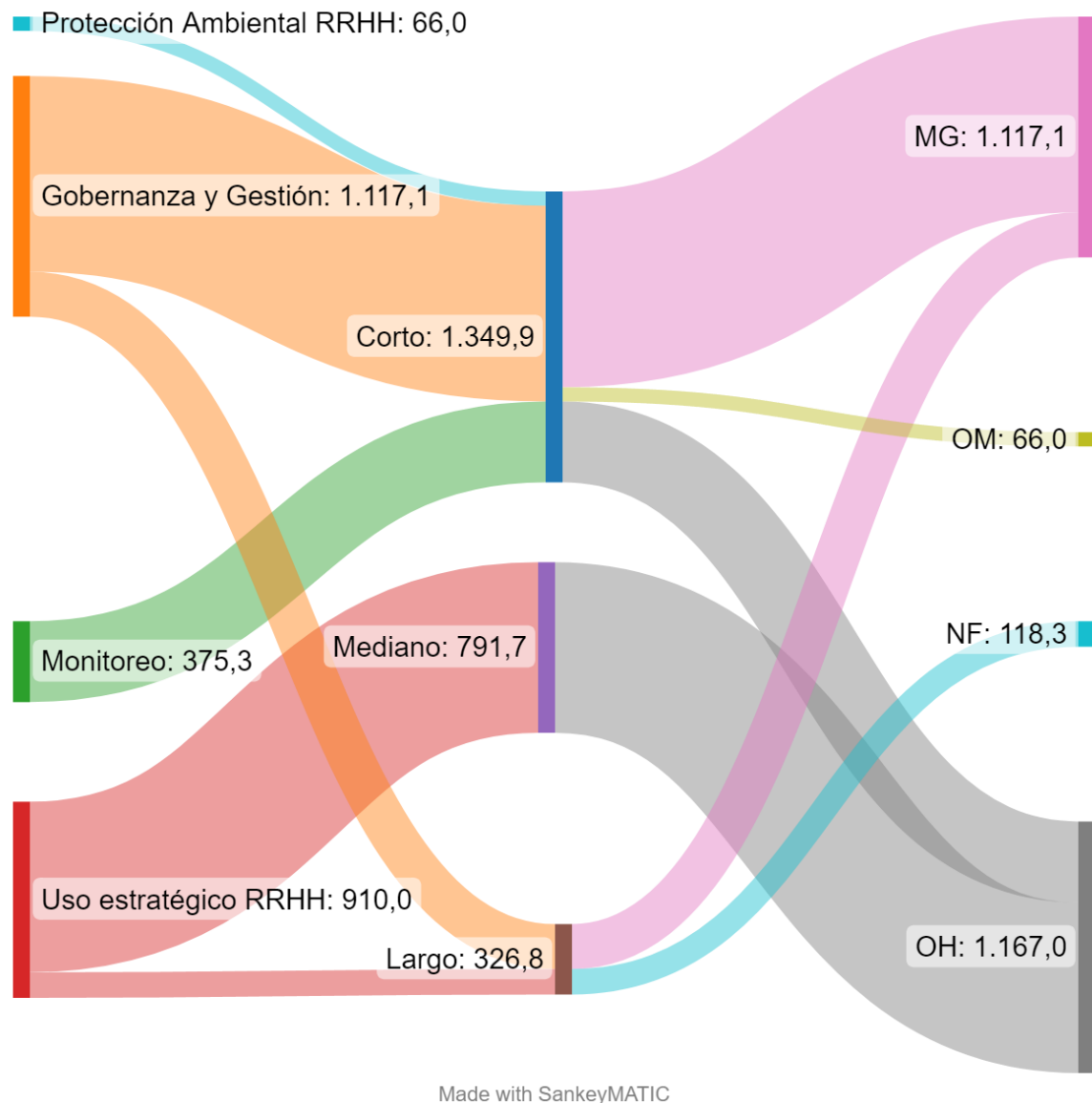


Fuente: Elaboración propia usando SankeyMATIC.

**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.



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**

<b>Eje PEGH</b>	<b>Corto</b>	<b>Medio</b>	<b>Largo</b>	<b>Total</b>
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
<b>Total</b>	<b>1.349,9</b>	<b>791,7</b>	<b>326,8</b>	<b>2.468,4</b>
<b>Distribución</b>	<b>54,7%</b>	<b>32,1%</b>	<b>13,2%</b>	<b>100,0%</b>

Fuente: Elaboración propia.

---

## **8 IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN**

En este capítulo se presenta un resumen de la estructura del PEGH Carrizal 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.”<sup>3</sup>

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 Carrizal 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.

---

<sup>3</sup>Ver 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 Carrizal 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 Carrizal sea un Consejo de Cuenca, y que la DGA regional actúe como entidad coordinadora, a través de la figura del coordinador PEGH Carrizal 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 Carrizal.

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 Carrizal, 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 Carrizal, con la finalidad de informar sobre los montos estimados por iniciativa para cada institución.

En paralelo a la implementación de las iniciativas del PEGH Carrizal, 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 Carrizal, mientras que en 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 Carrizal 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 Carrizal. 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.

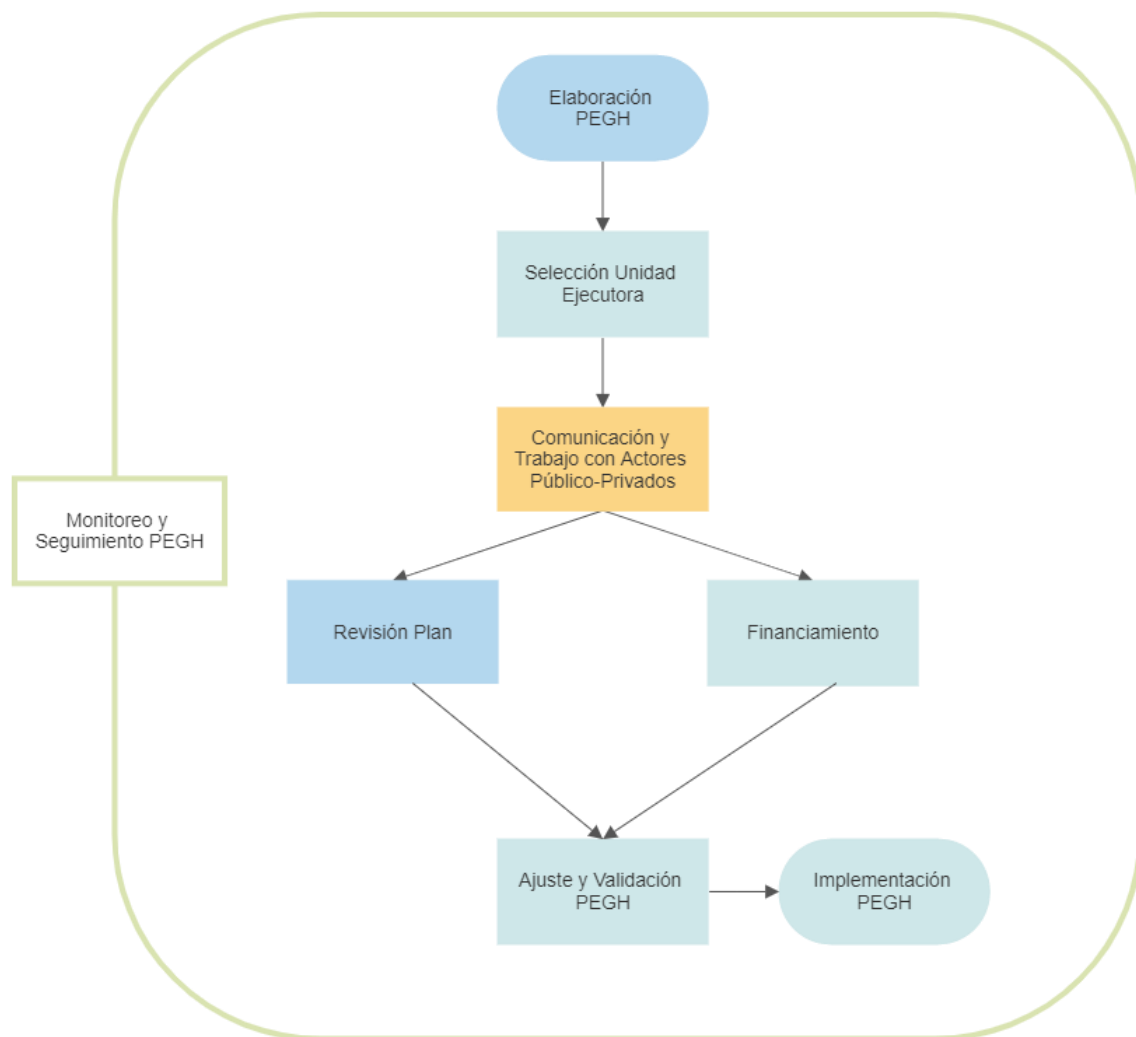
Debe hacerse notar que la ausencia de entidades privadas entre las entidades ejecutoras del PEGH que se está formulando, no impide que durante el desarrollo del PEGH se encarguen actividades a privados. Tampoco es inamovible la definición de entidades ejecutoras, por lo que es posible modificar la entidad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

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

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

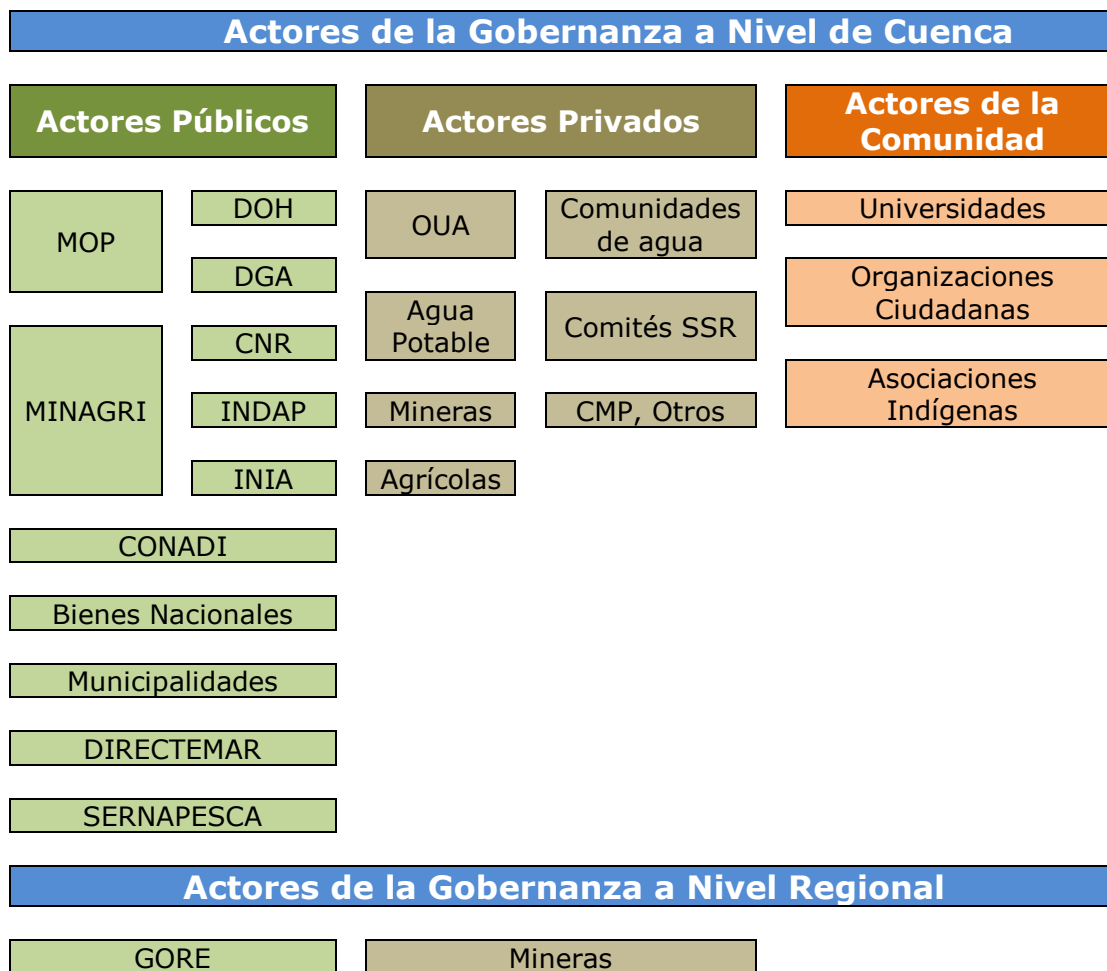
En este nivel se debe considerar en primer lugar la entidad a cargo del trabajo.

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.



Fuente: Elaboración propia.

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



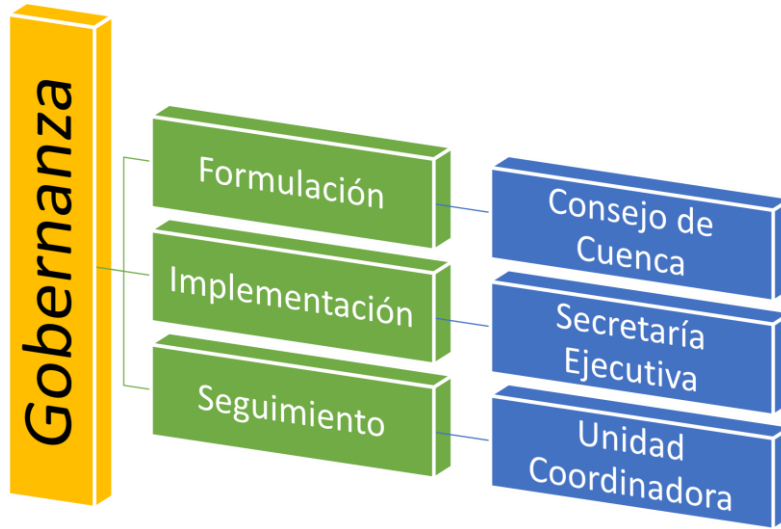
Fuente: Elaboración propia

**Figura 8-2: identificación de actores participantes en la Gobernanza propuesta para el PEGH Carrizal**

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.

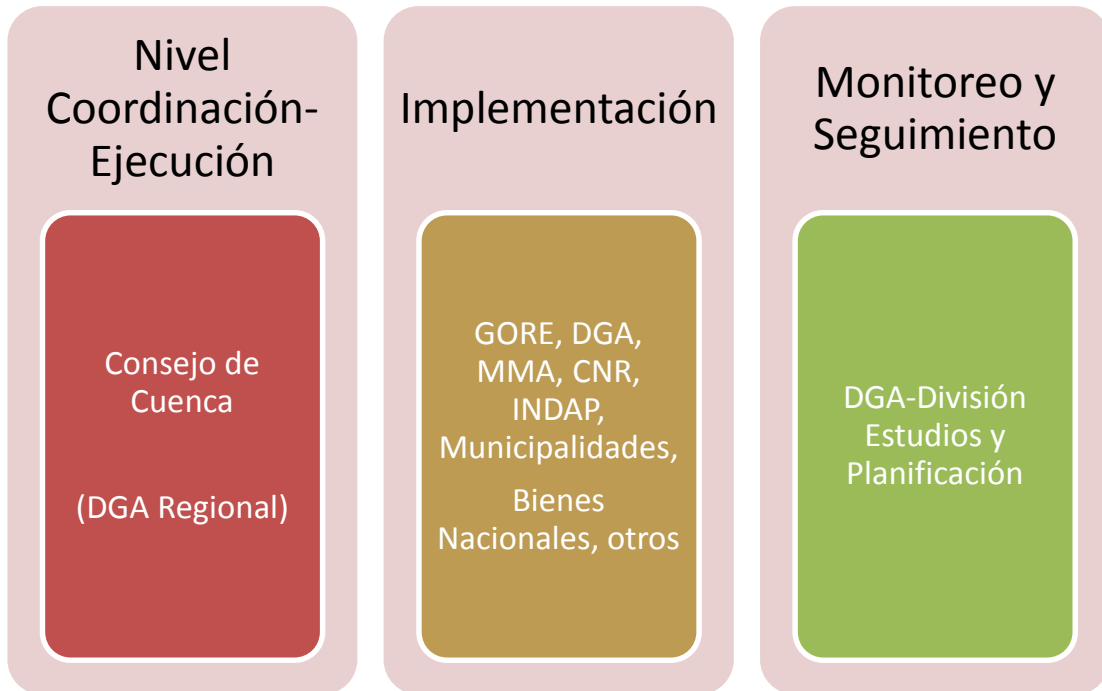
Finalmente, al combinar lo indicado en la Figura 8-1, Figura 8-2, y Figura 8-3 se desarrolla un esquema de gobernanza apropiado al territorio, y que se muestra en la Figura 8-4, donde se detallan las instituciones participantes en los diferentes niveles.

**Mesa Regional del Agua**



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 Carrizal 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 Carrizal.
- Corroborar la aceptación de las iniciativas del PEGH Carrizal 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**

<b>Tipo de Actor</b>	<b>Tipo de Difusión Propuesta</b>
Actores con <b>alto interés y alta o media influencia</b>	Enfocada en presentar en detalle los resultados del PEGH Carrizal y establecer líneas de comunicación para coordinar su ejecución.
Actores con <b>alto o mediano interés y baja influencia</b>	Enfocada en presentar en detalle los resultados del PEGH Carrizal y establecer líneas de comunicación para la retroalimentación sobre estado hídrico actual de la cuenca.
Actores con <b>bajo interés e influencia</b>	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**

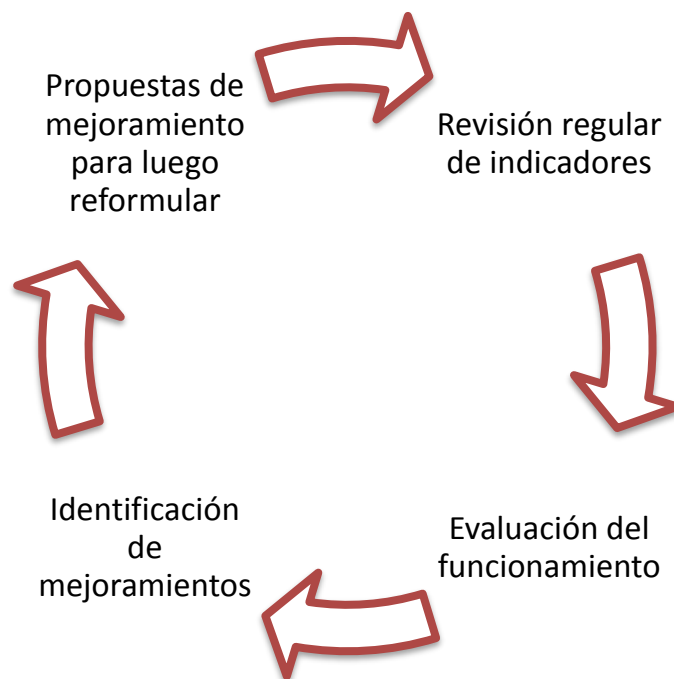
En este capítulo se detalla el Plan de Monitoreo del PEGH Carrizal, en conjunto con los mecanismos para análisis y toma de decisiones asociados. Esto se hace ya que el PEGH Carrizal debe contemplar un mejoramiento continuo del mismo, ya que la realidad de los recursos hídricos es esencialmente variable,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

### **9.1 Plan de Monitoreo**

El Plan de Monitoreo (PM) asociado al PEGH Carrizal 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 Carrizal. Adicionalmente, se especifican los mecanismos para la actualización y/o el rediseño del PEGH Carrizal, 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 Carrizal. 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.

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



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 9-1: Esquema de revisión del PEGH**

#### 9.1.1 Indicadores del PEGH Carrizal

Para verificar el seguimiento del PEGH Carrizal 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 Carrizal 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 Carrizal 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 Carrizal, a través de los mecanismos para el análisis y toma de decisiones (ver Acápite 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 Carrizal 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 Carrizal.

En relación al análisis del PEGH Carrizal 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 Carrizal 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 Carrizal, ya sea a través de medios propios o con apoyo externos, estableciendo:

- Revisión y/o actualización de los ejes y objetivos específicos del PEGH Carrizal.
- 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 Carrizal.

---

## 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 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.

