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

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL LOA

INFORME FINAL

REALIZADO POR:

CON POTENCIAL CONSULTORES SPA

S.I.T. Nº 472

Santiago, Julio 2021

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas

Ingeniero Civil Industrial Sr. Alfredo Moreno Charme

Director General de Aguas

Ingeniero Comercial Sr. Óscar Cristi Marfil

Director Regional Antofagasta (S)

Ingeniero Civil Sr. Arturo Beltrán Schwartz

Jefe de la División de Estudios y Planificación

Ingeniero Civil Sr. Mauricio Lorca Miranda

Inspector Fiscal

Geólogo Sr. Marcelo Aliaga Alvarado

Inspectora Fiscal Subrogante

Ingeniera Civil Sra. Andrea Osses Vargas

Inspectora Fiscal Regional

Ingeniera Civil Sra. Rosa Mánquez Godoy

Profesionales DGA:

Geóloga Srta. Loreto Valdivia Ortiz

Ingeniera en Recursos Naturales Renovables Srta. María Victoria Aedo Aedo

Ingeniero Civil en Obras Civiles Sr. Pablo Costa Tapia

Ingeniero Civil Agrícola Sr. Abraham Arévalo Neira

Cartógrafo Sr. Guillermo Tapia Molina

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 Sr. Igor Aguirre

Ingeniero Civil Sr. José Lagos Rehfeld

Ingeniero Civil Sr. Juan Torres Cubillos

Antropólogo Sr. Víctor Zúñiga Pérez

Geógrafa Sra. Soledad Huerta Miranda

Equipo Apoyo

Ingeniero Civil Sra. Karla González Novion

Ingeniero Civil Sr. Marco Matamala Castro

Ingeniero Civil Sr. David Poblete López

Ingeniero Civil Sr. Diego Soto Rodríguez

Ingeniero Civil Sr. Jonás Valdivieso Bravo

Ingeniero Civil Sr. Ulises Sepúlveda Jilberto

Geógrafo Sr. Sebastián Bozo Villarroel

Para citar bibliográficamente este estudio, se recomienda la siguiente manera: Dirección General de Aguas (DGA), 2021. Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca del Loa, SIT N° 472, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile. Realizado por: Con Potencial Consultores SpA.

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO 1
1.1 OBJETIVO GENERAL 2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 2
2 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA 4
2.1 DIMENSIÓN FÍSICA Y ECONÓMICA 6
2.1.1 Geomorfología 6
2.1.2 Geología 9
2.1.3 Suelos 17
2.1.4 Hidrografía de la Cuenca 19
2.1.5 Hidrogeología de la Cuenca 28
2.1.6 División Político-Administrativa 37
2.1.7 Actividad Económica 39
2.2 CLIMA 45
2.2.1 Tipos Climáticos 45
2.2.2 Temperatura 48
2.2.3 Precipitación 51
2.2.4 Análisis de Crecidas 53
2.3 DIMENSIÓN AMBIENTAL 59
2.3.1 Unidades Ecosistémicas 59
2.3.2 Humedales 63
2.3.3 Glaciares 66
2.4 INFRAESTRUCTURA HÍDRICA 68
2.4.1 Agua Potable Urbana 68
2.4.2 Sistemas de Saneamiento Rural (SSR) 71
2.4.3 Infraestructura de Riego 73
2.4.4 Aguas Lluvias 82
2.4.5 Infraestructura Hidroeléctrica 83
2.4.6 Tranques de Relave 85
2.4.7 Infraestructura de Defensas Fluviales y Ribereñas 87
2.4.8 Redes de Control 87
2.4.9 Resumen de Infraestructura Existente 132
2.5 NUEVAS FUENTES DE AGUA 135
2.5.1 Plantas Desaladoras 135
2.5.2 Acuíferos profundos 143

2.6 GOBERNANZA DEL AGUA A NIVEL DE CUENCA 143
2.6.1 Mapeo de Actores 143
2.6.2 Síntesis de reuniones PAC cuenca del río Loa 158
2.6.3 Brechas de Coordinación 169
2.6.4 Brechas de Información 178
3 DEMANDA FÍSICA Y LEGAL DE RECURSOS HÍDRICOS PARA DIFERENTES USOS 188
3.1 USO HUMANO 188
3.1.1 Agua Potable Urbana 188
3.1.2 Sistemas de Saneamiento Rural 194
3.1.3 DAA para Uso Humano 195
3.2 NECESIDADES MÍNIMAS AMBIENTALES 196
3.3 CAUDALES ECOLÓGICOS LEGALES 198
3.4 DEMANDA DE AGUA PARA RIEGO 200
3.4.1 Zonas de Riego 200
3.4.2 Demandas por Cultivos 203
3.4.3 Demanda a nivel de río 207
3.5 DEMANDA DE AGUA PARA MINERÍA 208
3.6 OTRAS DEMANDAS DE AGUA 210
3.7 MERCADO DE AGUAS 211
3.7.1 Evolución Histórica 211
3.7.2 Valor del Agua 211
4 OFERTA HÍDRICA 218
4.1 AGUAS SUPERFICIALES 218
4.1.1 Fuentes 218
4.1.2 Oferta de la fuente 218
4.1.3 Oferta en la fuente proyectada 224
4.1.4 Derechos de Aguas 227
4.1.5 Calidad de Aguas 230
4.1.6 Derechos de Aguas Comunidades Indígenas y Canales de Riego 241
4.1.7 Zonas de Agotamiento 242
4.1.8 Uso Efectivo del Agua 242
4.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS 243
4.2.1 Sectores hidrogeológicos de Aprovechamiento Común 245
4.2.2 Oferta 247

4.2.3 Calidad de Aguas 248
4.2.4 Derechos de Aguas 250
4.2.5 Área de restricción y zonas de prohibición 254
4.2.6 Uso Efectivo del Agua 254
4.3 GLACIARES 257
5 BALANCE DE AGUA 258
5.1 MODELO DE SIMULACIÓN 258
5.1.1 Situación actual 259
5.1.2 Situación proyectada 287
5.2 SUSTENTABILIDAD 289
5.2.1 Oferta hídrica sustentable superficial 289
5.2.2 Sustentabilidad de Sectores Acuíferos DGA 294
5.2.3 Análisis Criterios de Sustentabilidad SHACs 294
5.3 ESCENARIOS DE GESTIÓN ESPECÍFICOS 300
5.3.1 ECC 2: Caudal mínimo para requerimientos ecológicos 301
5.3.2 ECC 3: Seguridad de embalse 308
5.3.3 ECC 4: Prorrateo de DAA 309
5.3.4 ECC 5: Liberación de DAA industriales 310
5.4 COMPARACIÓN ENTRE ACCIONES 311
5.4.1 Indicadores de comparación 311
5.4.2 Resumen de indicadores de comparación de escenarios futuros y gestiones 318
6 ACCIONES 323
6.1 SÍNTESIS DE PROBLEMAS IDENTIFICADOS EN PAC 323
6.1.1 Problemas identificados desde la PAC 323
6.1.2 Problemas que se identifican, ratifican como resultado del uso del modelo, o pueden analizarse con el modelo 323
6.1.3 Problemas identificados desde estudios anteriores 328
6.2 CARTERA DE ACCIONES EXISTENTES 328
6.2.1 Identificación y propuesta de iniciativas para la Región de Antofagasta (PEGRH). DGA (2016b) 329
6.2.2 Diagnóstico para Desarrollar Plan de Gestión de Riego en la Región de Antofagasta. CNR, 2017b 332
6.2.3 Identificación y propuesta de iniciativas para propuestas en el estudio Riego Sustentable Cuencas Loa y Salado. CNR (2017a) 333

6.2.4 Acciones identificadas en el Banco Integrado de Proyectos 334
6.2.5 Acciones de privados que podrían condicionar o afectar el PEGH Loa 334
6.3 ACCIONES PROPUESTAS PARA ACTIVIDADES PAC 335
6.4 LÍNEAS DE TRABAJO ADOPTADAS PARA EL PEGH LOA 347
7 EVALUACIÓN DE LA CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTAS 352
7.1 METODOLOGÍA GENERAL DE EVALUACIÓN ADOPTADA 352
7.2 SÍNTESIS Y ANÁLISIS DE LAS ACCIONES PROPUESTAS PAC 352
7.3 EVALUACIÓN Y RANKING DE LAS ACCIONES PROPUESTAS 356
7.3.1 Evaluación Global de las Acciones 356
7.3.2 Evaluación PAC 358
7.3.3 Evaluación Financiera 358
7.3.4 Evaluación Social 358
7.3.5 Evaluación Ambiental 359
7.3.6 Resultado de la evaluación global de las Acciones 359
7.4 REORDENAMIENTO DE LAS ACCIONES Y ASIGNACIÓN DE PLAZO PARA LA FORMULACIÓN DEL PEGH 362
7.5 CLASIFICACIÓN DE ACCIONES SEGÚN PLAZO DE EJECUCIÓN 364
7.6 VALORIZACIÓN ECONÓMICA DEL PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA 365
7.6.1 Acciones a Ejecutar por Actor 365
7.6.2 Distribución de Valor Actualizado de Costos por Eje PEGH 367
8 IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN 370
8.1 ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN 370
8.1.1 Aspectos a Considerar 370
8.1.2 Propuesta del Proceso de Diseño 372
8.1.3 Pasos para la Implementación del PEGH 373
8.1.4 Limitaciones del PEGH Loa propuesto 377
8.2 ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN 377
9 MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN 379
9.1 PLAN DE MONITOREO 379
9.1.1 Indicadores del PEGH Loa 380
9.1.2 Seguimiento 380
9.2 MECANISMOS PARA EL ANÁLISIS Y TOMA DE DECISIONES 380

ANEXOS

ANEXO A ABREVIACIONES

ANEXO B REFERENCIAS

ANEXO C GLOSARIO

ANEXO D FIGURAS

ANEXO E ANTECEDENTES RECOPILADOS

ANEXO F ASPECTOS METODOLÓGICOS

ANEXO G SIG

ANEXO H MODELO HIDROLÓGICO

ANEXO I DETALLE ACTIVIDADES PAC

ANEXO J EVALUACIÓN DE INICIATIVAS

ANEXO K LISTADO Y EVALUACIÓN DE INICIATIVAS

ANEXO L PRESENTACIÓN FINAL

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Área de Estudio de la cuenca del río Loa 5
Figura 2-2: Geomorfología de la cuenca del río Loa 7
Figura 2-3: Mapa Geológico Regional de la cuenca del río Loa 10
Figura 2-4: Simbología Geología estructural 11
Figura 2-5: Perfil Geológico Calama – Quebrada Yalqui 14
Figura 2-6: Representación de las principales estructuras Cuenca Calama 15
Figura 2-7: Mapa de Cobertura de Suelo en la cuenca del río Loa 18
Figura 2-8: Delimitación e hidrografía de cuenca del río Loa 21
Figura 2-9: Subcuencas hidrológicas de la cuenca del río Loa 22
Figura 2-10: Curva hipsométrica de la cuenca del río Loa 24
Figura 2-11: Evapotranspiración (ET) media anual en cuenca del río Loa. Periodo 1985 – 2015 26
Figura 2-12: FSCA media anual en cuenca del río Loa. Periodo 1985 – 2015 27
Figura 2-13: Geometría sector acuífero cuenca del río Loa 29
Figura 2-14: Sectores Hidrogeológico de Aprovechamiento Común en la cuenca del río Loa (SHAC) 30
Figura 2-15: Mapa de clasificación de importancia hidrogeológica en la cuenca del río Loa 31
Figura 2-16: División Político-Administrativa en la cuenca del río Loa 38
Figura 2-17: Proyectos ingresados a SEA en la cuenca del río Loa 44
Figura 2-18: Clasificación climática cuenca del río Loa 47
Figura 2-19: Temperaturas medias mensuales en estaciones seleccionadas 49
Figura 2-20: Estaciones meteorológicas utilizadas para caracterizar temperatura 50
Figura 2-21: Precipitaciones medias mensuales en estaciones seleccionadas 51
Figura 2-22: Estaciones meteorológicas utilizadas para caracterizar precipitación 52
Figura 2-23: Cambios relativos en precipitación media anual proyectada para el periodo futuro (2030-2060) respecto a línea base (1985-2015) 57
Figura 2-24: Distribución espacial de la temperatura media anual en periodo histórico (panel A) y cambio futuro según proyecciones de 4 MCG (panel B) 58

Figura 2-25: Distribución espacial de la precipitación media anual en periodo histórico (panel A) y cambio futuro según proyecciones de 4 MCG (panel B) 59
Figura 2-26: Sitios prioritarios en la cuenca del río Loa 61
Figura 2-27: Ubicación de vegas protegidas y humedales en cuenca del río Loa 65
Figura 2-28: Ubicación de glaciares en la cuenca del río Loa 67
Figura 2-29: Ubicación de captaciones APU en la cuenca del río Loa 70
Figura 2-30: Servicios Sanitarios Rurales, cuenca del río Loa 72
Figura 2-31: Detalle Unifilar Sistemas de Canales sector de riego Calama 75
Figura 2-32: Detalle Unifilar Sistemas de Canales sector de riego Yalquincha 76
Figura 2-33: Detalle Unifilar Sistemas de Canales sector de riego Ayquina 76
Figura 2-34: Detalle Unifilar Sistemas de Canales sector de riego Turi 76
Figura 2-35: Detalle Unifilar Sistemas de Canales sector de riego Chiu Chiu 77
Figura 2-36: Obras de control en cuenca del río Loa 78
Figura 2-37: Curva de Capacidad del Embalse Conchi 80
Figura 2-38: Perfil sector muro represa El Salado 81
Figura 2-39: Infraestructura Hidroeléctrica en la cuenca del río Loa 84
Figura 2-40: Ubicación Tranques de Relave de la cuenca del río Loa. 86
Figura 2-41: Estaciones hidrometeorológicas sector público cuenca del río Loa 90
Figura 2-42: Número de estaciones hidrometeorológicas DGA vigentes en la cuenca del río Loa 91
Figura 2-43: Registro de series de datos a nivel mensual de estaciones pluviométricas DGA 92
Figura 2-44: Red de control hidrometeorológico propuesto para alcanzar la densidad mínima sugerida según recomendación OMM (2008) 94
Figura 2-45: Ubicación de estaciones hidrometeorológicas cuenca del río Loa 96
Figura 2-46: Ubicación de estaciones fluviométricas DGA, cuenca del río Loa 100
Figura 2-47: Estaciones fluviométricas DGA vigentes en la cuenca del río Loa 101
Figura 2-48: Registro de series de datos a nivel mensual de estaciones fluviométicas DGA. Periodo 1910 – 1960 102
Figura 2-49: Registro de series de datos a nivel mensual de estaciones fluviométicas DGA. Periodo 1970 – 2021 103
Figura 2-50: Red de control fluviométrico propuesto para alcanzar la densidad mínima sugerida según recomendación OMM (2008) 105
Figura 2-51: Ubicación de red de monitoreo fluviométrico de terceros en la cuenca del río Loa 108
Figura 2-52: Ubicación Red de Niveles de Pozos DGA cuenca del río Loa 110
Figura 2-53: Número de niveles de pozos DGA vigentes en la cuenca del río Loa 111
Figura 2-54: Registro de series de datos de niveles de pozos DGA a nivel mensual 112
Figura 2-55: Ubicación de red de monitoreo subterráneo de terceros en la cuenca del río Loa 118
Figura 2-56: Ubicación de estaciones de calidad de agua DGA en la cuenca del río Loa 122
Figura 2-57: Número de estaciones de calidad de aguas vigentes en cuenca del río Loa 123
Figura 2-58: Ubicación de red de monitoreo de calidad de aguas de terceros en la cuenca del río Loa 127
Figura 2-59: Ubicación de Estaciones Sedimentológicas DGA en la cuenca del río Loa .. 129
Figura 2-60: Estaciones sedimentológicas vigentes en cuenca del río Loa 130
Figura 2-61: Red de control sedimentológico propuesto para alcanzar la densidad mínima sugerida según recomendación OMM (2008) 131
Figura 2-62: Diagrama Unifilar río Loa, sector superior 133
Figura 2-63: Diagrama unifilar río Loa sectores Medio y Bajo 134
Figura 2-64: Plantas Desaladoras e infraestructura de impulsión en Operación Región de Antofagasta 137

Figura 2-65: Ubicación Infraestructura asociada al proyecto APORTAA, Región de Antofagasta 139
Figura 2-66: Ubicación obras propuestas proyecto CRAMSA, Región de Antofagasta 142
Figura 2-67: Proceso de mapeo de actores 144
Figura 2-68: Categorías de problemas identificados 145
Figura 2-69: Clasificación/Agrupación de Actores 152
Figura 2-70: Mapa de Actores (Disposición/Influencia) 153
Figura 2-71: Mapa de Actores-Relaciones 154
Figura 2-72: Ubicación de DAA Asociados a Comunidades de Agua cuenca del río Loa . 172
Figura 2-73: Relaciones entre Actores cuenca del río Loa 177
Figura 3-1: Evolución Demanda Agua Potable de Producción 194
Figura 3-2: Puntos de interés ambiental en cuenca del río Loa 197
Figura 3-3: Zonas con tramos de caudal ecológico legal cuenca del río Loa 199
Figura 3-4: Variación anual superficie regada total en la cuenca del río Loa 201
Figura 3-5: Distribución espacial de zonas de riego cuenca del río Loa 202
Figura 3-6: Evolución superficie regada por zonas de riego cuenca del río Loa 203
Figura 3-7: Evolución superficie regada por tipo de cultivo cuenca del río Loa 206
Figura 3-8: Demandas hídrica minera en cuenca del río Loa 209
Figura 3-9: Distribución anual del número de DAA superficiales transados, periodo 1985-2020 213
Figura 3-10: Distribución anual del número de DAA subterráneos transados, periodo 1985-2020 213
Figura 3-11: Distribución anual y valor transado de DAA superficiales, periodo de análisis 1985-2020 215
Figura 3-12: Distribución anual y valor transado de DAA subterráneos, periodo 1985-2020 217
Figura 4-1: Curvas de variación estacional con probabilidad de excedencia 5% para los puntos de control, bajo régimen sin intervención antrópica (1981 – 2019) 220
Figura 4-2: Curvas de variación estacional con probabilidad de excedencia 50% para los puntos de control, bajo régimen sin intervención antrópica (1981 – 2019) 221
Figura 4-3: Curvas de variación estacional con probabilidad de excedencia 85% para los puntos de control, bajo régimen sin intervención antrópica (1981 – 2019) 222
Figura 4-4: Curvas de variación estacional con probabilidad de excedencia 95% para los puntos de control, bajo régimen sin intervención antrópica (1981 – 2019) 223
Figura 4-5: Curva de frecuencia de caudales medios mensuales en puntos de control, bajo régimen sin intervención antrópica (1981 – 2019) 224
Figura 4-6: Curva de duración de caudales proyectada en puntos de control, bajo régimen sin demandas (2021 – 2050). 226
Figura 4-7: DAA superficiales identificados en cuenca del río Loa 228
Figura 4-8: Diagramas de Piper y Stiff–subcuenca río Loa Alto 232
Figura 4-9: Diagramas de Piper y Stiff Afluentes subcuenca río Loa Alto 233
Figura 4-10: Diagramas de Piper y Stiff–subcuenca río Loa Medio 234
Figura 4-11: Diagramas de Piper y Stiff–subcuenca río Loa Bajo 235
Figura 4-12: Puntos de muestreo Calidad de Aguas de CODELCO y DGA dentro de la cuenca del río Loa 237
Figura 4-13: Comparación CODELCO-DGA para Arsénico 238
Figura 4-14: Comparación CODELCO-DGA para Boro 239
Figura 4-15: Comparación CODELCO-DGA para Sulfatos 239
Figura 4-16: Comparación CODELCO-DGA para Cloruros 240
Figura 4-17: Niveles de pozos examinados en el acuífero de Calama 244
Figura 4-18: SHACs cuenca río Loa 246
Figura 4-19: Diagramas de Piper y Stiff–subcuenca río Loa Medio 249
Figura 4-20: DAA Subterráneos Identificados cuenca río Loa 251

Figura 5-1: Esquema de vinculación de elementos WEAP – MODFLOW mediante archivo de enlace 259
Figura 5-2: Estaciones fluviométricas empleadas en la calibración 261
Figura 5-3: Resultados calibración estación Río Loa antes de represa Lequena 266
Figura 5-4: Resultados calibración estación Río Loa en Embalse Conchi 267
Figura 5-5: Resultados calibración estación Río Salado en sifón Ayquina 268
Figura 5-6: Resultados calibración estación Río Loa en salida embalse Conchi 269
Figura 5-7: Resultados calibración estación Río Loa en Finca 270
Figura 5-8: Resultados Calibración Embalse Conchi 272
Figura 5-9: Niveles observados contra simulados, periodo 1980-2020 274
Figura 5-10: Histograma de residuales de pozos observados 275
Figura 5-11: Series mensuales de niveles pozo Isla Grande 275
Figura 5-12: Series mensuales de niveles pozo 6LIB 276
Figura 5-13: Flujos a nivel mensual en periodo de calibración (1981 – 2019) del acuífero acoplado 277
Figura 5-14: Evolución histórica del almacenamiento de agua del Acuífero de Calama . 279
Figura 5-15: Evolución del almacenamiento de agua de acuífero San Pedro 279
Figura 5-16: Evolución del almacenamiento de agua del Salar de Llamara 281
Figura 5-17: Demanda de agua en cuenca del río Loa por tipo de demanda (panel superior) y como porcentaje del total (panel inferior) 284
Figura 5-18: Brecha hídrica en cuenca del río Loa por tipo de demanda (panel superior) y como porcentaje del total (panel inferior) 285
Figura 5-19: Puntos de control en la cuenca del río Loa para determinar la oferta natural de la fuente 290
Figura 5-20: Curva de variación estacional de caudales en régimen natural del sector Loa Alto. Periodo 1981 – 2019 292
Figura 5-21: Porcentaje del volumen con respecto al volumen en régimen natural para cada paso de tiempo. Escenario de referencia 295
Figura 5-22: Caudal de infiltración para cada paso de tiempo. Escenario de referencia 297
Figura 5-23: Caudal de afloramiento para cada paso de tiempo. Escenario de referencia 298
Figura 5-24: Porcentaje del caudal de infiltración con respecto al caudal inicial, para cada paso de tiempo. Escenario de referencia, Media Móvil = 6 298
Figura 5-25: Porcentaje del caudal de afloramiento con respecto al caudal inicial para cada paso de tiempo. Escenario de referencia, Media Móvil = 6 299
Figura 5-26: Escenarios modelados en WEAP 300
Figura 5-27: Ubicación espacial de puntos de interés de caudal ambiental en la cuenca río Loa 302
Figura 5-28: Caudales de requerimientos ecológicos definidos en ECC 2 304
Figura 5-29: Caudal con probabilidad excedencia 50% (Q_{50}) pasante por los puntos de interés ambiental. Periodo de calibración (1981 – 2019) 305
Figura 5-30: Caudal con probabilidad excedencia 85% (Q_{85}) pasante por los puntos de interés ambiental. Periodo de calibración (1981 – 2019) 306
Figura 5-31: Curva de variación estacional de volúmenes embalsados – Escenarios futuros 314
Figura 5-32: Curvas de variación estacional de caudales en desembocadura de la cuenca del río Loa – Escenarios futuros 315
Figura 5-33: Series modeladas futuras (2020 – 2050) del almacenamiento de agua subterránea de algunos SHACs de la cuenca del río Loa 316
Figura 5-34: Serie futura modelada del almacenamiento de agua total en la cuenca del río Loa 317
Figura 5-35: Serie futura modelada para el almacenamiento del acuífero San Pedro bajo ECC 5 320

Figura 5-36: Altura hidráulica (*Cellheads*) en el sector de Calama simulados bajo ECC 5 para marzo de 2050 321
Figura 5-37: Altura hidráulica (*Cellheads*) en el sector de Calama, bajo escenarios de gestión 322
Figura 7-1: Ranking Categorías de Tipos de Problemas Identificados en PAC 353
Figura 7-2: Ranking Iniciativas Disponibilidad/Seguridad Hídrica/Infraestructura 354
Figura 7-3: Ranking Iniciativas Calidad y Ecosistemas 354
Figura 7-4: Ranking Iniciativas Información Hídrica 355
Figura 7-5: Ranking Iniciativas Riesgo Afectación Hídrica Crecidas / Fallas Obras 355
Figura 7-6: Ranking Iniciativas Normativas Legales 356
Figura 7-7: Ranking Iniciativas Gobernanza 356
Figura 7-8: Esquema Asignación Puntajes Evaluación de Acciones 357
Figura 7-9: Cronograma PEGH Loa 364
Figura 7-10: Distribución Costos por Actor Institucional 366
Figura 7-11: Distribución Valor Actualizado de Costos por Plazo Ejecución 366
Figura 7-12: Distribución VAC (millones $) por Tipología, Entidad Encargada y Plazo de Ejecución 367
Figura 7-13: Distribución VAC (millones $) por Eje Temático, Plazo y Tipología 368
Figura 8-1: Esquema Simplificado de los Pasos de Implementación del PEGH Loa 375
Figura 8-2: Modelo propuesto de Gobernanza del PEGH Loa 376

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Porcentajes de coberturas de suelo en la Cuenca del río Loa. 19
Tabla 2-2: Superficie comunal respecto a la cuenca del río Loa 39
Tabla 2-3: Proyectos y su inversión ingresados al Sistema de Evaluación Ambiental en la cuenca del río Loa 41
Tabla 2-4: Porcentaje de Territorio Comunal dentro de la Cuenca del río Loa 42
Tabla 2-5: Porcentaje de población ocupada por sector económico en las comunas de Calama y María Elena 43
Tabla 2-6: Clasificación climática de Köppen-Geiger 48
Tabla 2-7: Estaciones seleccionadas para caracterizar temperatura 48
Tabla 2-8: Estaciones seleccionadas para caracterizar precipitaciones 51
Tabla 2-9: Estaciones seleccionadas para análisis de crecidas 53
Tabla 2-10: Caudales medios diarios máximos de periodo de retorno 10 años 55
Tabla 2-11: MCG seleccionados para representar proyecciones de cambio climático 56
Tabla 2-12: Forzantes meteorológicas en escenarios de proyección de cambio climático en cuenca del río Loa 58
Tabla 2-13: Humedales en la cuenca del río Loa 63
Tabla 2-14: Características de glaciares en área de estudio 66
Tabla 2-15: Características principales de captaciones 69
Tabla 2-16: Plantas desaladoras agua potable en la región 71
Tabla 2-17: SSR operativos en cuenca del río Loa 71
Tabla 2-18: Caracterización sistemas de canales por sector de riego 73
Tabla 2-19: Estado de canales por sector de riego en cuenca del río Loa 74
Tabla 2-20: Resumen de características principales Embalse Conchi 79
Tabla 2-21: Sectores críticos inundaciones del río Loa 82
Tabla 2-22: Antecedentes tranques de relave cuenca del río Loa 85
Tabla 2-23: Estaciones DGA hidrometeorológicas en cuenca del río Loa 88
Tabla 2-24: Redes de monitoreo públicas ajenas a DGA en cuenca del río Loa 91
Tabla 2-25: Densidad mínima de redes de control recomendada (km^2/estación) 93
Tabla 2-26: Índice de densidad estaciones pluviométricas 93

Tabla 2-27: Red de monitoreo hidrometeorológico privado con obligación de informar ... 95
Tabla 2-28: Red de monitoreo hidrometeorológico privado ... 97
Tabla 2-29: Estaciones DGA fluviométricas en cuenca del río Loa ... 97
Tabla 2-30: Índice de densidad estaciones fluviométricas ... 104
Tabla 2-31: Puntos de monitoreo superficial de terceros ... 106
Tabla 2-32: Red de niveles de pozos DGA en cuenca del río Loa ... 109
Tabla 2-33: Índice de Densidad Estaciones de Niveles Calculado ... 113
Tabla 2-34: Puntos de Monitoreo Subterráneo de Terceros ... 114
Tabla 2-35: Estaciones de calidad de aguas DGA en cuenca del río Loa ... 119
Tabla 2-36: Índice de densidad estaciones calidad de aguas superficiales ... 121
Tabla 2-37: Puntos de Monitoreo de Calidad de Aguas de Terceros ... 124
Tabla 2-38: Estaciones Sedimentarias DGA en cuenca del río Loa ... 128
Tabla 2-39: Índice de densidad estaciones sedimentológicas ... 130
Tabla 2-40: Características Plantas Desaladoras e infraestructura de impulsión en la Región de Antofagasta ... 135
Tabla 2-41: Listado de Actores convocados ... 146
Tabla 2-42: Acrónimos utilizados en mapas conceptuales ... 150
Tabla 2-43: Reuniones Realizadas ... 159
Tabla 2-44: Síntesis de problemas según Tipo de reunión y Actor ... 160
Tabla 2-45: Encuestas respondidas por actor ... 161
Tabla 2-46: Comunidades de agua del sector Lasana – Chiu Chiu ... 170
Tabla 2-47: Comunidades de agua del sector Oasis de Calama ... 171
Tabla 2-48: Comunidades de agua del sector Oasis de Quillagua ... 171
Tabla 2-49: DAA Consuntivo para las Comunidades de Agua en Lasana, Chiu Chiu, Calama y Quillagüa ... 173
Tabla 2-50: Relación problemas y brechas de coordinación ... 178
Tabla 2-51: Ejemplo de Normativas Internacionales ... 181
Tabla 2-52: Aspectos comunes para la creación de organizaciones de cuenca ... 182
Tabla 2-53: Déficit de Redes de Control ... 185
Tabla 3-1: Pérdidas Consideradas en Sistema Norte ... 189
Tabla 3-2: Proyecciones de Población y Caudal de Producción ... 190
Tabla 3-3: Proyección de Población de Calama ... 191
Tabla 3-4: Proyecciones de Población y Caudal de Producción María Elena ... 191
Tabla 3-5: Evaluación Déficit de Oferta (Nivel Producción) a Satisfacer en periodo de Previsión ... 192
Tabla 3-6: Evaluación Déficit de Oferta (Nivel Producción) a Satisfacer a Futuro ... 193
Tabla 3-7: Comparación demanda máxima diaria v/s oferta mínima ... 193
Tabla 3-8: Proyección del Demanda Sistemas de SSR ... 195
Tabla 3-9: Disponibilidad Legal de Agua año 2019, Aguas Urbanas ... 195
Tabla 3-10: Disponibilidad Legal de Agua año 2018, Sistemas de SSR ... 196
Tabla 3-11: Caudal de requerimientos ecológicos (m^3/s) ... 198
Tabla 3-12: Caudales ecológicos legales en cuenca del río Loa ... 198
Tabla 3-13: Superficies zonas de riego ... 200
Tabla 3-14: Distribución de cultivos en zonas de riego (situación actual) ... 204
Tabla 3-15: Coeficientes de Cultivos Representativos ... 205
Tabla 3-16: Propiedades agregadas de canales de riego ... 206
Tabla 3-17: Demandas por zonas de riego ... 207
Tabla 3-18: Detalle de empresas con demandas de agua para minería ... 210
Tabla 3-19: Proyección demandas mineras en la cuenca ... 210
Tabla 3-20: Transacciones depuradas según naturaleza del agua, años 1985-2020 ... 212
Tabla 3-21: Resultados valor de aguas superficiales ... 215
Tabla 3-22: Resultados valor de aguas subterráneas ... 216
Tabla 4-1: Oferta natural de la fuente superficial (m^3/s), periodo 1981 – 2019 ... 219

Tabla 4-2: Oferta natural de la fuente superficial, periodo 2021 – 2050 225
Tabla 4-3: Oferta en la fuente proyectada (2021 – 2050) en régimen natural 225
Tabla 4-4: Tipos de uso del agua superficial 229
Tabla 4-5: Demandas de agua potable implementadas en el modelo 229
Tabla 4-6: Demandas industriales implementas en el modelo 230
Tabla 4-7: DAA Identificados para Riego 241
Tabla 4-8: Captaciones superficiales que reportan extracciones 243
Tabla 4-9: Parámetros geométricos SHACs cuenca río Loa 245
Tabla 4-10: Flujos y oferta sustentable en acuíferos considerados (m^3/s), periodo 2000 – 2019. 247
Tabla 4-11: Stock de agua de los sistemas acuíferos (hm^3) 248
Tabla 4-12: Tipos del Uso del Agua Subterránea Cuenca del río Loa 250
Tabla 4-13: Detalle de pozos implementados como sitios de demanda en modelo WEAP actualizado 252
Tabla 4-14: Extracción Efectiva de Caudales Sujetos a MEE 255
Tabla 5-1: Indicadores de calidad de calibración para el periodo histórico (1981 -2019) en estaciones fluviométricas de la DGA consideradas 262
Tabla 5-2: Oferta histórica de la fuente superficial (m^3/s), periodo 1981 – 2019 265
Tabla 5-3: Pozos de observación utilizados en el modelo 273
Tabla 5-4: Nomenclatura de SHACs empleada en modelo 276
Tabla 5-5: Balance neto global del acuífero de Calama. Periodo 2000 – 2019 278
Tabla 5-6: Balance subterráneo acuífero San Pedro (m^3/s), periodo 2000 – 2019 280
Tabla 5-7: Niveles de pozos de observación en acuífero San Pedro 280
Tabla 5-8: Balance subterráneo Salar de Llamara (m^3/s) (2000 – 2019) 281
Tabla 5-9: Niveles en pozos de observación y bombeo en Salar de Llamara 282
Tabla 5-10: Balance hidrogeológico por SHAC, periodo 2000 – 2019 283
Tabla 5-11: Variación porcentual del Q_{MA} para perturbaciones de precipitación 286
Tabla 5-12: Variación porcentual del Q_{MA} para perturbaciones de temperatura 286
Tabla 5-13: Balance hidrogeológico proyectado por SHAC, periodo 2021 – 2050 289
Tabla 5-14: Caudales ecológicos para los sectores analizados (m^3/s) 292
Tabla 5-15: Oferta hídrica sustentable superficial permanente (m^3/s) 293
Tabla 5-16: Oferta hídrica sustentable superficial eventual (m^3/s) 293
Tabla 5-17: Coordenadas de puntos de interés ambiental 301
Tabla 5-18: Brecha hídrica actual del Q_{50} para satisfacer el caudal de requerimiento ambiental en puntos de interés (m^3/s) 307
Tabla 5-19: Brecha hídrica actual del Q_{85} para satisfacer el caudal de requerimiento ambiental en puntos de interés (m^3/s) 307
Tabla 5-20: Brecha hídrica ecológica media mensual de los puntos de interés ambiental (m^3/s) 312
Tabla 5-21: Indicador comparativo de Brecha hídrica ecológica 313
Tabla 5-22: Indicador comparativo de Volumen embalsado 314
Tabla 5-23: Indicador comparativo de Escorrentía media en Desembocadura 315
Tabla 5-24: Indicador comparativo de Balance hidrogeológico medio 317
Tabla 5-25: Indicador comparativo de Satisfacción de demandas 318
Tabla 5-26: Resumen de indicadores para escenarios futuros 319
Tabla 6-1: Problemas analizables con la modelación 324
Tabla 6-2: Problemas Identificados en Estudios Anteriores 328
Tabla 6-3: Iniciativas Identificadas PEGHR 329
Tabla 6-4: Iniciativas identificadas Plan Gestión de Riego Antofagasta 332
Tabla 6-5: Iniciativas identificadas estudio Riego Sustentable Cuencas Loa y Salado 333
Tabla 6-6: Iniciativas Propuestas 337
Tabla 6-7: Origen y Alcances de las Acciones 344
Tabla 6-8: Ejes Temáticos Adoptados PEGH Loa 347

Tabla 6-9: Reclasificación de Categorías PAC a Ejes Temático 348
Tabla 6-10: Tipologías de Obras PEGH Loa 348
Tabla 6-11: Reclasificación de Acciones Propuestas en Ejes y asignación de Tipología .. 348
Tabla 6-13: Clasificación Final de Acciones en Ejes y Tipologías 351
Tabla 7-1: Resultados Evaluación de Iniciativas 360
Tabla 7-2: Ranking Evaluación Iniciativas 363
Tabla 7-3: Distribución de iniciativas por Eje, Plazo y Tipología 365
Tabla 7-4: Distribución VAC (millones $) por Eje PEGH 369
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 378

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El desarrollo de "Planes Estratégicos de Gestión Hídrica" (PEGH) para las cuencas existentes en el territorio nacional tiene como marco general el recrudecido 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 altísima 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.

El presente informe presenta los resultados del "Plan Estratégico de Gestión Hídrica de la Cuenca del Loa", que la consultora Con Potencial ha desarrollado por encargo de la Dirección General de Aguas, dependiente del Ministerio de Obras Públicas.

La cuenca del río Loa posee una escasa hidrografía, a pesar de contener al río más largo del país, y único cuerpo de agua, río Loa, que logra desembocar en el sector norte de la región de Antofagasta (límite con la región de Tarapacá). El clima desértico de esta cuenca

define la escasez hídrica superficial cuyas precipitaciones de magnitud considerables únicamente se producen en la época del invierno altiplánico.

La evidente escasez de oferta hídrica de esta cuenca contrasta con la intensiva demanda hídrica de los principales usuarios del agua. Dentro de la cuenca, existe un gran número de actividades desarrolladas, destacando entre todas ellas la actividad minera, la cual utiliza grandes volúmenes de agua para la ejecución de los procesos mineros. Adicionalmente, el recurso hídrico es requerido para otras actividades tales como; urbanización (agua potable), agricultura, medioambiente, entre otros.

En cuencas de este tipo, con poca oferta superficial y alta demanda, 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.

1.1 Objetivo General

Proponer un plan estratégico indicativo para la cuenca del río Loa, para que en su realidad se pueda conocer oferta y demanda actual de agua, establecer balance hídrico y sus proyecciones a 30 años, diagnosticar el estado de información, infraestructura e instituciones que toman decisiones respecto al recurso hídrico, y proponer cartera de acciones DGA y de terceros público-privados, que permitan suplir la demanda de agua y adaptación al cambio climático, con un portafolio de acciones que aseguren su abastecimiento en cantidad y calidad.

1.2 Objetivos Específicos

- Conocer el estado actual de la cuenca en cuanto a oferta, demanda, balance de agua (en derechos y demanda de agua) y sus respectivas herramientas de cálculo (modelos), control de extracciones, calidad físico-química de fuentes superficiales y subterránea, gobernanza, y red hidrométrica superficial, subterránea, de calidad, de glaciología y nieves.
- Construir y actualizar los modelos de simulación hidrológicos, e integrarlos a nivel superficial-subterráneo, de no estarlos.

- Definir acciones para restaurar las condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable rural y urbana, por tipo de usuarios tanto para fuentes superficiales como subterráneas.
- Diagnosticar el estado de la calidad de aguas de las fuentes superficiales y subterráneas. Definir acciones para proteger funciones ecosistémicas críticas relacionadas con los cuerpos de agua en el tiempo.
- Diagnosticar el estado de la infraestructura hidráulica actual y proponer acciones para mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterráneo, eventos extremos, montaña y glaciares). Se deberá analizar el estado de funcionamiento, la antigüedad y confiabilidad de los sistemas en general.
- Identificar las brechas entre oferta y demanda de aguas en distintos escenarios de cambio climático, sequías e inundaciones, estableciendo un portafolio de acciones (estrategias de gestión) para reducirlas. Se deberá establecer un caso base y distintos escenarios para evaluación.
- Entregar estrategias para mejorar la toma de decisiones, mediante la utilización de modelos operativos de gestión, los cuales deberán tener escenarios de planificación a corto, mediano y largo plazo, y ser adaptativos en el tiempo.
- Entregar estrategias para promover y revitalizar la alianza público-privada, y así incrementar cualitativamente la inversión requerida en infraestructura e investigación.

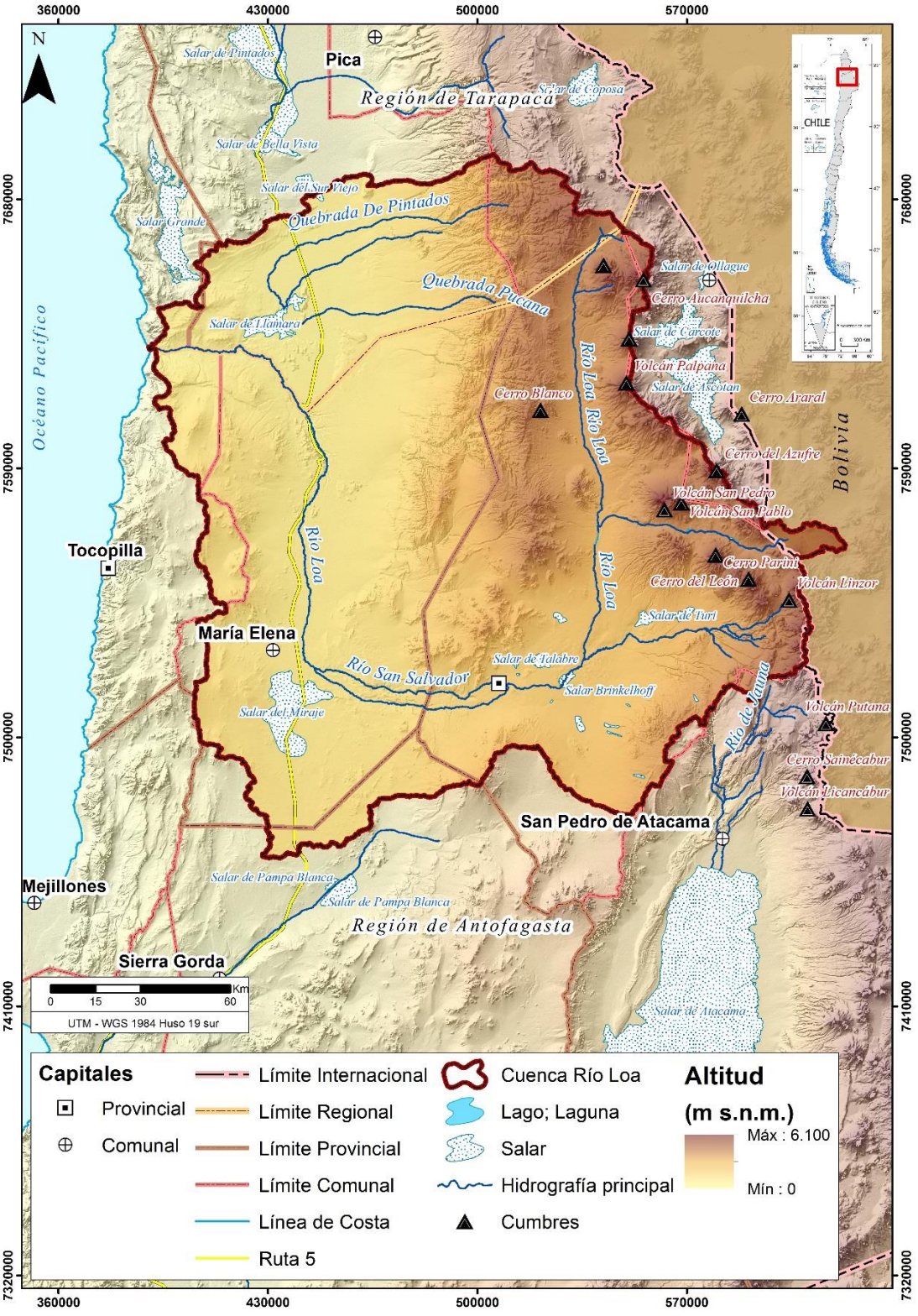
2 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

En este capítulo se describen las principales características de la cuenca de río Loa, tanto en términos geográficos, aspectos político-administrativos, demográficos y actividad económica. También se presenta una caracterización del clima en el territorio, así como también una caracterización ambiental del mismo. Adicionalmente se describe la infraestructura hídrica existente en el territorio, así como también las posibles nuevas fuentas de agua. Por último, se presenta una caracterización de la gobernanza del agua a nivel de cuenca.

La cuenca del río Loa se encuentra ubicada entre las regiones de Tarapacá y Antofagasta, limita al norte con la cuenca de la Pampa del Tamarugal y las cuencas costeras Tilviche-río Loa, al sur con la cuenca Quebrada Caracoles y la cuenca Salar de Atacama, en tanto, deslinda al oeste con las cuencas fronterizas Salar Michincha-río Loa y al oeste con las cuencas costeras entre río Loa y Quebrada Caracoles. Esta cuenca es del tipo exorreica y posee un área de aproximadamente 34.000 km^2 y un perímetro de 1.226,5 km.

El cauce principal de esta cuenca corresponde al río Loa, el cual es el río más largo de Chile. Este río posee abruptos cambios de dirección en su trayecto de cabecera a desembocadura, comenzando por una orientación sur, para luego virar hacia el oeste, norte y nuevamente hacia el oeste en su tramo final hacia el Océano Pacífico, encontrado la costa entre las comunas de Tocopilla e Iquique, completando una longitud de aproximadamente 440 km, atravesando el desierto de Atacama.

Esta cuenca posee una gran variación de elevación en su perfil transversal, variando desde el nivel del mar, y superando los 5.500 m de altura en el sector más próximo a la cordillera, como se puede apreciar en la Figura 2-1 que ofrece una perspectiva general del área del estudio. El clima predominante de esta cuenca es el de tipo desértico, por lo que las precipitaciones solo se producen en los sectores de gran altitud en el sector oriental de la cuenca.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-1: Área de Estudio de la cuenca del río Loa

2.1 Dimensión Física y Económica

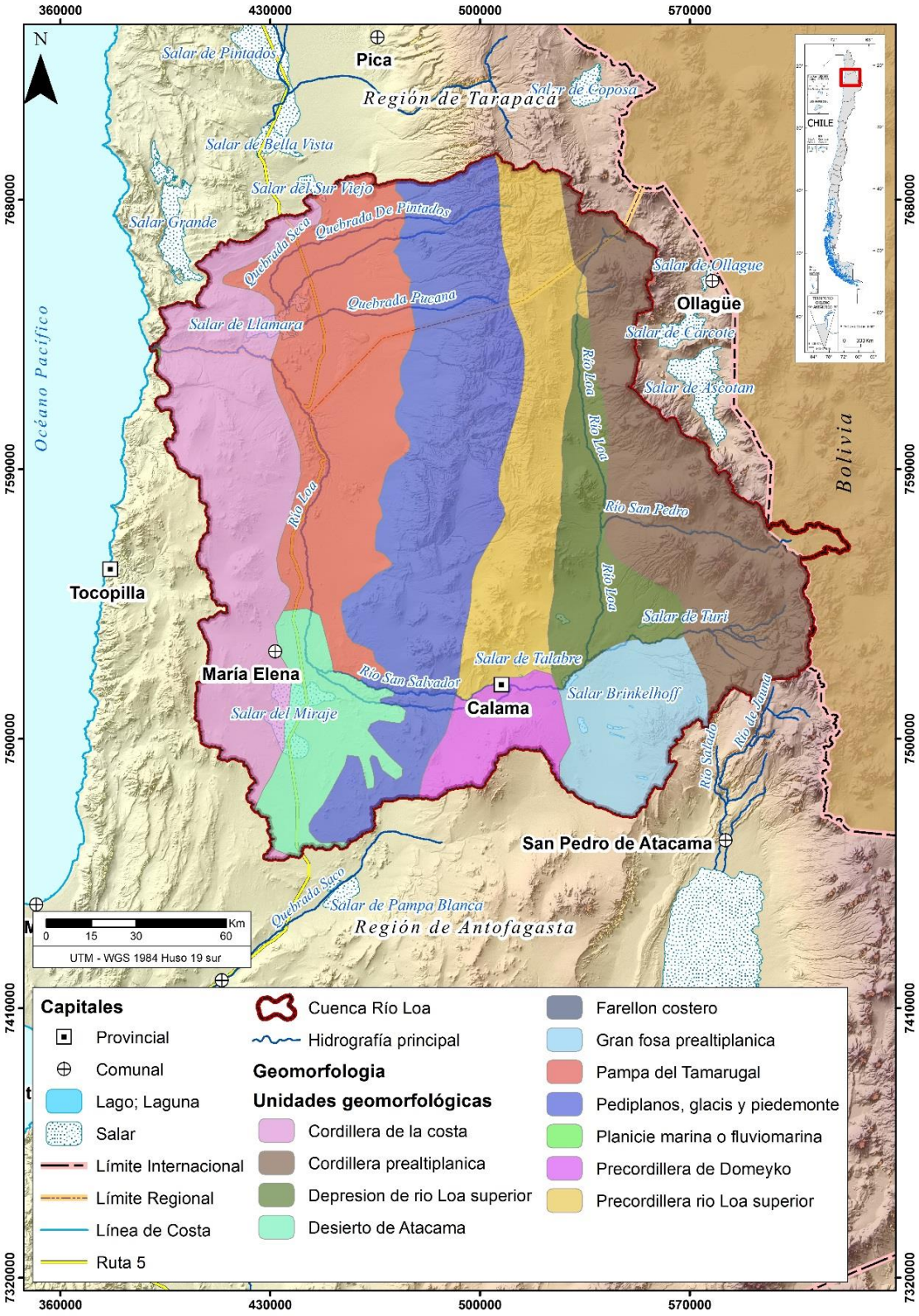
2.1.1 Geomorfología

La descripción geomorfológica que a continuación se presenta ha sido compilada a partir de la información contenida en el estudio GORE Antofagasta (2020). Algunas definiciones de conceptos que permitirán comprender mejor esta descripción se presentan a continuación:

- Glacis: Vastas llanuras en el piedemonte con una inclinación suave recubiertos por una película de detritos. Plano inclinado dispuesto al pie de un cerro en zonas áridas.
- Estribaciones: relieves menores que se desprenden de uno mayor.
- Estrán: sección media de una playa en la zona intermareal.
- Estompar: Dilución de un relieve en formas menores.

La información se resume en la Figura 2-2, y su explicación es la siguiente:

- **Cordillera de la costa:** La cordillera de la Costa conserva un carácter de cerros islas, empinándose sólo algunas centenas de metros por encima del plan alto de la pampa. Hacia el sector austral del río Loa, la cordillera de la Costa emerge con carácter más macizo y continuo. Las avanzadas de este nuevo rasgo cordillerano costero las constituyen los cerros de la Mica (1.827 m s.n.m.) y cerro Tetas (1.765 m s.n.m.), situados 35 y 25 km, respectivamente, al oeste del poblado de Quillagua en el Loa inferior (Börgel, 1983).
- **Cordillera pre altiplánica:** En general, estas cordilleras se caracterizan por su gran altura, el carácter volcánico de que están revestidas, anegadas en sus propios derrames lávicos, por la persistencia de la nieve y hielo en sus cumbres y por constituir un verdadero biombo climático para las masas de aire que provienen de la cuenca amazónica. Los cordones septentrionales se extienden desde Charaña- Visviri hasta el volcán Licancabur. Estos cordones nacen en los nevados de Chuquicamata de 2.386 m s.n.m. y en el cerro Cosapilla de 5.386 m s.n.m. (Börgel, 1983).
- **Depresión del río Loa:** La depresión del Loa superior presenta 95 km de extensión y 20 km de ancho medio, ubicándose entre los faldeos septentrionales del Volcán Miño por el norte y estación Conchi por el sur, sobre la vía férrea internacional de Calama a Bolivia. En la parte meridional de la fosa del Loa superior se organiza la pampa La Avestruz, como resultado del nivelamiento que ha alcanzado la deprimida orografía de la cuenca (Börgel, 1983).



Fuente: Elaboración propia con antecedentes GORE Antofagasta (2020)

Figura 2-2: Geomorfología de la cuenca del río Loa

- **Llanos del desierto de Atacama:** Entre el río Loa por el norte y las sierras Remiendos, Vicuña Mackenna, del Muerto, y Peñafiel por el sur, se extiende la pampa árida del desierto de Atacama. Esta faja interior tiene unos 300 km de extensión y 60 km de ancho medio. Es consecuencia del mayor desarrollo de la cordillera costera más algunos avances al oeste de la precordillera de Domeyko, que la depresión intermedia se asfixia en corredores o pasadizos estrechos. Al interior de Antofagasta, se encuentran los salares Navidad y Mar muerto de 18 y 160 km², respectivamente (Börgel, 1983).
- **Pampa del Tamarugal:** Con una superficie estimada en 17.253. km², se desarrolla con características de meseta, encerrada entre las cotas 600 y 1.500 m s.n.m. La pampa del Tamarugal se presenta como un territorio coherente e ininterrumpido. Dentro de la pampa se organizan algunos escurrimientos esporádicos, los que drenan con un carácter endorreico algunas cuencas salinas internas (Börgel, 1983).
- **Pediplanos, glacis y piedemonte:** Se desplazan en sentido N-S por aproximadamente 990 km, interrumpidos en su desarrollo solamente por un accidente orográfico, el desplazamiento al oeste de la precordillera de Domeyko. Las dislocaciones tectónicas que en el plioceno levantaron la precordillera de Domeyko y toda la bóveda altiplánica, produjeron simultáneamente por flexura, La disposición estructural del pediplano que conecta el ámbito cordillerano andino con las pampas de la depresión intermedia. Los planos inclinados han sido convencionalmente inscritos entre las cotas 1.500 y 3.000 m s.n.m. (Börgel, 1983).
- **Planicie marina:** Considerando las características de la costa de solevantamiento que tiene este litoral, las planicies son de breve desarrollo, interrumpidas por estribaciones desprendidas de la cordillera de la Costa. Estas estribaciones presentan forma de cuchillas vertebradas y descienden hasta el borde de las playas locales, generando la fuente de origen para una activa erosión marina. Las playas que se intercalan entre las estribaciones, corresponden a un estrán3 arenoso recubriendo levemente un estrán rocoso que queda al descubierto en periodos de baja marea. La desembocadura del río Loa da lugar a una plataforma de abrasión de 11 km de extensión, representando a una de las más extensas la zona septentrional del territorio chileno (Börgel, 1983).
- **Precordillera de Domeyko:** Esta precordillera se organiza en los cerros Limón verde con sus dos principales alturas: el cerro Moctezuma con 3.086 m s.n.m. y el cerro Limón verde. Luego de una interrupción cercana a 20 km, la orografía es estompada

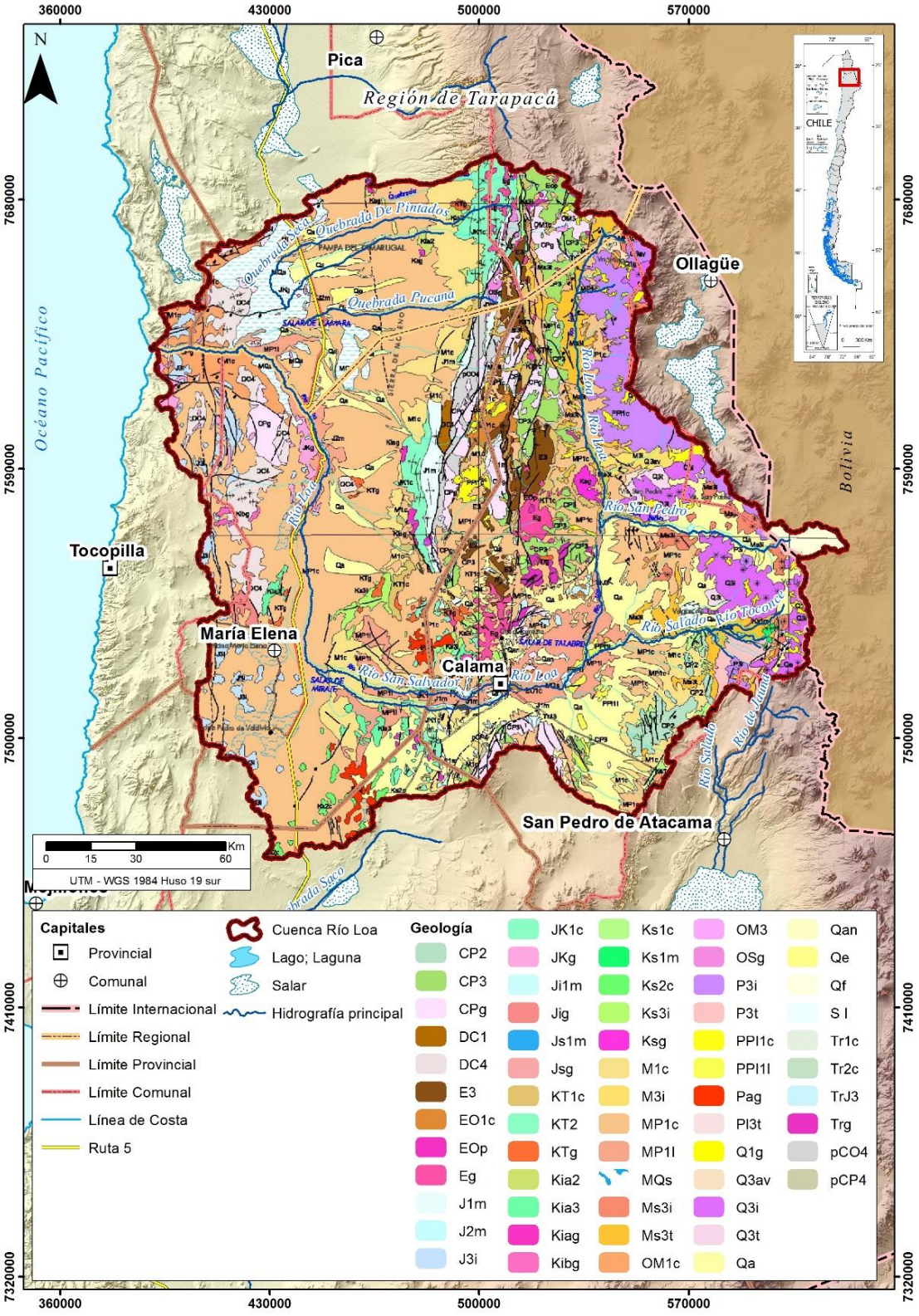
por algunas sierras que avanzan desde los planos inclinados hacia el oeste. Es el caso de la cordillera de las Aguadas. La precordillera se reanuda en el cerro Quimal de 4.276 m s.n.m. y, desde este punto al sur, se manifiesta planiforme con una altitud media de 3.000 m s.n.m. con una extensión de 115 km eje norte- sur. En el extremo sur, sólo la presencia del cerro Imilac de 3.995 m s.n.m. pone fin al monótono paisaje tabuliforme pre cordillerano (Börgel, 1983).

2.1.2 Geología

Las unidades geológicas presentes al interior de la cuenca del río Loa, y en el territorio chileno, de acuerdo a SERNAGEOMIN (2003), corresponden a secuencias sedimentarias, volcanosedimentarias, volcánicas, rocas intrusivas y rocas metamórficas, las que a continuación se detallan, en forma gráfica en la Figura 2-3 y la Figura 2-4, y posteriormente en detalle.

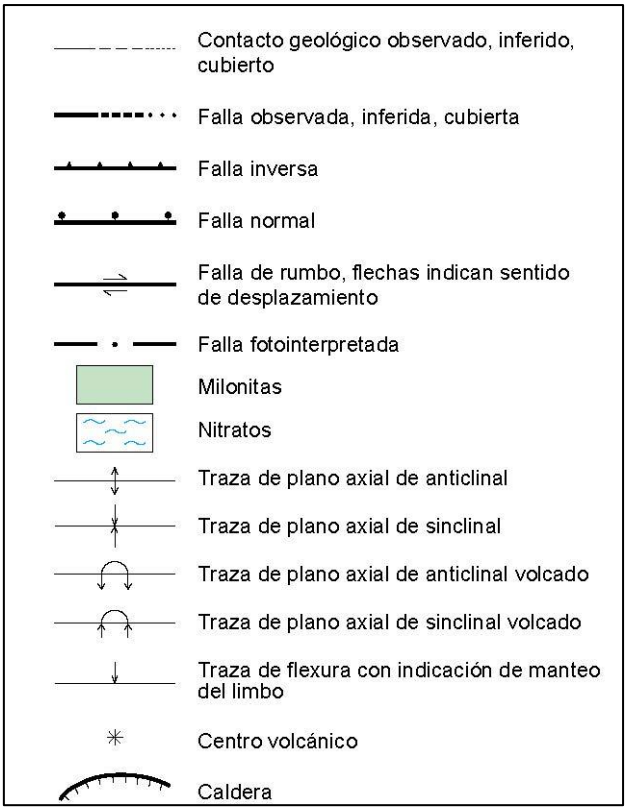
La Cuenca Cenozoica de Calama corresponde a una depresión de antearco situada en la parte septentrional de la Cordillera de Domeyko, entre la Precordillera y la Cordillera Principal de la región andina de Chile. Limita al Oriente, en el sector limítrofe entre Chile y Bolivia, con estratovolcanes e ignimbritas con escasa o nula deformación tectónica asociadas al Cordón Volcánico del Terciario Superior - Cuaternario (Zona Volcánica Central de Los Andes). Por el Poniente limita con rocas volcánicas (andesitas-riolitas) y cuerpos intrusivos de dimensiones batolíticas, de edad Carbonífero Superior – Pérmico, que constituyen la Sierra del Medio, correspondiente a la continuación septentrional de la Cordillera de Domeyko. Esta se caracteriza por presentar fallas transcurrentes de rumbo noroeste y norte-sur, incluyendo el Sistema de la Falla Oeste, la cual ha concentrado movimientos laterales mayores entre los bloques estructurales constituyentes de la Cordillera en la zona (DGA, 2013).

Se desarrolla en un sustrato de rocas volcánicas y plutónicas del Carbonífero Superior-Pérmico (Fm Collahuasi, Fm Tuina, Complejo Metaplutónico de cerros de Chuquicamata) (Tomlinson y Blanco, 2008), sobre el cual se depositaron en la parte norte y este durante el Cretácico al Eoceno secuencias marinas y continentales, vinculados al espacio de acomodación de la cuenca cretácica de Purilactis (Estratos de Chuquicamata, Grupo Caracoles, Fm Quebrada Mala, Fm Cerritos Bayos, Fm Tolar) (Tomlinson y Blanco, 2008). En este substrato cortical se emplazó el arco magmático del Eoceno-Oligoceno Inferior, con sus exponentes efusivos (Fm Icanche) y plutónicos (Complejo Granodiorítico El Abra, Complejo Intrusivo Chuquicamata) (Tomlinson y Blanco, 2008).



Fuente: SERNAGEOMIN (2003)

Figura 2-3: Mapa Geológico Regional de la cuenca del río Loa



Fuente: SERNAGEOMIN (2003)

Figura 2-4: Simbología Geología estructural

La evolución tectóno-sedimentaria de la Cuenca Calama exhibe episodios paleogeográficos principales, los que coinciden con cambios en el estilo de deformación dentro del ambiente tectónico regional del arco a antearco (Blanco, 2008).

Las unidades depositacionales son las siguientes (ver Figura 2-5), de más antigua a más nueva:

- Formación El Yeso: secuencia grano-decreciente de brechas, areniscas, y una sucesión de limonitas y yeso masivo, con intercalaciones subordinadas de tobas. Las paleocorrientes están dirigidas hacia el W (N96°W) (Blanco, 2008; Blanco y Tomlinson, 2009).
- Formación Jalquinche: areniscas de grano fino a medio, limolitas macizas o pobremente laminadas, arcillolitas y ocasionales cuerpos canalizados de areniscas de guijarro (May et al., 2005; Blanco, 2008; Blanco y Tomlinson, 2009).
- Formación Lasana: conglomerados y areniscas gruesas gris oscuras y, subordinadamente, limolitas rosadas. Se agrupan en secuencias granodecrecientes

de 0,6-1,3 m de espesor, con conglomerados en la base, areniscas en la posición intermedia y limolitas en la parte superior (Blanco, 2008). Mediciones de paleocorrientes indican flujos dirigidos hacia el S13-40ºW, con un promedio general hacia S33ºW (Blanco, 2008; Blanco y Tomlinson, 2009).

- Formación Chiquinaputo: conglomerados medios y finos, areniscas finas a medias, grises y marrón claro, tobas ignimbríticas, tufitas, limolitas rosadas y, en forma subordinada, diatomitas y travertinos (Blanco, 2008; Blanco y Tomlinson, 2009).
- Formación Opache: conjunto de conglomerados, areniscas cementadas por carbonato y calizas, y, en forma subordinada, margas diatomiticas. Cubren concordantemente a la Ignimbrita Carcote y a la Formación Chinquinaputo que en parte engrana lateralmente con ella, y subyacen en discordancia angular a la Formación Chiu Chiu. El espesor es muy variable, desde 5 a 65 m, dado que su techo constituye la actual superficie de erosión (May et al., 2005; Blanco, 2008; Blanco y Tomlinson, 2009).
- Formación Chichiu: está formada por depósitos de gravas medianamente consolidadas, areniscas laminadas, diatomitas, travertinos y cenizas volcánicas retrabajadas, que afloran en los alrededores de la localidad de Chiu Chiu. Sobreyacen con leve discordancia a la Formación El Loa, y está parcialmente cubierta por sedimentos fluviales holocenos del río Loa, sedimentos aluviales recientes y depósitos salinos de los Salares Rudolph y Brinkerhoff. Posee una potencia variable desde escasos metros hasta un máximo de 50 m.
- Las unidades aluviales cuaternarias corresponden a depósitos de gravas y ripios polimícticos, mal seleccionados y subangulares a redondeados, con matriz de arena, limo y arcilla. Afloran en el fondo de quebradas mayores y en drenajes menores que disectan piedemontes del Plioceno-Pleistoceno, originados por corrientes torrenciales esporádicas. Otros depósitos aluviales existentes son aquellos de abanicos aluviales asociados a la degradación del cordón volcánico Neógeno-Cuaternario; estos comprenden depósitos de corrientes torrenciales derivados de la erosión de los edificios volcánicos y las zonas de alteración solfatáricas asociados a éstos.
- Los depósitos salinos corresponden a depósitos formados en cuencas con drenaje interno o endorreico. Consisten en eflorescencias superficiales de halita, sulfatos cálcicos y magnésicos, costras subsuperficiales de sulfatos, cloruros y carbonatos de Na y Ca, limos y arenas con cemento salino, y mantos de diatomitas. Cabe

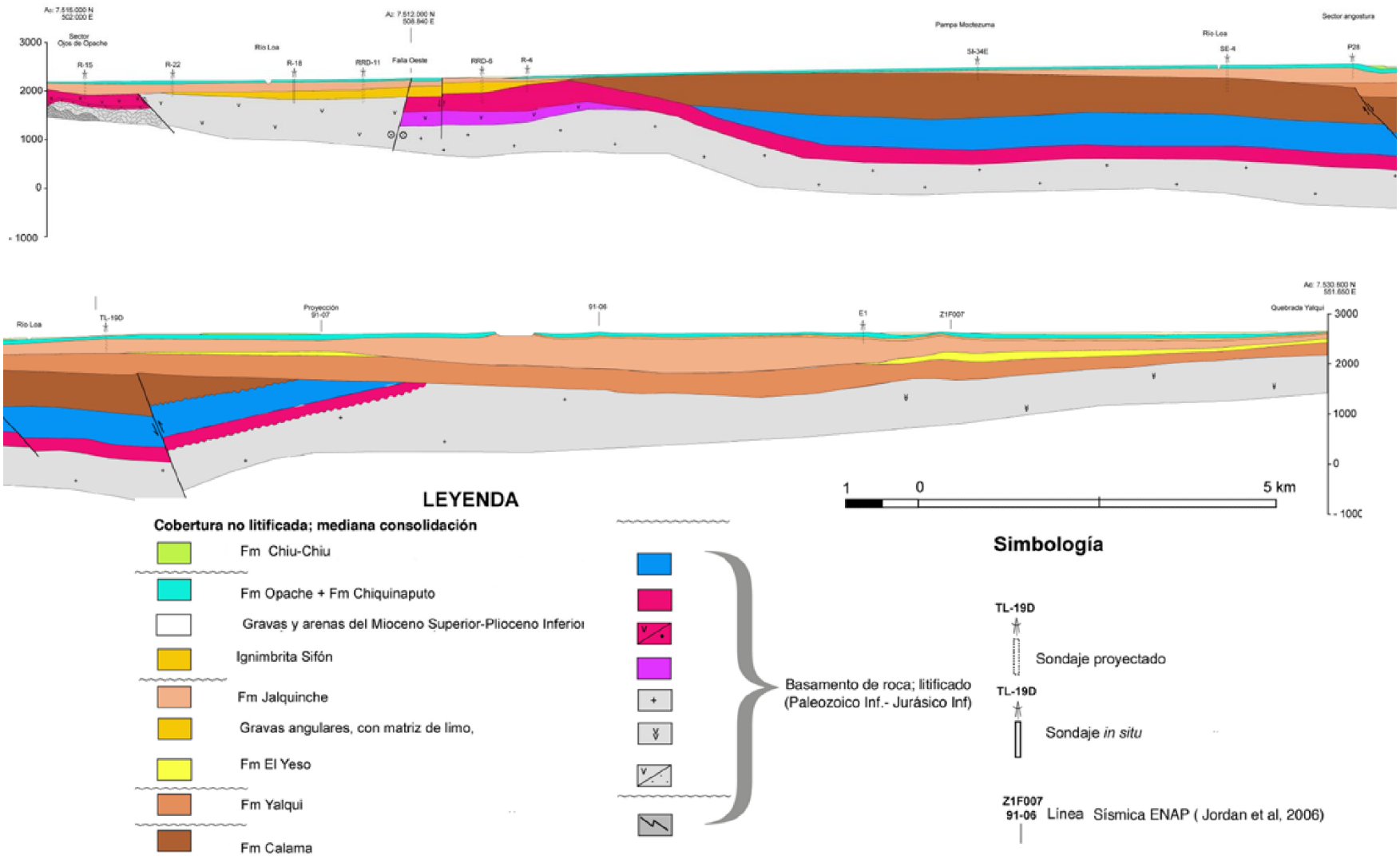
destacar que los salares de El Indio y Talabre han sido utilizados como tranques de relave de la mina de Chuquicamata.

- Los depósitos fluviales se encuentran estrechamente ligados a los cursos de agua de los ríos San Salvador, Salado y Loa. Corresponden a gravas, arenas y limos no consolidados, depositados como terrazas de inundación, barras de punta o longitudinales. La mayor parte de estos depósitos han sido utilizados como zonas de cultivo en las localidades de Calama, Chiu Chiu y Lasana.

Respecto de la geología estructural, el área de estudio se encuentra afectada por el Sistema de Fallas de Domeyko (SFD), una zona de cizalla maestra activa durante el Oligoceno Inferior-Mioceno Inferior. Esta ha concentrado movimientos laterales mayores, tanto dextrales como sinestrales (Tomlinson et al., 2001).

En la morfo estructura de la cuenca de Calama presenta unidades Miocénicas a Pleitocénicas las que se organizan en forma horizontal y no siempre continuas, localmente se observan zonas de deformación. Como rasgo estructural de la cuenca media del Loa, se aprecian fallas, set de fallas, así como estructuras locales, las cuales determinan su geometría y características principales de la cuenca. Las estructuras y los sets de fallas más importante son descritos a continuación y representados en la Figura 2-6 (Bulboa, 2017).

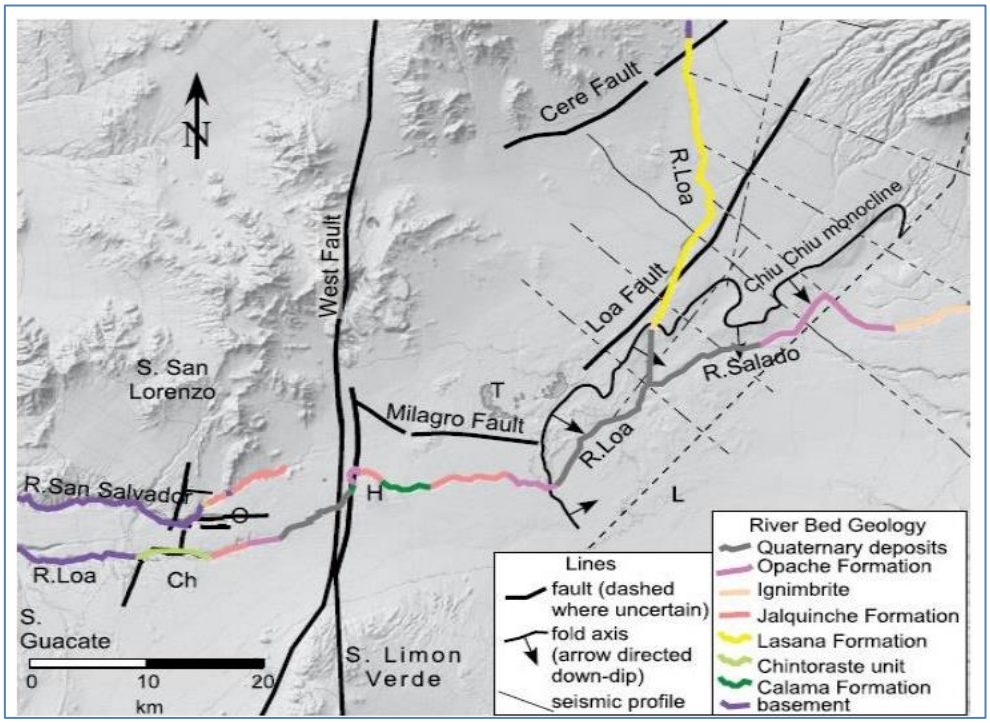
- Falla Loa: Falla inversa con vergencia al noreste, se encuentra ubicada en la parte central del valle de Calama lugar donde se extiende hasta el norte de Talabre. Durante el Oligoceno produce un desplazamiento normal de 2000 m hacia el este, para que luego en el Mioceno Tardío ocurra un desplazamiento en el rumbo lo que genera pequeños pliegues sobre la traza de la falla. Es importante mencionar que la falla define el límite este de la Formación Yalqui, además de generar un pequeño impacto en los estratos de Mioceno por lo que probablemente tiene un impacto de menor escala en el comportamiento del acuífero (Blanco y Tomlinson, 2009) (Blanco, 2008).



Fuente: Blanco (2008)

Figura 2-5: Perfil Geológico Calama – Quebrada Yalqui

- Falla Cere: Reactivación normal de una falla Paleozoica que ocurre entre el Mioceno y Plioceno, ubicada en el borde noroeste del valle de Calama. Es de suponer que genera un impacto de infiltración desde el río Loa hasta la Formación Lasana (Tomlinson et al., 2012).



Fuente: Jordan et al. (2015)

Figura 2-6: Representación de las principales estructuras Cuenca Calama

- Fallas Mesozoicas y Eocenas: Estas fallas de edad mesozoica y eocena se encuentran ubicadas al oeste y al sur de la cuenca. Tendrán impactos geomorfológicos definiendo los límites de la cuenca de Calama (Mpodosis et al., 1993).
- Falla Milagro: Falla inversa con vergencia hacia el este, ubicada entre Talabre y el cerro Calama. Esta estructura ocurre en un régimen de compresión durante la fase Incaica en el Eoceno, donde produce un alzamiento de aproximadamente 1000 m del lado norte de la cuenca (Blanco, 2008).
- Set de fallas de San Salvador-Valle Loa: Set de fallas con vergencia hacia el este, ubicadas cercanas al norte del cerro Chintoraste adyacente al cañón del río Loa. Hay evidencia de estrías horizontales que indican un desplazamiento en el rumbo de decenas de metros. La falla genera una discontinuidad física en las rocas huésped

del acuífero y acuitardo, lo que produce una yuxtaposición de rocas metasedimentarias con rocas volcánicas e ígneas (Jordan et al., 2015).

- Monoclinal y sinclinal adyacente de Chiu Chiu: Estos pliegues se encuentran ubicados en el sector este del valle de Calama. Las estructuras datan de una edad aproximada de unos 3 millones de años, de origen no tectónico. Desde el punto de vista hidrogeológico genera un cambio en la altura de las rocas huésped del acuífero superior en 100 m (Blanco y Tomlinson, 2009).

Por último, cabe destacar que en el área de estudio existe gran cantidad de información geológica disponible, pero para el desarrollo de la descripción geológica se utilizó el mapa geológico con escala 1:1.000.000. El detalle de las cartas existentes en el área de Estudio se lista a continuación:

- Cartas geológicas 1:250.000: la Hoja Ollagë (Ramírez y Huerta, 1980), la Hoja Tocopilla (Ferraris, 1978), la Hoja Calama (Marinovic y Lahsen, 1984) y la Hoja Quillagua (Skarmeta y Marinovic, 1981).
- Cartas a detalle 1:50.000: 18 cartas de Blanco et al. (2001) (Cuadrángulo Chela, Sector oriental de Cuadrángulo Quebrada Arcas, Cuadrángulo Chitigua, Cuadrángulo Quebrada Chug-Chug, Cuadrángulo Conchi, Sector oriental del Cuadrángulo Sierra de Moreno, Cuadrángulo Cerro Jaspe, Cuadrángulo Cerro Palpana, Cuadrángulo Cerros de Paqui, Cuadrángulo Copaquiri, Cuadrángulo Estación San Pedro, Sector occidental del Cuadrángulo Ujina, Cuadrángulo Cerros de Montecristo, Cuadrángulo Calama, Cuadrángulo Cerro Yocas, Cuadrángulo Chiu Chiu, Cuadrángulo Volcán Miño y Cuadrángulo Quehuita.)
- Cuatro cartas Maksaev y Marinovic (1980) (Cuadrángulo Cerro la Mica, Cuadrángulo Quillagua, Cuadrángulo Cerro Posada y Cuadrángulo Oficina Prosperidad)
- Una carta de Maksaev (1978) (Cuadrángulo Chitigua y Sector Occidental del Cuadrángulo Cerro Palpana)
- Una carta de Boric (1981) (Cuadrángulo Toco)
- Una carta de Tomlinson et al. (2010) (Carta Calama)
- Una carta de Blanco y Tomlinson (2009) (Carta Chiu Chiu)
- Dos cartas con detalle 1:100.000: la Carta Tocopilla y María Elena (Medina et al., 2012) y la Carta Ascotán – Cerro Inacaliri (Sellés y Gardeweg, 2017).

Mayores detalles se presentan en el Anexo J-01.

2.1.3 Suelos

En base a las unidades cartográficas establecidas por Luzio y Alcayaga (1992) se establece que en el caso del norte grande se encuentran los denominados suelos del desierto, extendidos entre las regiones de desde Arica hasta Atacama, que corresponden a suelos delgados a poco profundos, de entre 50 y 100 cm, cuyos procesos de edafogénesis aumentan conforme la latitud y se distinguen órdenes poco evolucionados.

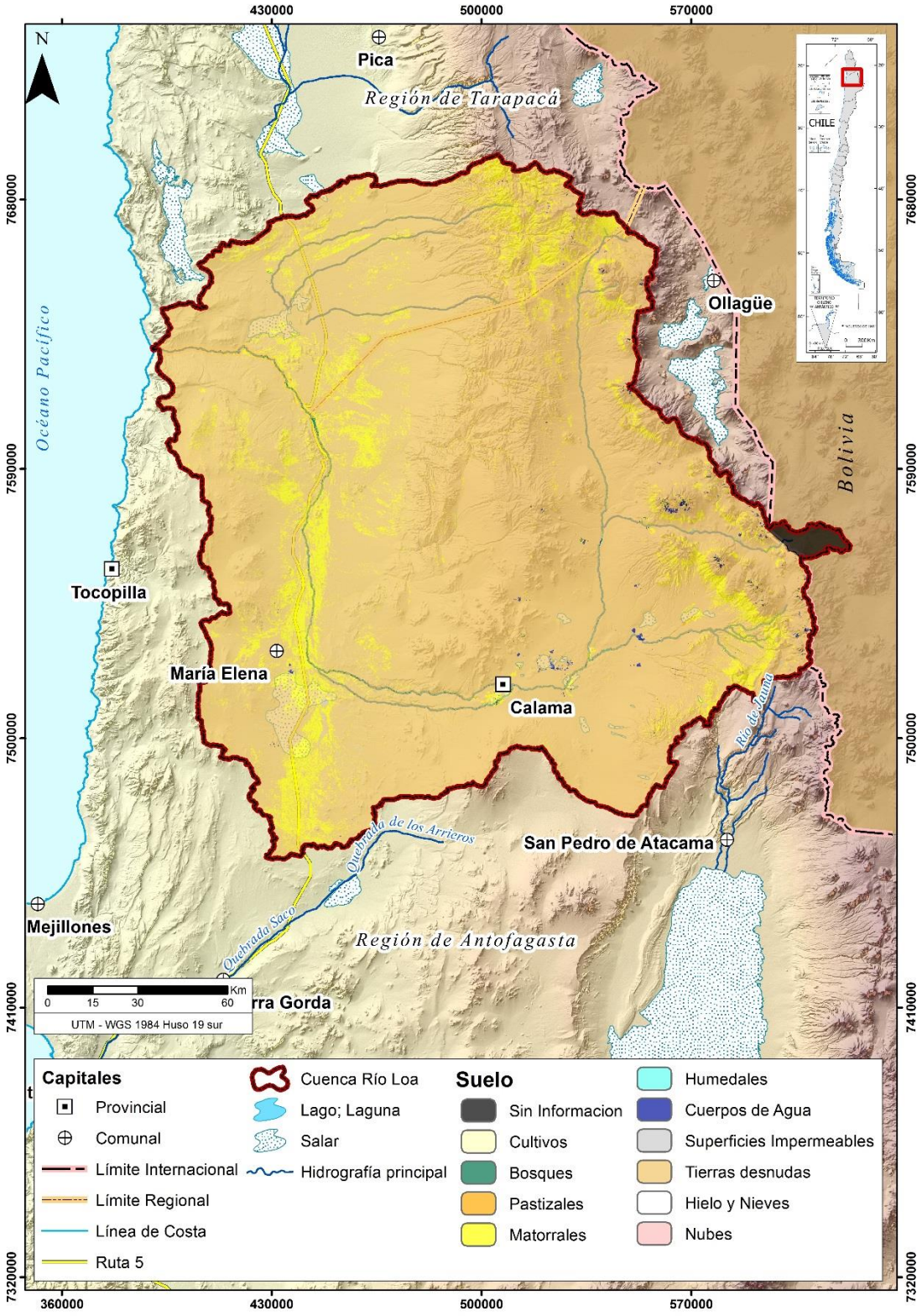
En el Altiplano se encuentran suelos sin desarrollo de texturas gruesas, delgados, con poca evolución y originados en materiales volcánicos. En menores altitudes, correspondientes a la zona precordillerana se localizan bofedales de suelos orgánicos -histosoles- o minerales, con alta estratificación y contenido de materia orgánica sumado a una elevada salinidad (Luzio y Alcayaga, 1992).

A menor altitud, en lo que se conoce como Depresión Intermedia se encuentran suelos de régimen hídrico de tipo árido denominados aridisoles, caracterizados por tonalidades claras, poca materia orgánica y alta estratificación. También en esta geoforma se encuentran pampas salinas y glaciares que conforman suelos de altos índices salinos y alto pH. Por último, en la Depresión Intermedia se localizan suelos de los denominados valles de origen aluvial; son escasos y de altísima importancia pues son los únicos que pueden albergar actividad agropecuaria (Luzio y Alcayaga, 1992).

Con respecto a la Cordillera de la Costa, esta presenta suelos de origen coluvial del orden entisoles, es decir, material originado en derrumbes. Son suelos esqueléticos, de textura franco-arenosa, sin desarrollo de horizontes genéticos y de tonalidades claras en su horizonte superficial. Tienen bajo contenido de materia orgánica (Luzio y Alcayaga, 1992).

En el área de Calama, los suelos son poco evolucionados y se han gestado a partir de estratos arenosos correspondientes a los gases de depositación de grandes conos de deyección de carácter aluvional, en parte sobre sedimentos más antiguos del río Loa. Esto último explica la presencia con profundidad de algunos de aquellos perfiles correspondientes a los mejores suelos, de estrato arcilloso (CIREN, 2021).

En términos de cobertura de suelo, más de un 88% de la cuenca corresponde a tierras desnudas, siendo la segunda mayoría la cobertura de matorrales (10%). El resto de coberturas representan menos de un 1% del territorio, estando el detalle de cada categoría en la Tabla 2-1. En cuanto a su distribución en el territorio (Figura 2-7) destaca la presencia de cuerpo de agua cercanos a la ciudad de Calama, siendo esta el principal lugar de cobertura "superficies impermeables".



Fuente: Hernández et al. (2016)

Figura 2-7: Mapa de Cobertura de Suelo en la cuenca del río Loa

Tabla 2-1: Porcentajes de coberturas de suelo en la Cuenca del río Loa.

Categoría de Cobertura de Suelo	Área (km^2)	%
Bosques	16,411	0,05%
Cuerpos de Agua	68,928	0,20%
Cultivos	27,168	0,08%
Humedales	10,324	0,03%
Matorrales	3682,890	10,65%
Pastizales	21,417	0,06%
Sin información	194,231	0,56%
Superficies Impermeables	21,186	0,06%
Tierras desnudas	30523,556	88,30%
TOTAL	34.566,110	100,00%

Fuente: Elaboración propia con antecedentes Hernández et al. (2016)

2.1.4 Hidrografía de la Cuenca

a) Hidrografía

La cuenca del río Loa corresponde a una cuenca de tipo exorreica transportando las aguas desde la cabecera (en el sector cordillerano) hasta la desembocadura en el Océano Pacífico. Si bien la hoya hidrográfica de esta cuenca posee un área superior a los 34.000 km^2, solo el 20% de ella es activada para captar las precipitaciones provenientes de la cordillera. Las precipitaciones ocurren generalmente en época estival, produciéndose en el denominado invierno altiplánico.

El río Loa es el cauce principal de esta cuenca con una longitud de aproximadamente 440 km de longitud. Este río nace en la falda norte del volcán Miño en Ojos del Miño (5.651 m s.n.m.), en el límite entre la región de Tarapacá y la región de Antofagasta, con un curso de agua orientado aproximadamente de N-S. En este tramo recorre casi 150 km hasta el oasis de Chiu Chiu, donde comienza a curvarse hacia el poniente para alcanzar, después de recorrer un tramo de 115 km, la localidad de Chacance, donde confluye con el río San Salvador, el que desemboca en el salar de Miraje. En este lugar, el río Loa vuelve a curvarse hacia el norte por un tramo de 80 km hasta alcanzar el oasis de Quillagua. Desde este punto en adelante, el río Loa describe un gran arco hacia el sector poniente, pasando por el sur del salar de Llamara, de forma tal que culmina con su desembocadura en el Océano Pacífico en el sector de caleta Huelén.

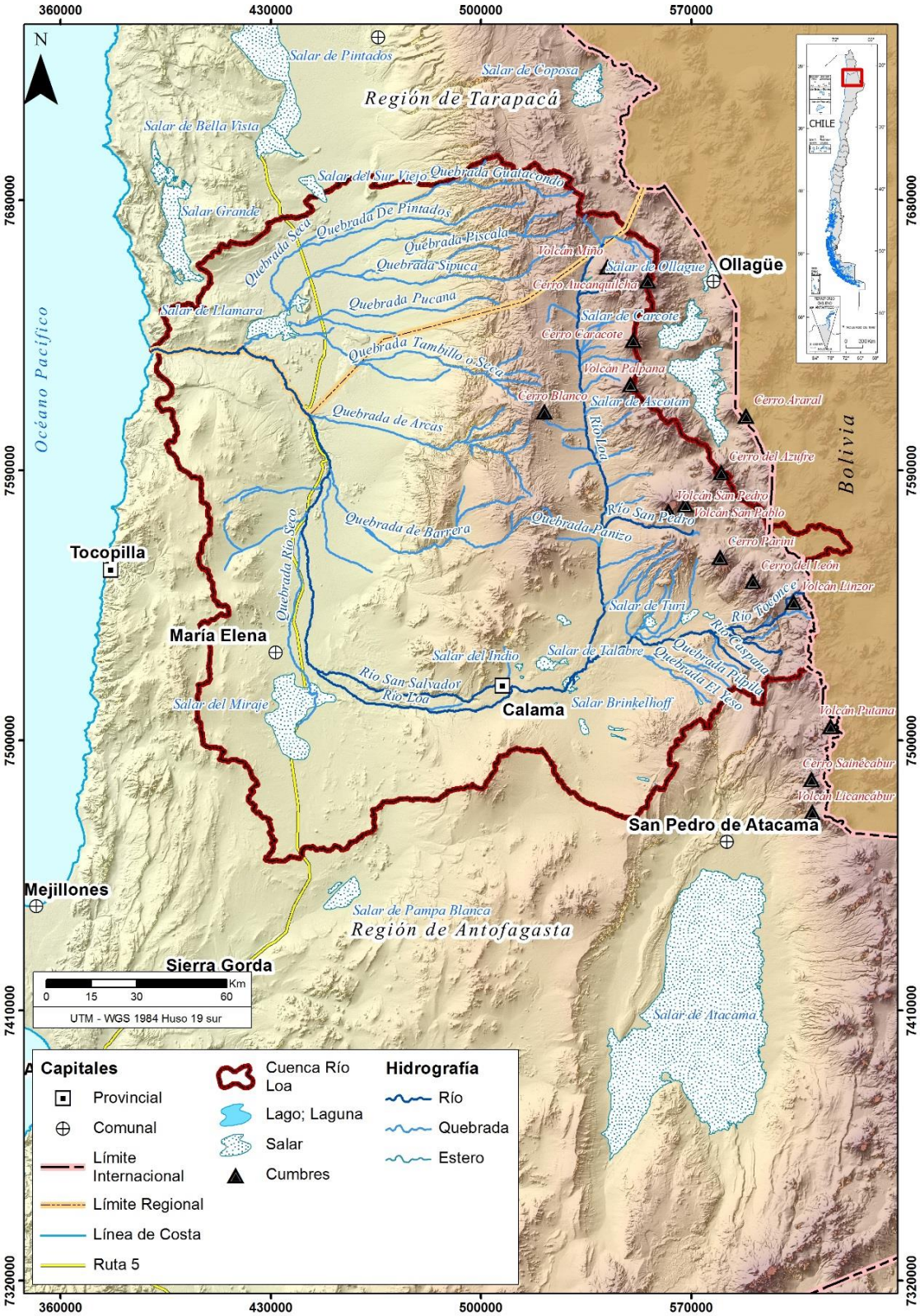
En la Figura 2-8 se muestra la delimitación de la cuenca del río Loa y la red de drenaje descrita, mientras que en la Figura 2-9 se detallan las seis subcuencas hidrográficas definidas por el estudio DARH (2014).

Por otra parte, se destaca que dentro de la cuenca se desarrolla un gran número de quebradas y cauces de pequeña longitud, todos tributarios al río Loa, sin embargo, destacan 3 principales cauces tributarios, estos son: el río San Salvador, afluente en el sector de María Elena; el río San Pedro, afluente en el sector norte de la comuna de Calama y el río Salado, afluente en el sector de Chiu Chiu, comuna de Calama.

El río San Pedro o Inacalari con sus tributarios los ríos Siloli y Colana drena una superficie de 1.087 km^2. Nace en la alta Cordillera en la aguada de Inacalari y con este nombre escurre hasta que sus aguas se pierden en las Vegas de Inacalari, presentándose el cauce seco por más de 15 km, hasta Ojos de San Pedro. Cabe mencionar que el aporte del río San Pedro al río Loa es muy esporádico e incluso puede observarse que no existe escurrimiento hacia el río Loa durante largos períodos de tiempo.

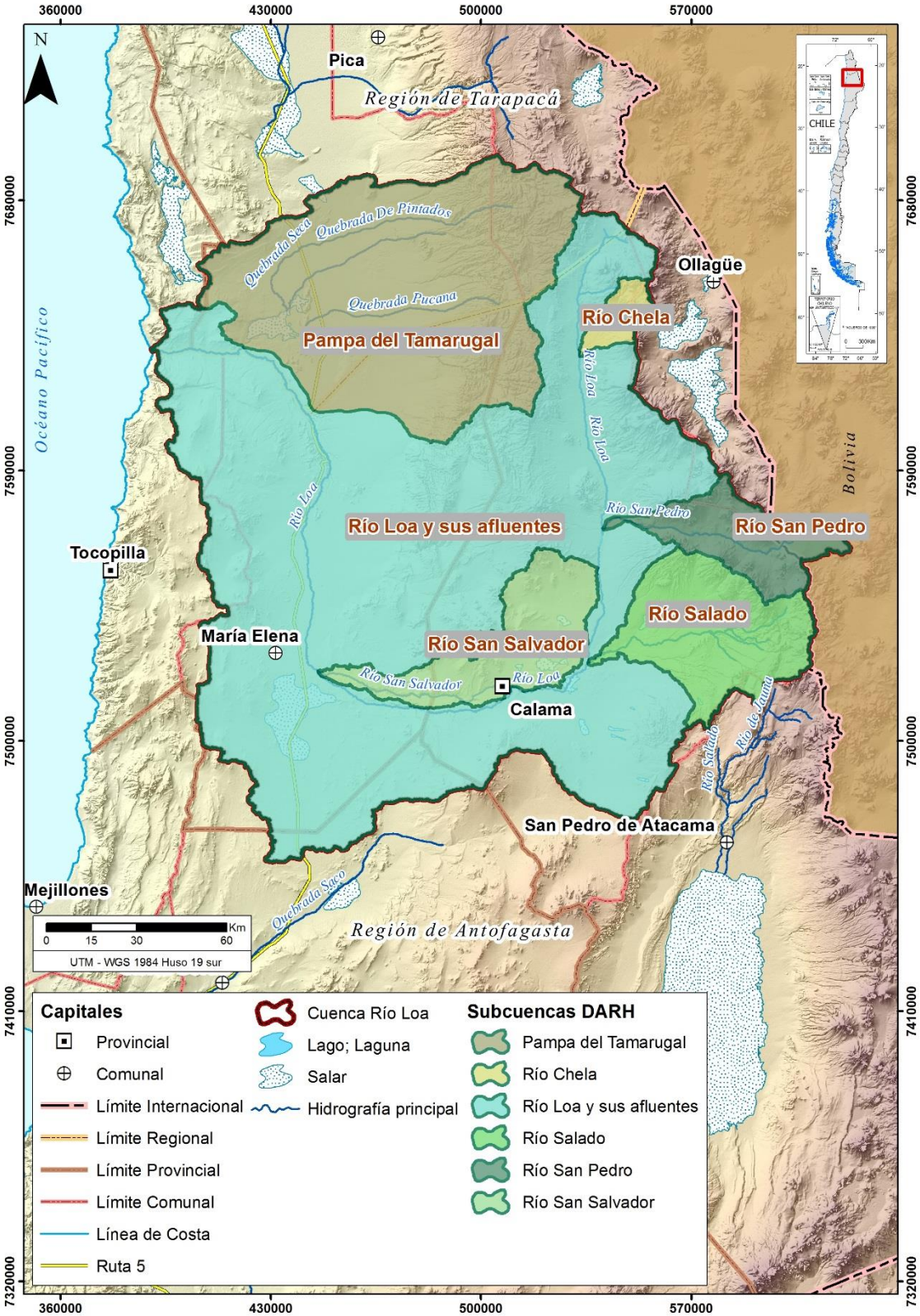
El río Salado tiene sus orígenes en más de 30 vertientes frías y termales, a los pies de la cadena del volcán Tatio, a unos 4.200 m s.n.m. Después de un pequeño tramo inicial la dirección del río se orienta hacia el sector poniente. En su curso medio, recibe los aportes del río Toconce y aguas debajo de esta confluencia recibe los aportes del río Caspana. Junto al curso del río Salado se encuentran extensas áreas destinadas a vegas en las cuales los habitantes de Toconce, Caspana y Ayquina realizan labores de pastoreo para el ganado. Desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Loa, el río Salado posee una longitud total de aproximadamente 80 km y su cuenca hidrográfica comprende un área de 2.210 km^2.

El río San Salvador nace producto de la confluencia de varias quebradas secas con cabeceras en las proximidades de los salares de la pampa. Luego de un tramo de unos 25 km de largo se reúne con la quebrada Opache, este punto se reconoce como el inicio oficial del río San Salvador. El recorrido total del río San Salvador desde su inicio hasta su desembocadura en el río Loa es de 56 km y su cuenca hidrográfica cubre un área de aproximadamente 619 km^2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-8: Delimitación e hidrografía de cuenca del río Loa



Fuente: DARH (2014)

Figura 2-9: Subcuencas hidrológicas de la cuenca del río Loa

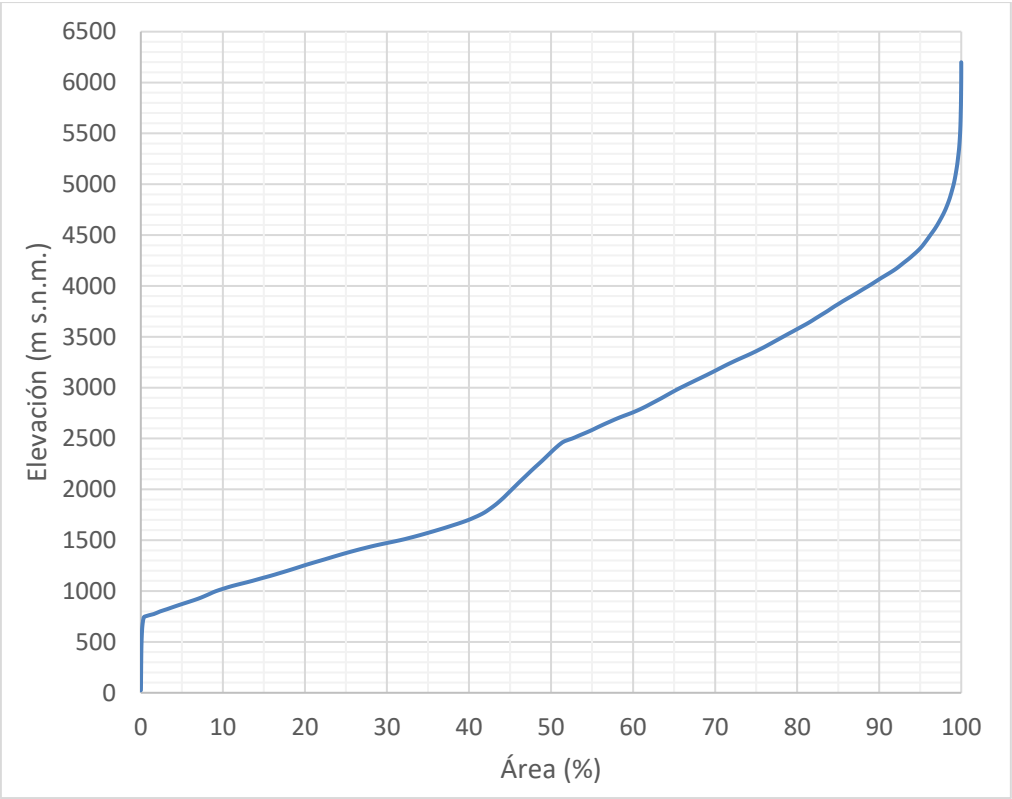
A partir de toda esta información hidrográfica, es posible concluir que el río principal de esta zona es el río Loa dada su gran longitud y el tamaño de la cuenca que representa y, por tanto, la mayoría de los procesos hidráulicos, hidrológicos, balances de oferta y demanda hídrica de la cuenca e incluso los procesos hidrogeológicos se encuentran fuertemente vinculados a la disponibilidad hídrica y las características del río Loa.

b) Morfología

En términos morfométricos, la cuenca del río Loa presenta un perímetro de 1.226,5 km y un coeficiente de compacidad de Gravelius igual a 1,86; lo que la califica dentro del grupo de forma oval – oblonga a rectangular – oblonga y por tanto se esperaría que este tipo de cuencas presenten los mayores tiempos de concentración, y con ello una magnitud de escorrentía generada por precipitaciones menor que al compararla con cuencas de forma más cercana a un círculo (índices de Gravelius cercanos a 1).

La hipsometría también corresponde a una característica morfológica básica de la cuenca. Esta permite relacionar las elevaciones del terreno en función de las superficies correspondientes a dichas elevaciones.

La Figura 2-10 muestra la curva hipsométrica de la cuenca del río Loa, la que define una cota media de 2.402,8 m s.n.m., y sectoriza 5 marcados tramos. El primero abarca desde el punto más bajo hasta los 700 m s.n.m. y corresponde al farellón costero; el segundo tramo llega hasta los 1.750 m s.n.m. con una pendiente constante; el tercero presenta una pendiente más pronunciada que el anterior y alcanza a los 2.500 m s.n.m.; el cuarto tramo presenta una pendiente relativamente constante, logrando una altura de 4.500 m s.n.m. y finalmente, las altas cumbres generan una pendiente muy pronunciada en el último segmento, alcanzando los 6.200 m s.n.m.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-10: Curva hipsométrica de la cuenca del río Loa

c) Caracterización Hidrológica General

Esta sección busca tener una descripción del comportamiento de variables hidrológicas a nivel de cuenca y subcuenca en base los resultados de la "Actualización del Balance Hídrico Nacional" (DGA, 2017a). El análisis de la precipitación sobre la cuenca, la estimación de la evapotranspiración y la construcción de hidrogramas permiten identificar el comportamiento de estas variables sobre la zona de estudio.

La cuenca del río Loa es clasificada como compleja para caracterizar debido a sus particularidades, entre las que destaca que parte importante de la escorrentía proviene de aportes subterráneos. Para sortear aquella dificultad, DGA (2017a) conceptualiza el espesor de la capa de suelo con una profundidad (la que domina el flujo base) como muy superior al resto de las cuencas, representado así el acuífero.

La precipitación media (espacial y temporal) de la cuenca del río Loa es de aproximadamente 26,5 mm/año, mientras que la evapotranspiración asciende a 24,4 mm/año. La escorrentía en la cuenca del río Loa es baja, y se genera principalmente en la zona altiplánica y es cercana a 1,4 mm/año. En términos relativos, la

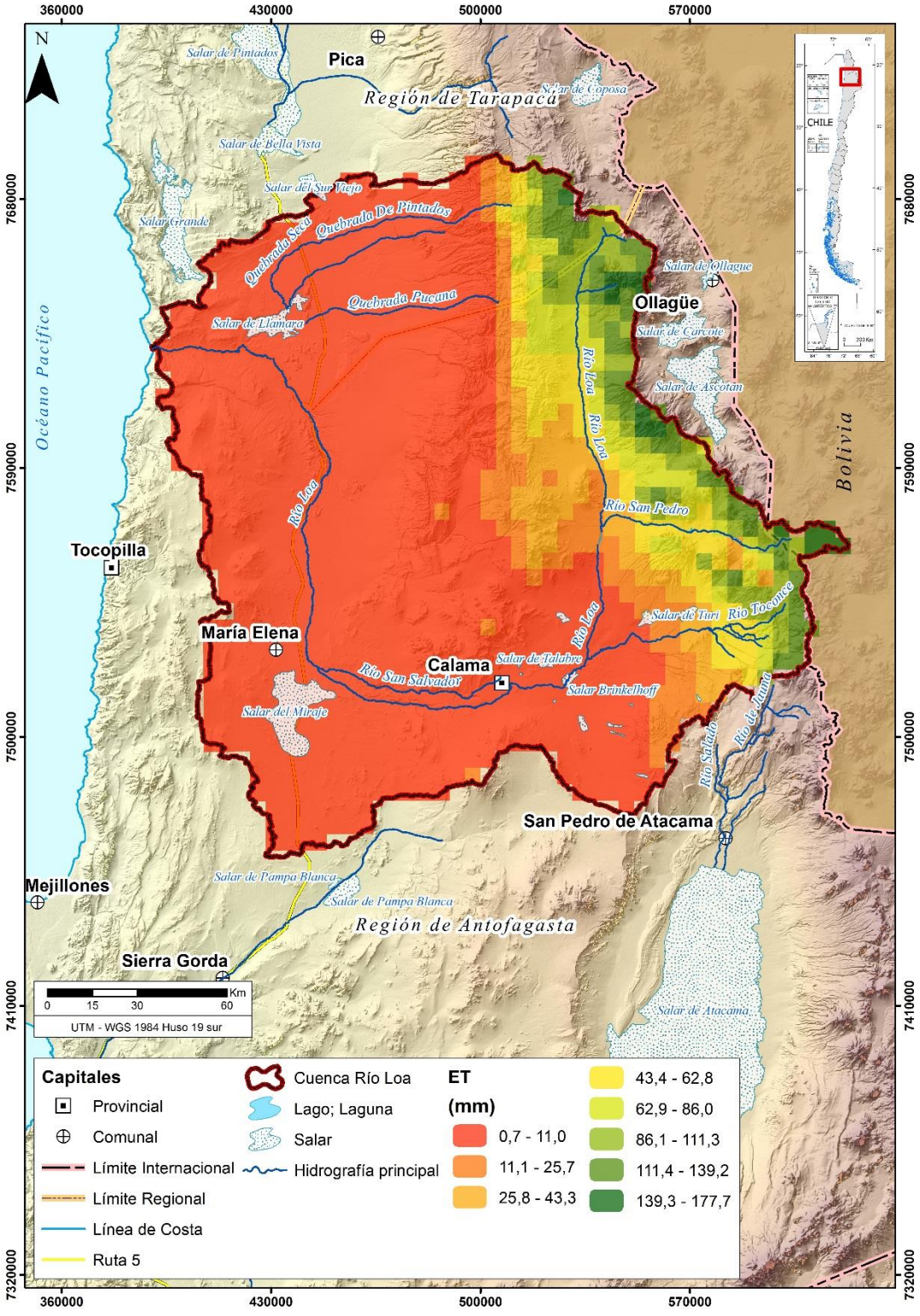
evapotranspiración representa cerca del 91% de la precipitación, lo que explica la extrema aridez que caracteriza a dicha cuenca (DGA, 2017a).

Los resultados de evapotranspiración potencial determinan que gran parte de la cuenca muestra elevadas tasas, alcanzando valores mayores a 3.500 mm/año en la zona baja y media de la cuenca. Esto se debe principalmente a las altas temperaturas y baja humedad relativa predominante en la zona. En zonas altas, por su parte, el modelo muestra tasas de evaporación menores al igual que el producto MODIS. Los valores en esta zona rondan los 2.000 mm/año.

En términos de evaporación real, la mayor parte de la cuenca presenta tasas muy bajas debido a la poca o nula disponibilidad de agua en la cuenca, tal como se ilustra en la Figura 2-11. En zonas altas se concentra la evaporación debido a la mayor disponibilidad hídrica, alcanzando valores máximos de 180 mm/año.

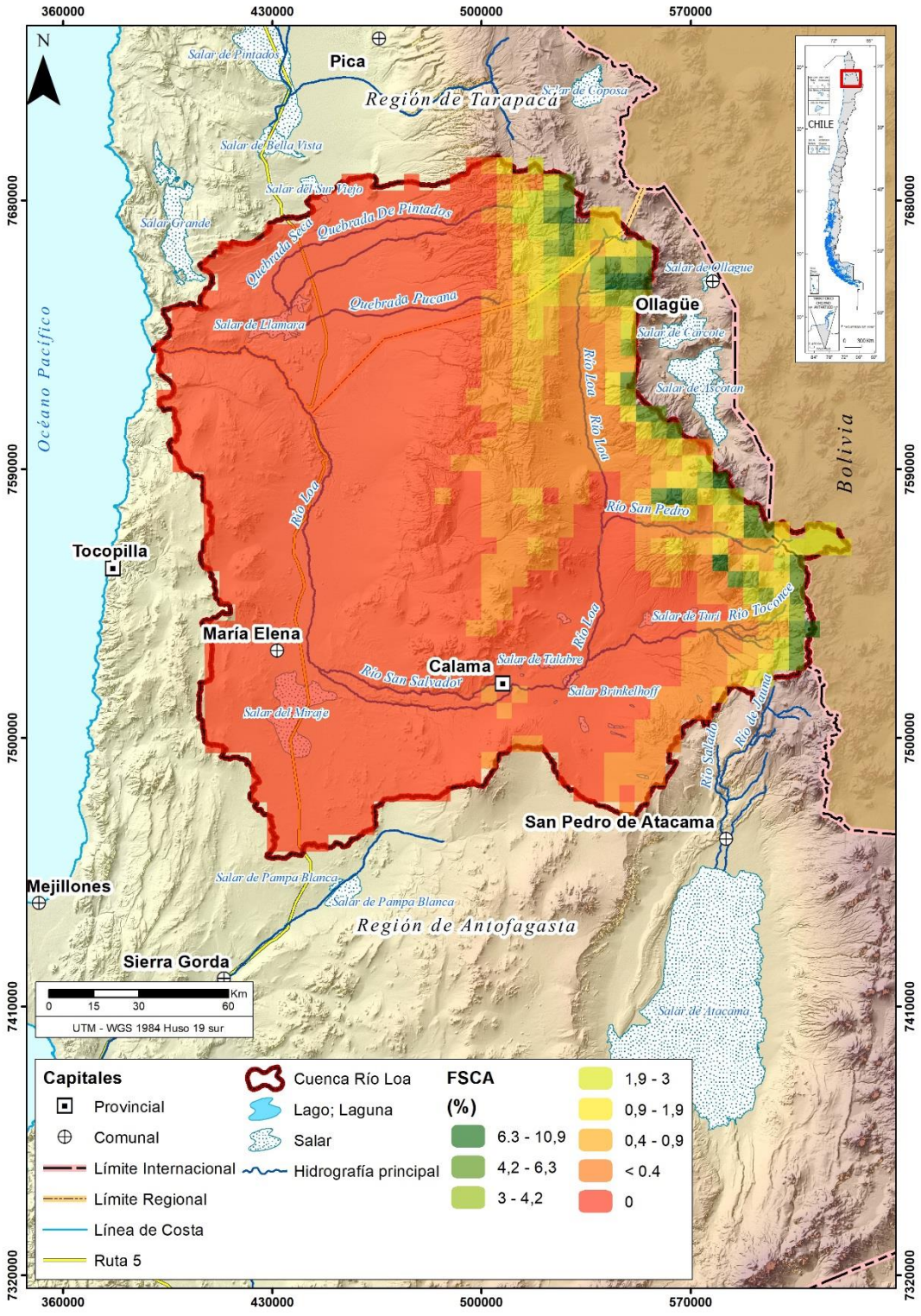
La fracción de área cubierta por nieve (FSCA, por su nombre en inglés) según los productos satelitales MYD10 y MOD10 no logra superar el 10% del área total de la cuenca del río Loa. El detalle de la distribución espacial y el porcentaje medio anual de cobertura nival sobre la cuenca del río Loa se muestra en la Figura 2-12.

Finalmente, DGA (2017a) determina que la recarga de agua subterránea corresponde al rango entre 1 mm/año hasta 105 mm/año, con una recarga media de 11 mm/año. La distribución de la recarga sigue los patrones de la magnitud de precipitaciones de la cuenca, lo que es consistente con el hecho de que en climas áridos las tasas de recarga estén limitadas por la disponibilidad de agua superficial.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a)

Figura 2-11: Evapotranspiración (ET) media anual en cuenca del río Loa. Periodo 1985 – 2015



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a)

Figura 2-12: FSCA media anual en cuenca del río Loa. Periodo 1985 – 2015

2.1.5 Hidrogeología de la Cuenca

En la cuenca se reconoce la presencia de rocas sedimentarias y sedimentos no consolidados, con un espesor medio de aproximadamente 300 m y potencias de hasta 2.500 m, los que sobreyacen a un basamento ígneo-metamórfico (DGA, 2013). Se verifica asimismo la presencia de diversos sistemas de fallas, de carácter regional y local, normales, inversas y de rumbo, formando estructuras de horst y graben, las que afectan al basamento, modificando la geometría del relleno sedimentario (DGA, 2013).

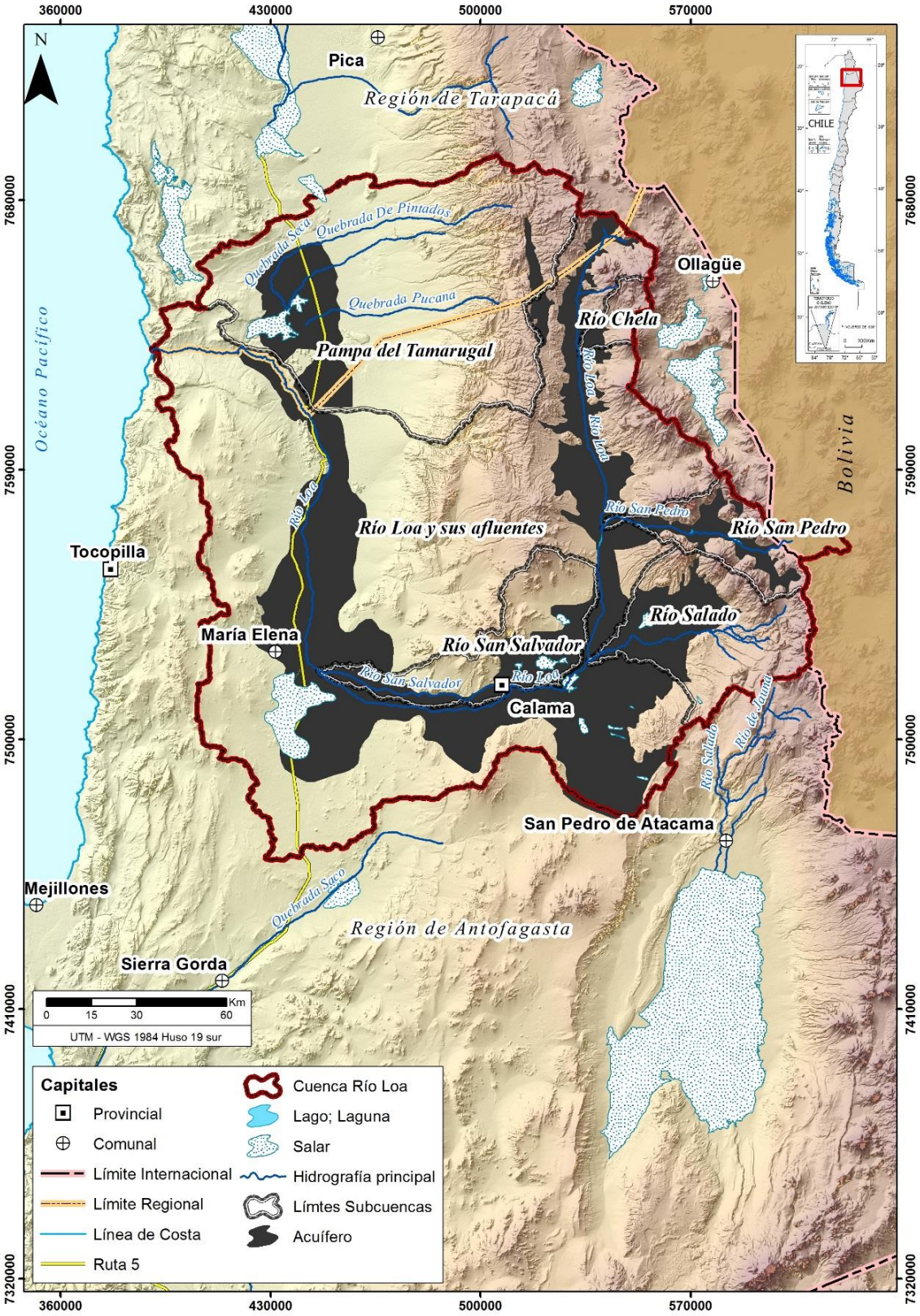
El estudio elaborado por DGA (2014c) permitió definir aproximadamente la geometría del acuífero en base a la información obtenida desde los estudios geofísicos elaborados y los sondajes realizados dentro de la cuenca del río Loa. Esta información fue contrastada con la información geológica recopilada, delimitando el acuífero según las capacidades y continuidad de las formaciones geológicas. De esta forma, se aceptó que zonas de alta permeabilidad forman parte del acuífero. La geometría del acuífero se presenta en la Figura 2-13.

Se presenta en la Figura 2-14 la ubicación y geometría de los SHAC insertos en el sistema acuífero del río Loa.

La Figura 2-15 presenta un categorizado de la importancia hidrogeológica con una discretización por colores que clasifican de manera general los SHAC presentes en el área de Estudio, mediante el esquema de colores de características hidrolegológicas Struckmeier, W. and Margat, J. (1995). En donde se propone una clasificación que permite distinguir entre materiales porosos y fisurados, distinguiendo entre el tipo de régimen de flujo en las rocas. De acuerdo con Struckmeier y Margat (1995), este sistema de clasificación es semicuantitativo y agrupa las unidades hidrogeológicas en: formaciones permeables (unidades de importancia altamente productivos y permeables), formaciones semipermeables (unidades menos productivas: acuitardos y capas resistentes en acuíferos multicapas) y formaciones impermeables (acuícludos y acuífugos).

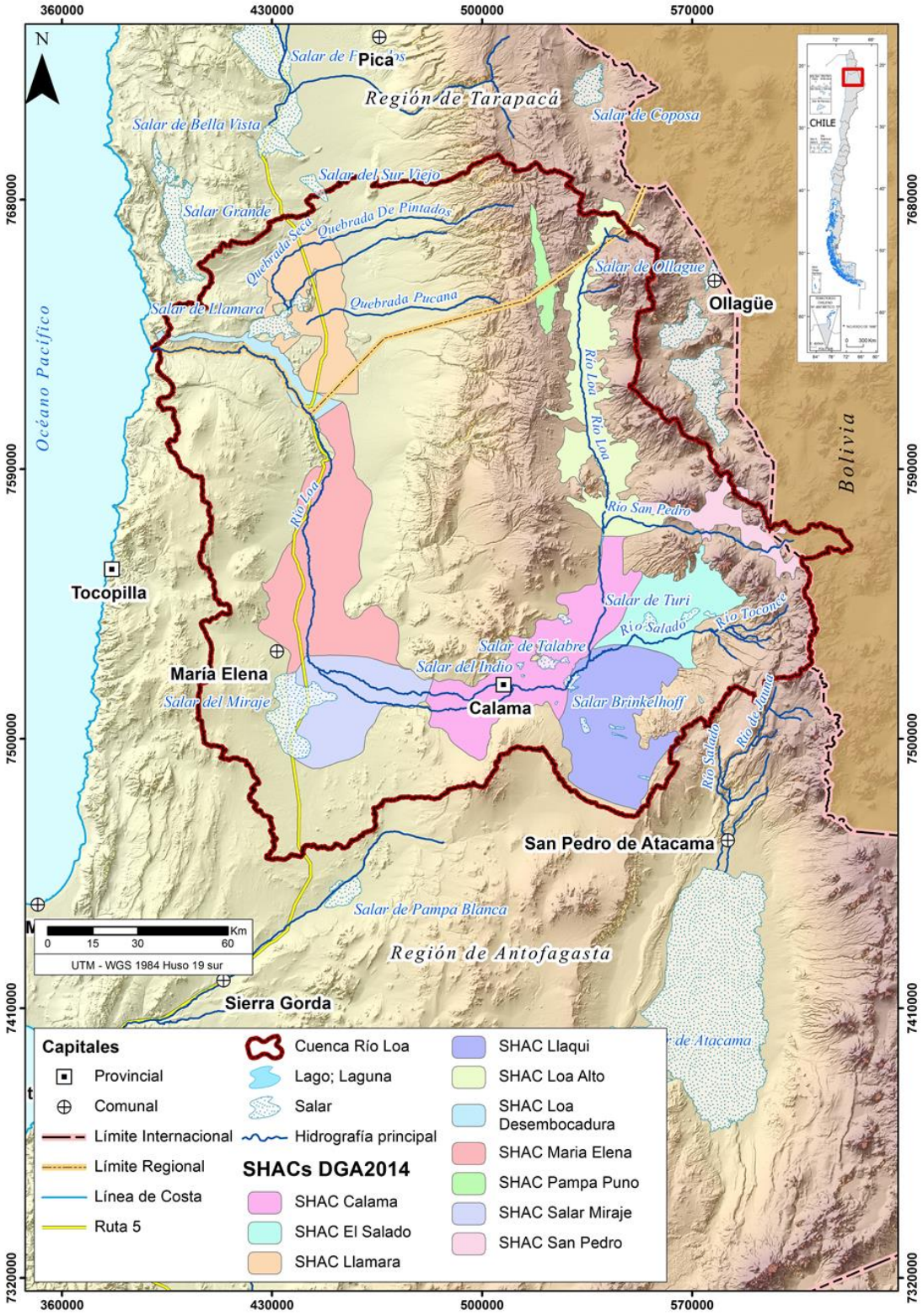
Los antecedentes de los sistemas hidrogeológicos definidos y considerados para fines de modelación se detallan en Anexo H, acápite 2.2.4, Tabla 2-27.

En términos generales, la cuenca del río Loa presenta un conjunto de distintos sectores de mayor o menor potencial hidrogeológico, en las que se observan 10 sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común (SHAC) (DGA, 2014c), presentándose las mayores potencias acuíferas en la cuenca de San Pedro de Inacaliri, el sector de Calama, Llalquin y SHAC Río Salado, los que serán descritos en lo que sigue.



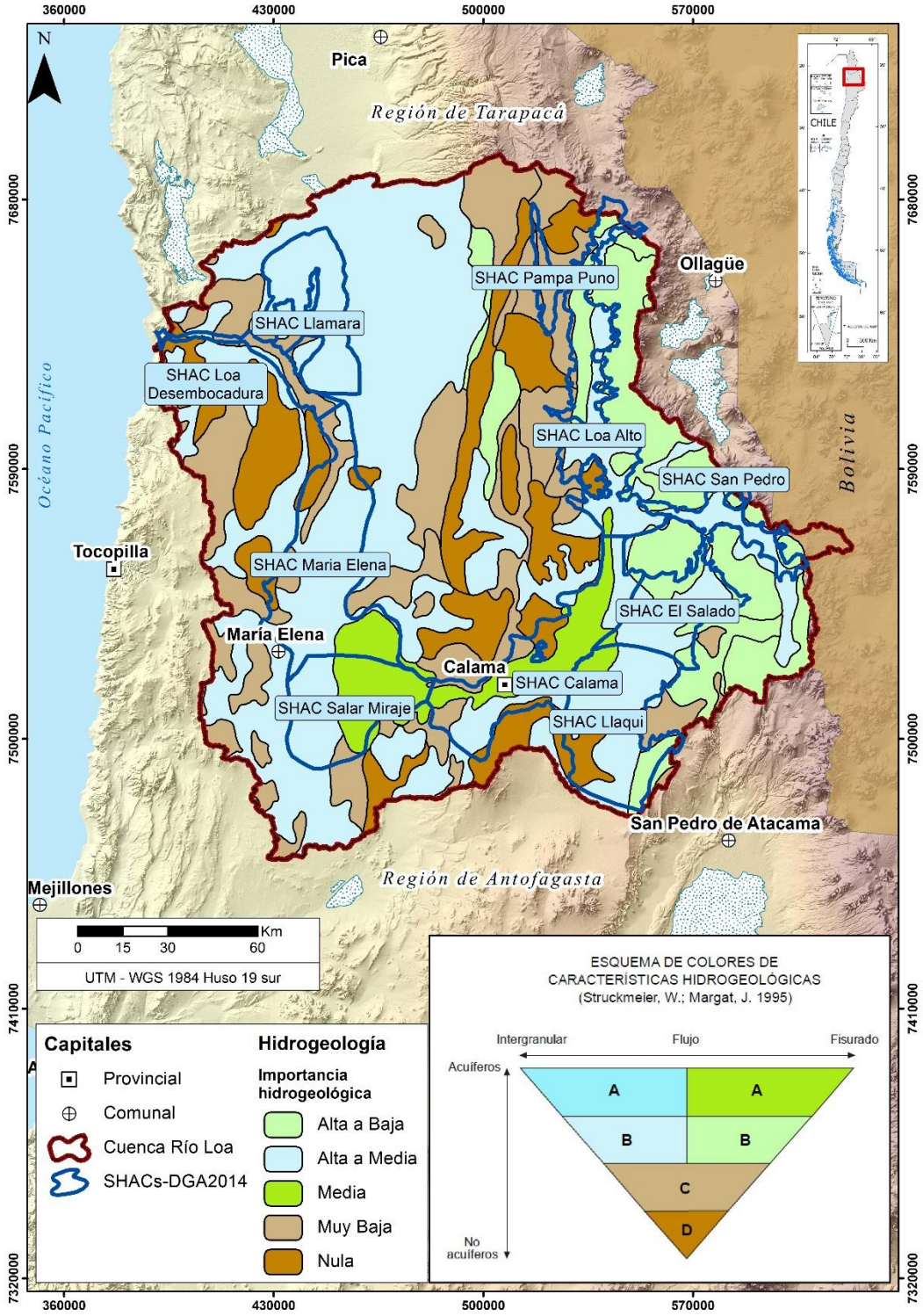
Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2014c)

Figura 2-13: Geometría sector acuífero cuenca del río Loa



Fuente: Elaboración propia con antecedentes (DGA, 2014c)

Figura 2-14: Sectores Hidrogeológico de Aprovechamiento Común en la cuenca del río Loa (SHAC)



Fuente: Elaboración propia con antecedentes (DGA, 2014c)

Figura 2-15: Mapa de clasificación de importancia hidrogeológica en la cuenca del río Loa

2.1.5.1 SCHAC Pampa Puno

Pampa Puno se ubica en el extremo Norte de la Cuenca. Se verifica la existencia de una unidad acuífera emplazada en gravas semiconsolidadas (Fm Papajoy-Terciario) que subyacen a Ignimbritas del Mioceno. El espesor promedio es de 350 m y máximo de 700 m. La superficie freática se ubica entre 45 y 100 m de profundidad equivalentes a una elevación entre 3.940 y 4.146 m s.n.m. La transmisividad se encuentra entre 200 a 1.000 m^2/día. La recarga se asocia a infiltración de precipitaciones nivales y pluviales, asociadas a una precipitación efectiva media anual de 97 mm/año. La dirección de flujo es desde las zonas apicales (oeste de la cuenca) hacia el norte y oriente. La descarga es hacia Pampa Yocas. El volumen embalsado es de $2{,}40 \cdot 10^6$ m^3 (DGA, 2013). Cabe destacar que este acuífero se encuentra desconectado del acuífero del Loa Alto.

2.1.5.2 SHAC Loa Aguas Arriba Embalse Conchi

Se encuentra en el sector nor-este del área de Estudio, siendo el SHAC de Cabecera para el sistema acuífero del Loa. Se verifica la existencia de una unidad acuífera emplazada en gravas, ripios, limos y arenas polimisticos de mala selección y baja consolidación (Tsg Depósitos de piedemonte) que subyacen a Ignimbritas del Mioceno. Se observa una profundidad del basamento entre 136 y 505 m. La Transmisividad se encuentra entre 222 y 266 m^2/día. El único sector que cuenta con información de niveles de agua subterráneas es el de Polapi, donde los niveles están entre 3.300 y 3.700 m s.n.m. (DGA, 2014). La dirección de flujo es desde las zonas apicales (oeste de la cuenca) hacia sur. La descarga es hacia el SHAC Calama.

2.1.5.3 SCHAC San Pedro de Inacalari

En San Pedro de Inacalari se verifica la existencia de una unidad acuífera libre emplazada en gravas, arenas y limos. La superficie freática se ubica entre 2 a 24 m de profundidad. Resultados de Pruebas de Bombeo indican valores de Conductividad Hidráulica entre $2{,}08 \cdot 10^{-2}$ y 1,97 cm/s, y Coeficiente de Almacenamiento entre $7{,}60 \cdot 10^{-4}$ y $3{,}40 \cdot 10^{-1}$ (DGA, 2013). La descarga es hacia el Loa Aguas Arriba Embalse Conchi.

2.1.5.4 SHAC Río Salado

Se encuentra en el sector este del área de Estudio. Se verifica la existencia de una unidad acuífera perteneciente a la Formación el Loa, compuesto de gravas, arenas, arcillas y limos (Qal Cuaternario-Depósitos aluviales) por las áreas adyacentes al escurrimiento principal del río Salado, y materiales conglomerados, areniscas, arcillas con intercalaciones

ignimbritas pertenecientes al Mioceno Superior-Plioceno Inferior (MPIel). Se observa una profundidad del basamento entre 100 y 510 m. La Transmisividad se encuentra entre 565 y 2.710 m^2/día. Resultados de Pruebas de Bombeo indican valores de Conductividad Hidráulica entre $6{,}94 \cdot 10^{-3}$ y $3{,}59 \cdot 10^{-2}$ cm/s, y Coeficiente de Almacenamiento entre 0,03 y 0,036 (DGA, 2014). La dirección de flujo es desde el este hacia WNW. La descarga es hacia el SHAC Calama.

2.1.5.5 SHAC Salar de Miraje

Se encuentra en el sector sur-oeste del sistema acuífero del Loa. Está ubicado en un sector compuesto por materiales de calizas (Tcl) y fanglomerados rojos horizontales pertenecientes a la formación El Loa, (Plio-Pleistoceno. Se observa una profundidad del basamento entre 55 y 828 m. La Transmisividad se encuentra entre 38,4 y 122 m^2/día. Resultados de Pruebas de Bombeo indican valores de Conductividad Hidráulica entre $1{,}04 \cdot 10^{-3}$ y $4{,}98 \cdot 10^{-3}$ cm/s, y Coeficiente de Almacenamiento entre 0,03 y 0,036, los niveles piezométricos están a una elevación entre 1.200 y 1.580 m s.n.m (DGA, 2014). La dirección de flujo es desde el este hacia NNW. La descarga es hacia el SHAC Calama.

2.1.5.6 SHAC Salar de Llamara

Se encuentra en el sector norte del área de Estudio. Se verifica la existencia de una unidad acuífera emplazada en sedimentos aluvionales no consolidados, limos, ripios y bolones en matriz fina y regolito (Qal – Cenozoico Cuaternario), así mismo se observan intercalaciones con formaciones (Qa) con depósitos de abanicos aluvionales constituidos por limos y arcillas. Se observa una profundidad del basamento entre 10 y 370 m. La Transmisividad se encuentra entre 6 y 1.500 m^2/día. Resultados de Pruebas de Bombeo indican valores de Conductividad Hidráulica entre $1{,}16 \cdot 10^{-4}$ y $1{,}34 \cdot 10^{-2}$ cm/s, y Coeficiente de Almacenamiento entre 0,12 y 0,3, los niveles piezométricos están a una elevación entre 720 y 780 m s.n.m (DGA, 2014). La dirección de flujo es desde el este hacia NNW. La descarga es hacia el SHAC Loa desde Quillagua a Desembocadura.

2.1.5.7 SHAC Loa desde María Elena hasta Quillagua

Se encuentra en el sector oeste del área de Estudio. Se verifica la existencia de una unidad acuífera emplazada en sedimentos aluvionales no consolidados, limos, ripios y bolones en matriz fina y regolito (Qal – Cenozoico Cuaternario). Se observa una profundidad del basamento entre 24 y 444 m. La Transmisividad se encuentra entre 13 y 60,5 m^2/día. Resultados de Pruebas de Bombeo indican valores de Conductividad Hidráulica entre $9{,}26 \cdot 10^{-4}$ y $1{,}04 \cdot 10^{-3}$ cm/s, y Coeficiente de Almacenamiento entre 0,01 y 0,05, los niveles

piezométricos están a una elevación entre 1.000 y 1.200 m s.n.m (DGA, 2014). La dirección de flujo es sur a norte. La descarga es hacia el SHAC Loa desde Quillagua a Desembocadura.

2.1.5.8 SHAC Loa desde Quillagua hasta Desembocadura

Se encuentra en el sector nor-oeste y desembocadura del río Loa. Se verifica la existencia de una unidad acuífera emplazada en la Formación el Loa, con limos calcáreos, fanglomerados y areniscas conglomeradas. (Tel – Mioneno-Pleistoceno inferior). La descarga es hacia el mar.

2.1.5.9 SHAC Pampa Llalqui

Pampa Llalqui se ubica en el extremo sur del Área de Estudio, y en esta se verifica la presencia de dos unidades acuíferas, el Acuífero Superior Kárstico-Detrítico El Loa y un Acuífero Inferior. El Acuífero Superior es predominantemente libre, y se emplaza en rocas kárstico-arenosas, depósitos limo-arcillosos y depósitos de arenas negras, los que exhiben una potencia entre 30 y 130 m. El Acuífero Inferior es semiconfinado a confinado, y se emplaza en depósitos no consolidados de gravas aluviales, depósitos de piedemonte y depósitos aluviales, los que alcanzan potencias de hasta 300 metros. Entre ambos acuíferos se verifica la presencia de un acuitardo ignimbrítico y detrítico, formado por la Ignimbrita Artola, con una potencia de hasta 50 m, y depósitos limo-arcillosos, arenosos y lavas volcánicas con una potencia de hasta 300 m. La superficie freática del Acuífero Superior se desarrolla entre los 2.600 y 2.150 m s.n.m. con una dirección del flujo subterráneo desde el noreste al suroeste, y gradientes hidráulicos entre 2% a 6%. La superficie piezométrica del Acuífero Inferior se desarrolla entre los 2.100 a 2.600 m s.n.m., con una dirección de flujo desde el noroeste hacia el sureste, y gradiente hidráulico entre 5% a 4%. La Conductividad Hidráulica del Acuífero Inferior se encuentra entre $1{,}16 \cdot 10^{-5}$ a $1{,}39 \cdot 10^{-1}$ cm/s, mientras que la del Acuífero Superior se encuentra entre $1{,}74 \cdot 10^{-6}$ a $3{,}58 \cdot 10^{-1}$ cm/s. El Coeficiente de Almacenamiento del Acuífero superior se encuentra entre $1{,}2 \cdot 10^{-4}$ a $1{,}6 \cdot 10^{-2}$ y el del Acuífero Inferior entre $3 \cdot 10^{-5}$ a $6{,}9 \cdot 10^{-1}$ (DGA, 2013).

2.1.5.10 SCHAC Calama

El sector hidrogeológico de Calama ha sido estudiado ampliamente debido a su ubicación y nivel de explotación actual. Se encuentra compuesto principalmente de gravas y arenas (materiales permeables), conforman el denominado "Acuífero Inferior de Calama" caracterizado por sus altos valores de permeabilidad.

Específicamente, en el área de Calama, se definen 6 unidades hidrogeológicas, según se presenta en DGA (2017c). Estas unidades reconocidas han sido agrupadas para conformar 4 principales unidades hidrogeológicas: Acuífero Superior (UH-1 y UH-2), Acuitardo (UH-3 y UH-4), Acuífero Inferior (UH-5) y Basamento (UH-6).

2. **Formación Opache – Quillagua:** (También denominado como "Acuífero Superior de Calama"). Esta unidad corresponde al techo de la columna estratigráfica y se encuentra conformado por sedimentos de carbonalíticos, lo que le entrega las características potenciales de un acuífero kárstico. El espesor medio aproximado de este estrato es de 50 m. Las formaciones kársticas de esta unidad se justifican debido a la presencia de una red de canales generados por dilución de la roca (formación Opache). Esta unidad posee una estrecha relación con el río Loa y su vulnerabilidad estacional, tanto en su recarga como en su descarga. Se subdivide en dos unidades:

   UH-1-Depósitos Aluvio – Evaporíticos: Incluye principalmente gravas, arenas, depósitos detrito-evaporíticos y depósitos limo-arenosos, parcialmente saturados. Esta unidad la constituyen dos sub unidades, UH1a Depósitos aluviales de permeabilidad Media-Alta (10^{-1} a 10^{2} m/d) y UH1b Depósitos detrito-evaporíticos de permeabilidad Media-Baja (10^{-3} a 10^{2} m/d). La primera se conforma por depósitos aluviales de gravas y arenas con matriz arenosa y a veces limo-arenosa, mientras que la segunda está integrada por la secuencia de la formación Chiu Chiu y rellenos clásticos-salinos de salares.

   UH-Acuífero Superior Cárstico-Detrítico El Loa: Secuencia conformada por rocas carbonatadas y detríticas que conforman un acuífero predominantemente de carácter freático de permeabilidad muy variable. Se subdivide en tres unidades. UH2a Rocas cárstico-arenosas de Permeabilidad Media-Alta (10^{-2} a 10 m/d) es el medio predominante de la unidad, por lo tanto, considerada representativa de la condición típica del Acuífero Superior. UH2b Depósitos limo-arcillosos de Permeabilidad Baja (10^{-4} a 10^{-1} m/d) compuesta principalmente por depósitos de material fino limo-arcilloso. UH2c Depósitos de arenas negras de Permeabilidad Alta (10^{-2} a 10^{2} m/d) constituida por depósitos detríticos con una presencia significativa en la fracción arenosa.

3. **Formación Jalquinche – El Batea:** Esta unidad hidrogeológica logra separar la unidad inferior (de alta permeabilidad) de la unidad superior. Posee un bajo potencial hidrogeológico dado su alto contenido de limos y arcillas, los cuales impiden la

circulación del flujo, considerándose de esta manera, una unidad impermeable con un espesor cercano a los 150 m. Se subdivide en dos unidades:

UH-3-Acuitardo Ignimbrítico: Esta unidad lo constituyen tobas consolidadas de baja permeabilidad y que se superponen a los depósitos de material fino del acuitardo detrítico del Loa. Dependiendo de su disposición estratigráfica, esta secuencia puede desarrollar un confinamiento sobre el medio saturado inferior (# 5).

UH-4-Acuitardo El Loa ("Acuitardo"): Unidad hidrogeológica compuesta fundamentalmente por materiales finos de muy baja permeabilidad ($<5{\cdot}10^{-3}$ m/d), tales como arcillas y limos. Se trata de una unidad con un alto grado de homogeneidad, la que aportaría con una condición confinante en el acuífero inferior.

3. **Formación Calama – Sichal** (También denominado como "Acuífero Inferior de Calama")

   UH-5-Acuífero Gravas de Calama: Esta unidad hidrogeológica conforma la base del acuífero y corresponde al tramo inferior desde el basamento hasta la siguiente unidad hidrogeológica (Unidad Jalquinche – El Batea).

   Se caracteriza por su material altamente permeable y de alto potencial hidrogeológico, permitiendo la circulación y el almacenamiento de agua. Además, dadas las características del material del que se compone el estrato superior, se considera que este acuífero es de tipo confinado, muy antiguo, con un espesor medio cercano a los 150 metros con una recarga y descarga sin relación aparente con el río Loa debido al fuerte confinamiento ejercido por la unidad superior.

   Se subdivide en dos unidades. UH5a Depósitos de Gravas, la más representativa del comportamiento hidrogeológico del acuífero inferior, con un rango de permeabilidad entre $5{\cdot}10^{-2}$ y 10 m/d. UH5b Depósitos limo arcillosos, con una conductividad estimada entre 10^{-5} a 10^{-3} m/d. Esta unidad se dispone bajo las unidades 3 y 4 correspondientes a los acuitardos ignimbríticos y detríticos de El Loa, respectivamente, adoptando un comportamiento hidráulico de confinamiento.

4. **Unidad "Basamento Impermeable"** Respecto al basamento, éste posee dimensiones variables las cuales han podido ser estimadas mediante los resultados obtenidos por los distintos ensayos geofísicos y sondajes realizados en el sector del acuífero, los cuales permiten definir, mediante una aproximación general, la geometría del acuífero.

   UH-6-Acuicludo Rocas Pre-Terciarias: Esta unidad se encuentra conformada tanto por rocas intrusivas y metamórficas como también, en menor medida, por rocas

volcánicas y sedimentarias que afloran en los bordes de la cuenca de Calama. Presenta muy bajas permeabilidades (10^{-5} a 10^{-9} m/d) que le confieren una condición impermeable. Sin embargo, la conductividad hidráulica podría ser importante en zonas donde existen rocas con un grado significativo de fracturamiento y en áreas de intenso fallamiento.

Una relevante reflexión para fines del presente trabajo proviene del estudio DGA (2014): "La recarga de estos sistemas acuíferos proviene principalmente desde dos puntos: la recarga subterránea del acuífero de Calama más importante provendría desde la cuenca del río Salado, caracterizada por una huella de cloruro sódico con influencias geotermales; la segunda fuente provendría desde aguas arriba del embalse Conchi caracterizada por una huella de aguas cloruradas del tipo magnésico-cálcicas".

2.1.6 División Político-Administrativa

La cuenca del río Loa se encuentra administrativamente circunscrita a las regiones de Tarapacá y Antofagasta, representando alrededor de un 18 y 82% de la superficie total, respectivamente.

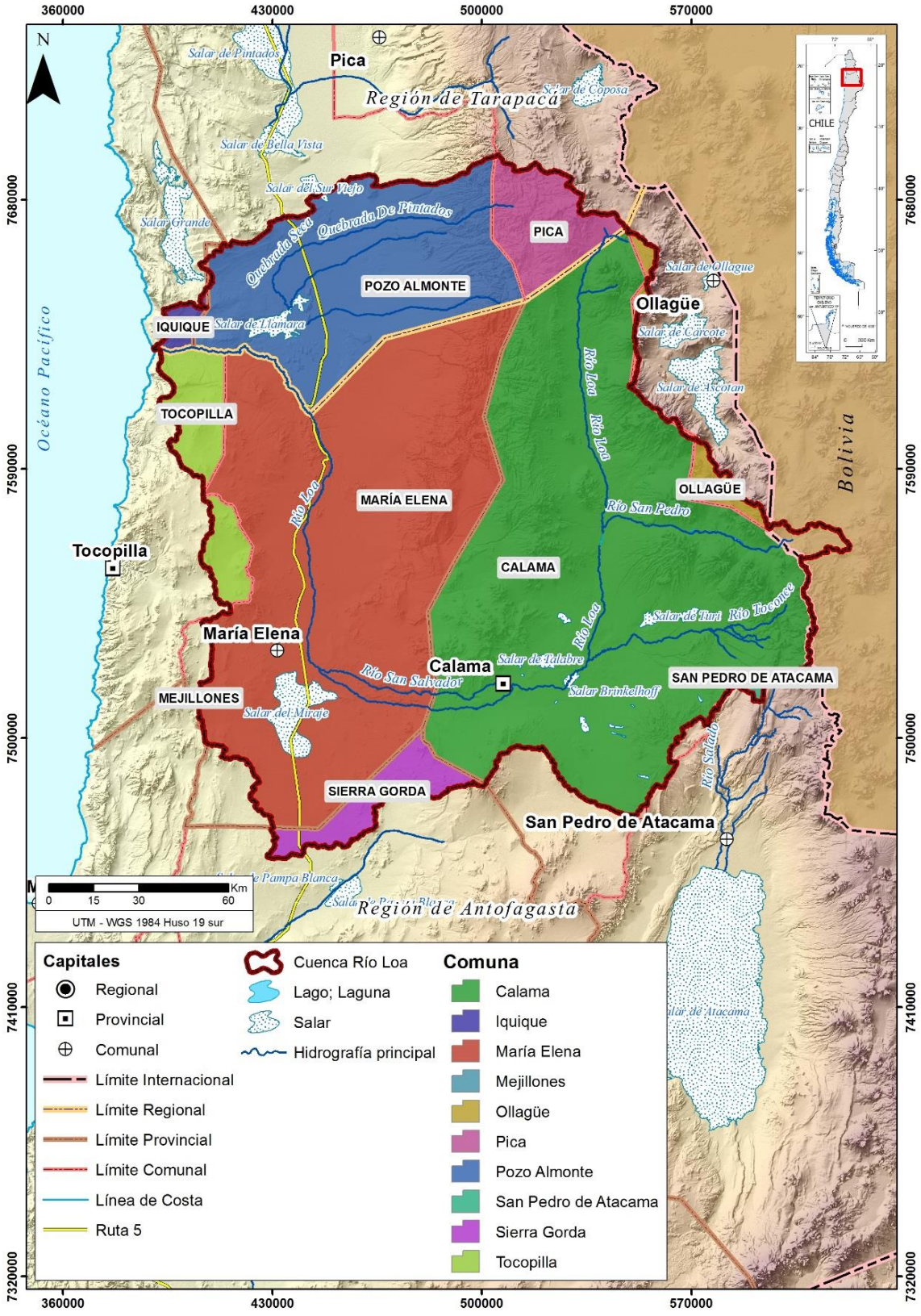
El área de la cuenca correspondiente a la Región de Tarapacá alberga parte de las comunas de Pozo Almonte, Pica e Iquique, esta última ocupa una superficie marginal del área de estudio y está ubicada en el costado norte de la desembocadura del río Loa.

La mayor parte de superficie de esta hoya hidrográfica está contenida, como ya se señala anteriormente, en los límites de la Región de Antofagasta, a su vez, las comunas de dicha región que tienen mayor extensión en el área de estudio son María Elena y Calama, ambas se extienden casi en completitud dentro de la cuenca del río Loa.

Respecto a los límites de la cuenca y las comunas colindantes, cabe destacar que, en la zona del Alto Loa el límite de cuenca separa también, administrativamente, las comunas de Calama y Ollagüe, ocupando esta última una superficie acotada dentro del área de estudio.

Según cifras de 2017 publicadas por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), la población en la Región de Antofagasta supera los 600.000 habitantes. Los asentamientos más relevantes del área de estudio corresponden a la comuna de María Elena (4.902 habitantes) y a la ciudad de Calama (157.575 habitantes), capital provincial de la Provincia del Loa.

La Tabla 2-2 sintetiza la distribución regional, provincial y la superficie de comunas en la cuenca del río Loa, y la Figura 2-16 la distribución espacial.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-16: División Político-Administrativa en la cuenca del río Loa

Tabla 2-2: Superficie comunal respecto a la cuenca del río Loa

Región	Provincia	Comuna	Superficie dentro de la cuenca (km²)	Porcentaje de superficie comunal sobre el total de la cuenca
Antofagasta	Antofagasta	Sierra Gorda	802	2,34%
	El Loa	Ollagüe	418	1,22%
		Calama	13.880	40,47%
	Tocopilla	María Elena	11.617	33,85%
		Tocopilla	1.171	3,41%
Tarapacá	Iquique	Iquique	176	0,51%
	Tamarugal	Pozo Almonte	5.079	14,80%
		Pica	1.168	3,40%

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por SUBDERE

2.1.7 Actividad Económica

2.1.7.1 Nivel regional

En la región de Antofagasta, y en particular dentro de la cuenca, existen dos grandes sectores económicos que agrupan el volumen de exportaciones, siendo la minería la actividad predominante, la cual representa un 97,6% del total de exportaciones, en tanto la industria alcanza un 2,4%, según cifras INE correspondientes al boletín N°78 de enero de 2022.

La actividad económica predominante es la extracción de Cobre y Hierro, que a la misma fecha antes señalada alcanza una participación de del 87,3% (MMUS$ 2.488,5) del total de exportaciones. Más atrás se encuentran el resto de la Minería Metálica (5,6%) y Minería No Metálica (4,7%) (INE, 2022).

En una aproximación hacia el destino de las exportaciones que tienen como origen la Región de Antofagasta, según consigna el Boletín Informativo sobre Exportaciones del INE, cabe destacar que el bloque económico más preponderante en esta materia es el Foro de Cooperación Económica de Asia Pacífico (APEC) con una participación del 70,7%, mientras en porcentajes menores están presentes el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (NAFTA) (13,2%), Unión Europea (5,5%), Asociación Latinoamericana de Integración (ALADI) (4,8%) y por debajo de ellos la Comunidad Andina (0,3%) y Mercado Común del Sur (MERCOSUR) (4 %). El resto de los mercados agrupados asciende al 1,5% (INE, 2022).

Cuatro países son receptores de tres cuartas partes de las exportaciones regionales, en orden de participación estos son: República Popular China (50,1%), Estados Unidos de América (15,1%), Japón (7,4%) y Corea del Sur (7,5%) (INE, 2022).

Respecto a la producción agrícola, en datos publicados por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) en 2020, es preciso indicar que, si bien las explotaciones inferiores a 20 ha son las que predominan, ellas representan un porcentaje marginal (0,5%) de toda la superficie explotada. Por otra parte, las explotaciones de más de 100 ha, suman un 0,03% de las explotaciones de la región, pero, concentran el 99,4% de la superficie explotada.

En términos de empleo, en el primer trimestre de 2021, el 17,3% de la fuerza laboral se desempeñó en actividades de comercio, un 17,6% en minería, un 8,3% en industria, un 1,5% en agricultura o áreas afines, y un 5,3% en el área salud. El restante 50,0% se desempeñó en otras áreas.

2.1.7.2 Nivel de cuenca

En la base de datos del Sistema de Evaluación Ambiental (SEA), se identificaron 99 proyectos, ya sea aprobados o en evaluación ambiental. El sector energía es el que presenta más proyectos, con un total de 65. En segundo lugar, está la minería con 30 proyectos. En los restantes se destaca el saneamiento ambiental y la categoría "otros", donde se observan proyectos de almacenamiento y transporte de carga (Tabla 2-3).

En las etapas de construcción y operación de los proyectos predomina la compra de agua a través de camiones aljibes, siendo el 75% de los casos aproximadamente. El resto de alternativas no supera el 5%, habiendo ocasiones de mixtura entre compra y varias alternativas (desalación, reutilización, uso de DAA, entre otros). Las opciones de desalación y uso de DAA no superan el 1%.

35 proyectos superan un monto de inversión de MMUS$ 100, destacando el proyecto minero Quebrada Blanca, con una inversión de MMUS$ 5.000, ubicándose entre varias comunas de la región de Tarapacá. Por otro lado, 60 proyectos tienen un monto de inversión entre MMUS$ 100 a MMUS$ 1. En el Anexo J-02 se encuentra la base de datos utilizada con detalle de proyectos aquí expuestos (antecedentes descargados marzo 2022, presentados en Anexo J-02)

Tabla 2-3: Proyectos y su inversión ingresados al Sistema de Evaluación Ambiental en la cuenca del río Loa

Comunas	N° de empresas (Inversión en millones de dólares)						
	Energía	Infraestructura de Transporte	Inmobiliarios	Minería	Otros	Saneamiento Ambiental	Total general
Antofagasta	11 (563,80)			3 (235,28)	1 (4,50)	6 (296,72)	21 (1.100,29)
Antofagasta-María Elena-Mejillones-Sierra Gorda					1 (0,96)		1 (0,96)
Antofagasta-Sierra Gorda	1 (12)						1 (12)
Antofagasta-Taltal	1 (105,60)						1 (105,60)
Calama	5 (371)	1 (142)	1 (25,23)	2 (40,12)			9 (578,35)
Iquique-Pica-Pozo Almonte				1 (5.000)			1 (5.000)
Iquique-Pica-Pozo Almonte-Alto Hospicio				1 (70)			1 (70)
María Elena	12 (2.968)			1 (208)			13 (3.176)
María Elena-Mejillones-Sierra Gorda				1 (300)			1 (300)
Mejillones	5 (329,50)			2 (58,57)	2 (12)		9 (400,07)
Pica				3 (685)			3 (685)
Pozo Almonte	3 (472)						3 (472)
Sierra Gorda	7 (706,50)			9 (863,30)			16 (1569,80)
Taltal	14 (4.348,22)			4 (30,61)			18 (4.378,83)
Tocopilla	1 (13,50)						1 (13,50)
Total general	60 (9.890,12)	1 (142)	1 (25,23)	27 (7.490,88)	4 (17,46)	6 (296,72)	99 (17.862,40)

Fuente: Evaluación propia con antecedentes de la base de dato de proyectos SEA (antecedentes descargados marzo 2022, presentados en Anexo J-02)[1]

[1] https://seia.sea.gob.cl/busqueda/buscarProyecto.php

Por otro lado, respecto a otro tipo de datos, estos son escasos, ya que la información se presenta a nivel regional o comunal, ocurrriendo que en esta última escala son varias las comunas que una porción de su territorio esta dentro de la cuenca estudiada, por lo que se podrían incluir datos que realmente no acontence en la Cuenca.

De esta forma, se enfatiza en las estadisticas comunales de Calama y María Elena, municipios que su presencia a nivel de cuenca, sobrepasa significativamente al resto de municipios, además que la superficie comunal fuera de la cuenca de ambas comunas es infima en comparación a la que esta dentro de la cuenca (Tabla 2-4).

Tabla 2-4: Porcentaje de Territorio Comunal dentro de la Cuenca del río Loa

Comuna	Porcentaje de territorio comunal dentro de la cuenca
María Elena	80,37%
Calama	76,26%
Pozo Almonte	32,11%
Tocopilla	24,43%
Ollagüe	12,29%
Pica	11,33%
Iquique	6,66%
Sierra Gorda	5,22%
San Pedro de Atacama	0,22%

Fuente: Elaboración propia

Según el Censo de 2007 el comercio, la reparación de vehículos, la construcción y la explotación minera son las cuatro actividades económicas principales de Calama. Además, el PLADECO de dicha comuna menciona que las tres primeras están en función de la cuarta, como la gran mayoría de otras actividades presentes en el territorio. Mientras tanto, la comuna de María Elena esta directamente relacionada con la empresa SOQUIMICH (SQM), de hecho, la superficie comunal pertenece a dicha empresa, estando ubicados la infraestructura municiapal en comodatos cedidos por SQM. El poblado de María Elena es la última oficina salitrera activa en el mundo.

Las estadísticas por sector económico de cada comuna, indican que la mayoría de la población ocupada se dedica al sector terciario (comercio, transporte y servicios), seguido por amplia diferencia con el sector primario (agricultura, explotaciones mineras, entre otros) y cerrando con una baja cantidad de población dedicada al sector secundario (industria, construcción, etc.).

Tabla 2-5: Porcentaje de población ocupada por sector económico en las comunas de Calama y María Elena

Calama		María Elena	
Sector económico	**%**	**Sector económico**	**%**
Sector primario	16	Sector primario	30
Sector secundario	7	Sector secundario	6
Sector terciario	77	Sector terciario	64

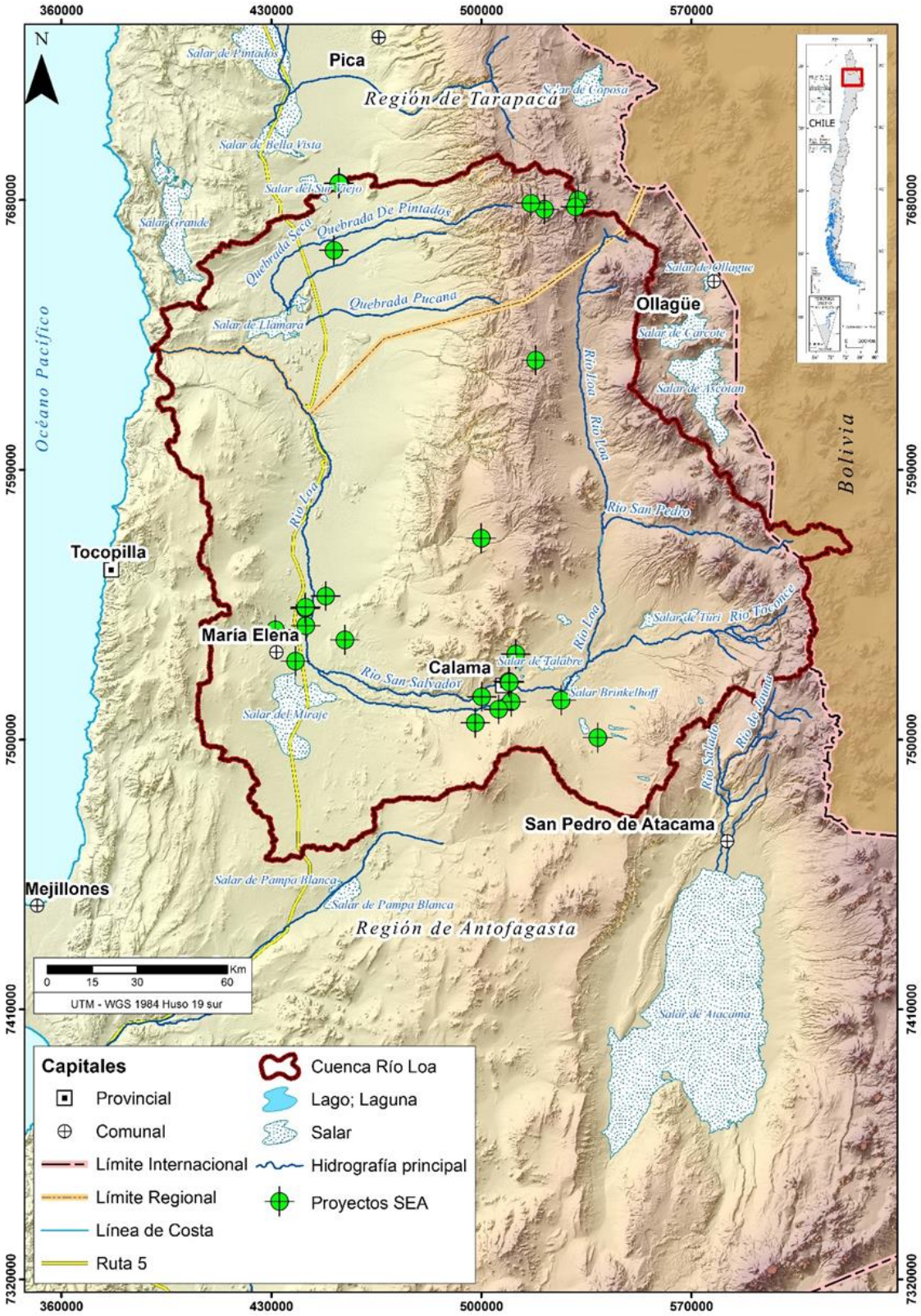
Fuente: Elaboración propia en base a Censo 2017

La agricultura juega un rol fundamental para los sectores rurales de ambas comunas (entendiendo al poblado de María Elena como el área urbana de dicha comuna). Chiu Chiu, Lasana, Caspana y Toconce son algunos de los pueblos rurales centrados en la agricultura en Calama, mientras que Quilagua es el pueblo representante del mundo rural en María Elena.

Para el Censo Agropecuario y Forestal de 2007, el área de estudio estaba compuesto por 26 distritos censales. Los distritos censales son la escala geográfica en la que se presentan los resultados de mayor, abarcando grandes extensiones de territorio en algunos casos.

De esta forma, 16 de los 26 distritos no registraron superficies regadas, mientras que las otras 10 acumulaban un total de 852,5 ha de riego, destacándose zonas como Chiu Chiu, Bernardo O´Higgins, Caspana, Javiera Carrera y Calama por regar por sobre las 100 ha, además de pertenecer todos estos lugares a la comuna de Calama. Los otros sectores de riego también se encuentran cercanos a Calama, a excepción de Quillagua y Guatacondo, que se ubican al norte de la cuenca, sin embargo, son uno de los sitios de menor riego.

Respecto a los proyectos ingresados al SEA que cotemplan únicamente la Cuenca del río Loa, la Figura 2-17 muestra la ubicación de 26 iniciativas. Se destaca que hay 15 proyectos relacionados con el rubro Energía y 8 proyectos con el rubro minería.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-17: Proyectos ingresados a SEA en la cuenca del río Loa

2.2 Clima

El Norte Grande de Chile corresponde a una de las áreas más áridas del mundo, con mayor radiación solar y gradiente altitudinal (Sarricolea y Romero, 2015). El clima es uno de los componentes ambientales más característicos y significativos de las regiones del Norte Grande de Chile. Producto de las condiciones topográficas de altitud y exposición, se trata de paisajes complejos que manifiestan amplia variabilidad climática en su configuración espacial y temporal.

Las variaciones altitudinales de precipitaciones anuales son significativamente dispares, configurando paisajes con altos contrastes mesoclimáticos, asociados además a una gran variabilidad climática durante el holoceno en alternancia de periodos secos y húmedos. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2013) ha clasificado esta región como de alta incertidumbre a consecuencia de una variabilidad de la precipitación (Sarricolea et al., 2017).

Considerando dicho contexto en la macrozona del Norte Grande, a continuación, se detallará el contexto climático a nivel de cuenca.

2.2.1 Tipos Climáticos

Según el estudio DGA (2004), se identifican al menos cuatro tipos climáticos para la cuenca del río Loa:

- *Clima Desértico costero lluvioso*: existente en el área costera de la cuenca, con presencia de abundantes nieblas matinales conocidas localmente como Camanchaca que tienen su origen en las frías temperaturas de la corriente de Humboldt. Presenta temperaturas medias anuales de 18°C mientras que las precipitaciones medias anuales normales son de 0 mm.
- *Clima Desértico Interior*: Característico de la zona de la pampa sobre los 1.000 m de altitud lejos de la influencia climática oceánica costera. Es un subtipo climático de aridez extrema, con precipitaciones anuales del orden de 0 mm, mientras que las temperaturas medias bordean los 18°C; de cielos regularmente despejados. Característico de este clima son los días con cielos despejados y mucha luminosidad, y más seco que el tipo climático desértico costero, la humedad relativa en promedio es de 50%.
- *Clima Desértico Marginal de Altura*: Por sobre los 2.000 m de altitud, caracterizado por temperaturas más modestas con medias anuales del orden de los 10°C, con lluvias

anuales entre los 50 y 100 mm que se concentran en los meses de verano a consecuencia del denominado invierno boliviano.

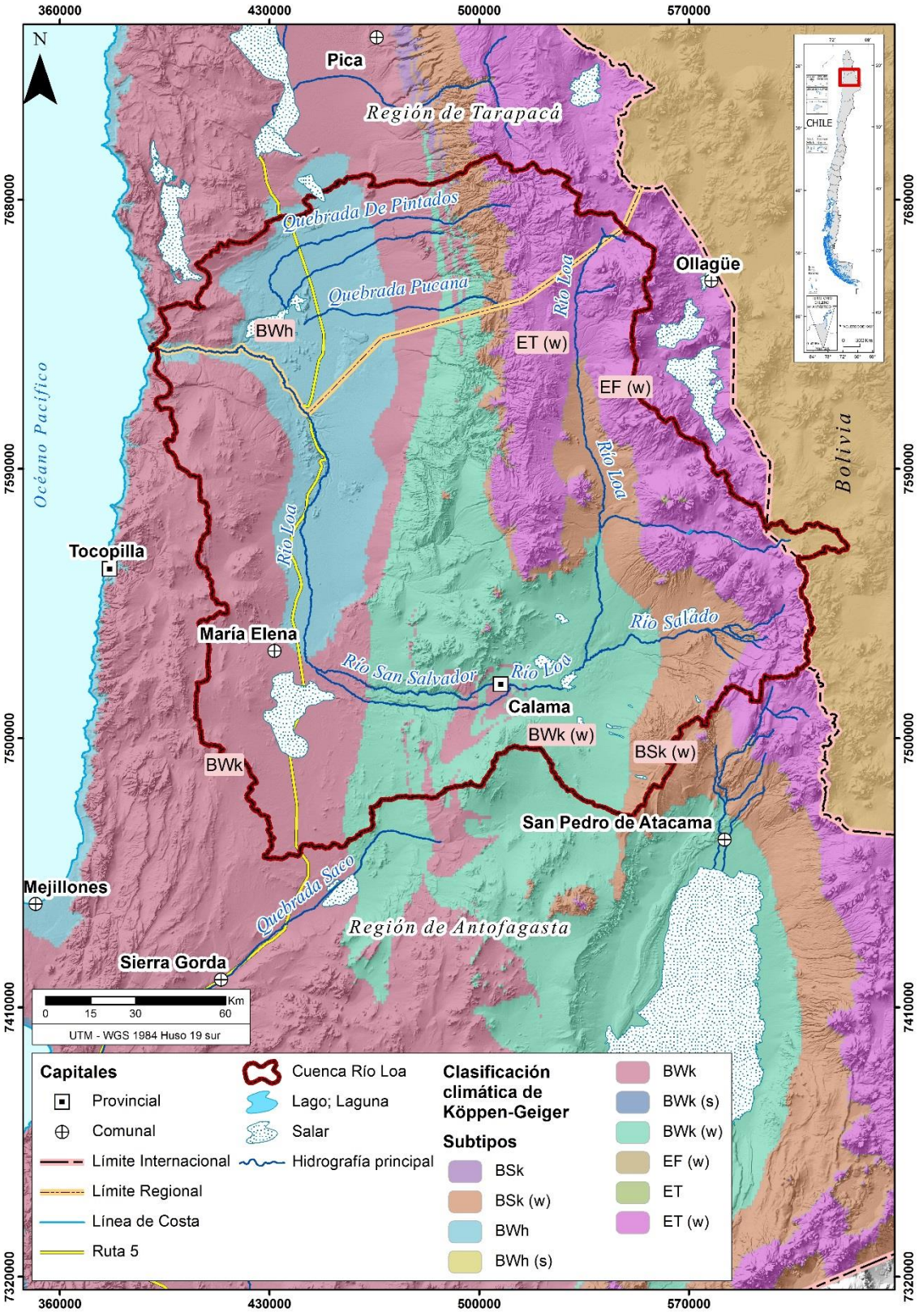
- *Clima de Estepa de Altura*: Es un subtipo climático característico del sector altiplánico, por sobre los 3.000 m de altitud, en esta zona las precipitaciones anuales rondan los 300 mm.

En su obra "*Bioclimatología de Chile"*, di Castri y Hajek (1976) señalaron que, en términos climáticos la clasificación de Köppen-Geiger es la más satisfactoria en cuanto al ajuste sobre las particularidades del territorio nacional, por sobre la clasificación propuesta por Thornthwaite. En su propuesta para caracterizar zonas bioclimáticas en el territorio nacional, di Castri y Hayek (1976) caracterizan las actuales regiones (anteriormente provincias) de la siguiente forma:

- Provincia de Tarapacá: Se extiende desde la costa hasta los primeros contrafuertes cordilleranos, un clima predominantemente desértico con precipitaciones virtualmente inexistentes e irregulares. Presenta un tipo de desierto más bien oceánico. En la costa la actividad vegetativa se concentra en invierno, en tanto, en las zonas interiores esta se desplaza hacia los meses de verano producto de la influencia tropical en la estacionalidad de las precipitaciones. Dentro de los factores ecológicos más destacables se encuentran la neblina costera, el rocío y la humedad relativa, que alcanzan promedios anuales cercanos al 80% con una curva decreciente hacia las zonas interiores. El fenómeno de El Niño marca años anómalos en los que se desarrollan lluvias torrenciales que propician cambios biológicos evidentes.
- Provincia de Antofagasta: En el sector norte de esta provincia se extienden las condiciones de la provincia que le antecede, con un clima desértico costero e interior y precipitaciones en periodo cálido sobre los 2.000 m de altura, aunque menores a las ocurridas en Tarapacá. El sector sur de la Provincia de Antofagasta se presenta un clima mediterráneo extremo, de lluvias concentradas, regulares y escasísimas en invierno. Tanto la humedad relativa como la nubosidad decrecen con la altura de costa a interior.

La información geográfica disponible en el sitio web del IDE de zonas climáticas de Chile según la clasificación Köppen-Geiger en escala 1:1.500.000[2] es generada por el Departamento de Geografía de la Universidad de Chile y actualizada al año 2019. Esta clasificación climática es presentada en la Tabla 2-6 y Figura 2-18.

[2] https://www.ide.cl/index.php/clima-y-atmosfera/item/1556-zonas-climaticas-de-chile-segun-koeppen-geiger-escala-1-1-500-000



Fuente: Elaboración propia con antecedentes IDE

Figura 2-18: Clasificación climática cuenca del río Loa

Tabla 2-6: Clasificación climática de Köppen-Geiger

Tipos	Definición tipo	Subtipo	Definición subtipo
BSk	Estepario frío	-	-
BSk(w)	Estepario frío	w	Invierno seco
BWh	Desértico cálido	-	-
BWk	Desértico frío	-	-
BWk(w)	Desértico frío	w	Invierno seco
EF(w)	Hielos perpetuos	w	Invierno seco
ET	Tundra	-	-
ET(w)	Tundra	w	Invierno seco

Fuente: Elaboración propia con antecedentes IDE

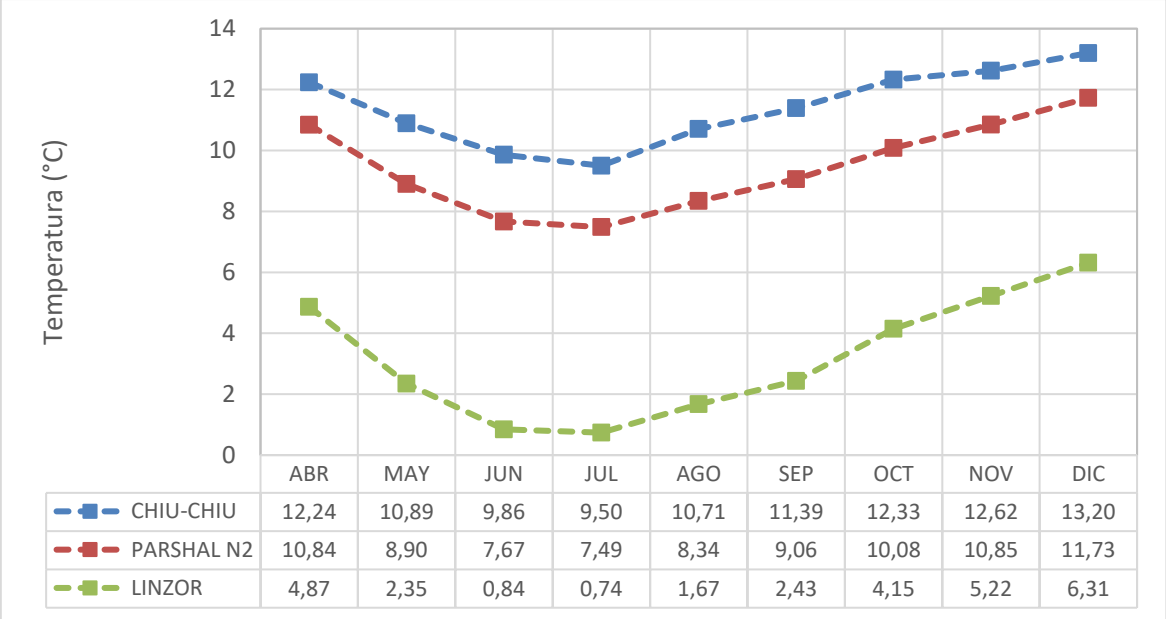
2.2.2 Temperatura

Para caracterizar la temperatura se seleccionan las estaciones de Chiu Chiu, Parshall N°2 y Linzor, debido a que son la estaciones con mayor cantidad de registros y menor cantidad de datos rellenados, resultando un mayor grado de representatividad. La estación más baja corresponde a Coya Sur, sin embargo, no se considera como representativa de la zona baja ya que su periodo de observaciones es acotado y fue considerablemente rellenada. La siguiente estación más baja es Chiu Chiu, motivo por el cual se considera como estación representativa del análisis para la zona baja del Loa. Parshall N°2 y Linzor se consideran como representativas de la zona media y alta de la cuenca, respectivamente (GORE Antofagasta, 2020). La Tabla 2-7 presenta algunas características de las estaciones utilizadas, mientras que la Figura 2-19 y Figura 2-20 muestran las temperaturas medias mensuales registradas y su ubicación dentro de la cuenca del río Loa.

Tabla 2-7: Estaciones seleccionadas para caracterizar temperatura

Nombre estación	Altitud (m s.n.m.)	WGS 84 UTM 19S		Inicio de registro	Término de registro
		E (m)	N (m)		
Chiu - Chiu	2.524	536.239	7.528.894	12/06/1979	Vigente
Parshall N°2	3.318	549.596	7.573.130	01/02/1969	01/08/2012
Linzor	4.100	600.703	7.541.412	01/11/1973	30/04/2007

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA



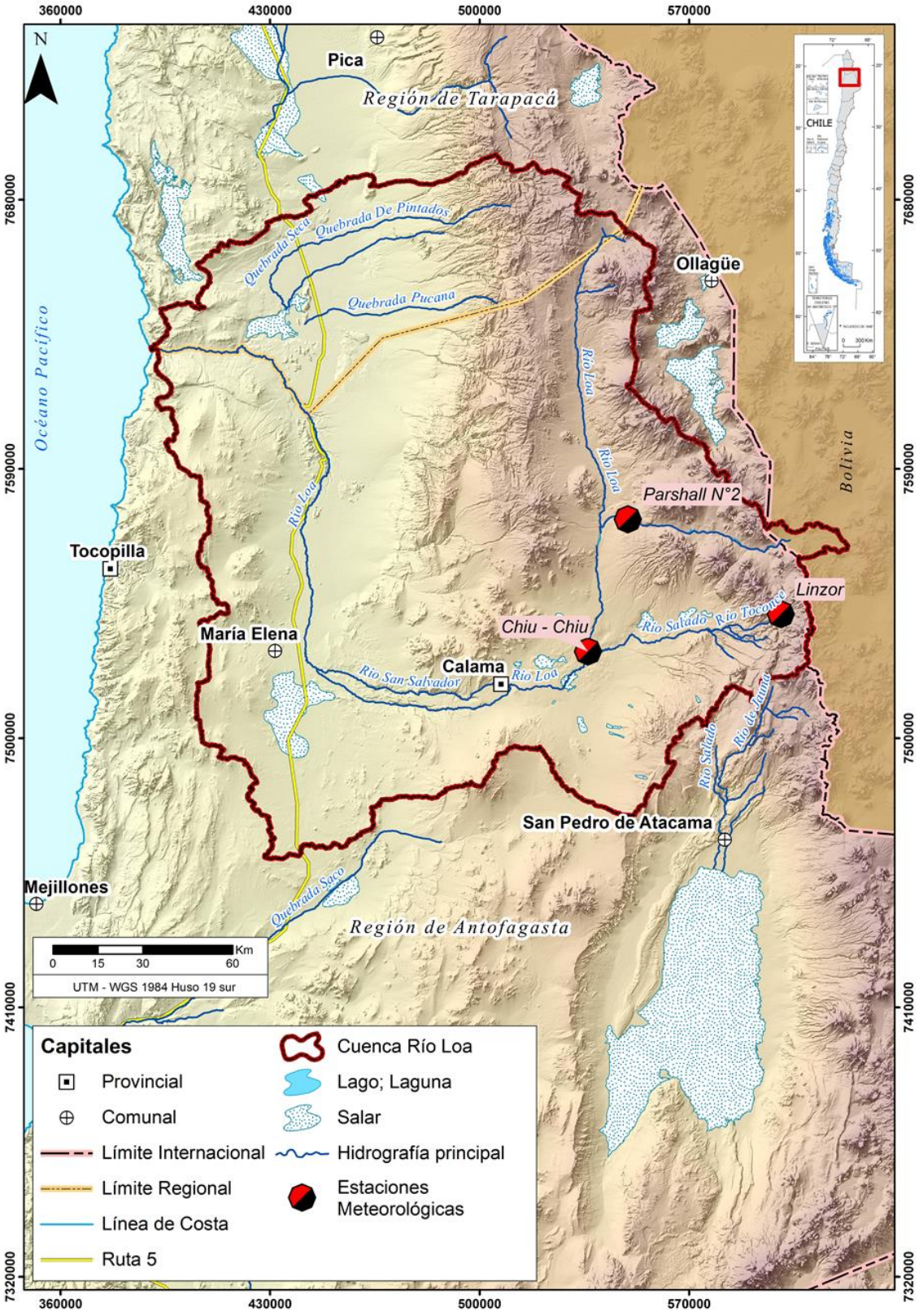
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CHIU-CHIU	12,24	10,89	9,86	9,50	10,71	11,39	12,33	12,62	13,20
PARSHAL N2	10,84	8,90	7,67	7,49	8,34	9,06	10,08	10,85	11,73
LINZOR	4,87	2,35	0,84	0,74	1,67	2,43	4,15	5,22	6,31

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA

Figura 2-19: Temperaturas medias mensuales en estaciones seleccionadas

La Figura 2-19 muestra que la variación estacional de la temperatura mantiene una distribución similar a través de los sectores, sin embargo, existen claras diferencias en la magnitud de las temperaturas. Los meses más fríos son los de invierno, principalmente junio y julio. Como es de esperar, los meses más cálidos corresponden al verano, destacando diciembre y enero.

Existe una relación inversa entre la altitud y los valores de temperatura, ya que mientras más alto se encuentre el sector, menor es la temperatura. Para los sectores bajos la mínima promedio es de 9,9 °C y la máxima de 13,2 °C, mientras que para sectores medios la menos temperatura alcanza un poco menos de 8 °C y la máxima 11,7 °C. Finalmente, el sector alto llega a mínimos menores a 1°C y máximas levemente mayores a 6 °C.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA

Figura 2-20: Estaciones meteorológicas utilizadas para caracterizar temperatura

2.2.3 Precipitación

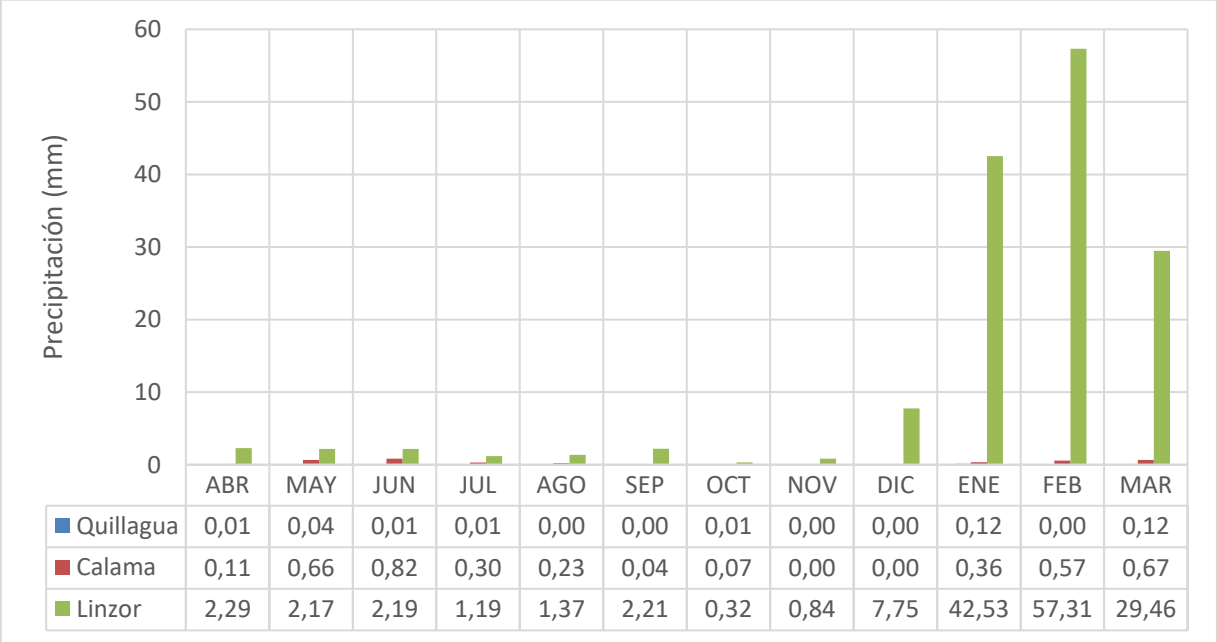
Para la precipitación se seleccionan las estaciones de Quillagua, Calama y Linzor, considerando el mismo criterio de discriminación empleado en las estaciones registradoras de temperatura. Debido a que no existen estaciones en la zona baja de la cuenca, se considera a la estación Quillagua como representativa de dicha área, mientras que las estaciones Calama y Linzor se considerarán como representativas del Loa medio y alto, respectivamente (GORE Antofagasta, 2020). La Tabla 2-8 presenta algunas características de las estaciones utilizadas y la Figura 2-22 su ubicación dentro de la cuenca.

Tabla 2-8: Estaciones seleccionadas para caracterizar precipitaciones

Nombre estación	Altitud (m s.n.m.)	WGS 84 UTM 19S		Inicio registro	Término registro
		E (m)	N (m)		
Quillagua	802	444.573	7.605.241	01/06/1969	Vigente
Calama	2.300	509.639	7.517.059	01/08/1963	Vigente
Linzor	4.100	600.703	7.541.412	01/11/1973	Vigente

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA

La Figura 2-21 muestra la variabilidad interanual de la precipitación media mensual registrada por las estaciones representativas de los sectores de la cuenca.



	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Quillagua	0,01	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,12	0,00	0,12
Calama	0,11	0,66	0,82	0,30	0,23	0,04	0,07	0,00	0,00	0,36	0,57	0,67
Linzor	2,29	2,17	2,19	1,19	1,37	2,21	0,32	0,84	7,75	42,53	57,31	29,46

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA

Figura 2-21: Precipitaciones medias mensuales en estaciones seleccionadas



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA

Figura 2-22: Estaciones meteorológicas utilizadas para caracterizar precipitación

Se aprecia que el sector bajo de la cuenca mantiene precipitaciones nulas la mayor parte del año, con excepción los meses de verano, donde alcanza un monto de 0,12 mm. En el sector medio, los meses de noviembre y diciembre presentan precipitaciones nulas, mientras que el máximo ocurre en marzo y es de 0,7 mm. Finalmente, el sector alto de la cuenca tiene a noviembre como el mes con menor precipitación (0,8 mm) y a febrero como el que más lluvioso, alcanzando un valor de 57,3 mm.

2.2.4 Análisis de Crecidas

La identificación de crecidas a nivel regional es un procedimiento hidrológico que tiene como objetivo entregar una predicción de un posible evento de crecida en algún punto de interés asociada a una cuenca, además de entregar estimaciones en puntos de análisis con poca o nula información fluviométrica, la cual se representa por medio de una gráfica que relaciona la frecuencia de los caudales máximos anuales de una región homogeneizada. El procedimiento consiste en la verificación de la homogeneidad de la región y realizar un modelo probabilístico de los máximos valores de caudal anual del área de estudio.

La homogenización de la región consiste en evaluar el comportamiento histórico con respecto a una variable hidrológica, para que se establezca que las estaciones de medición pertenecientes a un área de estudio poseen registros observados consistentes para realizar un análisis probabilístico y por ende definir que la región es hidrológicamente homogénea. Para determinar el modelo probabilístico, el manual de carreteras (MOP, 2014) propone los métodos de "US Geological Survey" y el regional de momentos ponderados por probabilidad, para realizar los estudios de frecuencia de crecidas en los puntos de interés, los cuales consisten en determinar una relación adimensional entre los valores observados y los caudales máximos anuales y por medio de una distribución probabilística, establece razones de crecidas para distintos periodo de retorno (GORE Antofagasta, 2020).

A continuación, se presenta una síntesis de la metodología propuesta y empleada en el estudio GORE Antofagasta (2020), que lleva a cabo un análisis regional de crecidas en base a estaciones fluviométricas que presentaran registros no intermitentes de información y se mantienen vigentes a la fecha. Las estaciones usadas se presentan en la Tabla 2-9.

Tabla 2-9: Estaciones seleccionadas para análisis de crecidas

Código BNA	Nombre	WGS 84 UTM 19S		Cota (m s.n.m.)
		E (m)	N (m)	
02101001-4	Río Loa antes represa Lequena	534.950	7.605.197	3.315
02112007-3	Río Loa D.J. San Salvador (M. Elena)	441.818	7.529.060	1.240

Código BNA	Nombre	WGS 84 UTM 19S		Cota
		E (m)	N (m)	(m s.n.m.)
02110004-8	Río Loa en Finca	501.142	7.511.120	2.100
02110001-3	Río Loa en Escorial	511.462	7.518.218	2.450
02104002-9	Río Loa en salida embalse Conchi	539.132	7.564.018	2.950
02110002-1	Río Loa en Yalquincha	512.605	7.517.664	2.300
02105001-6	Río Salado A.J. Curti	578.012	7.536.045	3.080
02105002-4	Río Salado en sifón Ayquina	567.504	7.534.956	2.980
02103001-5	Río San Pedro en Parshall N"1	565.449	7.570.727	3.700
02103002-3	Río San Pedro en Parshall N"2 (BT. Chilex)	550.371	7.573.426	3.318
02105007-5	Río Toconce antes represa Sendos	588.204	7.536.667	3.473

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA y GORE Antofagasta (2020)

Para homogenizar la región, a estas estaciones se les aplicó el método de "momentos – L" de Hosking y Wallis (Hosking y Wallis, 1997. P.113), resultado en la exclusión de puntos (estaciones) discordantes y por ende no considerados para el análisis de frecuencia, en específico, se excluyeron las estaciones: Río Los D.J. San Salvador (M. Elena), Río Salado en sifón Ayquina, Río San Pedro en Parshall N°1 y Río San Pedro en Parshall N°2.

A las estaciones de interés homogenizadas restantes, en caso de poseer información de caudales máximos anuales, se utiliza la herramienta del "Método de los momentos ponderados por probabilidad" (MPPR) para determinar los parámetros de la variable y obtener curvas de frecuencias de crecidas aplicables a las cuencas aportantes del río Loa y sus afluentes. Mayor detalle de la metodología y sus resultados se puede consultar en acápite 3.3.3.2 de estudio GORE Antofagasta (2020).

En el caso de que el punto de interés no presente información fluviométrica, GORE Antofagasta (2020) genera la siguiente expresión que estima el caudal medio diario máximo de periodo de retorno 10 años.

$$Q_{10} = 2{,}34 * A^{0{,}5} - 3{,}71 * {P_{24}^{10}}^{0{,}4} - 0{,}94 * A^{0{,}5} * lat^{0{,}3} + 24{,}19$$

Donde

$Q_{10}\ (m^3/s)$: Caudal medio diario máximo de periodo de retorno 10 años.

$A^{0{,}5}\ (km^2)$: Área pluvial aportante de la cuenca.

$P_{24}^{10}\ (mm)$: Precipitación diaria máxima de periodo de retorno 10 años.

$lat\ (°S)$: Latitud del punto evaluado.

Los sectores de la cuenca del río Loa en donde existen registros pluviométricos que permiten definir la precipitación diaria máxima de periodo de retorno 10 años (P_{24}^{10}) son determinados por Torres (2016). En base a ello, se calcula el caudal medio diario máximo de periodo de retorno 10 años (Q_{10}), los cuales se presentan en la Tabla 2-10.

Tabla 2-10: Caudales medios diarios máximos de periodo de retorno 10 años

Estación	Área (km²)	P_{24}^{10} (mm)	Latitud (°S)	Q_{10} (m³/s)
Río Salado AJ Curti	527,3	25,7	22,279	9,56
Río Toconce antes represa Sendos	156,3	40,6	22,277	7,31
Río San Pedro en Parshall N°2	1250,3	21,3	21,945	10,37
Río San Pedro en Parshall 1	1156,9	20,7	21,969	10,53
Río Loa antes de represa Lequena	2053,3	27,4	21,655	9,12
Río Salado AJ Loa	2389,8	17,8	22,355	10,13
Río Loa en Salida embalse Conchi	5503,2	14,1	22,027	10,76
Río Loa en Yalquincha	9113,9	7,2	22,445	11,21
Río Loa antes zona agrícola Quillagua	23950,0	0,5	21,715	17,24

Fuente: Elaboración propia con metodología GORE Antofagasta (2020)

De la Tabla 2-9 y Tabla 2-10 se extrae que, en general, a medida que disminuye la elevación, el caudal medio diario máximo de periodo de retorno 10 años aumenta. Así, para sectores altos como Loa Alto, Salado y San Pedro, los Q_{10} son menores, mientras que para sectores bajos como Quillagua aumenta. Sin embargo, esta metodología no considera la influencia que podría ejercer el embalse Conchi para regular eventos de crecidas, por lo que estos valores podrían ser menores a lo determinados, para los sectores medio y bajos de la cuenca.

2.2.4.1 Proyecciones 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, 2017a).

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

1. Respuesta regional a ambos modos globales de variabilidad climática: Esto considera que también interpretan a las forzantes climáticas: El Niño/Oscilación del Sur (ENSO) y el Modo Anular del hemisferio Sur (SAM), ambos asociados a la precipitación.

2. Sensibilidad Climática: El grado de respuesta de los modelos antes las variaciones de temperatura y de concentraciones de CO2. Hay modelos con distintas sensibilidades.

3. Cambios regionales: Se evaluaron los cambios en las forzantes de precipitación y temperatura para el escenario RCP 8.5 en la ventana 2030-2060 respecto de la línea base. Se buscaron entonces modelos que cubrieran una gama de variaciones.

Siguiendo estos 3 criterios, 4 modelos fueron seleccionados para el estudio, los cuales se presentan en la Tabla 2-11. Como se puede ver, los modelos agrupan 4 condiciones de sensibilidad, desde una baja extrema hacia una alta extrema.

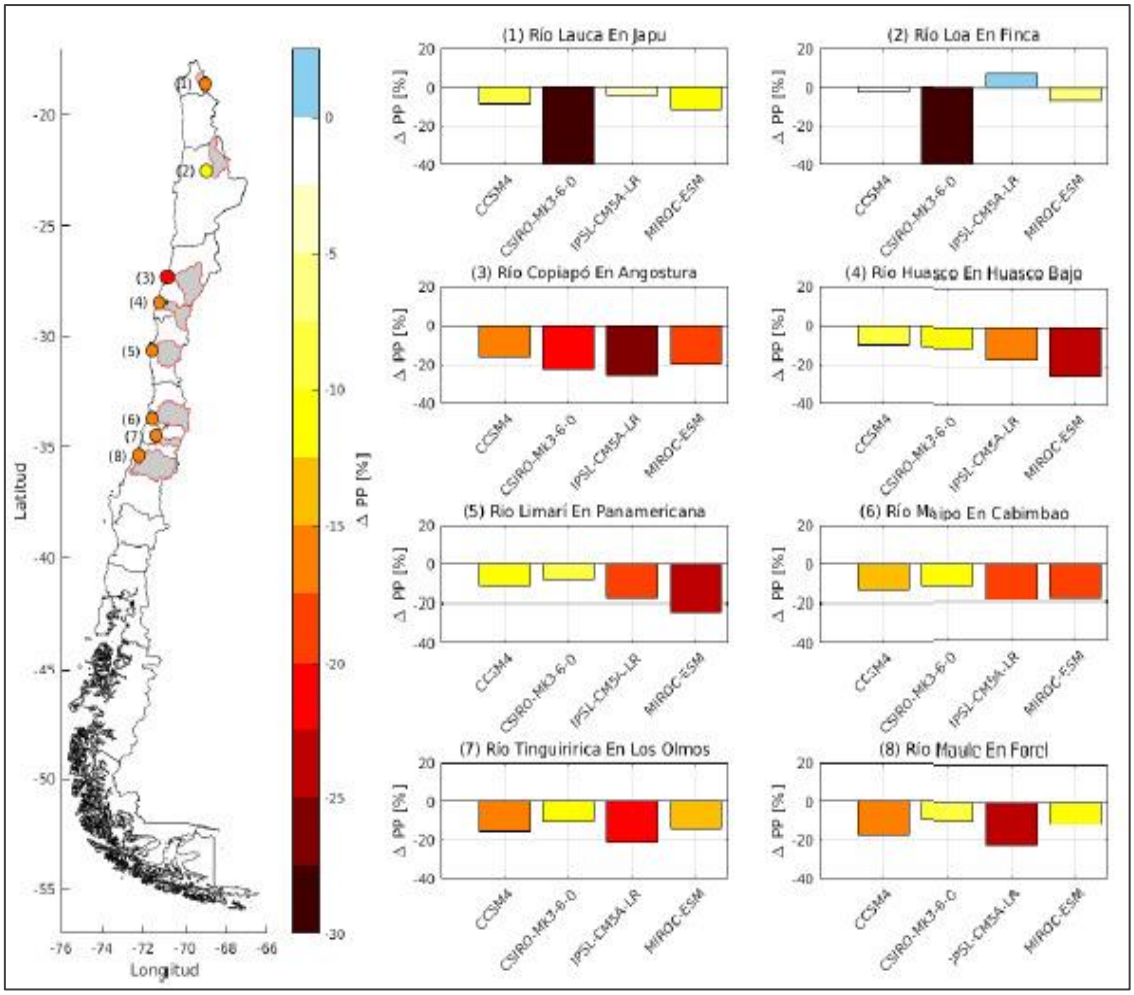
Tabla 2-11: MCG seleccionados para representar proyecciones de cambio climático

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

Fuente: DGA (2017a)

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 (ver Figura 2-23).

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



Fuente: DGA (2017a)

Figura 2-23: Cambios relativos en precipitación media anual proyectada para el periodo futuro (2030-2060) respecto a línea base (1985-2015)

Por tanto, se debe entender que cada cuenca representa un sistema único donde el comportamiento de los modelos MCG escogidos por DGA (2017a) pueden tener proyecciones muy distintas dependiendo de la ubicación geográfica en que éstos se encuentren.

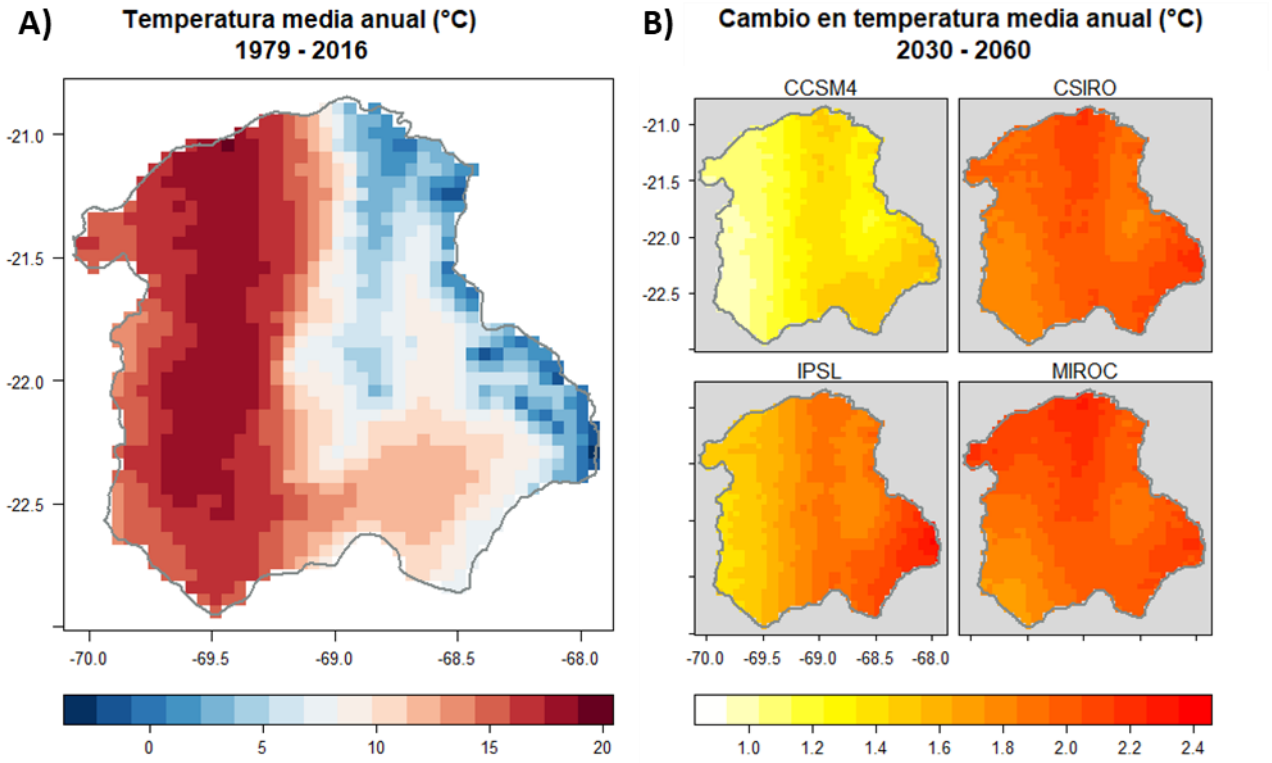
En el caso de la cuenca del río Loa, la Tabla 2-12 muestra las proyecciones hacia la ventana temporal 2030 – 2060, con aumentos en la temperatura entre 1,27 hasta 2 °C. Para las precipitaciones el modelo más pesimista pronostica disminuciones en la precipitación de hasta un -41,9%, mientras que los modelos optimistas llegan a aumentos de precipitación del 3,6% en promedio.

Tabla 2-12: Forzantes meteorológicas en escenarios de proyección de cambio climático en cuenca del río Loa

Variable	Histórico (1979 – 2016)	Modelos de circulación general (2030 – 2060)			
		CCSM4	CSIRO	IPSL	MIROC
Precipitación (mm)	26,21	25,30	15,24	27,16	23,87
Temperatura (°C)	11,76	13,03	13,72	13,52	13,76

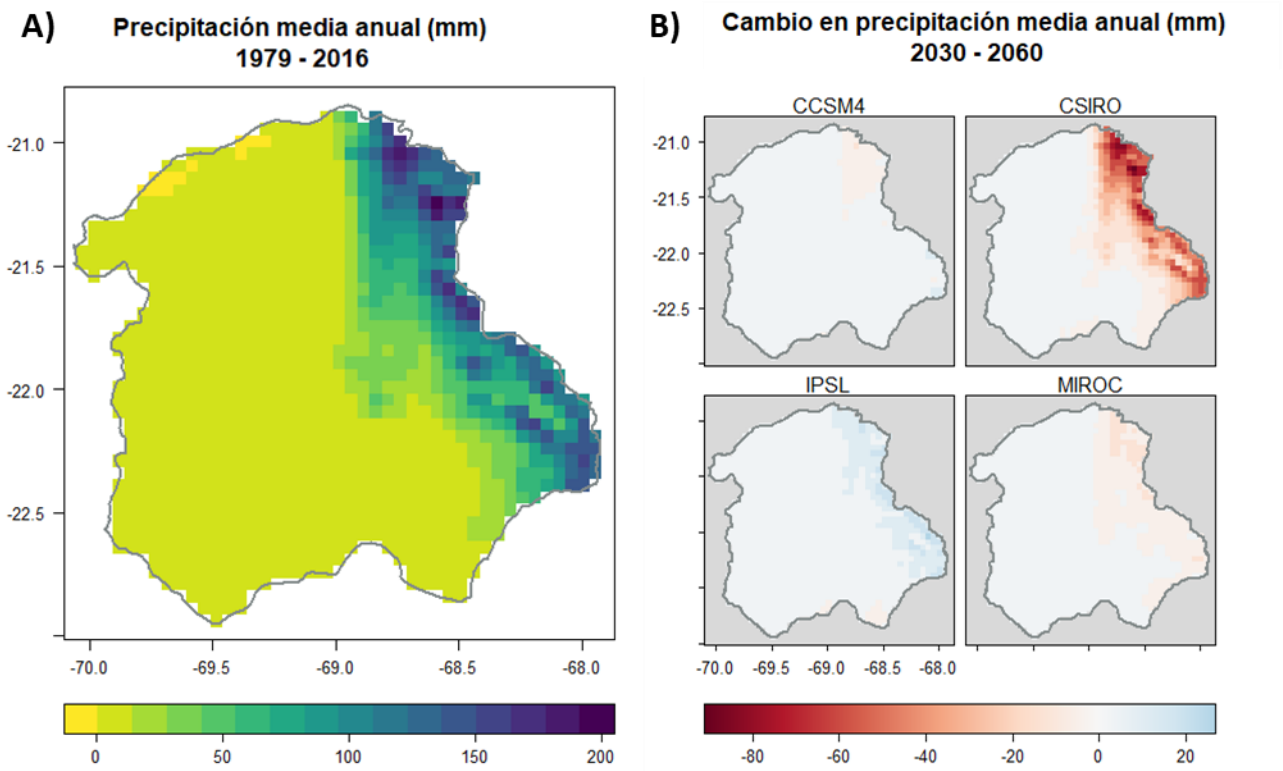
Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a)

Los resultados de la distribución espacial de temperatura y precipitación para el periodo histórico y las proyecciones de los MCG considerados se muestran en la Figura 2-25 y Figura 2-24, respectivamente.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a)

Figura 2-24: Distribución espacial de la temperatura media anual en periodo histórico (panel A) y cambio futuro según proyecciones de 4 MCG (panel B)



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2018a)

Figura 2-25: Distribución espacial de la precipitación media anual en periodo histórico (panel A) y cambio futuro según proyecciones de 4 MCG (panel B)

2.3 Dimensión Ambiental

2.3.1 Unidades Ecosistémicas

Al interior de la cuenca del río Loa encontramos tres figuras diferentes de áreas de protección correspondientes a: Sitios Prioritarios para la Conservación definidos por la Estrategia Regional de Biodiversidad de Antofagasta (MMA-TARAPACÁ, 2019); Sitios Prioritarios definidos por la Ley n°19.300 de Bases Generales de Medio Ambiente; Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE).

Los Sitios Prioritarios contemplados por la Estrategia Regional de Biodiversidad de Antofagasta se mencionan a continuación:

- **Sitio Prioritario Altos del Loa**: corresponde a 207.436,71 ha. en relación con la flora y vegetación, este sitio agrupa pisos vegetacionales correspondiente al Matorral bajo desértico tropical andino de *Atriplex imbricata* y *Acantholippia desertícola, Matorral bajo tropical andino de Fabiana denudata* y *Chuquiraga atacamensis*,

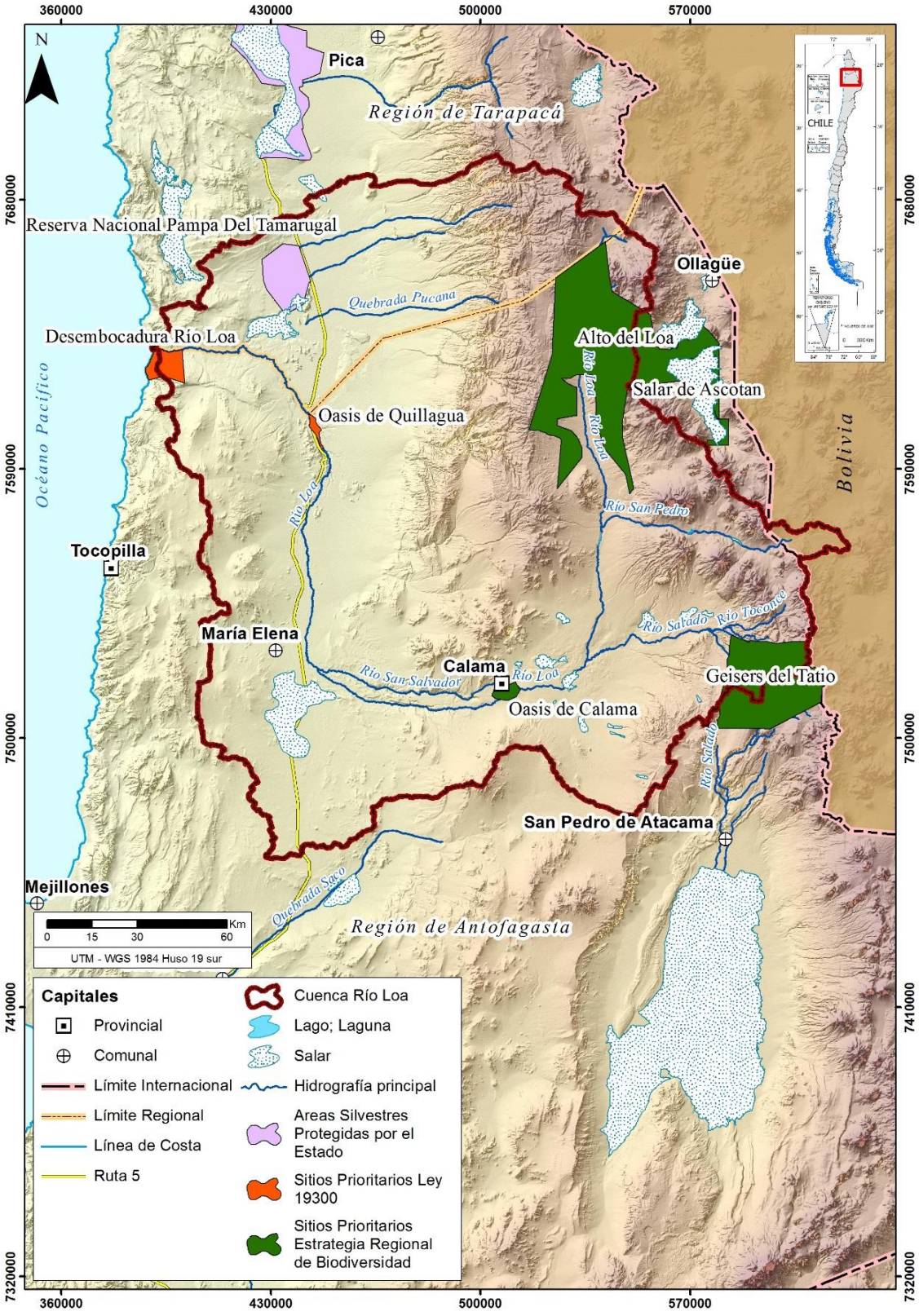
Matorral bajo tropical andino de *Fabiana squamata* y *Festuca chrysophylla*, Matorral bajo tropical andino de *Mulinum crassifolium* y *Urbania pappigera*. En relación con la fauna se registran especies de *Chloephaga melanoptera* (piuquén) y *Phoenicoparrus andinus* (parina grande)

- **Sitio Prioritario Geisers del Tatio**: con una superficie de 86.946,7 ha. su importancia tiene relación con la formación hidrogeológica de campo geotérmico el tercero en importancia en el mundo, además de encontrarse pisos vegetacionales de Matorral bajo desértico tropical andino de *Atriplex imbricata y Acantholippia desertícola,* Matorral bajo tropical andino de *Fabiana bryoides y Parastrephia quadrangularis*, Matorral bajo tropical andino de *Fabiana denudata y Chuquiraga atacamensis* y Matorral bajo tropical andino de *Mulinum crassifolium y Urbania pappigera.* Las especies de fauna predominante son *Chloephaga melanoptera* (piuquén) y *Fulica gigantea* (tagua gigante).
- **Sitio Prioritario Oasis de Calama**: corresponde a un área de 1.661 ha de Matorral bajo desértico tropical interior de *Adesmia atacamensis* y *Cistanthe salsoloides.*

Los Sitios Prioritarios determinados bajo artículo 11 de la Ley n°19.300 Sobre Bases Generales del Medio Ambiente son los siguientes:

- **Desembocadura río Loa:** forma parte importante del ecosistema de la única cuenca exorreica de la región, la cual es de suma importancia proteger, ya que corresponde a una zona de alto endemismo y al único corredor biológico que existe desde la puna a la costa. Los pisos vegetacionales corresponden a Desierto tropical interior con vegetación escasa, Matorral desértico tropical costero de *Ephedra breana* y *Eulychnia iquiquensis*, Matorral desértico tropical costero de *Nolana adansonii* y *N. lycioides*
- **Oasis de Quillagua:** importante sitio de paso de especies por la cuenca del río Loa, cumpliendo un importante rol de corredor biológico. Se pueden observar formaciones vegetales correspondientes a los pisos vegetacionales Desierto tropical interior con vegetación escasa, Matorral desértico tropical interior de *Atriplex atacamensis* y *Tessaria absinthioides.*

La ubicación de los sitios prioritarios en la cuenca, se muestran en la Figura 2-26.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-26: Sitios prioritarios en la cuenca del río Loa

Referente a áreas protegidas bajo la figura de SNASPE, en el área de estudio se encuentra una de las unidades que componen la Reserva Nacional Pampa del Tamarugal. Esta área protegida cuenta con una superficie total cercana a las 125.000 ha. Se ubica en una zona climática denominada como desierto absoluto, sin embargo, se presentan formaciones boscosas de tamarugo (*Prosopis tamarugo*) y algarrobo blanco (*Prosopis alba*). Sobre la fauna, destacan especies como el quique (*Galictis cuja*), el zorro culpeo (*Pseudalopex culpaeus*), el zorro chilla (*Lycalopex griseus*), el lagarto del desierto (*Microlophus tarapacensis*), y el comesebo de los tamarugos (*Conirostrum tamarugense, IC*). En el límite sur de la Reserva Nacional Pampa del Tamarugal se ubica el Salar de Llamara, de alta importancia e interés científico al ser una de cinco áreas conocidas a nivel mundial con presencia de estromatolitos (MMA-TARAPACÁ, 2019). Mayores antecedentes se presentan en el Anexo J-03 – Caracterización Ambiental.

Las áreas protegidas recién presentadas no tienen la totalidad de su superficie al interior de la cuenca del río Loa. Geisers de Tatio poseen el 45% de su superficie dentro de la cuenca, Alto del Loa el 80%, Desembocadura del río Loa el 71% y la Reserva Nacional Pampa del Tamarugal el 21%. Oasis de Calama y Oasis Quillagua poseen toda su superficie al interior de la cuenca estudio.

La significancia de estas cifras guarda relación con los elementos que poseen protección dentro del área de estudio, ya que, por ejemplo, si bien se caracterizó la Reserva Nacional Pampa del Tamarugal, poco más de su quinta parte está en la cuenca, por lo tanto, no hay un detalle mayor de que es lo protegido.

El sitio prioritario de Alto de Loa es el que posee mayor variedad de pisos vegetaciones, junto con los Geirses del Tatio, cada uno con 4 pisos vegetacionales. Lugares como el Oasis Calama y el Oasis Quillagua poseen su superficie dedicada a un único piso vegetacional prácticamente, señalando de esta manera como en el territorio donde se encuentra, la ubicación de este piso vegetacional es llamativa. Para información más detalla ir a Anexo J-03.

Cabe destacar que existe una biodiversidad que habita fuera de territorios bajo alguna medida de protección. Esta información se encuentra contenida más en detalle en el Anexo J-03 Caracterización ambiental, habiendo una caracterización de flora, mamíferos, reptiles y anfibios, donde se destacan especies como el *Microlophus atacamensis* o el *Telmatobius dankoi*.

2.3.2 Humedales

La zona altoandina se caracteriza por la existencia de vegas y bofedales con una "condición hídrica de saturación permanente" (CIREN, 2010). Son depositarios de una altísima biodiversidad de especies y presentan servicios ecosistémicos vitales para las comunidades indígenas ya que, son fuentes de agua y alimento para la actividad de forrajeo.

En la zona la mayoría de los cursos de agua son de tipo endorreicos, con presencia de salares. Solamente el río Loa constituye una cuenca exorreica cuya desembocadura alcanza el mar. En el área del Loa Superior los humedales se encuentran asociados a las nacientes, en esta zona el río no presenta prácticamente ningún escurrimiento de carácter superficial. Aguas abajo, lo que se denomina como Loa Intermedio, tiene una menor presencia de humedales respecto a zonas más altas, acá se observa escurrimiento superficial del río y se encuentra regulado por el Embalse Conchi (CIREN, 2010). En la cuenca del río Loa se presentan alrededor de 2.000 km² de acuíferos protegidos, considerando aquellos que alimentan directamente a vegas y humedales, como se grafica en la Figura 2-27.

Esta ecorregión denominada Puna Árida de Loa Andes Centrales, es una zona transfronteriza que se extiende por Chile, Perú, Bolivia y Argentina, cuyos humedales son valorados como ecosistemas estratégicos tanto por su diversidad como por sus servicios.

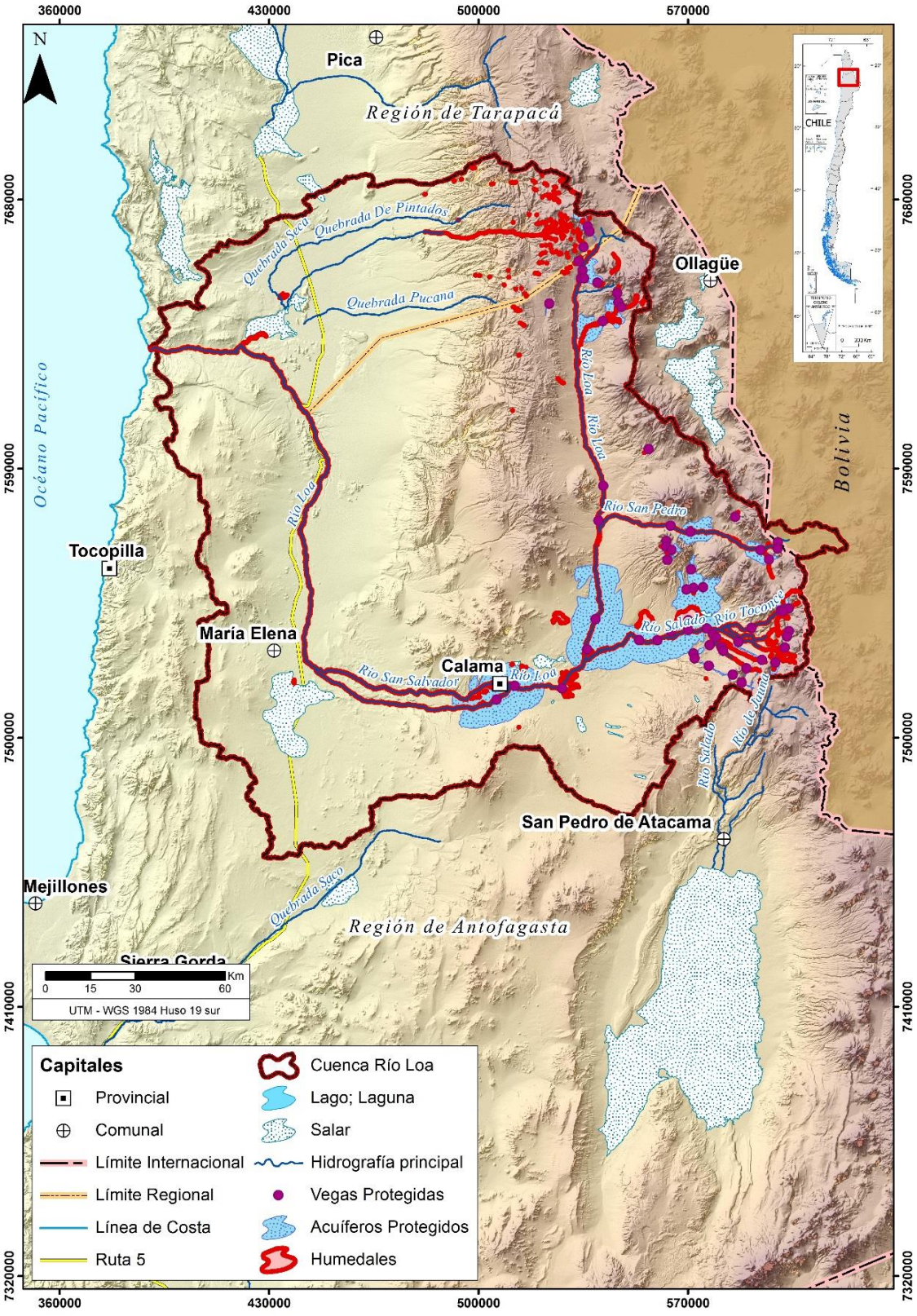
En la Tabla 2-13, se presenta un resumen de los humedales presentes en la cuenca del río Loa, según su localización respecto a subcuenca y subsubcuencas del BNA.

Tabla 2-13: Humedales en la cuenca del río Loa

Subcuenca	Subsubcuenca	Comuna	Comunidades indígenas	Humedales (n°)	Área Desarrollo indígena
Río Loa Alto (bajo junta río Salado)	Río Loa bajo junta Estero Chela (2100)	Calama / María Elena	Quechua de Ollagüe	10	Alto El Loa
	Río Loa entre Quebrada de Hachas y río San Pedro (2102)	Calama	Atacameña de Conchi Viejo	2	Alto El Loa
			Sector no ocupado Ollagüe-Chonchi Viejo	1	
	Río San Pedro (2103)	Calama	Atacameña de Cupo	2	Alto El Loa
			Atacameña de Toconce	5	

Subcuenca	Subsubcuenca	Comuna	Comunidades indígenas	Humedales (n°)	Área Desarrollo indígena
Río Loa Alto (bajo junta río Salado)	Río Loa entre río San Pedro y río Salado (2104)	Calama	Atacameña de Lasana	1	Alto El Loa
			Atacameña de San Francisco de Chiu Chiu	1	
	Río Salado (2105)	Calama	Atacameña de Cupo	5	Alto El Loa
			Atacameña de Toconce	7	
			Atacameña de Ayquina-Turi	8	
			Atacameña de Caspana	14	
Río Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera	Río Loa entre río Salado y río San Salvador (2110)	Calama; Sierra Gorda	Atacameña de San Francisco de Chiu Chiu	1	Alto El Loa
				2	Área de Calama

Fuente: Elaboración propia con antecedentes CIREN (2010)



Fuente: Elaboración propia en base a MMA (2020)

Figura 2-27: Ubicación de vegas protegidas y humedales en cuenca del río Loa

2.3.3 Glaciares

De acuerdo a la base de datos del Inventario Nacional de Glaciares de la DGA, en la zona se identificaron 2 tipos de glaciares: tipo rocoso y glaciarete. Los detalles de estos glaciares en términos de superficie, volumen de hielo y de agua almacenada se presentan en la Tabla 2-14, y su ubicación dentro de la cuenca en la Figura 2-28.

Tabla 2-14: Características de glaciares en área de estudio

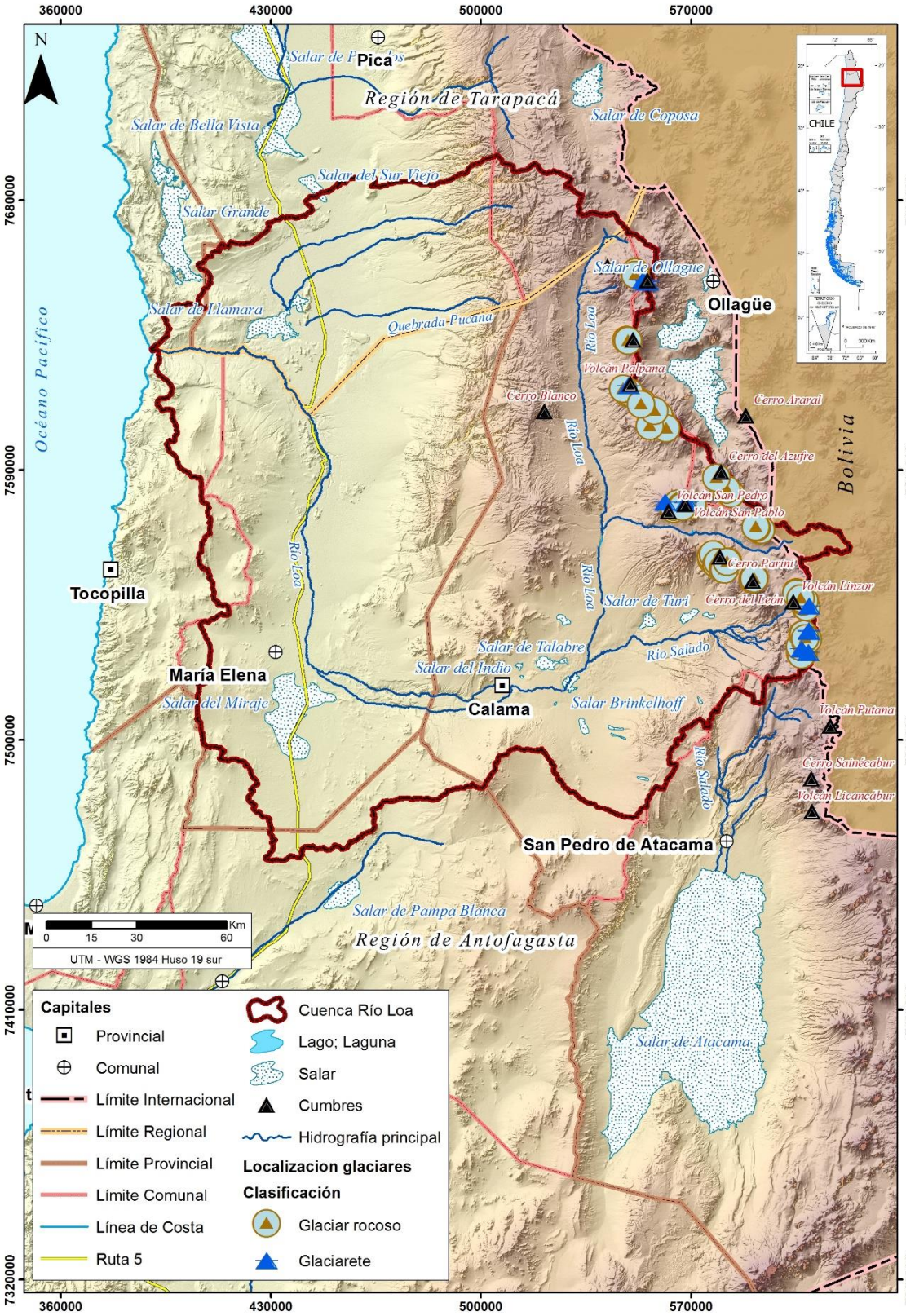
Tipo	Área (ha)	Vol (hm³)	Vol Agua (hm³)
Glaciar Rocoso	434,4	53,9	24,3
Glaciarete	31,0	2,7	2,4
Total	**465,4**	**56,6**	**26,7**

Fuente: Elaboración propia con antecedentes Mapoteca DGA

La información contenida en la Tabla 2-14 es diferente a la presentada en el estudio realizado por Garín (1987), donde se identifican glaciares a nivel regional, no disponiéndose de la distribución territorial. De hecho, a nivel regional establece un volumen de hielo de 5.110 hm³ y un volumen de agua de 4.090 hm³, es decir, en términos de volumen un lo reportado actualmente es un 1,1 % de lo reportado en 1987, lo que se reduce a un 0,7% en términos de volumen de agua.

De acuerdo a lo informado por el Laboratorio de Glaciología[3], "En la región de Antofagasta, prácticamente no hay glaciares, excepto unos pequeños campos de nieve ubicados cerca de la cumbre del volcán Llullaillaco (6.739 m s.n.m.) que fueron descritos originalmente por Lliboutry et al., (1957) y luego inventariados por Garín (1987). En esa zona también hay morrenas de la última glaciación, tal como las describió Grosjean et al., (1998). No obstante, según Schröder y Makki (2000) y Schröder y Schmidt (2000), en la actualidad no hay humedad suficiente en la cumbre como para que se formen glaciares y solo hay algunos neveros sin glaciares. Según el inventario de glaciares de la DGA, sin embargo, habría 7 pequeños cuerpos de hielo que fueron mapeados con imágenes satelitales."

[3] www.glaciologia.cl, revisado junio 2021.



Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2017c)

Figura 2-28: Ubicación de glaciares en la cuenca del río Loa

En los volcanes San Pedro y San Pablo, Payne (1998) describe un glaciar de roca activo que alcanza una altitud mínima de 4.525 m. Al respecto, el análisis de imágenes satelitales indica la presencia de solo dos glaciares rocosos en este complejo volcánico, ambos en la ladera SE del Volcán San Pedro, uno a continuación del otro, con un grado de superposición, y orientados hacia el S. El superior se extiende entre 4.904 y 4.749 m s.n.m. y presenta características morfológicas tanto en su superficie (cordones y surcos) como frontales (escarpe de derrumbamiento), las que evidencian actividad. El segundo se reconoce entre 4.764 y 4.647 m s.n.m., y sus características morfológicas indican inactividad, pudiendo ser catalogado de glaciar rocoso fósil o glaciar de escombros. Estos glaciares rocosos están dentro de la Zona 1 de Brenning et al. (2010). Otras formas reconocidas en las laderas de estos volcanes y que semejan glaciares rocosos, en realidad corresponden a pequeñas coladas de lava circunscritas a los faldeos volcánicos con el típico frente de derrumbamiento que caracteriza los talus rock glaciers criogénicos (Ferrando, 2017).

2.4 Infraestructura Hídrica

Se presenta a continuación una caracterización de la infraestructura hídrica existente en la cuenca. El análisis se presenta para la infraestructura para los servicios de agua potable en las zonas urbanas, agua potable rural, la infraestructura de riego actual, las obras de control de aluviones, aguas lluvias, tranques de relaves existentes y las redes de control.

2.4.1 Agua Potable Urbana

Los principales centros urbanos que se localizan en la cuenca del río Loa son abastecidos por la empresa Aguas de Antofagasta S.A. (ADASA), la que cuenta con dos sistemas de abastecimiento de agua que funcionan de manera independiente. El Sistema Norte abastece las demandas de las comunas de Antofagasta, Calama, Tocopilla, Mejillones y Sierra Gorda, además de un cliente industrial, Soquimich, empresa que entrega agua a María Elena. El otro sistema corresponde al Sistema Sur que abastece la comuna de Taltal. El sistema que interesa al presente estudio corresponde a una parte del Sistema Norte.

El Sistema Norte corresponde al conjunto de obras de captación, conducción, almacenamiento, tratamiento y distribución, que reúne las aguas superficiales provenientes de cuatro captaciones: la captación Toconce, ubicada en el río Toconce que recibe además los caudales provenientes de las captaciones Hojalar y Linzor; y las captaciones Lequena, Quinchamale y Puente Negro, ubicadas en el río Loa, las que conducen el caudal hasta la Planta de Tratamiento de Cerro Topater en Calama. A este sistema también pertenece la captación superficial de San Pedro, que pertenece a CODELCO. Estas aguas pueden ser ingresadas indistintamente a las Aducciones Lequena y/o Quinchamale, mediante

interconexiones hidráulicas que se construyeron para este propósito. En la Tabla 2-15 se muestran las características principales de las captaciones, además del destino del agua, y el medio de transporte: aducción o impulsión.

Tabla 2-15: Características principales de captaciones

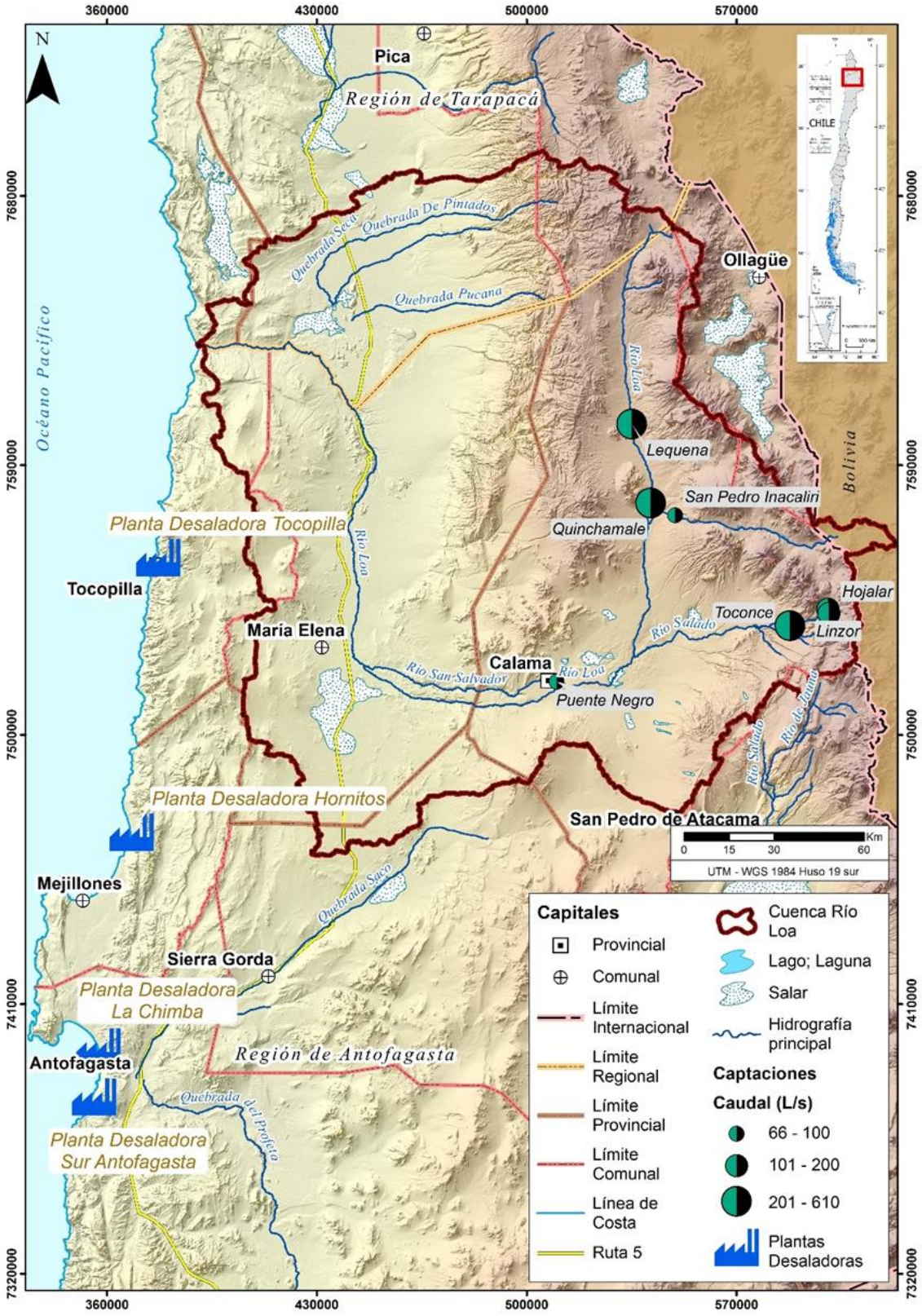
Captación	Caudal Máximo (l/s)	Volumen Disponible (m^3/año)	Conducción	Longitud (km)	Destino
Toconce	610	-	Aducción Toconce	90,2	Planta Cerro Topater
Lequena	576	-	Aducción Lequena	102,97	Planta Cerro Topater
Quinchamale	400	-	Aducción Quinchamale	74,7	Planta Cerro Topater
San Pedro	90	-	Aducción San Pedro	17,324	Embalse Conchi
Puente Negro	-	2.074.000	Impulsión San Pedro	0,173	Planta Cerro Topater
Linzor	178	-	-	-	Aducción Toconce
Hojalar	140	-	Aducción Hojalar	3,07	Planta Cerro Topater

Fuente: Elaboración propia con antecedentes ADASA (2019)

Desde el Estanque de Mezcla de las aguas crudas de la Planta de Tratamiento de Cerro Topater nace la Aducción Calama - Antofagasta, que conduce estas aguas crudas hasta las Plantas de Tratamiento de Agua Potable de Salar del Carmen. También, desde los Estanques de Regulación de Agua Potable de la Planta de Tratamiento Cerro Topater nace la Aducción Calama -Tocopilla.

Se debe hacer notar que la captación San Pedro es de propiedad de CODELCO. Además, la aducción San Pedro y sus DAA fueron cedidos a ADASA por convenio del 10/01/1995 y un contrato permuta del 03/0/2001. Las aguas se pueden ingresar a las aducciones Lequena y/o Quinchamale mediante el uso de interconexiones hidráulicas construidas con ese fin.

La ubicación de las captaciones del Sistema Norte se muestra en la Figura 2-29. En esta misma figura se muestran las captaciones de agua para desaladoras asociadas a agua potable, las que se encuentran fuera de la cuenca. Las plantas desaladoras para agua potable se presentan en la Tabla 2-16, don se indican todas las desaladoras para agua potable a nivel regional.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-29: Ubicación de captaciones APU en la cuenca del río Loa

Tabla 2-16: Plantas desaladoras agua potable en la región

Nombre	Estado	Etapa desarrollo	Puesta en marcha	Capacidad (l/s)
Tocopilla	DIA aprobado	Factibilidad	2019	100
Antofagasta	DIA aprobado	Factibilidad	2018	600
Mejillones Planta Hornitos	EIA aprobado	Operando	2012	4,34
La Chimba	Operando	Operando	2003	850
Taltal	Operando	Operando	s/i	s/i

Fuente: Elaboración propia usando antecedentes de www.mineriaabierta.cl-

2.4.2 Sistemas de Saneamiento Rural (SSR)

El programa de SSR MOP, cuenta con 26 Sistemas de Saneamiento Rural[4] (incluyen agua potable y alcantarillado) existentes en la región, de los cuales, 6 se encuentran en la cuenca del río Loa y están activos. En la Tabla 2-17 se presentan las localidades que cuentan con servicio de SSR operativo. La ubicación de estos SSR en la cuenca se muestra en la Figura 2-30.

Tabla 2-17: SSR operativos en cuenca del río Loa

	Comuna	Sistema SSR	N° Arranques	N° de Beneficiarios	Abastecimiento	Evacuación
1	Calama	Chunchuri	98	295	ADASA	Pozos negros
2	Calama	Caspana	189	250	Captación Cerro Negro	Fosa séptica
3	Calama	Toconce	-	100	Aducción Linzor	Pozos negros y algunas fosas sépticas
4	Calama	Lasana	117	431	Aducción Linzor	Fosa séptica
		Chiu Chiu	184	1.200		Fosa séptica
5	María Elena	Quillagua	20	120	Camión aljibe	Fosa séptica

Fuente: DGA (2016b), en base a información DOH

[4] Anteriormente Sistemas de Agua Potable Rural (APR)



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-30: Servicios Sanitarios Rurales, cuenca del río Loa

2.4.3 Infraestructura de Riego

2.4.3.1 Canales

La infraestructura de riego en la Región se concentra principalmente en las comunas de Calama y San Pedro de Atacama. En Tabla 2-18 se presenta un resumen de la cantidad de sistemas de canales existentes en la cuenca del río Loa, basado en trabajos de terreno efectuados en el marco del estudio CNR (2017a).

Tabla 2-18: Caracterización sistemas de canales por sector de riego

Sector Riego	Tipo Canal	Cantidad	Longitud	
			(m)	(%)
Calama	Matriz	8	25.703,3	44%
	Derivado	11	15.826,7	27%
	Subderivado	7	9.028,0	16%
	Sub - Subderivado	10	7.515,8	13%
	Total	36	58.073,8	100%
Yalquincha	Matriz	2	8.756,0	100%
	Derivado	0	0,0	0%
	Subderivado	0	0,0	0%
	Sub - Subderivado	0	0,0	0%
	Total	2	8.756,0	**100%**
Ayquina	Matriz	2	1.022,5	100%
	Derivado	0	0,0	0%
	Subderivado	0	0,0	0%
	Sub - Subderivado	0	0,0	0%
	Total	2	1.022,5	**100%**
Lasana-Chiu Chiu	Matriz	9	31.820,4	82%
	Derivado	6	6.040,7	16%
	Subderivado	2	730,1	2%
	Sub - Subderivado	0	0,0	0%
	Total	17	38.591,3	**100%**
Paniri	Matriz	2	1.495,7	100%
	Derivado	0	0,0	0%
	Subderivado	0	0,0	0%
	Sub - Subderivado	0	0,0	0%
	Total	2	1.495,7	**100%**
Turi	Matriz	1	4.810,2	78%
	Derivado	3	1.169,3	19%
	Subderivado	1	225,3	4%
	Sub - Subderivado	0	0,0	0%
	Total	5	6.204,9	**100%**

Fuente: CNR (2017a)

El Estado de conservación de los canales que componen la red de canales se presenta en la Tabla 2-18. La categoría de conservación consideradas por CNR (2017a) para la descripción de los canales catastrados se fundamentó en las siguientes categorías:

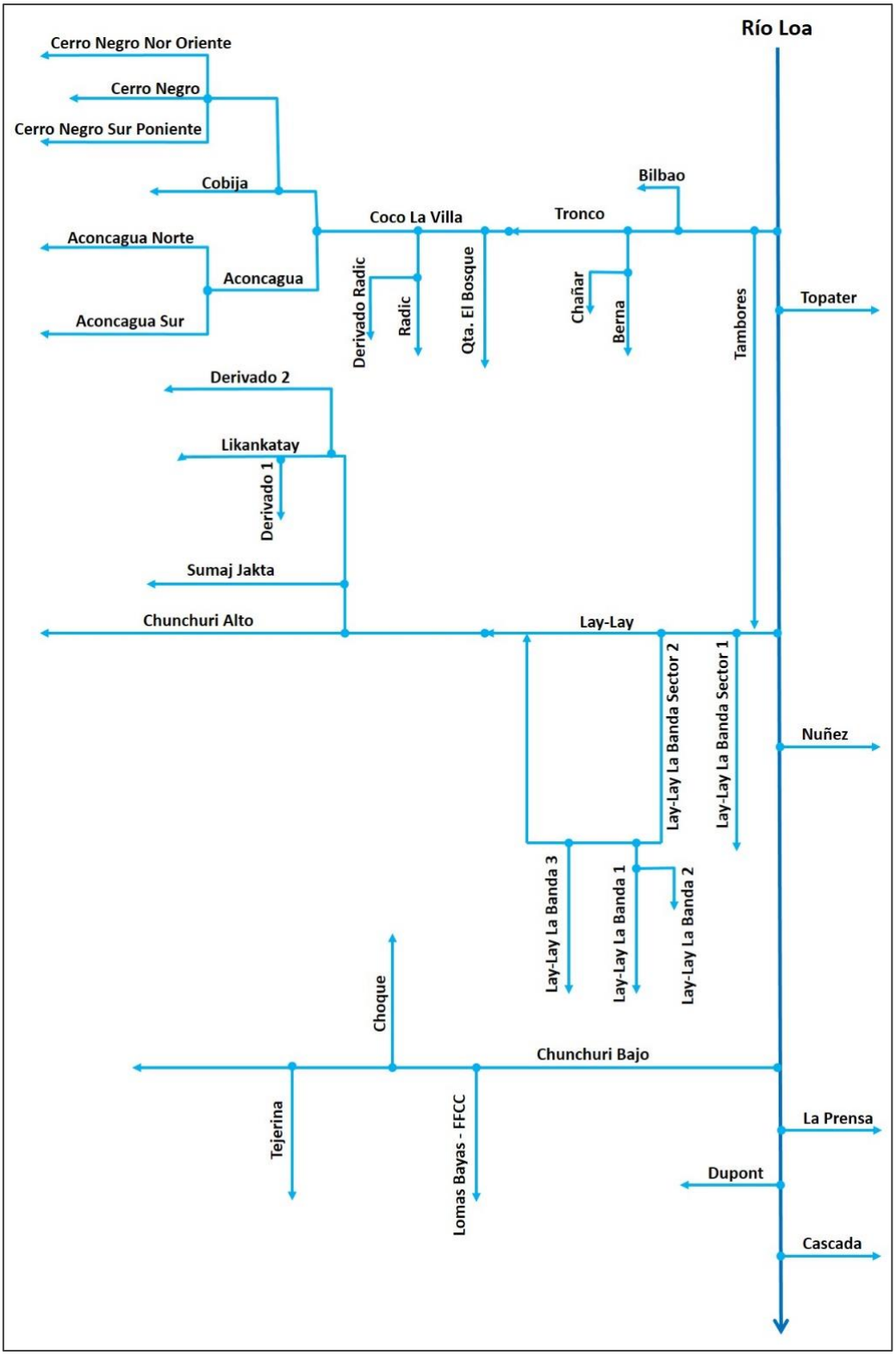
- Buena: canales con una sección definida, sin grietas ni filtraciones, poca o nula vegetación en su interior, materiales de construcción en buen estado;
- Regular: Canal sin filtraciones, puede presentar algún tipo de deformación el acápite, grietas superficiales, poca o abundante vegetación en su interior, sedimentación que permita el flujo de agua, materiales de construcción en regular estado;
- Malo: Canales que pueden presentar filtraciones evidentes, sin una sección definida, materiales de construcción en mal estado, abundante vegetación en el interior que dificulte el flujo hídrico, presencia de derrumbes.

Tabla 2-19: Estado de canales por sector de riego en cuenca del río Loa

Sector de riego	Tipo de Revestimiento	Longitud (m)		
		Bueno	**Malo**	**Regular**
Calama	No impermeabilizado	555,1	5.663,2	1.809,6
	Impermeabilizado	41.905,4	1.934,6	0,0
Yalquincha	No impermeabilizado	0,0	4.420,8	125,8
	Impermeabilizado	2.241,8	1.394,0	573,6
Ayquina	No impermeabilizado	0,0	0,0	0,0
	Impermeabilizado	125,3	897,1	0,0
Lasana – Chiu Chiu	No impermeabilizado	0,0	1.487,4	287,2
	Impermeabilizado	29.770,2	2.504,3	4.542,2
Paniri	No impermeabilizado	0,0	0,0	0,0
	Impermeabilizado	723,8	750,5	21,4
Turi	No impermeabilizado	6,1	104,6	77,7
	Impermeabilizado	4.774,0	135,9	1.295,0

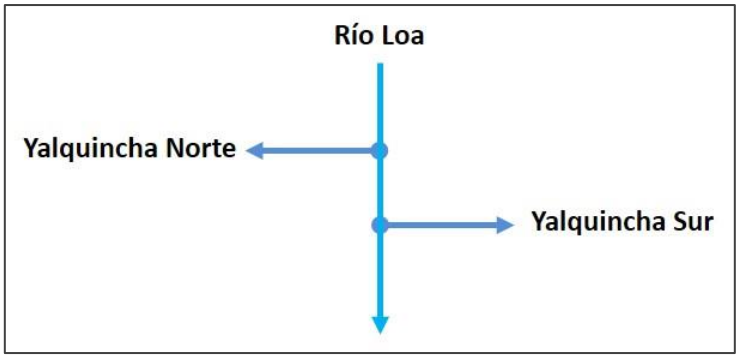
Fuente: CNR (2017a)

En Figura 2-31, Figura 2-32, Figura 2-33, Figura 2-34 y Figura 2-35, se muestran diagramas unifilares de los sistemas presentes en cada sector indicado en la Tabla 2-18 (se excluye Paniri, ya que son 2 canales independientes).



Fuente: CNR (2017a)

Figura 2-31: Detalle Unifilar Sistemas de Canales sector de riego Calama



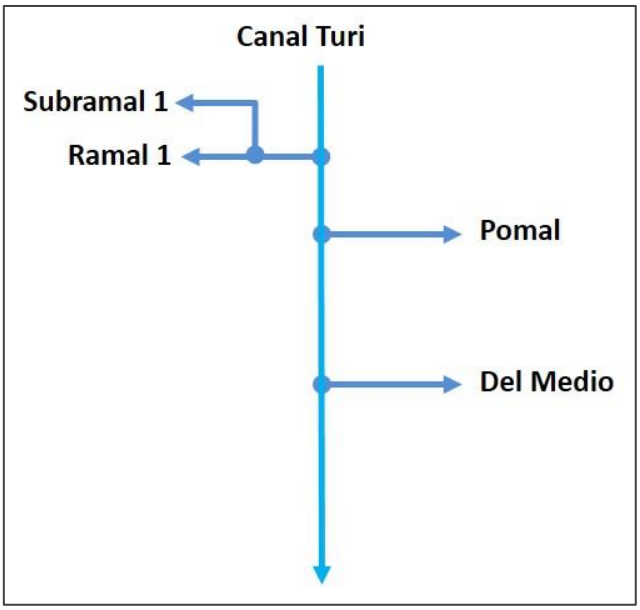
Fuente: CNR (2017a)

Figura 2-32: Detalle Unifilar Sistemas de Canales sector de riego Yalquincha



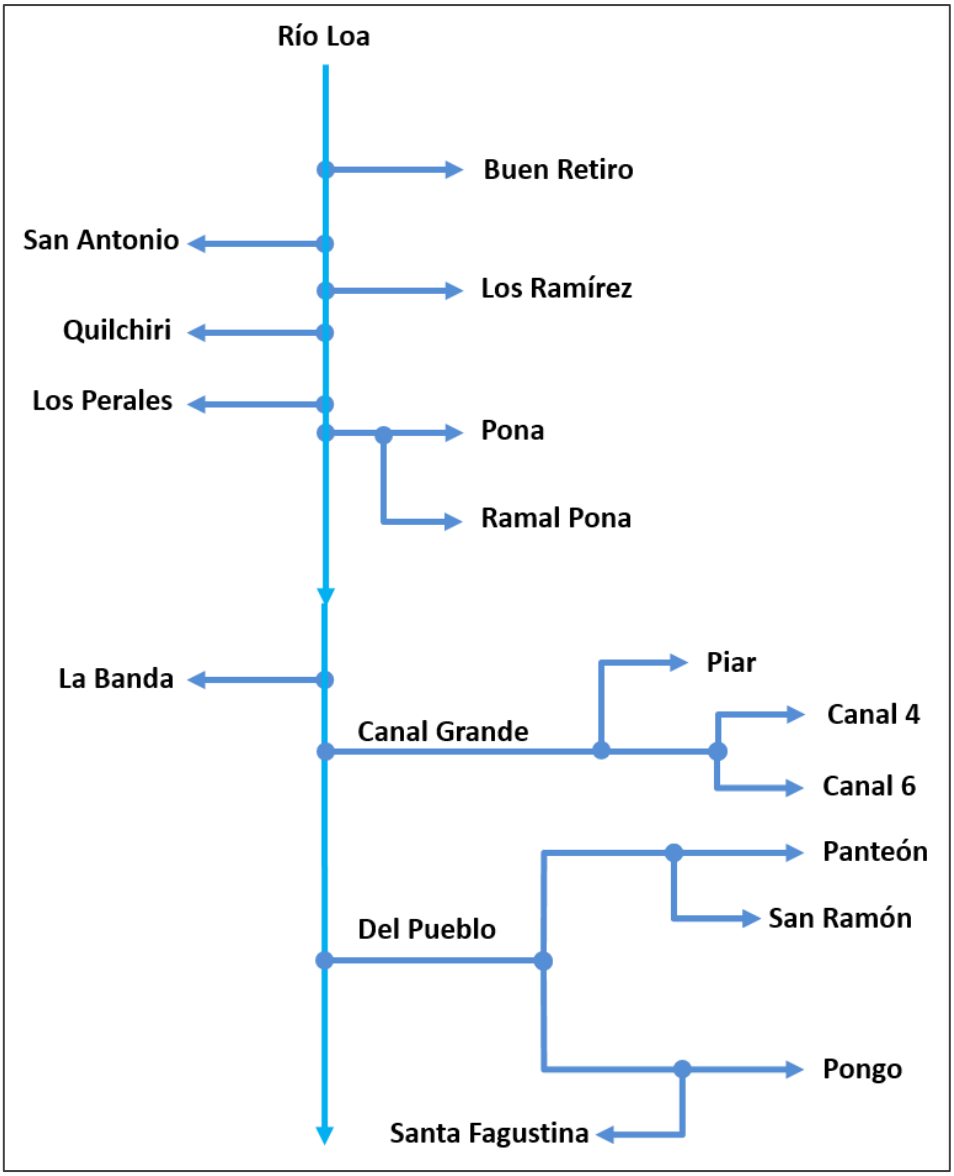
Fuente: CNR (2017a)

Figura 2-33: Detalle Unifilar Sistemas de Canales sector de riego Ayquina



Fuente: CNR (2017a)

Figura 2-34: Detalle Unifilar Sistemas de Canales sector de riego Turi



Fuente: CNR (2017a)

Figura 2-35: Detalle Unifilar Sistemas de Canales sector de riego Chiu Chiu

2.4.3.2 Obras de Acumulación

a) Embalse Conchi

Respecto a obras de acumulación, en la cuenca se cuenta con un embalse de importancia, el embalse Conchi. Este se encuentra ubicado en la comuna de Calama, en el curso del río Loa situado a 3.000 m s.n.m. y 68 km al nororiente de la ciudad de Calama, en el sector conocido como estación Conchi, tal como se indica en el estudio DOH (2015), usado como fuente de información de este acápite. Su ubicación se muestra en la Figura 2-36.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-36: Obras de control en cuenca del río Loa

El elemento de contención del embalse consiste en un muro de enrocado con una pantalla de impermeabilización hecha de hormigón en el talud de aguas arriba, tiene una altura máxima de 66 m, lo que le da una capacidad de 22 hm³, inundando un área de 134 ha en una longitud de 5 km. Las obras de toma consisten en una torre de 9,5 m de alto conectada al túnel de entrega que tiene una longitud de 220 m. El vertedero del tipo frontal ubicado en el estribo izquierdo cuenta con una compuerta radial.

En la Tabla 2-20 se presenta un resumen de las características del Embalse Conchi.

Tabla 2-20: Resumen de características principales Embalse Conchi

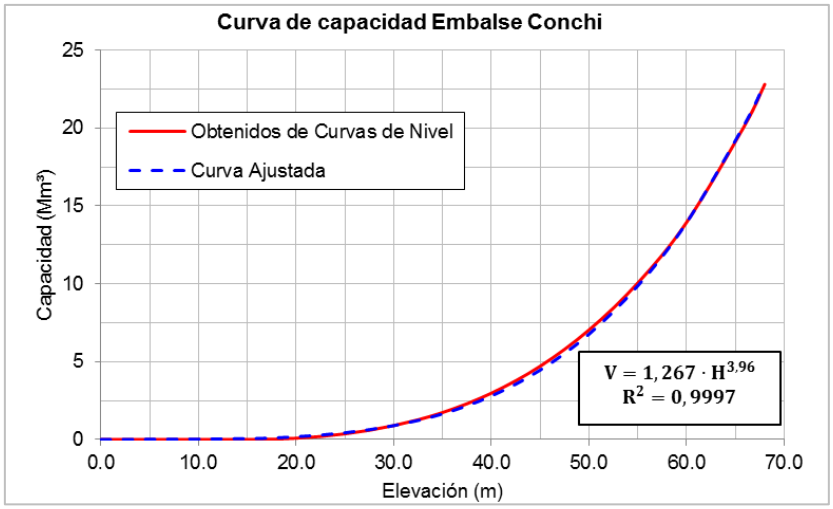
Ubicación:	II Región de Antofagasta
Ciudad más cercana:	Calama
Río:	Loa
Periodo de construcción:	Diciembre 1969 – Septiembre 1975
Tipo de presa:	Enrocado con pantalla de hormigón
Material de fundación:	Fluvial y roca.
Impermeabilización fundación:	Muro cut-off base de hormigón, tratamiento superficial y profundo.
Material de estribo Izquierdo:	Roca
Impermeabilización estribo Izquierdo	Inyecciones de impermeabilización y consolidación
Material de estribo Derecho:	Roca
Impermeabilización estribo Derecho	Inyecciones de impermeabilización y consolidación
Instrumentación:	Aforadores de filtración Monolitos de control
Altura máxima:	66,0 m
Altura de aguas máxima:	64,7 m
Cota coronamiento:	2.988,0 m s.n.m.
Longitud de coronamiento:	200,0 m
Ancho de coronamiento:	6,0 m
Talud aguas arriba:	1(V):1,5(H)
Talud aguas abajo:	1(V):1,5(H)
Volumen del muro:	506.000 m^3
Capacidad embalse:	22.000.000 m^3

Fuente: DOH (2015) con antecedentes IDIEM (2000)

El Embalse Conchi cuenta con un vertedero y un rápido de descarga para aliviar eventuales crecidas de carácter hidrológico que lo afecten. El rápido de descarga tiene una capacidad de 140 m^3/s y se desarrolla en 125 m de largo con un canal de 3,25 m de ancho y altura variable, terminando en un trampolín que lanza el agua a distancia, disipándose la energía por el choque sobre el lecho del río. Al inicio del rápido de descarga se encuentra una

compuerta radial que permite regular los caudales que se evacuarán ante una eventual crecida.

En la Figura 2-37 se presenta la curva de capacidad del Embalse Conchi.



Fuente: DOH (2015)

Figura 2-37: Curva de Capacidad del Embalse Conchi

Tal como se indica en el Anexo J-04, este embalse tiene problemas de seguridad, por lo que su capacidad debería limitarse a 14 hm³. Posteriormente como parte de la modelación, en el capítulo 5 se desarrolló el escenario de gestión ECC 3, donde se analiza el efecto de limitar el volumen máximo del embalse a 14 hm³, volumen que sería el máximo aceptable para el embalse de modo que se cumplan los criterios de seguridad de la DGA.

b) Represa El Salado – CODELCO

En el curso del río Salado, 2 km aguas arriba de la confluencia del río Toconce-Hojalar con el río Salado, CODELCO opera una represa para captar las aguas del río, y conducirlas mediante tubería hacia Chuquicamata. En el río Hojalar, CODELCO deriva aguas hacia esta represa mediante un túnel de conducción.

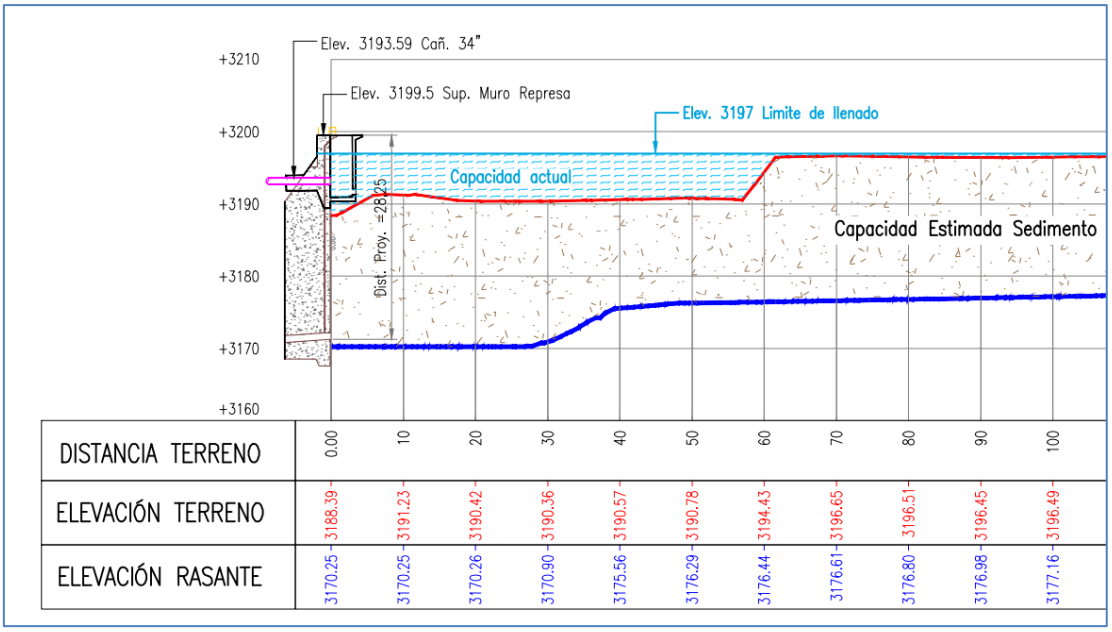
La construcción de la represa El Salado fue producto de la colaboración entre el Estado de Chile y la Chile Exploration Company con el fin de satisfacer intereses públicos y privados. El estado de Chile definió como relevante, por los años 1930, desviar las aguas salobres del río Salado antes de su confluencia con el río Loa, de modo de no aumentar la salinidad de este último y, a consecuencia de ello, limitar su uso para cultivo de alfalfa y maíz. A su vez, Chuquicamata evaluaba un proyecto para la extracción de cobre que requería mayor cantidad de agua, bien escaso en la región. Es así como, para la ejecución de su proyecto, la cuprífera propone al Estado de Chile realizar a su costo una represa y una gran aducción

de modo de impedir el paso de las aguas del río Salado hacia el punto en que éste se junta con el agua del río Toconce (y por ende el río Loa), con la condición de que se le permitiera utilizar dichas aguas en el proceso productivo de Chuquicamata (CODELCO, 2018).

Las características de la represa El Salado, al momento de su construcción, eran las siguientes:

- Altura geográfica: 3.200 m s.n.m.
- Altura Máxima: 34 m
- Longitud de coronamiento: 22 m
- Capacidad de Embalse: 210.000 m^3

En la actualidad y casi después de 66 años desde su entrada en operación, la represa sigue cumpliendo sus funciones de almacenamiento y captación de las aguas salobres del río Salado, para ser conducidas a través de una aducción hacia el proceso productivo de Chuquicamata. Sin embargo, durante este período también, como en todas las represas, se ha producido un lento proceso de sedimentación en el embalse, llegando a un límite en el cual la capacidad de embalsamiento ha disminuido a menos de un 5% de su capacidad original (ver Figura 2-38), por lo que Codelco ha previsto extraer los sedimentos depositados aguas arriba de la represa y así restituir la capacidad original de ésta (CODELCO, 2018).



Fuente: CODELCO (2018)

Figura 2-38: Perfil sector muro represa El Salado

Se debe hacer notar que esta no es una obra de riego, pero como uno de sus efectos es disminuir el efecto de aguas salobres en la agricultura fue incluido en este acápite.

2.4.4 Aguas Lluvias

De acuerdo a lo presentado en el estudio DirPlan (2012), los antecedentes de aguas lluvias disponibles en la cuenca del río Loa corresponden principalmente al estudio de la Dirección de Obras Hidráulica denominado Plan de Aguas Lluvias para la ciudad de Calama, en lo que sigue Plan Maestro. En este estudio se concluyó que la ciudad no presenta problemas graves relativos a inundaciones, dada la baja frecuencia, ocurrencia y magnitud de las lluvias. No obstante identificarse problemas puntuales en sectores bajos sin salidas

Para el desarrollo del Plan Maestro, se realizó una restitución aerofotogramétrica, un catastro de obras en el acápite del río Loa, un análisis sedimentológico, un catastro de extracción de áridos y una identificación de las vías principales de escurrimiento con un posterior estudio hidrológico. Con toda esta información, se obtuvo el patrón de drenaje del área de estudio, la caracterización del uso actual y futuro del suelo urbano, y un diagnóstico y soluciones de los problemas de inundación por aguas lluvias.

Para construir el Plan Maestro, se construyó el patrón de drenaje de la cuenca aportante del Loa, un análisis geomorfológico del cauce, y luego la identificación de los problemas provocados en las obras afectadas por el río. En la Tabla 2-21 se presenta el catastro de los sectores con problemas que fueron identificados en el Plan Maestro, y que a la fecha del estudio DOH (2014) continuaban vigentes, esperando algún tipo de solución. Luego de la identificación y análisis económico de los problemas y las soluciones propuestas, se realizó una priorización de las obras planteadas. No se dispone de la ubicación de estas obras, por lo que no es posible presentar esta información en forma gráfica.

Tabla 2-21: Sectores críticos inundaciones del río Loa

Sectores Críticos del río Loa	Ubicación
SCL 1	Alcantarilla Vial Yalquincha
SCL 3	Pretil de Emergencia
SCL 4	Puente Topater
SCL 7	Parque El Loa
SCL 8	Puente Núñez
SCL 9	Finca Núñez
SCL 10	Camino Ojos de Opache

Fuente**:** DOH (2004), citado en DOH (2014)

2.4.5 Infraestructura Hidroeléctrica

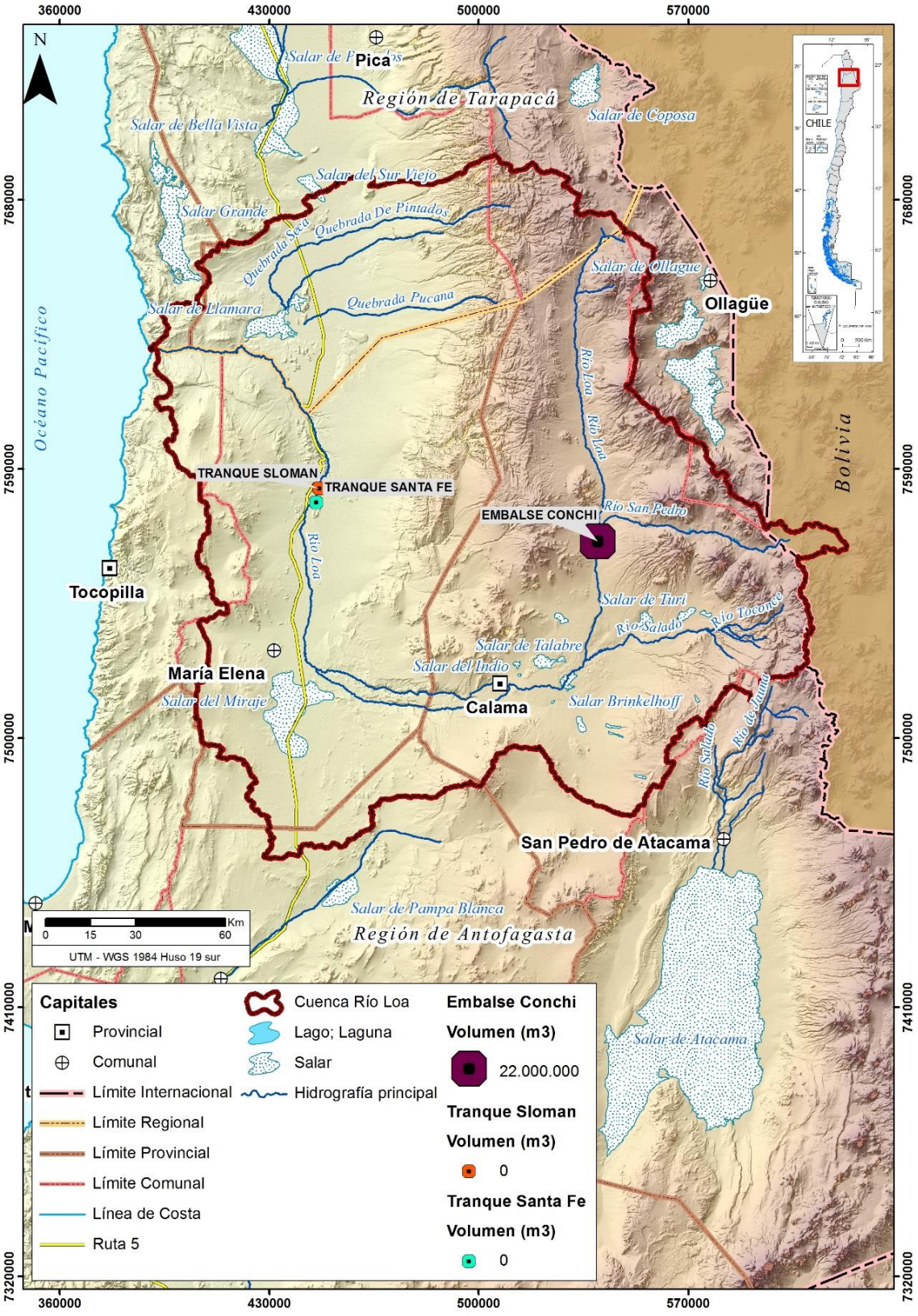
a) Tranque Santa Fe

Represa construida en el río Loa el año 1901, en pleno desierto de Atacama, en la comuna de María Elena. Se construyó dándole una caída de 7 m de altura que permitía hacer funcionar dos turbinas con una potencia de 220 HP. Con la energía que producía esta planta hidroeléctrica sirvió para hacer funcionar un ferrocarril eléctrico, también el primero que usó esta energía en las faenas mineras. Actualmente su infraestructura se encuentra desmantelada, quedando solamente la barrera en el río, con su cubeta totalmente colmatada.

b) Tranque Sloman

El Tranque Sloman es una represa hidroeléctrica construida en el curso del río Loa, en pleno desierto de Atacama, en la comuna de María Elena. El proyecto fue gestionado en 1905 por Henry B. Sloman, un empresario salitrero proveniente de Hamburgo, Alemania, que buscaba dotar de energía eléctrica a las maquinarias y campamentos de las oficinas salitreras Buena Esperanza, Rica Aventura, Prosperidad, Grutas y Empresa. Comenzó a funcionar en el año 1911, con un murallón de piedra canteada de 35 m de alto y un embalse de cerca de 2 km de longitud, que también suministró agua a las oficinas salitreras mencionadas. Cesó sus funciones en 1965 y en la actualidad, pese a que regula las aguas del valle de Quillagua, se encuentra en un considerable estado de abandono y sedimentación. El Tranque Sloman fue declarado Monumento Histórico por Decreto Supremo el 15 de enero de 1980.

La ubicación de esta infraestructura se presenta en la Figura 2-39.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-39: Infraestructura Hidroeléctrica en la cuenca del río Loa

2.4.6 Tranques de Relave

La información disponible como Catastro de Depósitos de Relaves en Chile[5] identifica dentro de la cuenca del río Loa a 10 instalaciones clasificadas como: 3 activas, 2 abandonadas y el resto inactivas, según se muestra en la Tabla 2-22. La ubicación de estas obras se muestra en la Figura 2-40.

Tabla 2-22: Antecedentes tranques de relave cuenca del río Loa

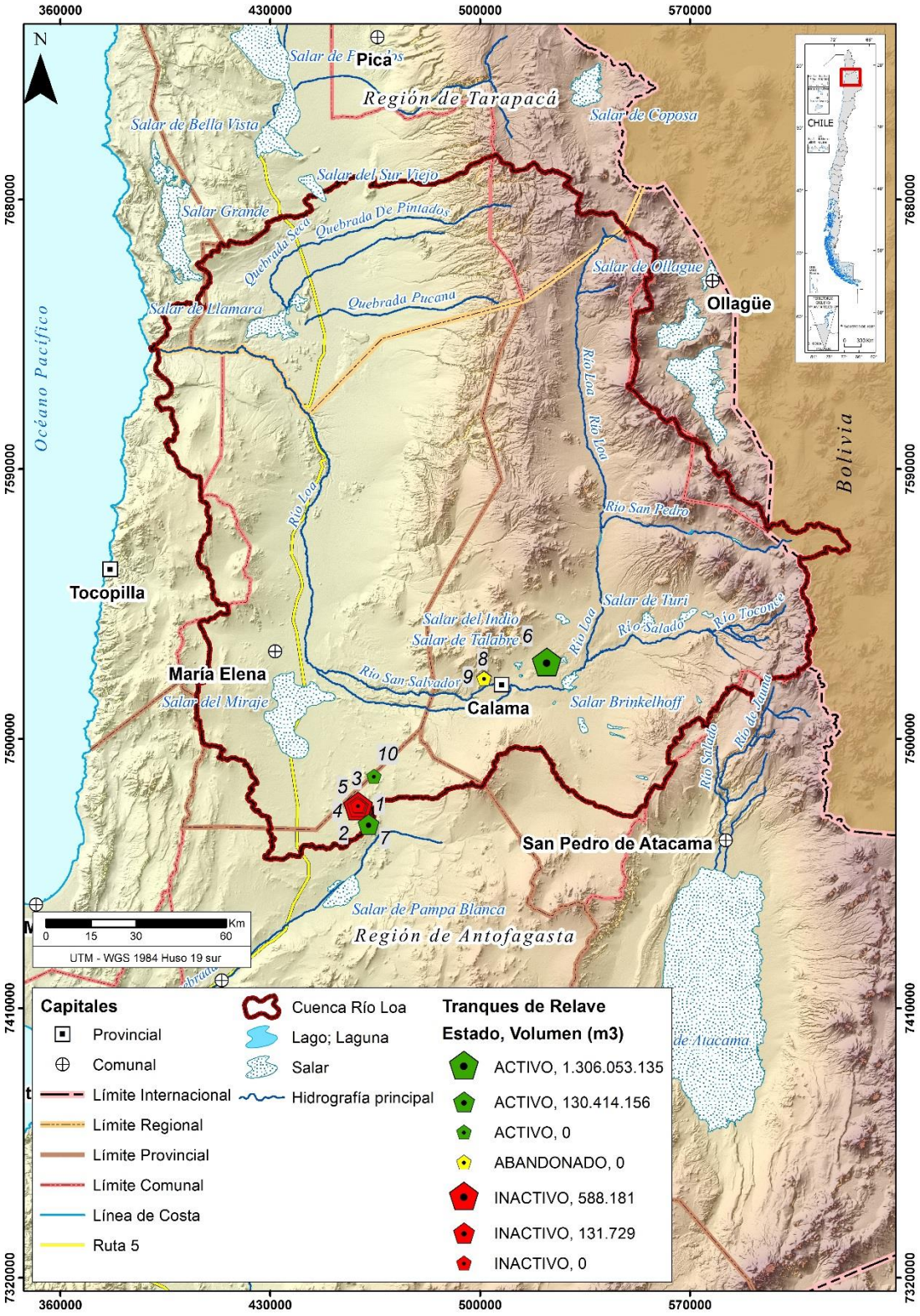
#	Comuna	Nombre	Tipo	Recurso	Estado
1	Sierra Gorda	Tranque 1	Tranque de Relave	Cobre	Inactivo
2	Sierra Gorda	Tranque 4	Embalse	Cobre	Inactivo
3	Sierra Gorda	Depósito 5	Embalse	Cobre	Inactivo
4	Sierra Gorda	Tranque 2	Embalse	Cobre	Inactivo
5	Sierra Gorda	Tranque 3	Embalse	Cobre	Inactivo
6	Calama	Talabre	Tranque de Relave	Cobre-Molibdeno	Activo
7	Sierra Gorda	Sierra Gorda	Espesado	Cobre	Activo
8	Calama	Tranque de Relave	Tranque de Relave	Cobre	Abandonado
9	Calama	Tranque de Relave 2	Tranque de Relave	Cobre	Abandonado
10	Sierra Gorda	Spence	Tranque de Relave	Cobre	Activo

Fuente: Elaboración propia con antecedentes SERNAGEOMIN

De las obras indicadas en la Tabla 2-23, el tranque Talabre es la más importante. Se localiza 9 km al sureste de Chuquicamata, 9 km al noreste de Calama y 5 a km de Chiu Chiu. Tiene una superficie actual de 62 km² de un total de 136 km².

Mayores detalles de los tranques se presentan en el Anexo J-05, donde se presenta el extracto de la base datos del SERNAGEOMIN para el territorio dde interés.

[5] https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2020/08/CDR_CHILE_10_08_2020.xls



Fuente: Elaboración propia con antecedentes SERNAGEOMIN

Figura 2-40: Ubicación Tranques de Relave de la cuenca del río Loa.

2.4.7 Infraestructura de Defensas Fluviales y Ribereñas

Tal como se indica en el estudio DirPlan (2012), se identificarn 36 obras, principalmente puentes, alcantarillas, badenes, bocatomas, entre otras. No *disponiéndose de su ubicación, por lo que no es posible presentar esta información en forma gráfica*. Se hace notar que la mayor parte de las obras de manejo de cauces se ubican en los sectores del Oasis de Calama y Quillagua en la cuenca, principalmente en la forma de defensas fluviales en base a gaviones, encauzamiento de cauces o enrocados. Determinándose que estas obras no son suficientes ya que se requieren estudios complementarios de manejo de cauces, con el fin de definir propiamente el tipo de protección, tamaño y ubicación.

Se hace notar que el desarrollo de este estudio no se identificó información actualizada en relación a este tipo de infraestructura.

2.4.8 Redes de Control

La Dirección General de Aguas (DGA) cuenta con una red de control que permite la caracterización y medición de los recursos hídricos en la región. Las redes de medición con que cuenta DGA corresponden a: Meteorológica; Control Fluviométrico; Control de Niveles de Aguas Subterráneas; Calidad de Aguas Superficiales y Sedimentos. Sumado a la red pública, en esta zona se localiza un gran grupo de estaciones que administran Empresas Privadas, en función del cumplimiento de compromisos de Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA).

2.4.8.1 Estaciones Meteorológicas

Se considera como la red de monitoreo meteorológico base de la cuenca del río Loa a la operada por DGA debido a la extensión temporal de sus registros y la cobertura territorial de sus estaciones.

a) Sector Público

Las variables de reportes meteorológicos que es posible consultar BNA de la DGA[6]: Temperaturas Medias Mensuales; Temperaturas Medias Diarias de Valores Sinópticos; Temperaturas Diarias Extremas; Precipitaciones Mensuales; Precipitaciones Máximas Anuales en 24 horas y Precipitaciones Diarias.

Del análisis de información se determina que la red posee 33 estaciones meteorológicas emplazadas dentro de la cuenca, de las cuales 26 de ellas se encuentran vigentes (79%) y 7 suspendidas (21%), que incluyen desde estaciones pluviométricas con registro manual

[6] https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes

hasta estaciones satélites con multi-sensores. La Tabla 2-23 detalla algunas características de la red.

Tabla 2-23: Estaciones DGA hidrometeorológicas en cuenca del río Loa

Código BNA	Nombre estación	WGS 84 UTM 19S		Vigencia	Altitud (m s.n.m.)
		E (m)	N (m)		
02105018-0	Ayquina	575.696	7.536.478	Vigente	3.031
02110013-7	Calama	509.509	7.517.059	Vigente	2.300
02105021-0	Caspana	581.126	7.529.664	Vigente	3.260
02104010-K	Chiu Chiu	536.239	7.528.894	Vigente	2.524
02104008-8	Conchi embalse	538.799	7.564.139	Vigente	3.010
02104009-6	Conchi muro embalse	539.132	7.564.141	Suspendida	3.000
02104007-K	Conchi Viejo	528.307	7.572.257	Vigente	3.491
02112009-K	Coya Sur	435.920	7.523.409	Suspendida	1.250
02105014-8	Cupo	570.481	7.554.308	Vigente	3.370
02105022-9	El Tatio	601.295	7.527.990	Vigente	4.370
02113005-2	Guatacondo DGA	494.510	7.685.890	Vigente	2.460
02105037-7	Hito Silala	599.220	7.563.355	Vigente	4.242
02103010-4	Inacaliri	596.380	7.563.858	Vigente	4.040
02101003-0	Lequena	534.930	7.604.914	Vigente	3.320
02105016-4	Linzor	600.703	7.541.412	Vigente	4.100
02105036-9	Mirador Silala	604.450	7.560.768	Vigente	4.900
02103009-0	Ojos de San Pedro	568.222	7.568.368	Vigente	3.800
02103008-2	Parshall N2	549.596	7.573.130	Vigente	3.318
02112008-1	Quillagua	444.573	7.605.241	Vigente	802
02102005-2	Quinchamale	541.476	7.577.188	Vigente	3.080
02113001-K	Río Huatacondo en Copaquire	511.694	7.685.698	Vigente	3.540
02101001-4	Río Loa antes de represa Lequena	534.963	7.605.223	Vigente	3.315
02104002-9	Río Loa en salida embalse Conchi	539.097	7.564.038	Vigente	2.950
02105001-6	Río Salado AJ Curti	578.008	7.536.087	Vigente	3.080
02105002-4	Río Salado en sifón Ayquina	567.491	7.535.007	Vigente	2.980
02103014-7	Río Siloli antes B.T. FCAB	600.230	7.565.333	Vigente	4.000
02105020-2	Salado embalse	582.062	7.535.392	Vigente	3.200
02103007-4	San Pedro en Conchi	547.879	7.574.448	Suspendida	3.217
02105019-9	Sifón Ayquina	566.991	7.535.635	Suspendida	3.000
02103012-0	Silala	599.877	7.564.957	Vigente	4.305
02105017-2	Toconce	585.894	7.537.639	Vigente	3.310
02111004-3	Tranque Sloman	446.897	7.583.594	Suspendida	985
02105015-6	Turi	573.367	7.540.311	Suspendida	3.070

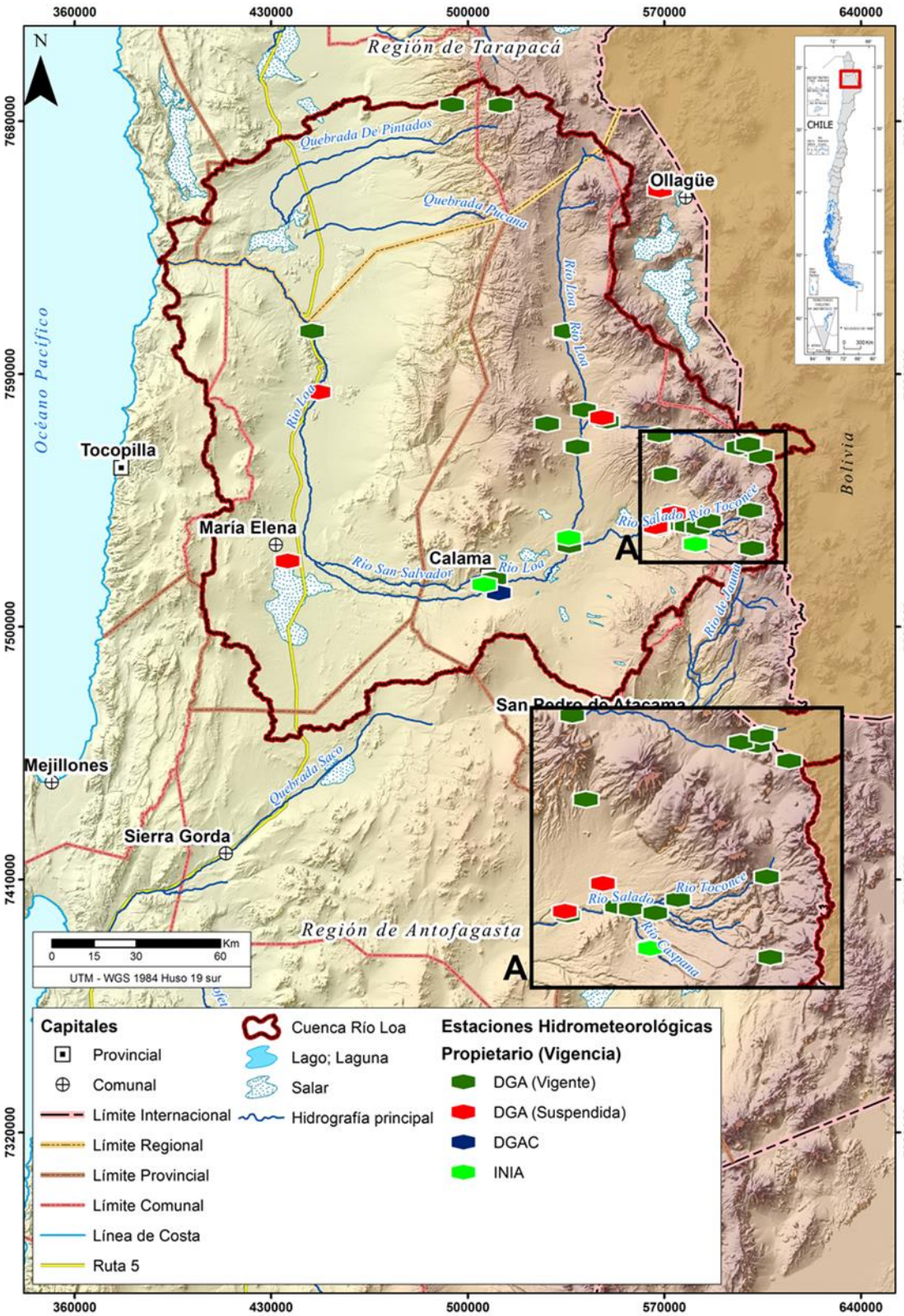
Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA-DGA

De las estaciones presentadas en la Tabla 2-23, ninguna de ellas está ubicada en el sector bajo de la cuenca, correspondiente al tramo del río Loa aguas abajo de Quebrada Amarga, mientras que para sectores medios (entre aguas abajo de la confluencia del río Salado hasta Quebrada Barrera) sólo existen cuatro estaciones: Calama, Coya Sur, Quillagua y Tranque Sloman, donde dos de ellas se encuentran en estado suspendido. El resto de las estaciones se ubica en el sector alto. La Figura 2-41 muestra la ubicación de la red pública de control meteorológico dentro de la cuenca del río Loa.

La Figura 2-42 detalla la evolución temporal de la red hidrometeorológica DGA en la cuenca del río Loa. La red de monitoreo se mantiene constante o aumenta hasta el año 2005, para luego suspender la vigencia de algunas estaciones. En el año 2016 existe una baja considerable en el número de estaciones vigentes, ya que se suspenden 7 estaciones en este periodo.

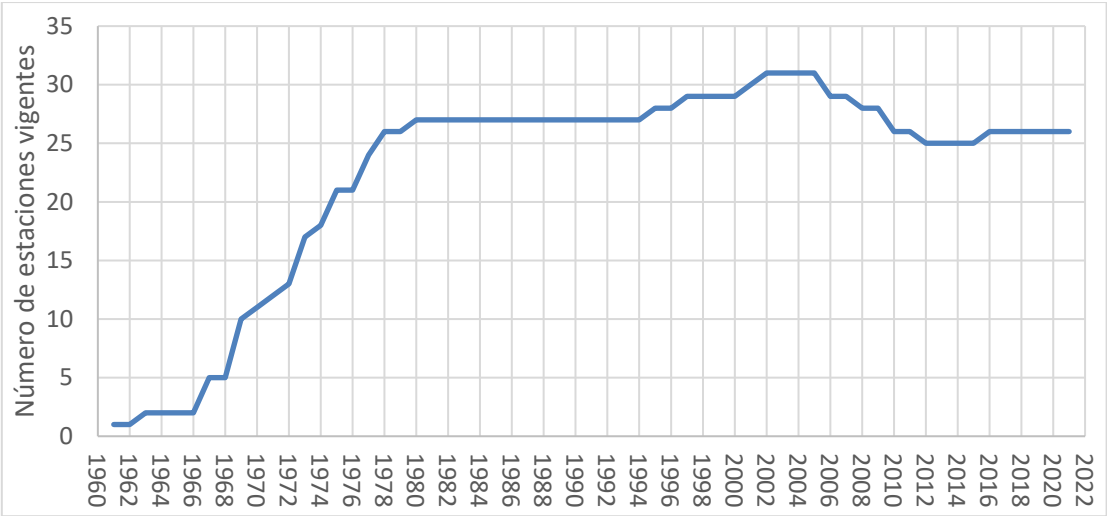
Al realizar una detallada revisión de la información de las estaciones de la Tabla 2-23 en la base de datos del BNA, se verifica la existencia de datos faltantes en las series. A continuación, se presenta en la Figura 2-43 la extensión de las series de datos pluviométricos a nivel mensual. El criterio de validación de la continuidad y calidad aplicado en la red se basa en la capacidad de representar efectos cíclicos, por lo que las series deben tener al menos 3 años continuos de medición. Se concluye que la mayoría de las estaciones hidrometeorológicas de la red de monitoreo DGA poseen un registro que cumple el criterio de continuidad. Se informa que la estación Mirador Silala no presenta registros asociados a esta variable, por lo que no se muestra dentro de la figura.

Dentro de la cuenca existen otras instituciones de carácter público que poseen redes de monitoreo meteorológico: Agromet del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) que mantiene tres y la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) con una. En general, estas 2 redes cuentan con soporte local para la mantención de sus estaciones, además de tener plataformas digitales donde actualizan la información meteorológica. La red de INIA es relativamente nueva (a partir del año 2010) y cuenta con Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA) con tecnología Campbell. La red de la DGAC es mucho más antigua con estaciones de la década del 60, aunque ha renovado alguna de ellas recientemente (DGA, 2016c). La Tabla 2-24 detalla la ubicación de la red.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA-DGA, DGA (2016c)

Figura 2-41: Estaciones hidrometeorológicas sector público cuenca del río Loa



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA

Figura 2-42: Número de estaciones hidrometeorológicas DGA vigentes en la cuenca del río Loa

Tabla 2-24: Redes de monitoreo públicas ajenas a DGA en cuenca del río Loa

Red	Nombre estación	WGS 84 UTM 19S	
		E (m)	N (m)
INIA	Caspana INIA	581.215	7.529.482
	Chiu Chiu INIA	535.990	7.531.685
	Calama Rural	505.866	7.515.034
DGAC	El Loa Calama A. D	511.057	7.512.040

Fuente: Elaboración propia

El análisis de distribución territorial de estaciones meteorológicas públicas se ejecuta siguiendo las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial en la Guía de prácticas hidrológicas (OMM, 2008). Este documento recomienda la densidad mínima de redes de control para diferentes unidades fisiográficas, la cual se muestra en la Tabla 2-25.

Las estaciones DGA corresponden a las de precipitación del tipo registradoras, mientras que la unidad fisiográfica predominante es la de Montaña (DGA, 2016c), por lo que el valor mínimo de la densidad de acuerdo con el índice de la OMM debe ser 2.500 km^2/estación. Integrando sólo las estaciones vigentes, las cuales son 30 (26 pertenecientes a la red DGA), se determina una densidad actual de 1.102 km^2/estación, cumpliendo así con la densidad mínima sugerida a nivel de cuenca. Este análisis puede ser profundizado a nivel de subcuenca en base a la división por sectores establecida por el BNA (Tabla 2-26).

| Nombre estación | 1960 | | | | | | | | | | 1970 | | | | | | | | | | 1980 | | | | | | | | | | 1990 | | | | | | | | | | 2000 | | | | | | | | | | 2010 | | | | | | | | | | 2020 | | Criterio de |
|---|---|---

Tabla 2-25: Densidad mínima de redes de control recomendada (km²/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)

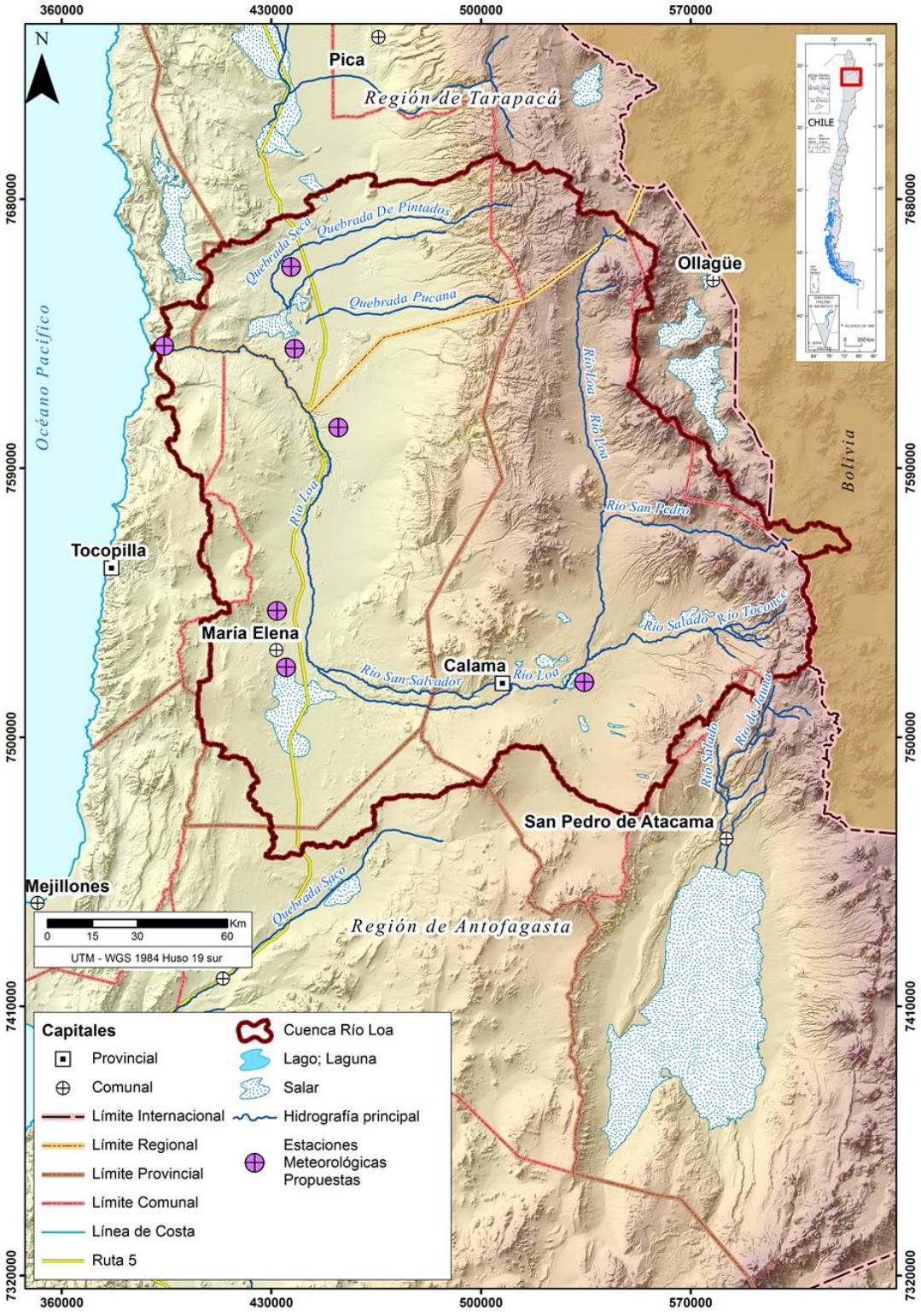
Tabla 2-26: Índice de densidad estaciones pluviométricas

Subcuenca	Cantidad Estaciones		Área cuenca (km²)	Densidad (km²/estación)	
	Vigentes	Necesarias		Actual	Esperada
Río Loa Alto (bajo junta río Salado)	24	0	8.132	338,8	338,8
Río Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)	4	6	24.409	6.102,3	2.440,9
Río Loa Bajo (entre Quebrada Amarga y Desembocadura)	0	1	542	N/E	542

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA

El análisis por subcuenca indica no cumple la densidad mínima sugerida por la OMM para las subcuencas río Loa Medio y río Loa Bajo, ya que existe una alta concentración de estaciones en la cabecera del río Loa.

En consecuencia, se recomienda instalar siete estaciones meteorológicas según lo mostrado en la Figura 2-44. Específicamente, para Loa Medio, se sugiere instalar una estación aguas debajo de la confluencia del río Loa con el río Salado; dos próximas al pueblo de María Elena y Salar de Miraje; una en el oasis de Quillagua y dos cercanas al Salar de Llamara y Quebrada Amarga. En Loa Bajo se propone emplazar una estación en la desembocadura de la cuenca.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-44: Red de control hidrometeorológico propuesto para alcanzar la densidad mínima sugerida según recomendación OMM (2008)

b) Sector Privado

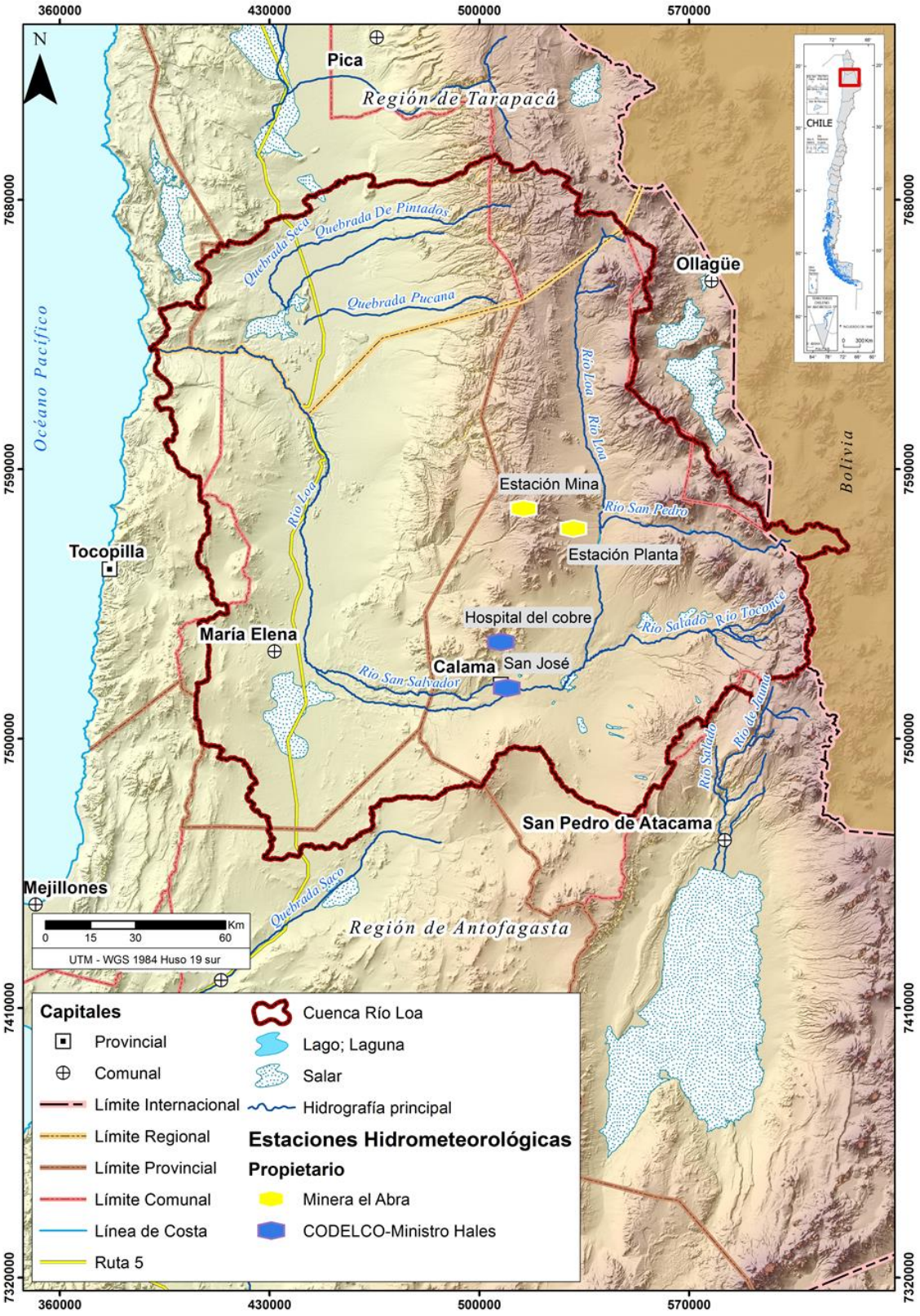
Otro grupo lo conforman las estaciones que administran Empresas Privadas, en función del cumplimiento de compromisos de Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA), asociados a proyectos de diversa índole, destacando en la región los asociados a proyectos mineros. Estos proyectos durante su ciclo de vida pueden requerir de diversas RCA, que en muchos casos tienen que ver con proyectos de modificación, ampliación, actualización tecnológica o puesta en marcha de servicios con impacto territorial. La sistematización de información esta red de monitoreo hidrometeorológico se detalla en la Tabla 2-27.

Tabla 2-27: Red de monitoreo hidrometeorológico privado con obligación de informar

Resolución		Proyecto	Mandante	Estación	Compromiso RCA y/o documentos SEIA	WGS 84 UTM 19S	
						E (m)	N (m)
311	2005	Mansa Mina	CODELCO, Ministro Hales	San José	311/2005 - Mansa Mina: Validar el modelo de calidad de aire empleado después de un año calendario del inicio del proyecto (en la fase de construcción se debe iniciar la validación). Remitir la información a la Autoridad Sanitaria dentro de los 20 días posteriores al término de la validación con copia informativa a la Secretaría de la COREMA.	509.243	7.516.913
311	2005	Mansa Mina	CODELCO, Ministro Hales	Hospital del cobre		507.229	7.532.289
48	1995	Mina el Abra	Freport - McManon	Estación Planta	48/1995 – Mina el Abra	531.469	7.570.152

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2016c)

Finalmente, se indica en la Tabla 2-28 la existencia de una estación privada perteneciente a Minera el Abra que no tiene obligación de informar de sus mediciones a la autoridad, sin embargo, por su ubicación podría ser de interés para la autoridad. Finalmente, se presenta en la Figura 2-45 la ubicación la red privada de estaciones hidrometeorológicas, tanto con obligación, como sin obligación de informar a la autoridad de sus mediciones.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA

Figura 2-45: Ubicación de estaciones hidrometeorológicas cuenca del río Loa

Tabla 2-28: Red de monitoreo hidrometeorológico privado

Propietario	Nombre estación	WGS 84 UTM 19S	
		E (m)	N (m)
Minera el Abra	Estación Mina	514.872	7.576.826

Fuente: Elaboración propia DGA (2016c)

2.4.8.2 Estaciones Fluviométricas

Se considera como la red de monitoreo fluviométrico base de la cuenca del río Loa a la operada por DGA debido a la extensión temporal de sus registros y la cobertura territorial de sus estaciones.

a) Sector Público

Las variables de reportes fluviométricos que entrega el sitio corresponden a: Caudales Medios Mensuales; Altura y Caudal Instantáneo (Diario) y Caudales Medios Diarios.

Del análisis de información se determina que la red posee 73 estaciones fluviométricas emplazadas dentro de la cuenca, de las cuales 50 de ellas se encuentran vigentes (68%) y 23 suspendidas (32%). La Tabla 2-29 detalla algunas características de la red, mientras que la ubicación espacial se muestra en la **Figura 2-46**.

Tabla 2-29: Estaciones DGA fluviométricas en cuenca del río Loa

Código BNA	Nombre	WGS 84 UTM 19S		Vigencia
		E (m)	N (m)	
02104020-7	Canal Buen Retiro	539.214	7.539.788	Vigente
02110023-4	Canal Chunchuri Bajo	507.486	7.513.977	Vigente
02110024-2	Canal Dupont	504.543	7.512.164	Vigente
02110025-0	Canal El Tronco	504.544	7.518.098	Suspendida
02104014-2	Canal Grande	537.515	7.535.396	Vigente
02104017-7	Canal La Banda	537.486	7.535.426	Vigente
02110026-9	Canal La Prensa	506.029	7.513.086	Vigente
02110027-7	Canal Lay Lay	510.317	7.516.497	Vigente
02104015-0	Canal Los Perales	538.581	7.538.283	Vigente
02104022-3	Canal Los Ramírez	539.243	7.539.758	Vigente
02110028-5	Canal Núñez	507.887	7.514.376	Suspendida
02104016-9	Canal Pona	538.581	7.538.253	Vigente
02104018-5	Canal Pueblo	536.132	7.531.186	Vigente
02104021-5	Canal Quilchire	539.214	7.539.788	Suspendida
02112002-2	Canal Quillagua en Quillagua	444.079	7.606.148	Suspendida
02104019-3	Canal San Antonio	539.991	7.541.262	Vigente
02110029-3	Canal Topater	510.374	7.516.527	Vigente
02110030-7	Canal Yalquincha 1	513.204	7.516.833	Vigente
02110009-9	Canal Yalquincha o.d. N* 1	515.434	7.517.323	Suspendida
02110010-2	Canal Yalquincha o.i. N* 2	517.063	7.516.891	Suspendida

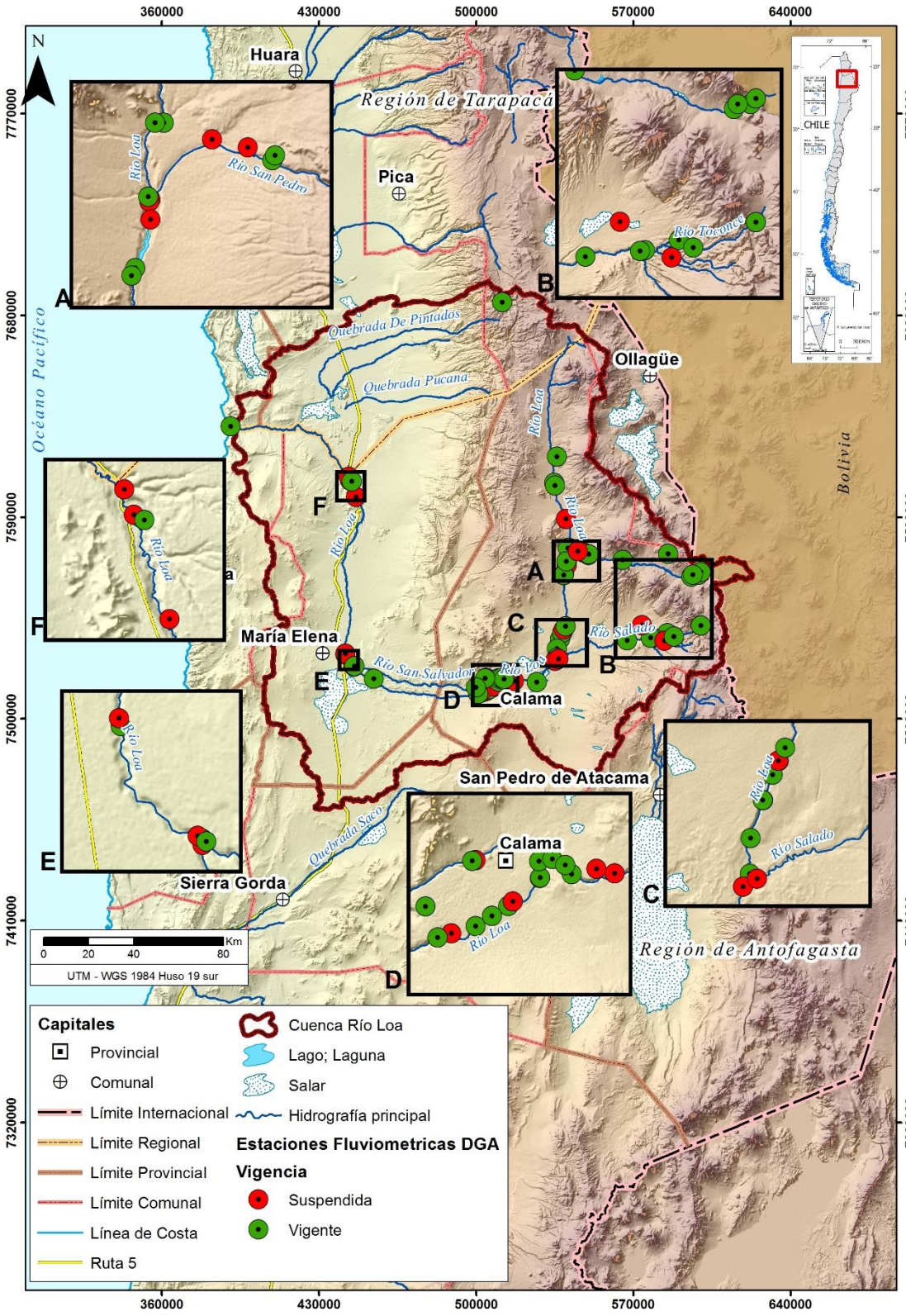
Código BNA	Nombre	WGS 84 UTM 19S		Vigencia
		E (m)	N (m)	
02101004-9	Captación de Aguas Antofagasta en Lequena	536.097	7.616.786	Vigente
02110020-K	Captación de Aguas Antofagasta en Puente Negro	510.261	7.518.003	Vigente
02102007-9	Captación de Aguas Antofagasta en Quinchamale	541.657	7.576.003	Vigente
02105033-4	Captación de Aguas Antofagasta en Toconce	585.436	7.538.158	Vigente
02103016-3	Captación de CODELCO en Colana	585.657	7.573.520	Vigente
02103017-1	Captación de CODELCO en Inacaliri	596.009	7.563.313	Vigente
02105035-0	Captación de Codelco en Linzor (Toconce)	600.257	7.541.545	Vigente
02103015-5	Captación de FCAB en Siloli	599.197	7.564.216	Vigente
02112013-8	Captación de SQM Coya Sur	445.671	7.523.477	Vigente
02110021-8	Captación de SQM Pedro de Valdivia (Vergara)	454.494	7.517.909	Vigente
02112012-K	Captación SQM María Elena	441.905	7.528.691	Vigente
02105034-2	Captaciones CODELCO en Salado-Hojalar	578.985	7.536.163	Vigente
02104011-8	Embalse Conchi (LM)	539.420	7.564.601	Vigente
02113001-K	Río Huatacondo en Copaquire	511.694	7.685.698	Vigente
02104005-3	Río Loa antes junta río Salado	536.036	7.527.190	Vigente
02110007-2	Río Loa antes junta San Salvador	445.672	7.523.201	Suspendida
02101001-4**	Río Loa antes represa Lequena	534.950	7.605.197	Vigente
02112005-7	Río Loa antes zona agrícola Quillagua	446.559	7.598.875	Suspendida
02112006-5	Río Loa d.j. San Salvador (Chacance)	445.441	7.523.630	Suspendida
02112007-3	Río Loa d.j. San Salvador (M. Elena)	441.818	7.529.060	Suspendida
02110008-0	Río Loa después junta río Salado (CA)	535.290	7.525.777	Suspendida
02104004-5	Río Loa en alcantarilla Conchi N"1	540.609	7.569.980	Suspendida
02104003-7	Río Loa en alcantarilla Conchi N"2	540.523	7.569.795	Suspendida
02110031-5	Río Loa en Angostura	527.123	7.516.384	Vigente
02102006-0	Río Loa en Catuncalla	540.256	7.589.166	Suspendida
02110003-K	Río Loa en Chintoraste	502.342	7.511.488	Suspendida
02104001-0	Río Loa en Conchi	540.605	7.568.412	Suspendida
02120001-8	Río Loa en Desembocadura	390.803	7.630.449	Vigente
02110001-3	Río Loa en Escorial	511.462	7.518.218	Vigente
02110004-8	Río Loa en Finca	501.142	7.511.120	Vigente
02112003-0	Río Loa en Panamericana	443.424	7.607.904	Suspendida
02102001-K	Río Loa en quebrada Quinchamale	540.969	7.576.005	Vigente

Código BNA	Nombre	WGS 84 UTM 19S		Vigencia
		E (m)	N (m)	
02112001-4	Río Loa en Quillagua	444.811	7.605.787	Vigente
02101002-2	Río Loa en represa Lequena	535.264	7.604.060	Vigente
02104002-9**	Río Loa en salida embalse Conchi	539.132	7.564.018	Vigente
02104013-4	Río Loa en Vado Santa Bárbara (DOH)	540.438	7.570.195	Vigente
02110002-1	Río Loa en Yalquincha	512.605	7.517.664	Vigente
02105001-6	Río Salado A.J. Curti	578.012	7.536.045	Vigente
02105005-9**	Río Salado A.J. Loa	536.865	7.526.665	Suspendida
02105003-2	Río Salado antes represa Chilex	584.044	7.534.784	Suspendida
02105002-4**	Río Salado en sifón Ayquina	567.504	7.534.956	Vigente
02103003-1	Río San Pedro en camino Internacional	548.222	7.574.048	Suspendida
02103018-K	Río San Pedro en Parshall 2 (CODELCO)	550.140	7.573.057	Vigente
02103001-5	Río San Pedro en Parshall N"1	565.449	7.570.727	Vigente
02103002-3	Río San Pedro en Parshall N"2 (BT. Chilex)	550.371	7.573.426	Suspendida
02103004-K	Río San Pedro en San Pedro	545.412	7.574.671	Suspendida
02111002-7	Río San Salvador antes junta río Loa	445.843	7.523.355	Vigente
02111005-1	Río San Salvador en Nacimiento	504.230	7.518.037	Vigente
02103014-7**	Río Siloli antes B.T. FCAB	600.230	7.565.333	Vigente
02103013-9	Río Siloli antes represa Inacaliri	596.732	7.564.232	Vigente
02105007-5	Río Toconce antes represa Sendos	588.204	7.536.667	Vigente
02111001-9	Vertiente Ojos de Opache	500.028	7.513.948	Vigente
02105008-3	Vertiente Turi Turi	574.117	7.541.630	Suspendida

**** Estaciones fluviométricas que presentan aforos continuos y/o esporádicos**

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA

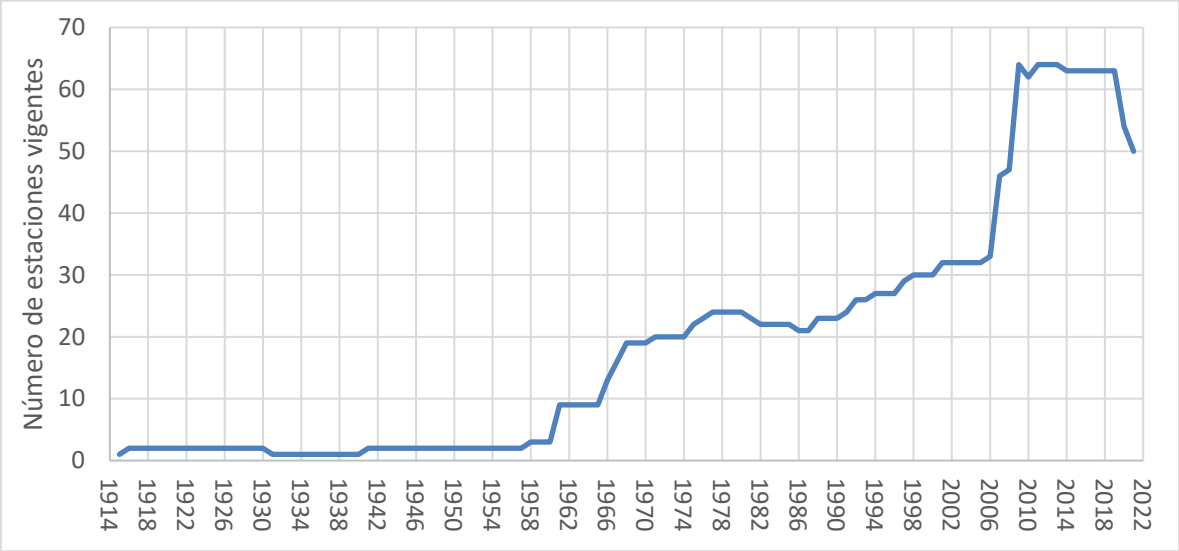
De las estaciones presentadas en la Tabla 2-29, sólo una de ellas está ubicada en el sector bajo de la cuenca, mientras que para sectores medios se emplazan 31 estaciones: 19 vigentes y 12 suspendidas. El resto de las estaciones corresponden a 41 y se ubican en el sector alto, donde 30 se encuentran vigentes y 11 suspendidas.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA

Figura 2-46: Ubicación de estaciones fluviométricas DGA, cuenca del río Loa

La Figura 2-47 detalla la evolución temporal de la red fluviométrica DGA en la cuenca del río Loa. La red de monitoreo se inicia en 1916 con la estación Río San Pedro en San Pedro, la cual se suspende en 1931, dejando con nulo monitoreo hasta 1941, donde entra en vigor la estación Río Loa en Yalquincha. Desde esta fecha hasta 1979 la red se mantiene constante o aumenta, para luego comenzar a suspender estaciones hasta 1986. Luego de esto la red continúa aumentando su densidad, con una clara aceleración en los años 2007 – 2009, donde se añaden las mediciones en diversos canales de zonas agrícolas y monitoreos de extracciones efectivas de captaciones industriales a la cuenca. Finalmente, vuelve a decaer en número a partir de 2020.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA-DGA

Figura 2-47: Estaciones fluviométricas DGA vigentes en la cuenca del río Loa

Al realizar una detallada revisión de la información de las estaciones de la Tabla 2-29 en la base de datos del BNA, se verifica la existencia de datos faltantes en las series. A continuación, se presenta en la Figura 2-48 y en la Figura 2-49, la extensión de las series de datos pluviométricos a nivel mensual. El criterio de validación de la continuidad y calidad aplicado en la red se basa en la capacidad de representar efectos cíclicos, por lo que las series deben tener al menos 3 años continuos de medición.

Nombre estación	1910										1920										1930										1940										1950										1960									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Canal Quillagua en Quillagua																																																											
Río Huatacondo en Copaquire																																																											
Río Loa AJ San Salvador																																																										
Río Loa antes de represa Lequena																																																								4		a
Río Loa antes zona agrícola Quillagua																																																										
Río Loa DJ San Salvador (Chacance)																																																										
Río Loa DJ San Salvador (M. Elena)																																																										
Río Loa en alcantarilla Conchi N°1																																																										
Río Loa en alcantarilla Conchi N°2																																																										
Río Loa en Angostura																																																										
Río Loa en Chintoraste																																																								8	C	7	a	b	7	C	C	8	b	4	C
Río Loa en Conchi																																																							7	b	9	a	9	b	C	5	2	a	9	8
Río Loa en Desembocadura																																																										
Río Loa en Escorial																																																									a	C	9	2	3	6
Río Loa en Finca																																																										
Río Loa en Quillagua																																																						7	7	7	8	a	b	9	5	b	4	8	a
Río Loa en salida embalse Conchi																																																										
Río Loa en vado Santa Bárbara																																																										
Río Loa en Yalquincha																															6	C	C	a	7	C	b	7	a	2	b	9	C	b	a	C	b	7	1									
Río Salado AJ Curti																																																										
Río Salado AJ Loa																																																										
Río Salado en sifón Ayquina																																																										
Río San Pedro en Camino Internacional																																																										
Río San Pedro en Parshall N°2 (CODELCO)																																																										
Río San Pedro en Parshall N°1																																																									a	b
Río San Pedro en Parshall N°2 (BT. CHILEX)																																																									2	C	1
Río San Pedro en San Pedro							3	C	b	3	b	C	C	a	C	a	C	C	C	a	C	4																																								
Río San Salvador AJ Río Loa																																																										
Río Siloli antes BT FCAB																																																										
Río Toconce antes de represa Sendos																																																										
Vertiente Turi Turi																																																										

Nomenclatura: 1, …, 9: número de meses con datos. a: 10 meses con datos. b: 11 meses con datos. C: 12 meses con datos.

Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA-DGA

Figura 2-48: Registro de series de datos a nivel mensual de estaciones fluviométicas DGA. Periodo 1910 – 1960.

Nombre estación	1970										1980										1990										2000										2010										2020		Criterio de Contiuidad
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	
Canal Quillagua en Quillagua								2	a	b	5	8	5	6	b	5	C	a	C	C	b	b	C	C	C	C	C	C	a	C	C	C	5																						
Río Huatacondo en Copaquire								1	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	b	a	8	C	C	C	C	3	8	C	a	C	C	C	C	a	a	b	C	8	9	C	C	C	9	b	C	C	C			**SI**
Río Loa AJ San Salvador														2	8																																						NO
Río Loa antes de represa Lequena	5	7	1	2	2	7	6	C	C	a	8	C	C	a	b	C	9	C	C	C	C	C	b	C	C	C	C	C	C	C	C	3	C	C	C	C	C	C	C	b	C	C	C	C	C	C	C	C	6	3		SI
Río Loa antes zona agrícola Quillagua																														2	C	C	2		6	C	C	C	C	9	C	C	C	1								SI
Río Loa DJ San Salvador (Chacance)															1	b	4																3	C	C	C	C	C	C	9	b	b	a	9	5	9	a						SI
Río Loa DJ San Salvador (M. Elena)																									9	C	C	C	C	C	C	C	3			C	C	C	C	3	C	C	a	C	C	b	C	b					SI
Río Loa en alcantarilla Conchi N°1								2	C	8																																										NO
Río Loa en alcantarilla Conchi N°2										4	b	a	C	C	a	C	b	a	C	b	C	C	b	b	8	C	C	C	b	C	C	C	C	C	C	C	3																SI
Río Loa en Angostura																																													3	8	9	C	C	8				NO
Río Loa en Chintoraste	b	a	3																																																	NO
Río Loa en Conchi	C	b	C	C	b	7																																														NO
Río Loa en Desembocadura																				3	b	a	C	C	C	C	C	C	C	b	b	3	8	C	C	C	C	C	7	b	9	2	a	b	8	7	9	1				SI
Río Loa en Escorial	8	C	9	3	5	b	5	3																												b	b	C	C	C	C	4	b	C	C	a	a	C	2	b	2	C		2	SI
Río Loa en Finca		7	2	1	1	b	9	8	b	b	a	8	C	C	C	a	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	b	C	C	C	C	C	C	C	C	C	6		1	C	b	C	C	C	C	7	9	a	1			SI
Río Loa en Quillagua	C	b	b	2																																															NO
Río Loa en salida embalse Conchi							2	2	C	C	C	b	C	C	C	a	9	9	b	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	b	C	4	b	C	C	C	C	C	C	C	C	C	8	C	C	C	b	C	C	C		2	SI
Río Loa en vado Santa Bárbara																																						a	C	a	8	7	7	a	b	C	C	b	C	2			NO
Río Loa en Yalquincha														C	b	C	C	C	b	a	C	C	C	C	C	C	b	C	C	C	2	9	a	C	C	C	C	b	5													SI
Río Salado AJ Curti							a	a	C	C	a	C	a	C	b	C	C	b	b	C	a	b	C	b	a	C	C	b	C	C	b	C	C	C	C	C	C	C	a	C	C	8	C	C	7	6	C	5				SI
Río Salado AJ Loa																																		5	C	C	b	C	C	C	C	2	3	2							SI
Río Salado en sifón Ayquina					8	9	a	C	C	C	C	C	C	C	C		1	C	C	C	a	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	2	C	C	C	b	C	C	C	C	2						SI
Río San Pedro en Camino Internacional									2	9	9	8	7	C	5	9	9	a	3																																		NO
Río San Pedro en Parshall N°2 (CODELCO)																																							C	C	C	C	C	b	C	C	C	C	9			SI
Río San Pedro en Parshall N°1	C	9	7	7	C	1							1	C	b	b	C	b	C	C	C	C	C	b	C	C	b	C	a	b	C	C	C	C	C	C	C	C	C	b	b	b	b	C	a	b	C	C	7	2		SI
Río San Pedro en Parshall N°2 (BT. CHILEX)	2	C	C	a	a	7	2	7	C	C	7	6	C	a	a	C	4	b	a	a	C	a	C	C	C	C	C	b	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	b	a	9	b	a	8	C	4				SI
Río San Pedro en San Pedro																																																				SI
Río San Salvador AJ Río Loa															2	b	4																																			NO
Río Siloli antes BT FCAB																																		b	C	C	C	C	C	C	C	a	a	C	C	b	C	b	b	C	C	C			SI
Río Toconce antes de represa Sendos													1	a	9	b	3	b	C	b	a	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	2	1	C	C	a	b	C	9	7	7	7	C	6	C	C	4					SI
Vertiente Turi Turi											8	8																																								NO

Nomenclatura: 1, …, 9: número de meses con datos. a: 10 meses con datos. b: 11 meses con datos. C: 12 meses con datos.

Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA-DGA

Figura 2-49: Registro de series de datos a nivel mensual de estaciones fluviométicas DGA. Periodo 1970 – 2021.

En la Figura 2-48 y Figura 2-49 sólo se muestran las estaciones que registraron al menos un dato fluviométrico a nivel mensual para el periodo 1910 – 2021, las que ascienden a 31. Este valor alcanza al 42% del número total de estaciones fluviométricas de la red de monitoreo que DGA posee en la cuenca. Las estaciones que su registro cumple con el criterio de continuidad son 21, equivalentes a un 29% del total de la cuenca.

El análisis de la distribución territorial de estaciones fluviométricas DGA sigue los mismos lineamientos que el presentado en el acápite 2.4.8.1, aunque para este caso hay que usar la densidad sugerida para estaciones de flujo fluvial, definido como 1.000 km^2/estación. Integrando sólo las estaciones vigentes, se determina una densidad actual de 661,6 km^2/estación, cumpliendo así con la densidad mínima sugerida a nivel de cuenca.

Este análisis puede ser profundizado a nivel de subcuenca en base a la división por sectores establecida por el BNA, según muestra la Tabla 2-30.

Tabla 2-30: Índice de densidad estaciones fluviométricas

Subcuenca	Cantidad Estaciones		Área cuenca (km^2)	Densidad (km^2/estación)	
	Vigentes	Necesarias		Actual	Esperada
Río Loa Alto (bajo junta río Salado)	31	0	8.132	262,3	262,3
Río Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)	19	6	24.409	1.284,7	976,4
Río Loa Bajo (entre Quebrada Amarga y Desembocadura)	1	0	542	542	542

Fuente: Elaboración propia

Los resultados indican que al particularizar el análisis por subcuenca no se cumple la densidad mínima sugerida por la OMM para la subcuenca del río Loa Medio. En consecuencia, se recomienda instalar al menos seis estaciones fluviométricas en los siguientes sectores de interés donde actualmente no existe ninguna estación emplazada o las existentes se encuentran suspendidas (Figura 2-50):

- En el río Loa: i) aguas debajo de la confluencia con el río Salado, ii) en el tramo entre la ciudad de Calama y el pueblo de María Elena, iii) aguas arriba de la confluencia con el río San Salvador, iv) en el tramo entre el pueblo de María Elena y el oasis de Quillagua, v) aguas arriba de la confluencia con Quebrada Amarga.
- En quebrada Amarga: aguas arriba de la confluencia con el río Loa.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-50: Red de control fluviométrico propuesto para alcanzar la densidad mínima sugerida según recomendación OMM (2008)

b) Sector Privado

El levantamiento de información permitió identificar una serie de puntos de monitoreo superficial de carácter privado, que en la mayoría de los han sido implementadas en el marco de Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA), o de compromisos ambientales con diferentes entes públicos y/o comunitarios. Estos compromisos es su totalidad están relacionados con la actividad minera y los proyectos desarrollados en la región.

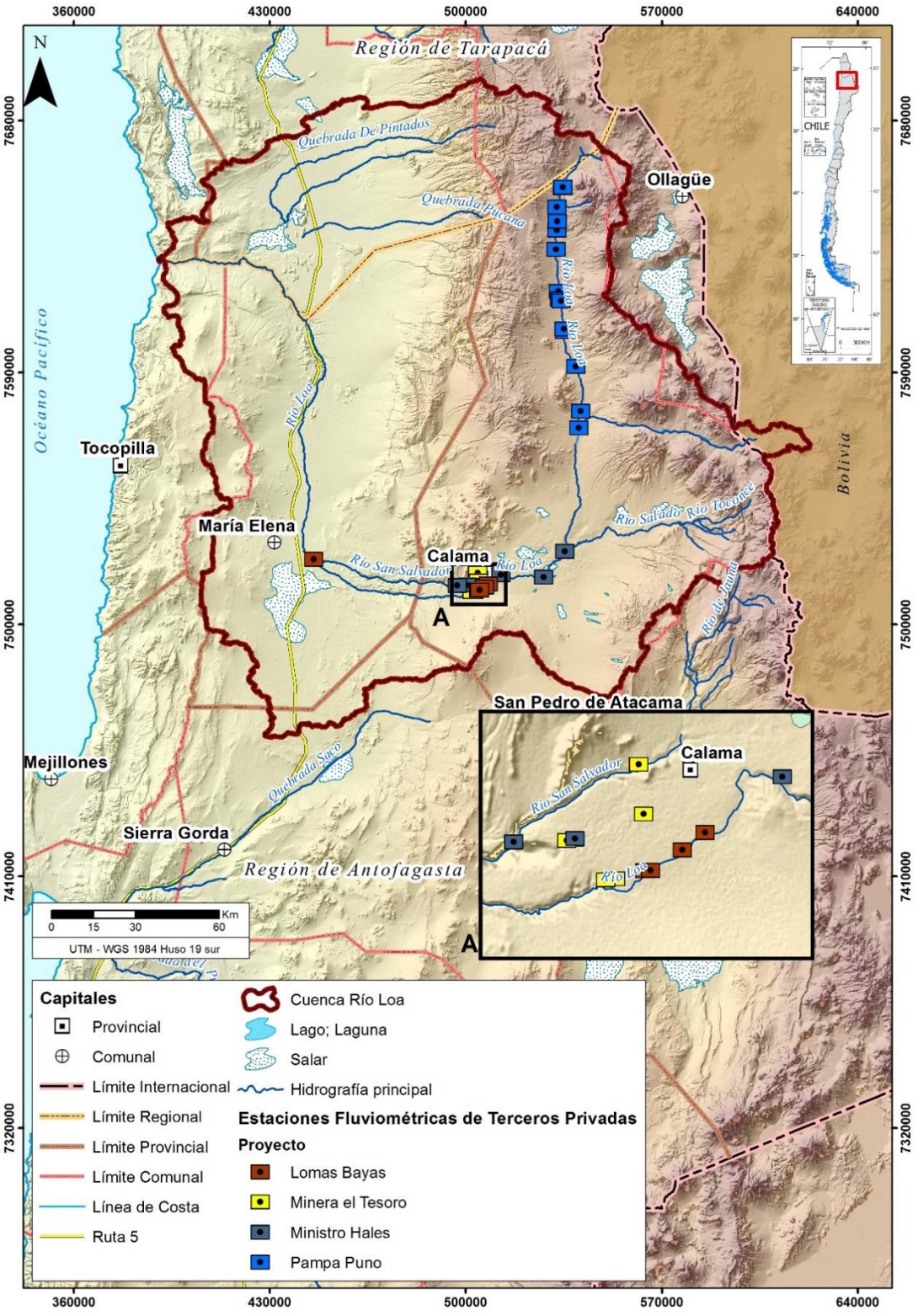
A continuación, se identifican en la Tabla 2-31 las estaciones de monitoreo superficial de terceros, el origen de su compromiso ambiental y sus coordenadas UTM, mientras que en la Figura 2-51 se muestra la ubicación espacial de la red.

Tabla 2-31: Puntos de monitoreo superficial de terceros

Estación	WGS 84 UTM 19S		Proyecto	RCA	PAT
	E (m)	N (m)			
RLE	533.067	7.619.006	Pampa Puno	2603/2005	PAT Pampa Puno
RL-1	534.636	7.656.118	Pampa Puno	2603/2005	
RL-11	535.223	7.604.671	Pampa Puno	2603/2005	
RL-12	541.126	7.576.173	Pampa Puno	2603/2005	
RL-13	540.408	7.570.216	Pampa Puno	2603/2005	
RL-2	534.546	7.656.056	Pampa Puno	2603/2005	
RL-8	533.595	7.616.341	Pampa Puno	2603/2005	
RL-9	534.114	7.615.589	Pampa Puno	2603/2005	
RL-6	532.641	7.649.152	Pampa Puno	2603/2005	
RL-4	534.572	7.656.031	Pampa Puno	2603/2005	
RLP	532.605	7.640.858	Pampa Puno	2603/2005	
RLA	534.784	7.656.202	Pampa Puno	2603/2005	
RLB	532.726	7.644.016	Pampa Puno	2603/2005	
RLC	532.248	7.634.055	Pampa Puno	2603/2005	
RLF	535.129	7.605.591	Pampa Puno	2603/2005	
RLG	539.337	7.592.147	Pampa Puno	2603/2005	
Río San Salvador MET_1	504.198	7.518.387	Minera el Tesoro	31/1997	PAT Calama
Río San Salvador MET_2	504.214	7.518.394	Minera el Tesoro	31/1997	
Vertiente Ojos de Opache en Nacimiento	500.490	7.514.026	Minera el Tesoro	31/1997	
Vertiente Ojos de Opache en ENAEX	500.028	7.513.965	Minera el Tesoro	31/1997	PAT Calama
Vertiente Linkantatay	504.506	7.515.511	Minera el Tesoro	31/1997	
Vertiente La Casacada	502.890	7.511.748	Minera el Tesoro	31/1997	
Río Loa en la Cascada	502.311	7.511.672	Minera el Tesoro	31/1997	

Estación	WGS 84 UTM 19S		Proyecto	RCA	PAT
	E (m)	N (m)			
RLL	535.385	7.526.074	Ministro Hales	311/2005	Seguimiento de los caudales y de las características fisicoquímica de las aguas superficiales de los ríos Loa y San Salvador, en el marco de los compromisos ambientales adquiridos a través del proyecto MMH. El monitoreo de las aguas superficiales tiene relación con dos objetivos: 1. Realizar el seguimiento a las variables (Caudal y características fisicoquímicas) en las estaciones que pertenecen al Plan de Monitoreo para aguas superficiales, señalado en el E.I.A del proyecto Mansa Mina. 2. Determinar las eventuales afecciones del caudal de los ríos Loa y San Salvador producto del drenaje del rajo de MMH.
RLM	527.893	7.516.894	Ministro Hales	311/2005	
RLN	512.575	7.517.670	Ministro Hales	311/2005	
RLQ	512.575	7.517.670	Ministro Hales	311/2005	
RSSA	500.522	7.514.079	Ministro Hales	311/2005	
RSSB	496.963	7.513.887	Ministro Hales	311/2005	
NUÑEZ	508.076	7.514.434	Lomas Bayas	40/1995	El Punto Específico de captación debe cumplir con la normativa vigente en relación con la forma de extracción y registro de flujos del recurso. En especial para el control del caudal a extraer, por lo mismo debe instalarse medidores con almacenamiento de información y estar a la disposición de la Dirección General de Aguas, e informar semestralmente
LA PRENSA	506.761	7.513.415	Lomas Bayas	40/1995	
DUPONT	504.568	7.512.205	Lomas Bayas	40/1995	
CHUNCHURI BAJO	504.907	7.512.225	Lomas Bayas	40/1995	
RÍO LOA ANTES JUNTA SAN SALVADOR	445.672	7.523.201	Lomas Bayas	40/1995	

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2016c)



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2016c)

Figura 2-51: Ubicación de red de monitoreo fluviométrico de terceros en la cuenca del río Loa

2.4.8.3 Monitoreo de Niveles de Aguas subterráneas

a) Sector Público

Las variables de reportes de pozos que entrega el BNA corresponden a: Niveles Estáticos en Pozos (Mensual).

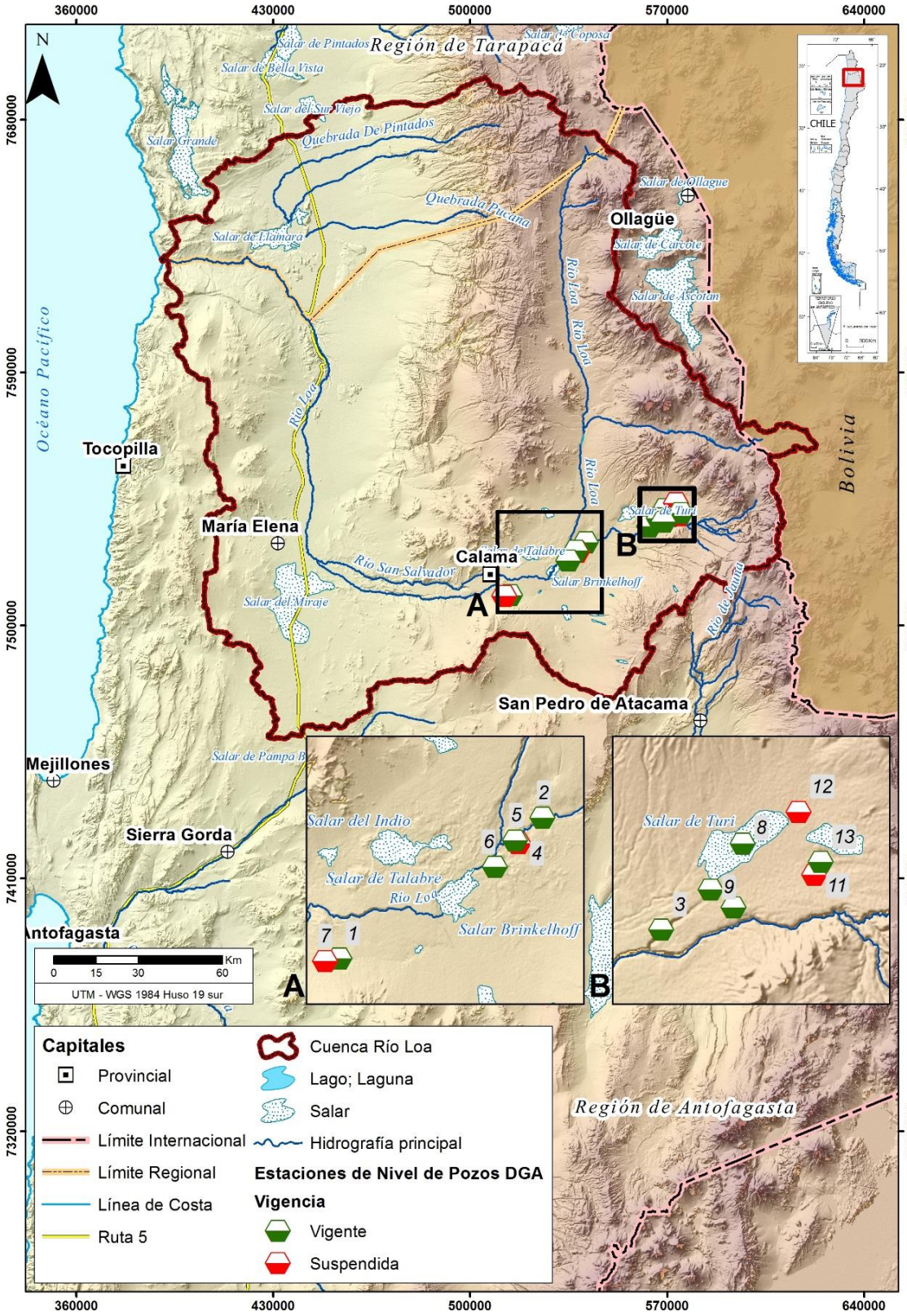
La red de monitoreo de aguas subterráneas perteneciente a DGA se compone por 14 pozos, donde nueve se encuentran vigentes (64%) y cinco en estado suspendido (36%). La Tabla 2-32 detalla algunas características de la red, mientras que la ubicación espacial se muestra en la Figura 2-52.

Tabla 2-32: Red de niveles de pozos DGA en cuenca del río Loa

Código BNA	Nombre	WGS 84 UTM 19S		Vigencia
		E (m)	N (m)	
02110017-K	AEROPUERTO	514.271	7.510.738	Vigente
02105023-7	CHIU CHIU	541.305	7.529.542	Vigente
02105024-5	CUPO 1	563.769	7.535.269	Vigente
02110015-3	ISLA GRANDE 1	538.122	7.526.170	Suspendida
02110016-1	ISLA GRANDE 2	537.665	7.526.509	Suspendida
02110019-6	ISLA GRANDE 3	534.964	7.522.980	Vigente
02110018-8	MOCTEZUMA	512.313	7.510.376	Suspendida
02105032-6	TURI - 10	569.460	7.541.299	Vigente
02105025-3	TURI 1	567.212	7.538.085	Vigente
02105030-K	TURI 2	567.211	7.538.084	Vigente
02105026-1	TURI 4	574.477	7.539.106	Suspendida
02105027-K	TURI 5 I	573.382	7.543.509	Suspendida
02105028-8	TURI 7	574.920	7.540.010	Vigente
02105029-6	TURI 9	568.828	7.536.826	Suspendida

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA

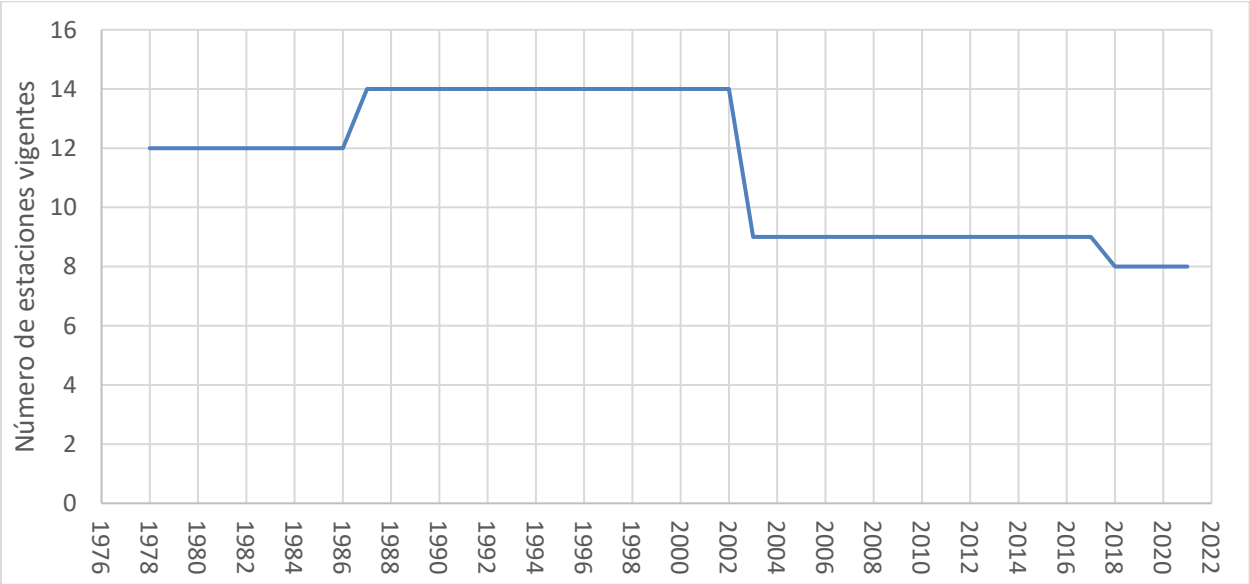
De los pozos de observación presentados en la Tabla 2-32, ninguno está ubicado en el sector bajo de la cuenca, mientras que para sectores medios se emplazan cuatro: dos vigentes y dos suspendidos. El resto corresponde a 10 y se ubican en el sector alto, específicamente en la cuenca del río Salado, donde seis se encuentran vigentes y cuatro suspendidos.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA

Figura 2-52: Ubicación Red de Niveles de Pozos DGA cuenca del río Loa

La Figura 2-53 detalla la evolución temporal de la red de niveles de pozos en la cuenca del río Loa. La red de monitoreo subterránea comienza en 1978 con 12 pozos y aumenta a 14, su máximo nivel histórico, en 1987. Para el año 2003 ocurre la más importante disminución de estaciones ya que cinco pozos pasan a estado suspendido, mientras que en 2018 se suspende el último pozo, quedando con ocho en la actualidad.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA-DGA

Figura 2-53: Número de niveles de pozos DGA vigentes en la cuenca del río Loa

Al realizar una detallada revisión de la información de las estaciones de la Tabla 2-32 en la base de datos del BNA, se verifica la existencia de datos faltantes en las series. A continuación, se presenta en la Figura 2-54 la extensión de las series de datos de niveles de pozos estáticos a nivel mensual. El criterio de validación de la continuidad y calidad se basa en la capacidad de determinar patrones representativos, por lo que las series deben tener al menos 4 años continuos de medición. Se concluye que sólo siete pozos de la red de monitoreo subterránea cumplen con la condición de continuidad. Este valor alcanza al 50% del número total de la red de monitoreo que DGA posee en la cuenca.

Nombre Estación	1980										1990										2000										2010										2020		Criterio de Continuidad
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	
AEROPUERTO								4	5	3	2	1	5	6	b	C	b	C	C	C	C	b	C	C	C	C	C	C	C	3	8	3	1	2	C	b	b	C	C	C	9	2	SI
CHIU-CHIU								4	5	4	3	3	5	6	a	b	a	b	C	a	C	b	C	C	C	C	9	b	7	C	b	C	a	C	C	C	b	C	C	a	9	2	SI
CUPO 1								4	5			2	5	6	b	C	b	C	C	C	C	b	C	C	C	C	C	C	C	C	b	C	C	C	C	C	b	C	C	a	9	2	SI
ISLA GRANDE 1								3	5	4	3	3																															NO
ISLA GRANDE 2								2	6	4	3	3	1	2	b	C	a	7	b	a																								NO
ISLA GRANDE 3								1					3	3			1	4	5	2	C	b	C	C	C	C	C	C	C	C	b	C	b	C	C	C	b	C	C	a	9	2	SI
MOCTEZUMA								4	5	4																																	NO
TURI - 10																																	2	C	C	b	C	C	a	9	2	NO
TURI 1								4	5	3	3	3	5	6	9	C	b	C	C	C	C	b	C	C	C	C	C	C	C	C	b	C	C	C	C	C	b	C	C	a	9	2	SI
TURI 2								4	5	3	3	3	5	6	b	C	b	C	C	a	C	b	C	C	C	C	C	C	C	C	b	C	C	C	C	C	b	C	C	a	9	2	SI
TURI 4								3	4																																		NO
TURI 5 I								3	5	3	3	3	5	1																														NO
TURI 7								4	5	3	3	3	5	6	b	C	a	C	C	C	C	b	C	C	C	C	C	C	C	C	b	C	C	C	C	C	b	b	C	a	9	2	SI
TURI 9								2	4																																		NO

Nomenclatura: 1, …, 9: número de meses con datos. a: 10 meses con datos. b: 11 meses con datos. C: 12 meses con datos.

Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA-DGA

Figura 2-54: Registro de series de datos de niveles de pozos DGA a nivel mensual

Para determinar la representatividad de las redes de monitoreo se usa el índice recomendado por la Agencia Europea del Medioambiente (EAA, por sus siglas en inglés), que aconseja la instalación de un punto de monitoreo por cada 20 o 25 km^2 (EAA, 2008). Integrando sólo las estaciones vigentes, se determina una densidad actual de 1.329,6 km^2/estación, incumpliendo con la densidad mínima sugerida a nivel de cuenca, dado que se requerirían 423 estaciones adicionales para lograr la densidad requerida. En razón que el umbral propuesto no es un estándar definido, se consideró un valor intermedio 10 veces superior, con lo que la necesidad de estaciones nuevas disminuye a 36.

El análisis puede ser profundizado a nivel de subcuenca en base a la división por sectores establecida por el BNA, según muestra la Tabla 2-33. Para efectos de cálculo, se determinó la cantidad de pozos requeridos para conseguir la densidad mínima propuesta de 25 km²/estación, pero dado el gran número de pozos que se requiere para eso, se calcula también el requerimiento para una densidad de 250 km²/estación.

Tabla 2-33: Índice de Densidad Estaciones de Niveles Calculado

Subcuenca	Cantidad Estaciones			Área Acuífero cuenca (km^2)	Densidad (km^2/estación)		
	Vigentes	Propuestas			Vigente	Propuestas	
		d=25	d=250			d=25	d=250
Río Loa Alto (bajo junta río Salado)	6	120	7	3.142,5	523,8	24,9	241,7
Río Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)	2	300	28	7.442,4	3721,2	24,6	248,1
Río Loa Bajo (entre Quebrada Amarga y Desembocadura)	0	3	1	51,8	N/E	17,3	51,8

Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA-DGA

Los resultados indican que al particularizar el análisis por subcuenca no se cumple la densidad mínima sugerida para todas las subcuencas. En consecuencia, se recomienda instalar al menos 36 estaciones fluviométricas en los siguientes sectores de interés (ver Figura 2-14 la ubicación de los SHAC):

- Loa Alto (7): cuatro en el SHAC de San Pedro de Incaliri y dos en el SHAC Pampa Puno y una es SHAC Loa Alto.
- Loa Medio (28): diez en el SHAC de Calama, cuatro en SHAC Llalqui, cuatro en SHAC Salar de Miraje, ocho en SHAC Salar de Llamara y 2 en SHAC María Elena a Quillagua.
- Los Bajo (1): En el SHAC de Quillagua a Desembocadura.

b) Sector Privado

El levantamiento de información permitió identificar una serie de puntos de monitoreo superficial de carácter privado, que en la mayoría de los han sido implementadas en el marco de Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA), o de compromisos ambientales con diferentes entes públicos y/o comunitarios. Estos compromisos es su totalidad están relacionados con la actividad minera y los proyectos desarrollados en la región.

A continuación, se identifican en la Tabla 2-34 las estaciones de monitoreo subterráneo de terceros, el origen de su compromiso ambiental y sus coordenadas UTM, mientras que en la Figura 2-55 se muestra la ubicación espacial de la red.

Tabla 2-34: Puntos de Monitoreo Subterráneo de Terceros

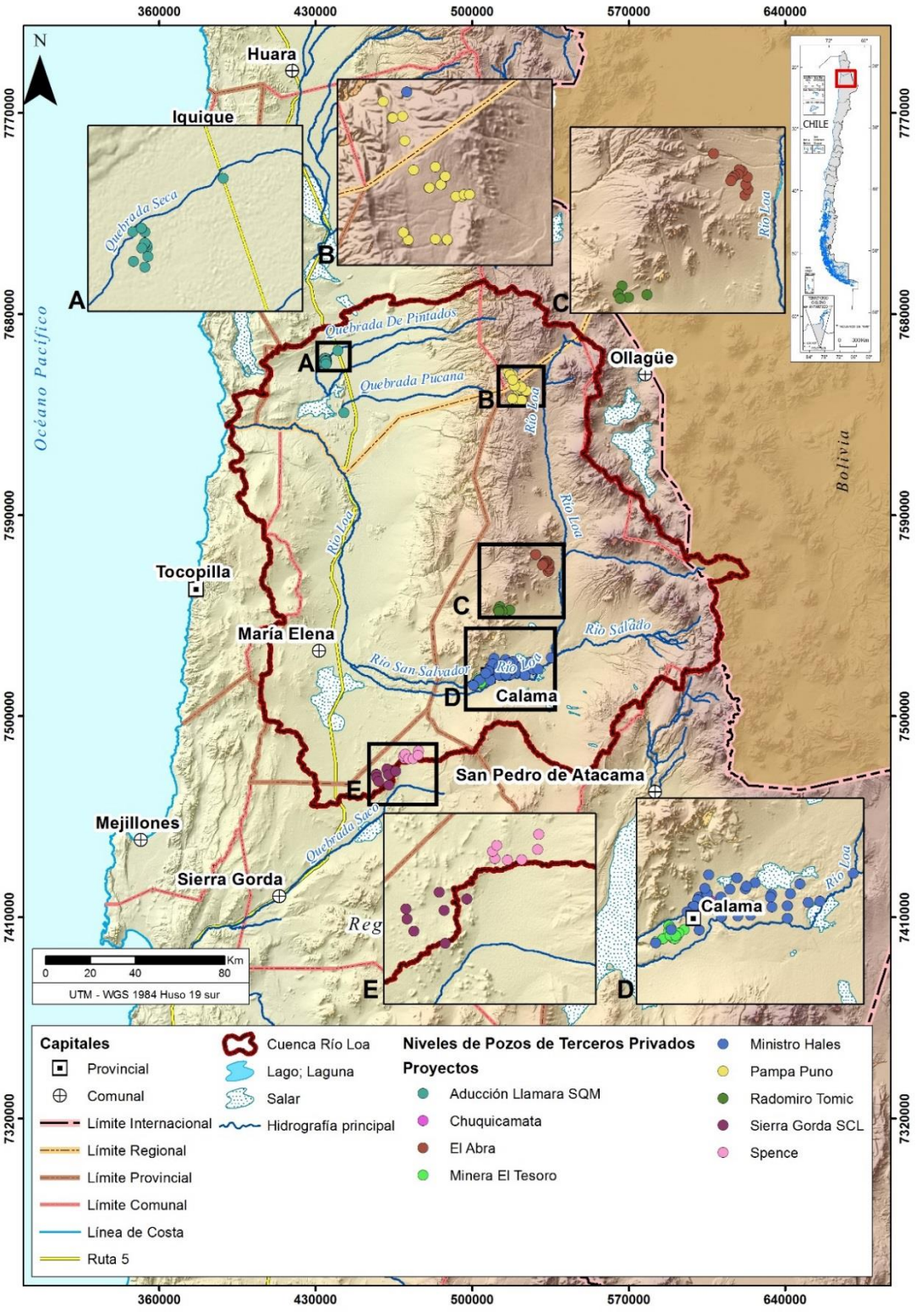
Estación	WGS 84 UTM 19S		Faena	Compromiso
	E (m)	N (m)		
CHUCA-5	510.309	7.521.190	Chuquicamata	Optimización Sistema de Conducción y Distribución de Relave en Tranque Talabre.
SE-4A	523.719	7.520.311	Chuquicamata	Informar mediciones mensuales de niveles freáticos y calidad química del agua de los pozos SI-15E, CHUCA-5, SE-4.
SAF-31	533.950	7.564.960	El Abra	Adicionalmente, como condición de la RCA, se elaboró un Plan de Manejo Ambiental del Salar de Ascotán, visado por la Dirección General de Aguas (DGA). Según el ORD. N° 140 del 23 de agosto de 2010 de la Dirección General de Aguas, el seguimiento del proyecto que se describe en la RCA que aprueba el proyecto Sulfolix, establece umbrales y medidas a tomar en el caso de la activación de éstos.
SMW-1	534.485	7.565.966	El Abra	
SMW-2	534.071	7.566.863	El Abra	
SMW-3	534.391	7.568.199	El Abra	
SMW-4	533.430	7.569.271	El Abra	
SMW-5	532.950	7.569.531	El Abra	
SMW-6	532.742	7.568.666	El Abra	
SMW-7	532.080	7.568.366	El Abra	
SMW-8	531.755	7.568.026	El Abra	
SMW-9	531.520	7.567.521	El Abra	
SMW-11	528.417	7.572.295	El Abra	
LE-1	502.861	7.516.861	El Tesoro	Se enmarca en el Programa de Monitoreo Global del Plan de Alerta Temprana (PAT) "Habilitación Sectorial Pozo P-10 de Minera El Tesoro", aprobado en septiembre de 2010 por la Dirección General de Aguas (DGA).
LE-4	502.817	7.515.785	El Tesoro	
LE-6	503.231	7.516.371	El Tesoro	
LE-7	504.025	7.515.108	El Tesoro	
OBC-7C	500.670	7.514.080	El Tesoro	
OBS-10C-A	501.801	7.514.492	El Tesoro	
OBS-10C-B	501.801	7.514.492	El Tesoro	
OBS-6C	505.564	7.516.093	El Tesoro	
OBS-8C	503.585	7.514.673	El Tesoro	
P-18	504.075	7.515.259	El Tesoro	Se enmarca en el Programa de Monitoreo Global del Plan de Alerta Temprana (PAT) "Habilitación Sectorial Pozo P-10 de Minera El Tesoro", aprobado en septiembre de 2010 por la Dirección General de Aguas (DGA).
P-19	503.891	7.514.882	El Tesoro	
P-24	504.277	7.514.962	El Tesoro	
P-25	503.896	7.514.520	El Tesoro	
PBC-1	503.081	7.515.095	El Tesoro	
PPR-1	504.582	7.515.527	El Tesoro	
PPR-4	504.051	7.515.081	El Tesoro	
ARMH-1	514.863	7.525.227	Ministro Hales	COMPROMISOS: A. Determinar las eventuales afecciones del caudal de los ríos Loa, San Salvador y a las Vegas de Calama producto del drenaje del rajo de MMH. B. Determinar posibles infiltraciones provenientes de las aguas de relaves del tranque y, C. Realizar el seguimiento a las variables (Niveles y Características fisicoquímicas) en las estaciones que pertenecen al Plan de Monitoreo para aguas subterráneas, señalado en el E.I.A del proyecto.
ARMH-2	514.863	7.525.277	Ministro Hales	
CC-1	508.184	7.521.875	Ministro Hales	
CC-2	508.173	7.521.856	Ministro Hales	
CC-4	510.118	7.520.903	Ministro Hales	
CC-5	510.123	7.520.871	Ministro Hales	
CC-6	510.624	7.519.719	Ministro Hales	
CC-7	510.591	7.519.688	Ministro Hales	
CC-8	508.466	7.520.786	Ministro Hales	
CC-9	508.504	7.520.800	Ministro Hales	
CC-10	512.120	7.518.395	Ministro Hales	
CC-11	512.073	7.518.390	Ministro Hales	

Estación	WGS 84 UTM 19S		Faena	Compromiso
	E (m)	N (m)		
CC-12	503.276	7.516.125	Ministro Hales	COMPROMISOS: A. Determinar las eventuales afecciones del caudal de los ríos Loa, San Salvador y a las Vegas de Calama producto del drenaje del rajo de MMH. B. Determinar posibles infiltraciones provenientes de las aguas de relaves del tranque y, C. Realizar el seguimiento a las variables (Niveles y Características fisicoquímicas) en las estaciones que pertenecen al Plan de Monitoreo para aguas subterráneas, señalado en el E.I.A del proyecto.
CC-14	500.545	7.513.794	Ministro Hales	
CC-15	500.524	7.513.775	Ministro Hales	
CC-16	509.586	7.522.437	Ministro Hales	
CC-17	507.079	7.520.201	Ministro Hales	
CC-18	509.584	7.522.425	Ministro Hales	
CHU-45	509.894	7.525.811	Ministro Hales	
CHUCA-6B	507.976	7.521.358	Ministro Hales	
CHUCA-7B	508.205	7.516.058	Ministro Hales	
PBMM-4	509.239	7.523.406	Ministro Hales	
PIB-1	518.307	7.655.191	Ministro Hales	
PIQUE_MM	512.003	7.521.816	Ministro Hales	
SI-18C	513.587	7.523.227	Ministro Hales	
SI-23C	507.350	7.520.244	Ministro Hales	
SI-24E	507.256	7.520.264	Ministro Hales	
SI-7B	520.951	7.522.287	Ministro Hales	
SI-8C	506.063	7.519.231	Ministro Hales	
TL-02C	520.753	7.521.874	Ministro Hales	
TL-03C	524.293	7.522.474	Ministro Hales	
TL-04C	521.009	7.520.087	Ministro Hales	
TL-05C	523.732	7.520.312	Ministro Hales	
TL-06C	527.374	7.520.918	Ministro Hales	
TL-07C	529.470	7.521.100	Ministro Hales	
TL-09C	516.323	7.523.308	Ministro Hales	
TL-10C	518.095	7.524.378	Ministro Hales	
TL-11C	516.521	7.523.748	Ministro Hales	
TL-12C	523.766	7.518.135	Ministro Hales	
TL-13C	523.766	7.518.135	Ministro Hales	
TL-24	517.265	7.518.630	Ministro Hales	
TL-26C	517.231	7.520.467	Ministro Hales	
TL-27C	515.006	7.518.491	Ministro Hales	
TL-28C	525.912	7.524.158	Ministro Hales	
TL-29	535.349	7.526.074	Ministro Hales	
PSAD-1	523.715	7.645.554	Pampa Puno	PAT Pampa Puno
PSAD-2	523.653	7.645.504	Pampa Puno	
PSAD-3	523.470	7.645.365	Pampa Puno	
Puno-10 E	520.417	7.646.180	Pampa Puno	
PUNO-10B	521.909	7.647.243	Pampa Puno	
Puno11 B	520.443	7.646.202	Pampa Puno	
Puno-11 E	518.457	7.641.281	Pampa Puno	
PUNO-11B	520.443	7.646.202	Pampa Puno	
PUNO-13	522.911	7.645.375	Pampa Puno	
Puno-2 E	522.105	7.641.251	Pampa Puno	
PUNO-2B	521.010	7.641.380	Pampa Puno	
Puno-3 E	521.530	7.646.475	Pampa Puno	
Puno-3 E A	522.099	7.641.335	Pampa Puno	
Puno-314 B	518.000	7.642.000	Pampa Puno	

Estación	WGS 84 UTM 19S		Faena	Compromiso
	E (m)	N (m)		
PUNO-4B	521.521	7.646.467	Pampa Puno	PAT Pampa Puno
PUNO-9B	521.001	7.648.159	Pampa Puno	
SAPUNTA-1	523.723	7.645.562	Pampa Puno	
SAPUNTA-2	524.190	7.645.570	Pampa Puno	
YOC-8	516.979	7.652.785	Pampa Puno	
YOC-9	517.932	7.652.893	Pampa Puno	
YOC-10	521.927	7.647.247	Pampa Puno	
YOCA-03	516.126	7.654.291	Pampa Puno	
YOCA-08	518.955	7.647.854	Pampa Puno	
YOCA-09	516.985	7.652.777	Pampa Puno	
YOCA-10	518.146	7.650.598	Pampa Puno	
PCH-2	512.338	7.548.960	Radomiro Tomic	El objetivo es informar sobre el seguimiento efectuado en las aguas subterráneas de los sectores industriales de la División Radomiro Tomic (DRT) en el marco del Plan de132/2012 del proyecto Ampliación Vigilancia Ambiental, de acuerdo con lo consolidado y sistematizado en la Resolución Exenta N° 132/2012 del proyecto Ampliación.
PCH-3	516.721	7.547.472	Radomiro Tomic	Botadero de Ripios, el cual incluye todos los pozos de monitoreo hidrogeológico comprometidos en diversas RCA que sustentan la continuidad operacional de la División.
PCH-4	513.455	7.546.987	Radomiro Tomic	
PCH-12	511.620	7.547.565	Radomiro Tomic	
PCH-13	511.946	7.546.816	Radomiro Tomic	
S PM-1	475.980	7.484.527	Spence	Punto 9 de la RCA 0015/2004: El programa actualizado de monitoreo hidrogeológico contempla el seguimiento de parámetros asociados a agua subterránea en tres tipos de ubicación, cada una con objetivos específicos: Alerta temprana: corresponde a sitios ubicados aguas bajo de las instalaciones mineras de interés, a una distancia relativamente corta, dentro del área del proyecto. Su objetivo es permitir una detección oportuna de eventuales alteraciones en las aguas subterráneas, de modo que se puedan aplicar medidas correctivas, en caso de ser necesario. Control: corresponde a sitios donde el recurso subterráneo es utilizado por
SPM-3	469.757	7.481.096	Spence	
SPM-4	469.421	7.482.115	Spence	
SPM-5	470.008	7.483.018	Spence	

Estación	WGS 84 UTM 19S		Faena	Compromiso
	E (m)	N (m)		
SPM-6	471.558	7.480.893	Spence	terceros (pozos de producción en este caso), y donde interesa no causar afectación. Su objetivo es verificar que el proyecto no altera las condiciones y características de las aguas subterráneas en estos puntos de control. Condición "natural": corresponde a sitios ubicados aguas arriba de las instalaciones mineras de interés, en lugares no susceptibles de verse afectados por el proyecto. Su objetivo es el seguimiento de las condiciones y características "no alteradas" de las aguas subterráneas afluentes al área de influencia del proyecto.
SPM-7	473.577	7.480.976	Spence	
SPM-8	475.814	7.482.392	Spence	
CB-5	461.870	7.476.311	Sierra Gorda SCL	Para verificar que los resultados de la modelación hidrogeológica, detallado en el Anexo 1-5.1 de la Adenda N° 3 del EIA o Extracto: Verificar que los resultados de la modelación hidrogeológica, detallado en el Anexo 1-5.1 de la Adenda N° 3 del EIA, evolucionen y se mantengan dentro de lo predicho, se implementará un plan de monitoreo que permita registrar a lo largo del tiempo los cambios que efectivamente ocurran en la dinámica del acuífero y en pozos de terceros.
CB-6	462.584	7.473.735	Sierra Gorda SCL	
CB-7	457.133	7.473.958	Sierra Gorda SCL	
CB-8	457.316	7.472.504	Sierra Gorda SCL	
CB-9	462.714	7.469.049	Sierra Gorda SCL	
CB-11	458.248	7.470.767	Sierra Gorda SCL	
QSG08-402	465.800	7.475.371	Sierra Gorda SCL	

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2016c)



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2016c)

Figura 2-55: Ubicación de red de monitoreo subterráneo de terceros en la cuenca del río Loa

2.4.8.4 Estaciones de Calidad de Aguas

Por la extensión temporal de sus registros, la cobertura nacional de sus estaciones y la estandarización de los procesos analíticos de su laboratorio se define como red de monitoreo base de calidad de agua base para la cuenca del río Loa a la operada por DGA.

a) Sector Público

Las variables de reportes de pozos que entrega el BNA corresponden a: resultados de análisis físico-químicos y/o biológicos periódicos.

En términos generales, el monitoreo se realiza cada 3 o 4 meses por personal de la DGA regional, quienes toman información de parámetros Físico/Químico in situ para luego extraer y preparar muestras de agua para ser enviadas al Laboratorio central de la DGA en Santiago. Una vez que se validan los datos generados por la analítica estos son puestos a disposición del público a través de la plataforma computacional (SNIA).

Del análisis de información se determina que la red posee 39 estaciones de calidad de aguas dentro de la cuenca, de las cuales 20 de ellas se encuentran vigentes (51%) y 19 suspendidas (49%). De las estaciones vigentes, 16 son superficiales y 4 subterráneas. La Tabla 2-35 detalla algunas características de la red, mientas que la ubicación espacial se muestra en la Figura 2-56.

Tabla 2-35: Estaciones de calidad de aguas DGA en cuenca del río Loa

Código BNA	Nombre	WGS 84 UTM 19S		Vigencia
		E (m)	N (m)	
02110012-9	Agua potable Calama (CA)	506.303	7.516.401	Vigente
02112002-2	Canal Quillagua en Quillagua	444.079	7.606.148	Suspendida
02104012-6	Pozo Chiu Chiu	541.293	7.529.538	Vigente
02113003-6	Río Guatacondo en Pueblo (En Guatacondo)	494.800	7.687.044	Suspendida
02113002-8	Río Guatacondo en Tamentica (CA)	482.673	7.681.502	Suspendida
02113004-4	Río Guatacondo en Tiquina (CA)	489.602	7.685.197	Vigente
02113001-K	Río Huatacondo en Copaquire	511.694	7.685.698	Vigente
02104005-3	Río Loa antes junta río Salado	535.851	7.526.816	Vigente
02110007-2	Río Loa antes junta San Salvador	445.621	7.523.155	Suspendida
02102004-4	Río Loa antes río San Pedro (CA)	541.295	7.568.932	Suspendida
02112005-7	Río Loa antes zona agrícola Quillagua	446.367	7.598.541	Suspendida

Código BNA	Nombre	WGS 84 UTM 19S		Vigencia
		E (m)	N (m)	
02112007-3	Río Loa D.J. San Salvador (M. Elena)	441.661	7.528.722	Suspendida
02110008-0	Río Loa después junta río Salado (CA)	535.105	7.525.403	Suspendida
02104006-1	Río Loa después río San Pedro (CA)	541.119	7.572.247	Vigente
02104004-5	Río Loa en alcantarilla Conchi N"1	540.609	7.569.980	Suspendida
02104003-7	Río Loa en alcantarilla Conchi N"2	540.338	7.569.420	Suspendida
02110011-0	Río Loa en Angostura (CA)	529.154	7.517.303	Suspendida
02110005-6	Río Loa en Calama (CA)	510.289	7.517.327	Suspendida
02112004-9	Río Loa en camino Chuqui-Tocopilla (CA)	443.148	7.537.147	Suspendida
02110003-K	Río Loa en Chintoraste	502.342	7.511.488	Suspendida
02120001-8	Río Loa en desembocadura	390.621	7.630.112	Vigente
02110001-3	Río Loa en Escorial	511.262	7.517.871	Vigente
02110004-8	Río Loa en Finca	500.925	7.510.778	Vigente
02112001-4	Río Loa en Quillagua	444.627	7.605.412	Vigente
02101002-2	Río Loa en represa Lequena	535.264	7.604.060	Vigente
02104002-9	Río Loa en salida embalse Conchi	539.097	7.564.038	Vigente
02104013-4	Río Loa en Vado Santa Bárbara (DOH)	540.226	7.569.842	Vigente
02110002-1	Río Loa en Yalquincha	512.421	7.517.290	Vigente
02105001-6	Río Salado A.J. Curti	578.008	7.536.087	Vigente
02105005-9	Río Salado A.J. Loa	538.772	7.527.734	Suspendida
02105002-4	Río Salado en sifón Ayquina	567.491	7.535.007	Vigente
02103001-5	Río San Pedro en parshall N"1	565.247	7.570.382	Vigente
02111002-7	Río San Salvador antes junta río Loa	445.659	7.522.981	Vigente
02103005-8	Río Siloli (CA)	598.032	7.561.302	Suspendida
02105007-5	Río Toconce antes represa SENDOS	588.002	7.536.311	Vigente
02105006-7	Río Toconce en represa SENDOS (CA)	587.589	7.539.223	Suspendida
02112010-3	Tranque Santa Fé	444.759	7.579.405	Suspendida
02112011-1	Tranque Sloman (CA)	447.041	7.583.687	Suspendida
02111001-9	Vertiente Ojos de Opache	499.822	7.513.590	Vigente

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA

De las estaciones presentadas en la Tabla 2-35, sólo una de ellas está ubicada en el sector bajo de la cuenca, mientras que para sectores medios se emplazan 22 estaciones: 9 vigentes y 13 suspendidas. El resto de las estaciones corresponden a 16 y se ubican en el sector alto (una de ellas de tipo subterráneo), donde 10 se encuentran vigentes y 6 suspendidas.

El análisis de la distribución territorial de estaciones de calidad de aguas DGA sigue los mismos lineamientos que el presentado en el acápite 2.4.8.1, aunque para este caso hay que usar la densidad sugerida para estaciones de calidad de agua de la Tabla 2-25, definido como 20.000 km^2/estación. Integrando sólo las estaciones vigentes, se determina una densidad actual de 1.654,2 km^2/estación, cumpliendo así con la densidad mínima sugerida a nivel de cuenca.

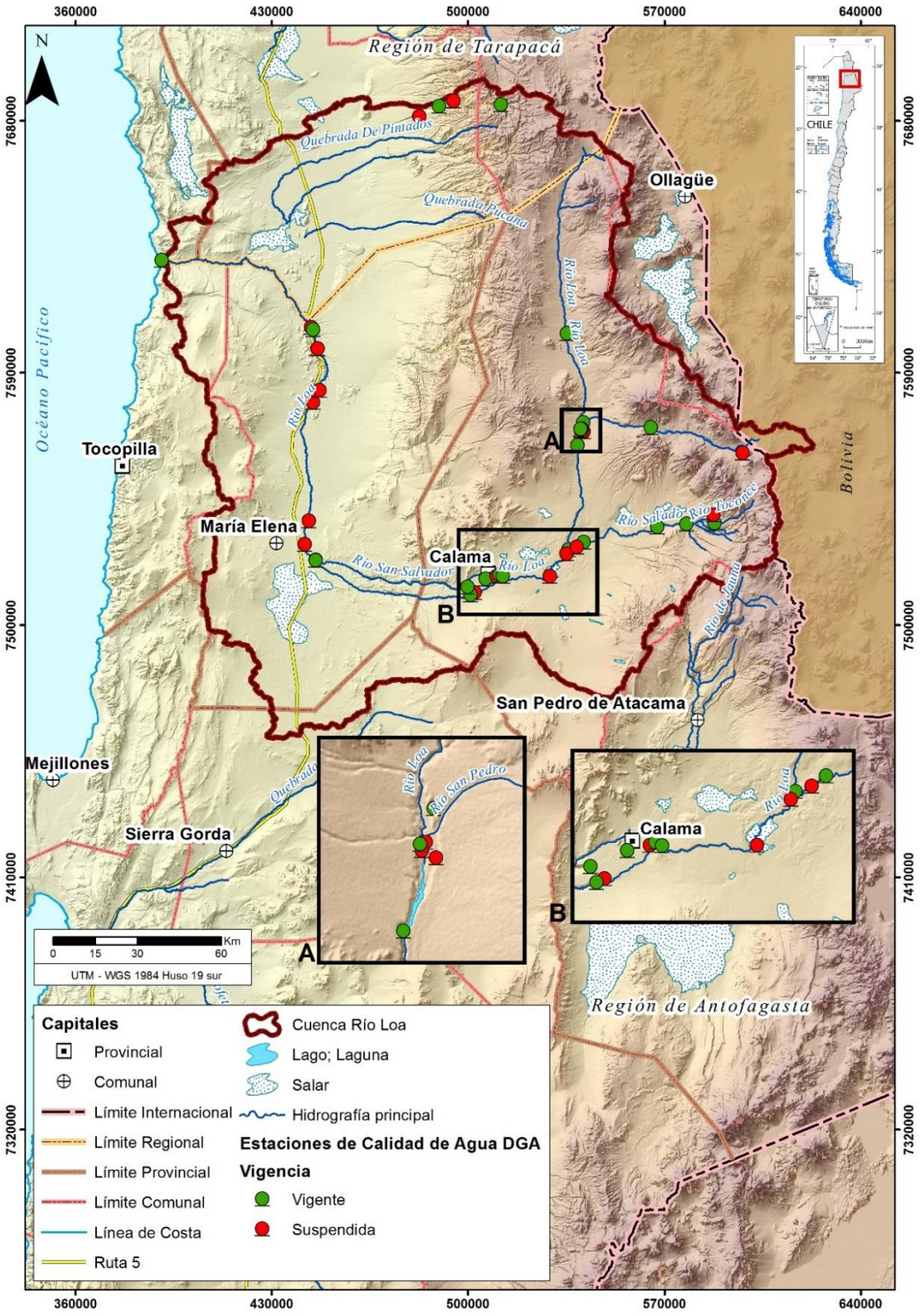
Este análisis puede ser profundizado a nivel de subcuenca en base a la división por sectores establecida por el BNA, según se presenta en la Tabla 2-36. Los resultados de la sectorización confirman que existe una densidad adecuada de estaciones de calidad de agua también a nivel de subcuencas.

Tabla 2-36: Índice de densidad estaciones calidad de aguas superficiales

Subcuenca	Cantidad Estaciones		Área cuenca (km^2)	Densidad (km^2/estación)	
	Vigentes	Necesarias		Actual	Esperada
Río Loa Alto (bajo junta río Salado)	9	0	8.132	903,6	903,6
Río Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)	9	0	24.409	2.712,1	2.712,1
Río Loa Bajo (entre Quebrada Amarga y Desembocadura)	1	0	542	542	542

Fuente: Elaboración propia

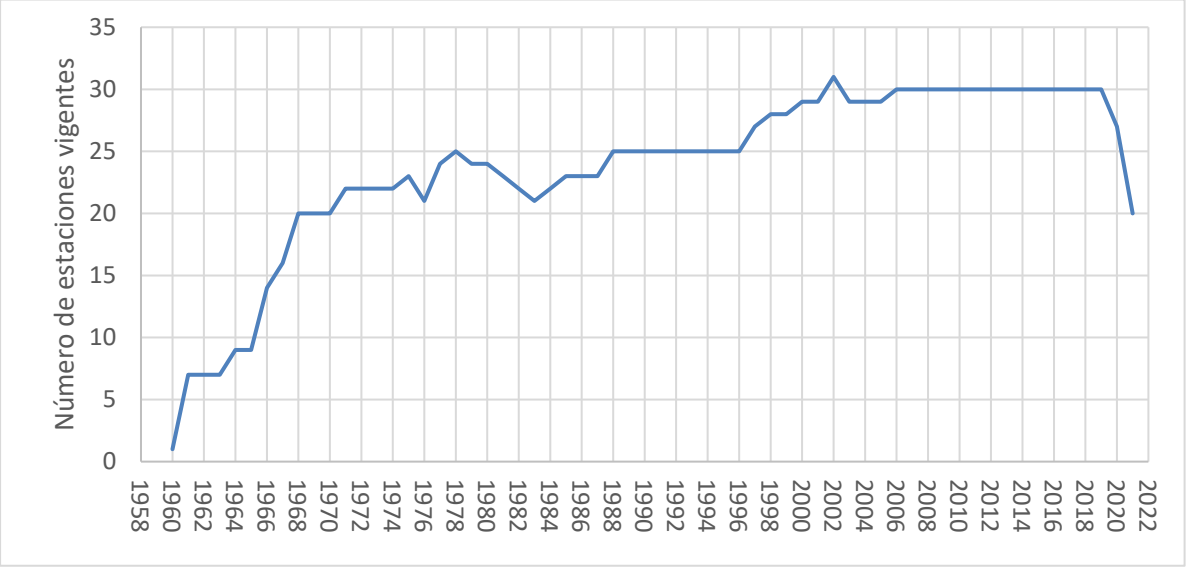
Para la calidad de aguas subterráneas se proponen las mismas densidades de estaciones que para niveles, por lo que se recomienda controlar calidad en las mismas estaciones en que se controlan niveles.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA

Figura 2-56: Ubicación de estaciones de calidad de agua DGA en la cuenca del río Loa

La Figura 2-57 detalla la evolución temporal de la red de monitoreo de calidad de aguas en la cuenca del río Loa. Esta red comienza en 1960 y aumenta o se mantiene constante hasta 1976, donde se suspenden las primeras dos estaciones. Para 1978 la red cuenta con 25 estaciones vigentes, pero en el periodo 1979 – 1983 nuevamente se suspenden cinco estaciones. En general, hasta 2020 sólo aumentan las estaciones vigentes (con excepción del año 2003 donde se dan de baja dos) llegando a un total de 30 estaciones vigentes, sin embargo, existe un abrupto descenso de 10 estaciones hacia 2021, quedando finalmente con las 20 estaciones vigentes actuales.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA

Figura 2-57: Número de estaciones de calidad de aguas vigentes en cuenca del río Loa

b) Sector Privado

El levantamiento de información permitió identificar una serie de puntos de monitoreo en cauces superficiales de carácter privado, que en la mayoría de los casos han sido implementadas en el marco de Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA), o de compromisos ambientales con diferentes entes públicos y/o comunitarios. Estos compromisos es su totalidad están relacionados con la actividad minera y los proyectos desarrollados en la región.

A continuación, se identifican en la Tabla 2-37 las estaciones de monitoreo de calidad de aguas de terceros, el origen de su compromiso ambiental y sus coordenadas UTM, mientras que en la Figura 2-58 se muestra la ubicación espacial de la red.

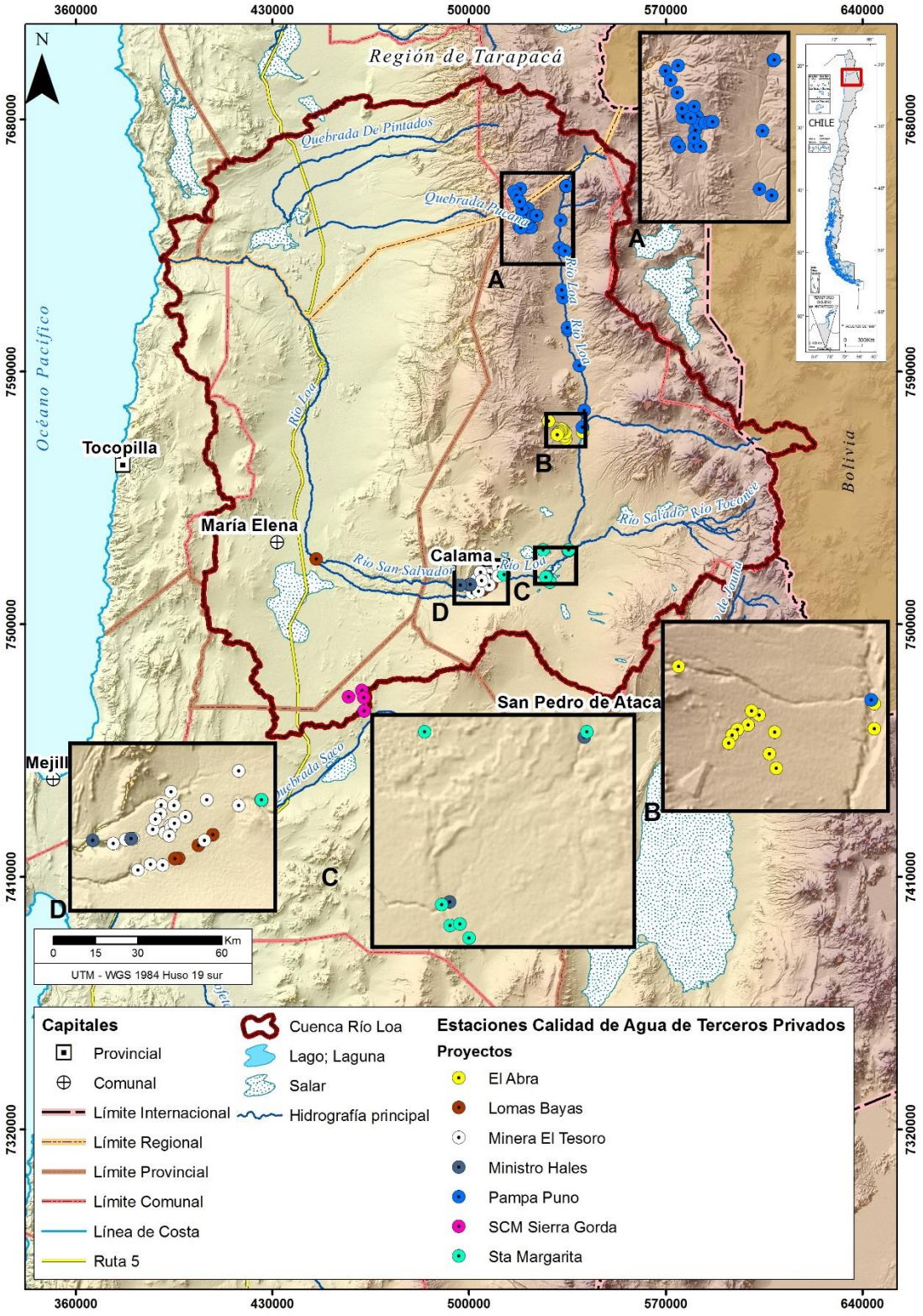
Tabla 2-37: Puntos de Monitoreo de Calidad de Aguas de Terceros

Estación	WGS 84 UTM 19S		Proyecto	RCA
	E (m)	N (m)		
P-5	540.609	7.569.980	El Abra	0048/1995
P-6	540.605	7.568.412	El Abra	0048/1995
SMW-1	534.485	7.565.966	El Abra	0048/1995
SMW-11	528.417	7.572.295	El Abra	0048/1995
SMW-2	534.071	7.566.863	El Abra	0048/1995
SMW-3	534.391	7.568.199	El Abra	0048/1995
SMW-4	533.430	7.569.271	El Abra	0048/1995
SMW-5	532.950	7.569.531	El Abra	0048/1995
SMW-6	532.742	7.568.666	El Abra	0048/1995
SMW-7	532.080	7.568.366	El Abra	0048/1995
SMW-8	531.755	7.568.026	El Abra	0048/1995
SMW-9	531.520	7.567.521	El Abra	0048/1995
CHUNCHURI BAJO	504.907	7.512.225	Lomas Bayas	54/2007
DUPONT	504.568	7.512.205	Lomas Bayas	40/1995
LA PRENSA	506.761	7.513.415	Lomas Bayas	40/1995
NUÑEZ	508.076	7.514.434	Lomas Bayas	40/1995
RÍO LOA ANTES JUNTA SAN SALVADOR	445.672	7.523.201	Lomas Bayas	126/2011
Agua Potable Calama	507.512	7.517.660	Minera El Tesoro	31/1997
Aguas Servidas Quebrada Quetena	504.490	7.517.142	Minera El Tesoro	31/1997
LE-2	503.306	7.517.179	Minera El Tesoro	31/1997
LE-9	505.580	7.516.064	Minera El Tesoro	31/1997
OBS-7C	500.670	7.514.080	Minera El Tesoro	31/1997
OBS-7L	500.675	7.514.075	Minera El Tesoro	31/1997
OBS-9C	504.092	7.515.243	Minera El Tesoro	31/1997
OBS-11C	498.849	7.513.604	Minera El Tesoro	31/1997
OBS-12C	510.487	7.520.330	Minera El Tesoro	31/1997
OBS-12L	510.479	7.520.326	Minera El Tesoro	31/1997
P-7	503.615	7.514.639	Minera El Tesoro	31/1997
P-10	503.645	7.514.581	Minera El Tesoro	31/1997
P-21	504.219	7.515.039	Minera El Tesoro	31/1997
P-27	504.023	7.514.329	Minera El Tesoro	31/1997
PBC-2	502.512	7.514.926	Minera El Tesoro	31/1997
PPR-2	505.546	7.516.089	Minera El Tesoro	31/1997
PPR-3	503.224	7.516.369	Minera El Tesoro	31/1997
PPR-5	502.772	7.515.863	Minera El Tesoro	31/1997
Puente Viejo Calama	507.308	7.513.889	Minera El Tesoro	31/1997
Río Loa en la Cascada	502.311	7.511.672	Minera el Tesoro	31/1997
Río Loa Cascada	501.136	7.511.124	Minera El Tesoro	31/1997
Río Loa en Yalquincha	512.623	7.517.608	Minera El Tesoro	31/1997

Estación	WGS 84 UTM 19S		Proyecto	RCA
	E (m)	N (m)		
Río Loa este Calama	510.498	7.517.119	Minera El Tesoro	31/1997
Río San Salvador MET 1	504.198	7.518.387	Minera El Tesoro	31/1997
Vertiente La Cascada	503.425	7.511.604	Minera El Tesoro	31/1997
Vertiente Likantatay	504.539	7.515.483	Minera El Tesoro	31/1997
Vertiente Ojos de Opache ENAEX	500.028	7.513.965	Minera El Tesoro	31/1997
Vertiente Ojos de Opache Nacimiento	500.536	7.514.008	Minera El Tesoro	31/1997
RLL	535.384	7.526.073	Ministro Hales	311/2005
RLM	527.893	7.516.894	Ministro Hales	311/2005
RLQ	512.575	7.517.670	Ministro Hales	311/2005
RSSA	500.522	7.514.078	Ministro Hales	40/1995
RSSB	496.962	7.513.886	Ministro Hales	40/1995
PIB-1	518.307	7.655.191	Pampa Puno	2603/2005
PUNO-2B	521.010	7.641.380	Pampa Puno	2603/2005
Puno-3 E A	522.099	7.641.335	Pampa Puno	2603/2005
PUNO-3EA	522.099	7.641.335	Pampa Puno	2603/2013
Puno-4 E	519.036	7.646.431	Pampa Puno	2603/2012
PUNO-4B	521.521	7.646.467	Pampa Puno	2603/2011
Puno-5 E	521.207	7.644.159	Pampa Puno	2603/2010
PUNO-6B	521.203	7.644.155	Pampa Puno	2603/2009
PUNO-7B	521.003	7.642.803	Pampa Puno	2603/2008
PUNO-8B	521.932	7.645.237	Pampa Puno	2603/2007
PUNO-9B	521.001	7.648.159	Pampa Puno	2603/2006
PUNO-11B	520.443	7.646.202	Pampa Puno	2603/2005
PUNO-13	522.911	7.645.375	Pampa Puno	2603/2005
Puno-314 B	518.000	7.642.000	Pampa Puno	2603/2005
PUNO-314B	518.455	7.641.279	Pampa Puno	2603/2014
RL-1	534.636	7.656.118	Pampa Puno	2603/2015
RL-2	534.546	7.656.056	Pampa Puno	2603/2019
RL-8	533.595	7.616.341	Pampa Puno	2603/2020
RL-11	535.223	7.604.671	Pampa Puno	2603/2016
RL-12	541.126	7.576.173	Pampa Puno	2603/2017
RL-13	540.408	7.570.216	Pampa Puno	2603/2018
RLA	534.784	7.656.202	Pampa Puno	2603/2021
RLB	532.726	7.644.016	Pampa Puno	2603/2022
RLC	532.248	7.634.055	Pampa Puno	2603/2023
RLD	534.329	7.632.973	Pampa Puno	2603/2024
RLE	533.067	7.619.006	Pampa Puno	2603/2024
RLF	535.129	7.605.591	Pampa Puno	2603/2025
RLG	539.337	7.592.147	Pampa Puno	2603/2026
SAPUNTA-1	523.723	7.645.562	Pampa Puno	2603/2005

Estación	WGS 84 UTM 19S		Proyecto	RCA
	E (m)	N (m)		
SAPUNTA-2	524.190	7.645.570	Pampa Puno	2603/2005
YOCA-03	516.126	7.654.291	Pampa Puno	2603/2005
YOCA-08	518.955	7.647.854	Pampa Puno	2603/2005
YOCA-09	516.985	7.652.777	Pampa Puno	2603/2005
YOCA-10	518.146	7.650.598	Pampa Puno	2603/2005
CB-5	461.870	7.476.311	SCM Sierra Gorda	126/2011
CB-6	462.584	7.473.735	SCM Sierra Gorda	126/2011
CB-7	457.133	7.473.958	SCM Sierra Gorda	126/2011
CB-9	462.714	7.469.049	SCM Sierra Gorda	126/2011
FALDA 1	527.924	7.515.565	Sta Margarita	82/2008
FALDA 2	528.475	7.515.648	Sta Margarita	82/2008
NFPD1	528.973	7.514.879	Sta Margarita	82/2008
RÍO LOA	535.552	7.526.376	Sta Margarita	82/2008
RÍO YALQUINCHA	512.594	7.517.657	Sta Margarita	82/2008
VERTIENTE	527.453	7.516.732	Sta Margarita	82/2008
VERTIENTE ABAJO	526.500	7.526.376	Sta Margarita	43/1998

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2016c)



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2016c)

Figura 2-58: Ubicación de red de monitoreo de calidad de aguas de terceros en la cuenca del río Loa

2.4.8.5 Estaciones Sedimentológicas

Las variables de reportes de sedimentos del BNA corresponden a: Muestreo rutinario (Diario).

Del análisis de información se determina que la red posee 5 estaciones de calidad de aguas dentro de la cuenca, todas en estado vigente. La Tabla 2-38 detalla algunas características de la red, mientas que la ubicación espacial se muestra en la Figura 2-59.

Tabla 2-38: Estaciones Sedimentarias DGA en cuenca del río Loa

Código BNA	Nombre	WGS 84 UTM 19S		Vigencia
		E (m)	N (m)	
02101001-4	Río Loa Antes Represa Lequena	534.963	7.605.223	Vigente
02110001-3	Río Loa en Escorial	511.262	7.517.871	Vigente
02101002-2	Río Loa en Represa Lequena	535.264	7.604.060	Vigente
02110002-1	Río Loa en Yalquincha	512.421	7.517.290	Vigente
02105002-4	Río Salado En Sifón Ayquina	567.491	7.535.007	Vigente

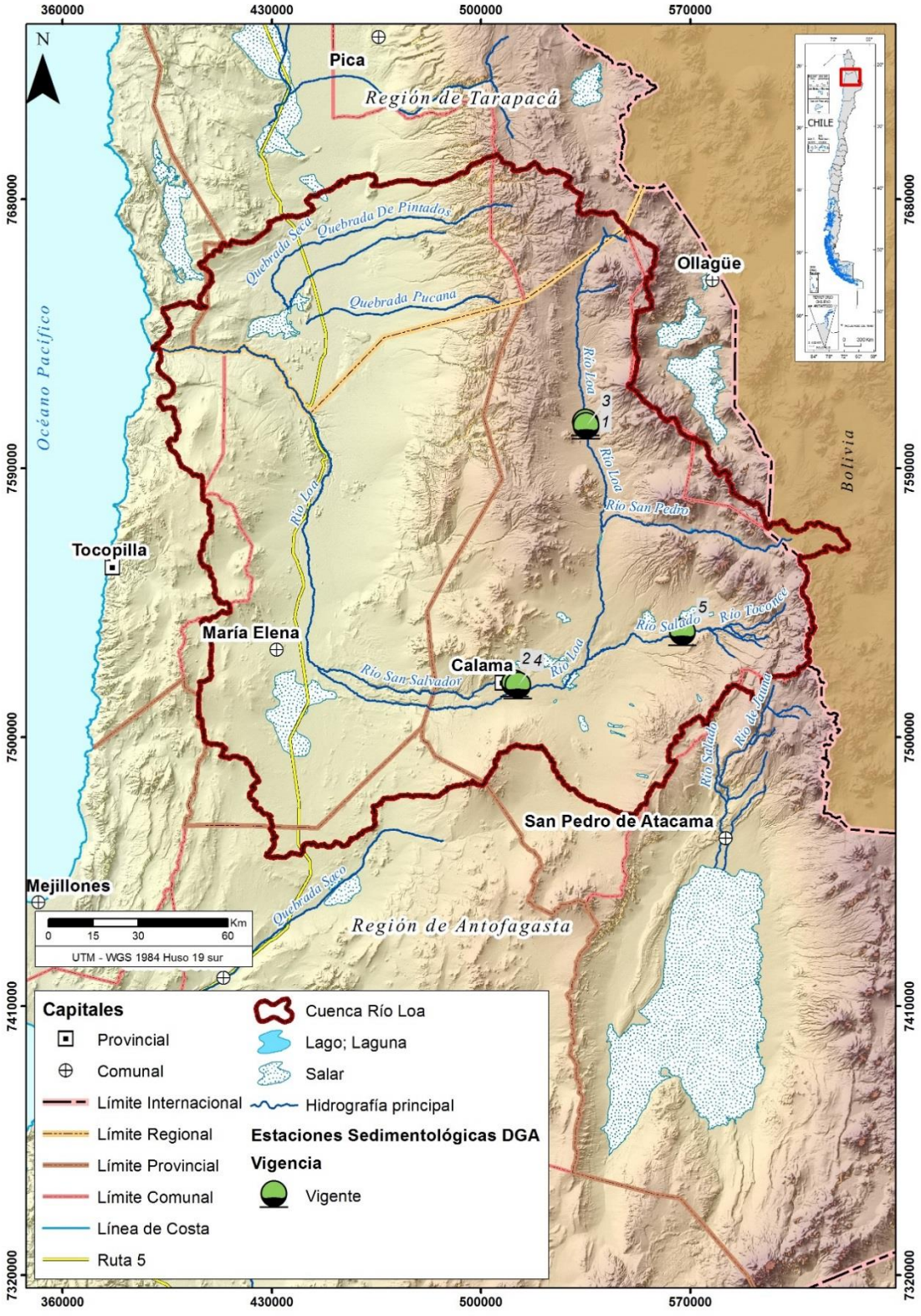
Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA

De las estaciones presentadas en la Tabla 2-38, ninguna está ubicada en el sector bajo de la cuenca, mientras que para sectores medios se emplazan dos estaciones. El resto de las estaciones corresponden a tres y se ubican en el sector alto.

La Figura 2-60 detalla la evolución temporal de la red de monitoreo de sedimentología en la cuenca del río Loa. Esta red comienza en 1961 y aumenta o se mantiene constante hasta la actualidad. Para los años 1964; 1966; 1967 y 1988 se añaden las siguientes cuatro estaciones, completando la red de monitoreo a nivel de cuenca.

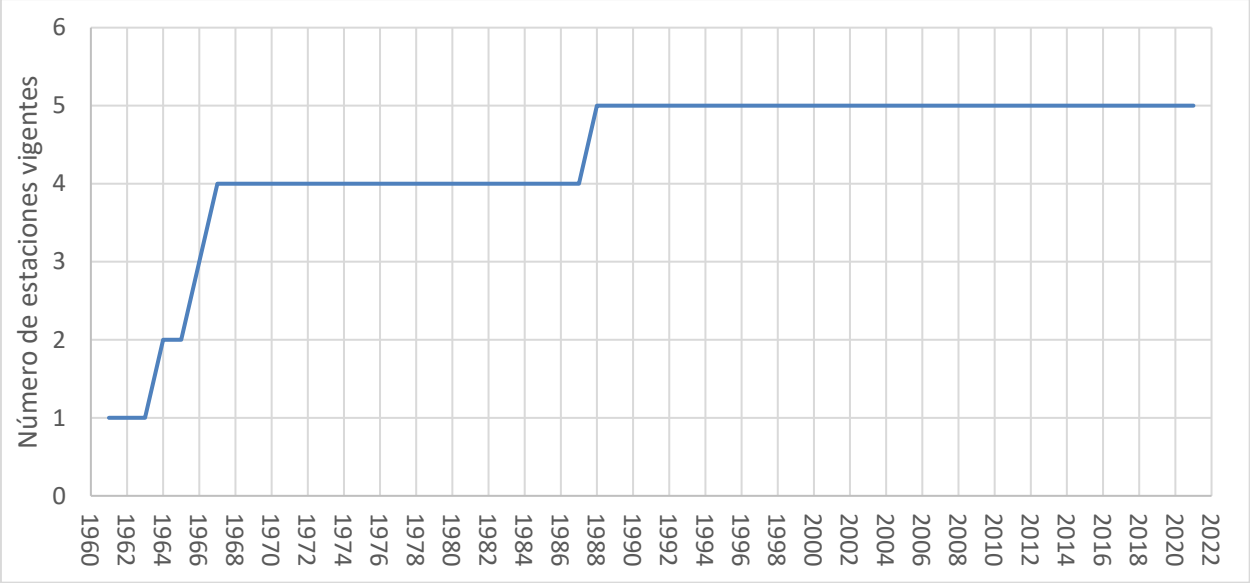
El análisis de la distribución territorial de estaciones sedimentarias DGA sigue los mismos lineamientos que el presentado en el Acápite 2.4.8.2, aunque para este caso hay que usar la densidad sugerida para estaciones sedimentarias de la Tabla 2-25, definido como 6.700 km^2/estación. Integrando sólo las estaciones vigentes, se determina una densidad actual de 6.616,6 km^2/estación, cumpliendo así con la densidad mínima sugerida a nivel de cuenca.

Este análisis puede ser profundizado a nivel de subcuenca en base a la división por sectores establecida por el BNA, según muestra la Figura 2-59. Los resultados de la Tabla 2-39 indican que al particularizar el análisis por subcuenca se deja de cumplir la densidad mínima sugerida por OMM (2008) para las subcuencas río Loa Medio y río Loa Bajo. Lo anterior es consecuencia de que existe una fuerte concentración de estaciones en la cabecera del río Loa.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA

Figura 2-59: Ubicación de Estaciones Sedimentológicas DGA en la cuenca del río Loa



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA

Figura 2-60: Estaciones sedimentológicas vigentes en cuenca del río Loa

Tabla 2-39: Índice de densidad estaciones sedimentológicas

Subcuenca	Cantidad Estaciones		Área cuenca (km^2)	Densidad (km^2/estación)	
	Vigentes	Necesarias		Actual	Esperada
Río Loa Alto (bajo junta río Salado)	3	0	8.132	2.710,3	2.710,3
Río Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)	2	2	24.409	12.204,5	6.102,3
Río Loa Bajo (entre Quebrada Amarga y Desembocadura)	0	1	542	N/E	542

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA

En consecuencia, se recomienda instalar tres estaciones sedimentológicas según lo mostrado en la Figura 2-61. Específicamente, para Loa Medio, se sugiere instalar una próxima al pueblo de María Elena y una en el oasis de Quillagua. En Loa Bajo se propone emplazar una estación en la desembocadura de la cuenca.

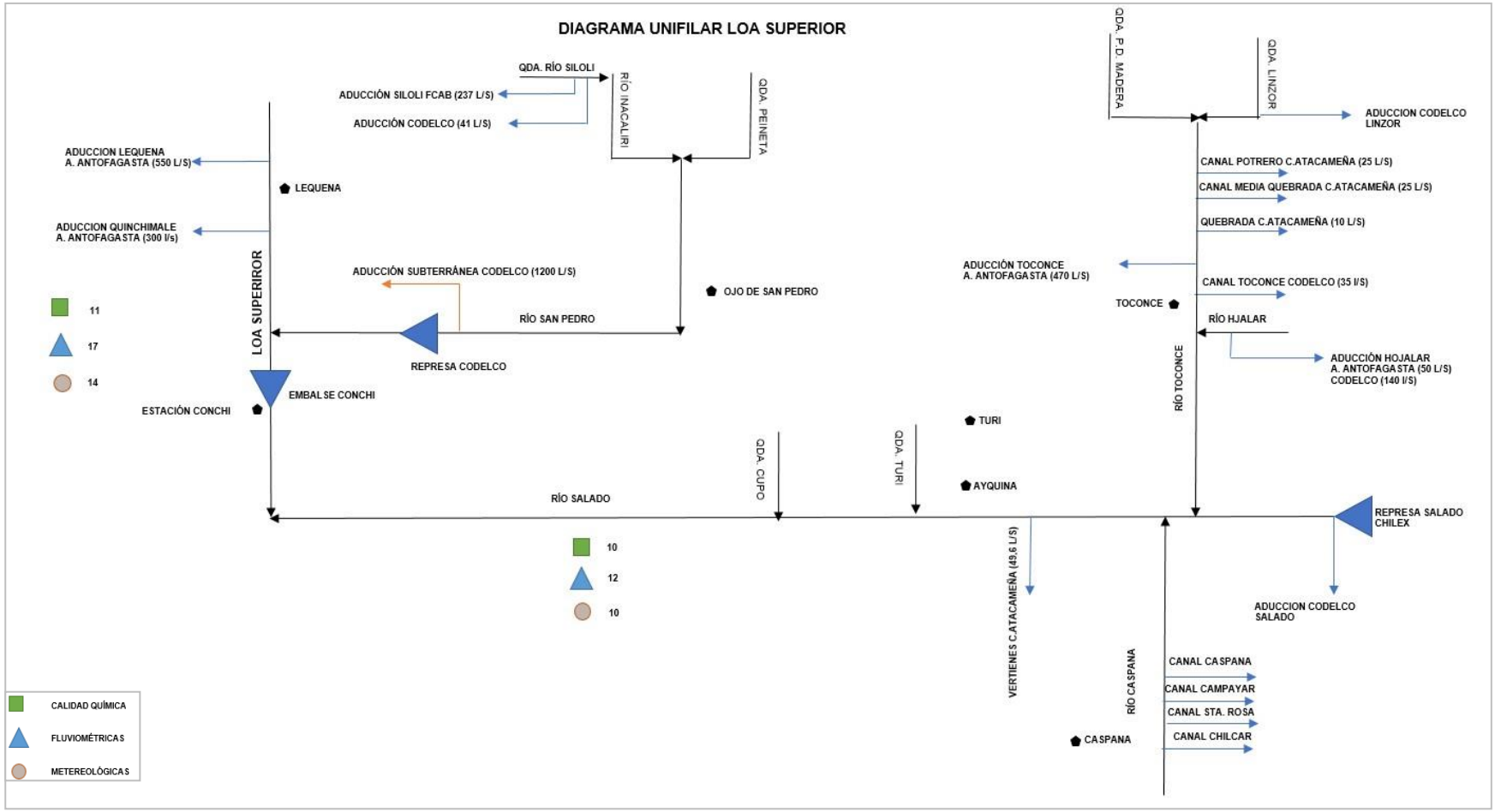


Fuente: Elaboración propia

Figura 2-61: Red de control sedimentológico propuesto para alcanzar la densidad mínima sugerida según recomendación OMM (2008)

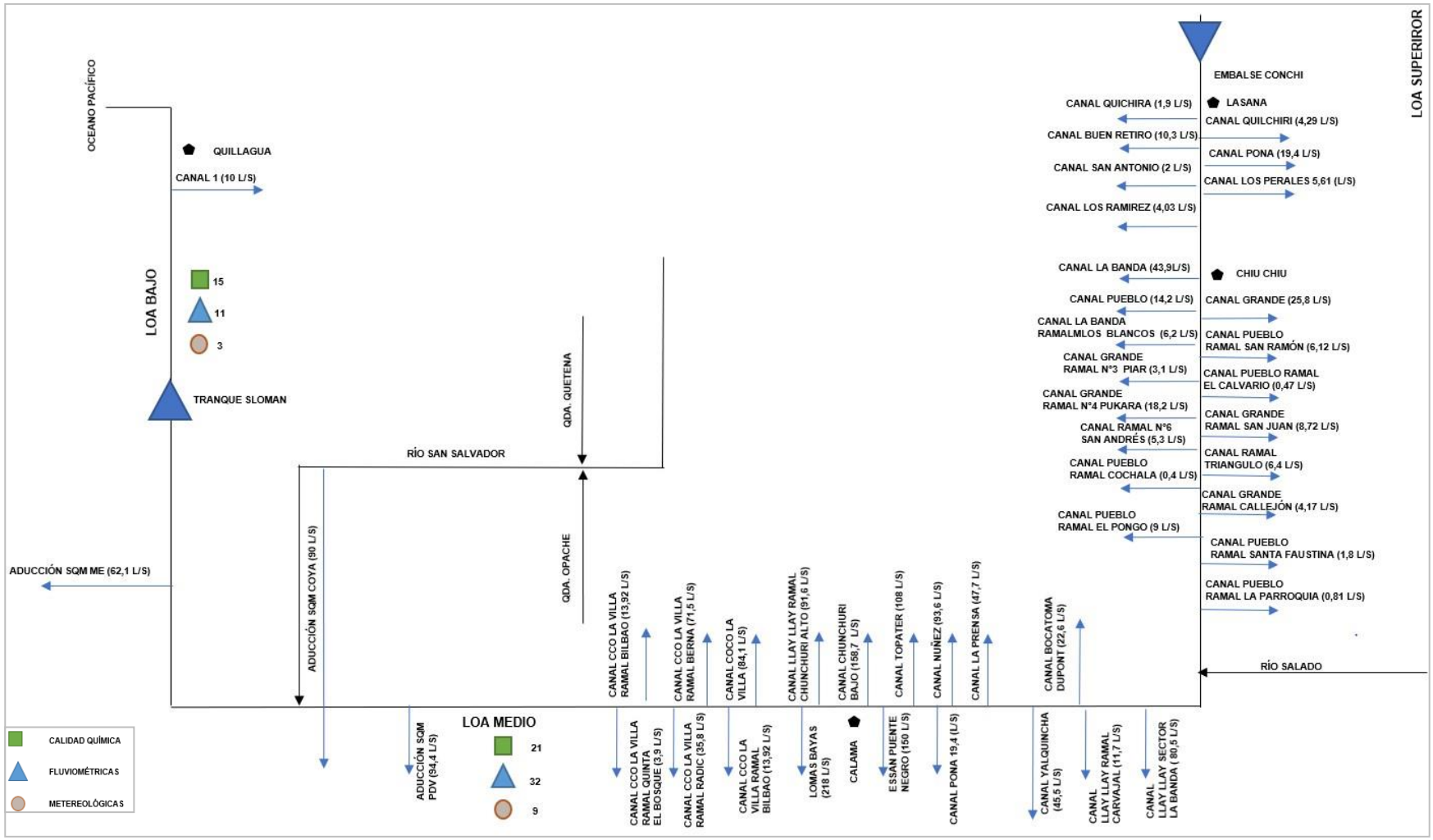
2.4.9 Resumen de Infraestructura Existente

En la Figura 2-62 se presenta unifilar del sector superior de la cuenca del río Loa y en la Figura 2-63 los sectores medio y bajo. En estas figuras se presenta tanto la hidrografía como las captaciones y otras obras existentes en la cuenca.



Fuente: GORE Antofagasta (2020)

Figura 2-62: Diagrama Unifilar río Loa, sector superior



Fuente: GORE Antofagasta (2020)

Figura 2-63: Diagrama unifilar río Loa sectores Medio y Bajo

2.5 Nuevas Fuentes de Agua

En este acápite se presentan las únicas nuevas fuentes posibles de identificar para la cuenca, las que corresponden a desalación de agua de mar, para luego ser llevada a la cuenca, o la búsqueda de acuíferos subterráneos, más profundos que los sistemas actualmente conocidos.

2.5.1 Plantas Desaladoras

2.5.1.1 Proyectos operando, en construcción o en estudio en el SEA

En la región se encuentran operando 15 plantas desaladoras, 3 desaladoras en conjunto con sistema de impulsión de agua de mar, y 6 impulsiones de agua de mar, todas fuera de la cuenca del río Loa. La ubicación de estas plantas e infraestructura asociada se presenta en la Figura 2-64. En la Tabla 2-40 se presentan las características principales de éstas, las que se obtuvieron del portal Minería Abierta[7].

Tabla 2-40: Características Plantas Desaladoras e infraestructura de impulsión en la Región de Antofagasta

#	Nombre	Tipo	Capacidad (l/s)	Uso	Estado
1	Distrito Minero Centinela Ampliación	Desalizadora/SIAM	1.650	Cobre	EIA aprobado
2	Tocopilla	Desalizadora	100	Agua potable	DIA aprobado
3	Antofagasta (ex Sur Antofagasta)	Desalizadora	600	Agua potable	DIA aprobado
4	Mejillones Planta Hornitos	Desalizadora	4,34	Agua potable	EIA aprobado
5	Puerto Coloso	Desalizadora	525	Cobre	Operando
6	Minera Centinela	Desalizadora/SIAM	50	Cobre	Operando
7	Mantos de la Luna	Desalizadora/SIAM	20	Cobre	Operando
8	Moly-Cop	Desalizadora	4,3	Acero	Operando
9	La Chimba	Desalizadora	850	Agua potable	Operando
10	Taltal	Desalizadora	5	Agua potable	Operando
11	Michilla	Desalizadora	75	Cobre	Operando
12	Angamos	Desalizadora	60	Cobre	Operando
13	Central Termoeléctrica Angamos	Desalizadora	s/i	Energía	EIA aprobado
14	Distrito Norte	Desalizadora	840	Cobre	Por Ejecutar
15	Minera Spence S.A. fase 1	Desalizadora	800	Cobre	Por Ejecutar

[7] https://www.mineriaabierta.cl/, revisado Junio 2021

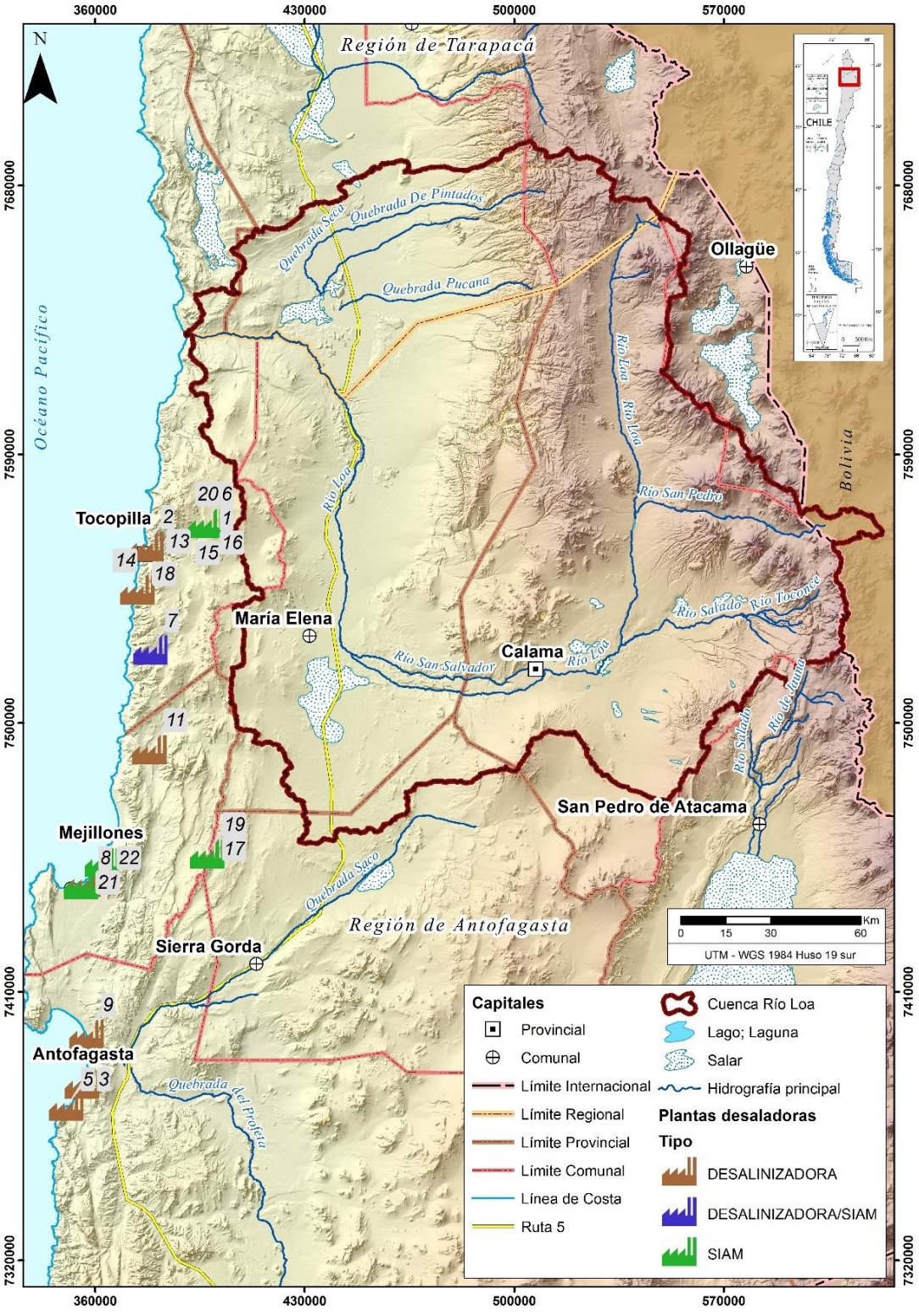
#	Nombre	Tipo	Capacidad (l/s)	Uso	Estado
16	Minera Spence S.A. fase 2	Desalizadora	800	Cobre	EIA aprobado
17	Minera Escondida	Desalizadora	2.500	Cobre	Operando
18	Distrito Norte	Desalizadora	1.050	Cobre	Por Ejecutar
19	Pampa Blanca	SIAM	500	Yodo	EIA aprobado, detenido
20	Antucoya	SIAM	20	Cobre	Operando
21	Sierra Gorda	SIAM	63	Cobre	Operando
22	Algorta Norte	SIAM	400	Yodo	Operando
23	Minera Las Cenizas	SIAM	9	Cobre	Operando
24	Planta J.A. Moreno (Taltal)	SIAM	s/i	Cobre	Operando

SIAM: Sistema de impulsión de agua de mar

Fuente: Elaboración propia usando antecedentes de www.mineriaabierta.cl (2020)

Se hace notar que el agua es captada fuera de la cuenca del río Loa, y en algunos casos es bombeada a los usuarios, mineras, para satisfacer la demanda no satisfecha de agua que en la actualidad obtienen en la cuenca.

Como complemento a lo anteriormente expuesto, se presentan antecedentes de 2 proyectos de interconexión regional hídrica: Proyecto APORTAA y CRAMSA. Se debe hacer notar que la materialización de proyectos de este tipo requiere un tipo de gobernanza especial, que va más allá de la cuenca, sino que debe ser a lo menos regional. En el capítulo 8 de este informe se presentan detalles del tipo de gobernanza necesaria.



Fuente: Elaboración propia usando antecedentes de www.mineriaabierta.cl (2020)

Figura 2-64: Plantas Desaladoras e infraestructura de impulsión en Operación Región de Antofagasta

2.5.1.2 Proyectos de Integración Hídrica

Dado que la falta de agua en el territorio es un problema complejo, se encuentran en estudio proyectos de integración hídrica, los que captan agua en el mar, la desalan y luego la bombean para llevar al destinatario final. En este acápite se presentan 2 de estos estudios, los que aun se encuentran en fase de planeamiento.

a) Proyecto APORTAA

Se debe hacer notar que de acuerdo a lo informado por ADASA en un documento powerpoint enviado durante el desarrollo del estudio[8], esta empresa sanitaria en conjunto con las empresas mineras, están desarrollando un proyecto de interconexión hídrica regional, Proyecto APORTAA, con un total de 2.782 km de tuberías existentes, 310 km de tubería proyectada, además de las correspondientes impulsiones.

Los beneficios para el sistema son:

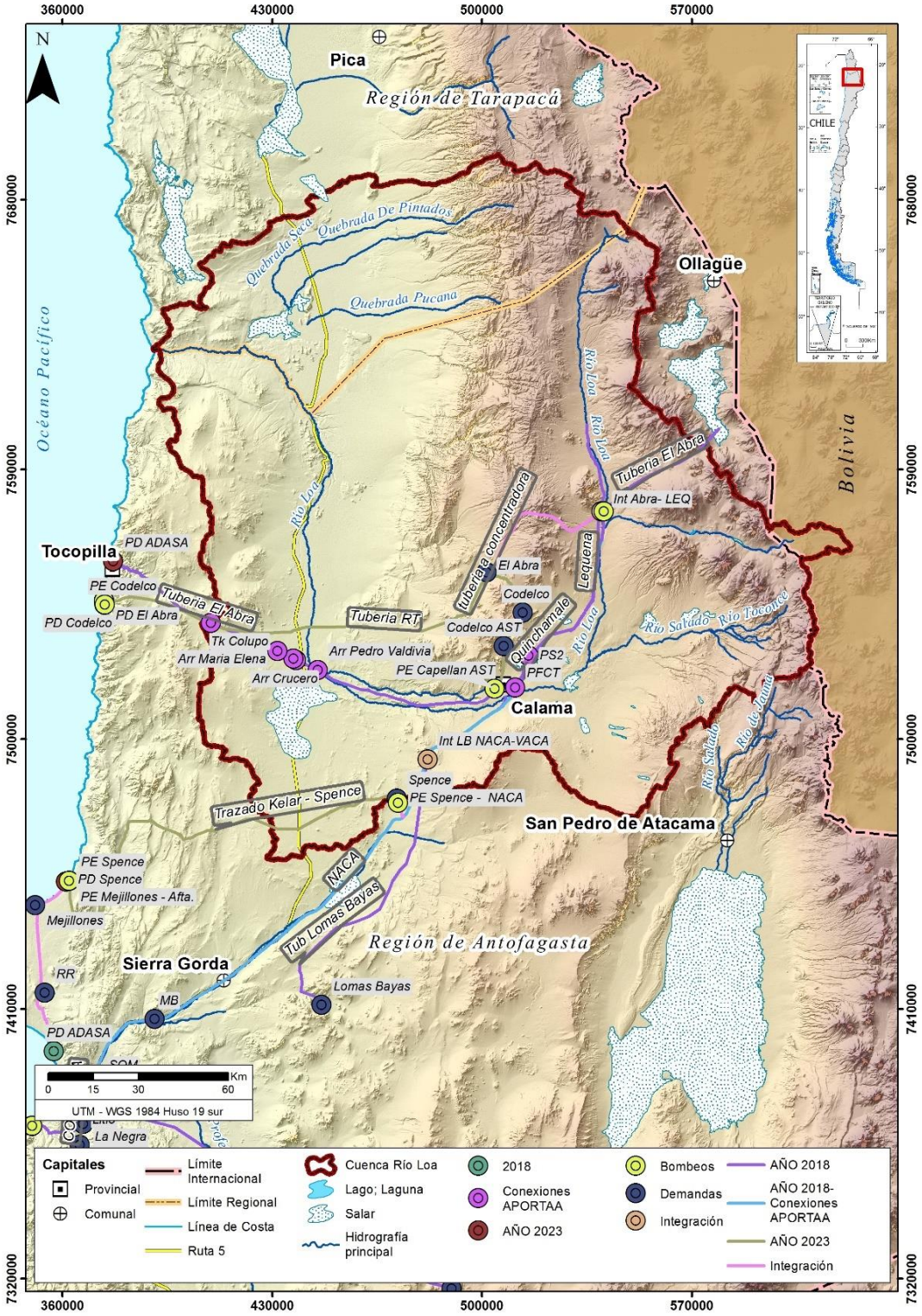
- Garantiza mayor cobertura regional para el suministro de agua.
- Cooperación mutua y respaldo asegurado de suministro entre los aportantes.
- Permite compartir las holguras y sobredimensionamientos articulares, incluyendo estanques de seguridad para incrementar la seguridad de todo el sistema.
- Menores inversiones y economía de escala en uso de energía.

Por otra parte, los beneficios a nivel regional son que:

- Permitirá el crecimiento de la pequeña y mediana industria, además de otras actividades productivas, lo que impulsará la diversificación de la economía regional.
- Aportará suministro de agua a comunidades de zonas aisladas para evitar el paulatino despoblamiento, devolviéndoles oportunidades de desarrollo y equidad social.
- Permitirá utilizar al máximo la capacidad de la infraestructura hídrica existente en la región, transformando los esfuerzos individuales en un gran proceso de hidroconexión compartida que permitirá realizar una gestión eficiente de los recursos en la región de Antofagasta.

En la Figura 2-65 se muestra la ubicación infraestructura asociada al proyecto.

[8] Powerpoint enviado por ADASA se incluye en Anexo J-06.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes der ADASA (ver powerpoint incluido en Anexo J-06)

Figura 2-65: Ubicación Infraestructura asociada al proyecto APORTAA, Región de Antofagasta

Se hace notar que no se dispone de otra información aparte de la ya indicada en este acápite, y la fuente de información se incluye en el Anexo J-06.

b) Proyecto CRAMSA

Este es un proyecto que se encuentra en etapas de planeamiento, y aunque ha sido presentado a evaluación 2 veces, también ha sido desistido 2 veces. Lo que se describe en lo que sigue, se ha tomado del EIA del proyecto.

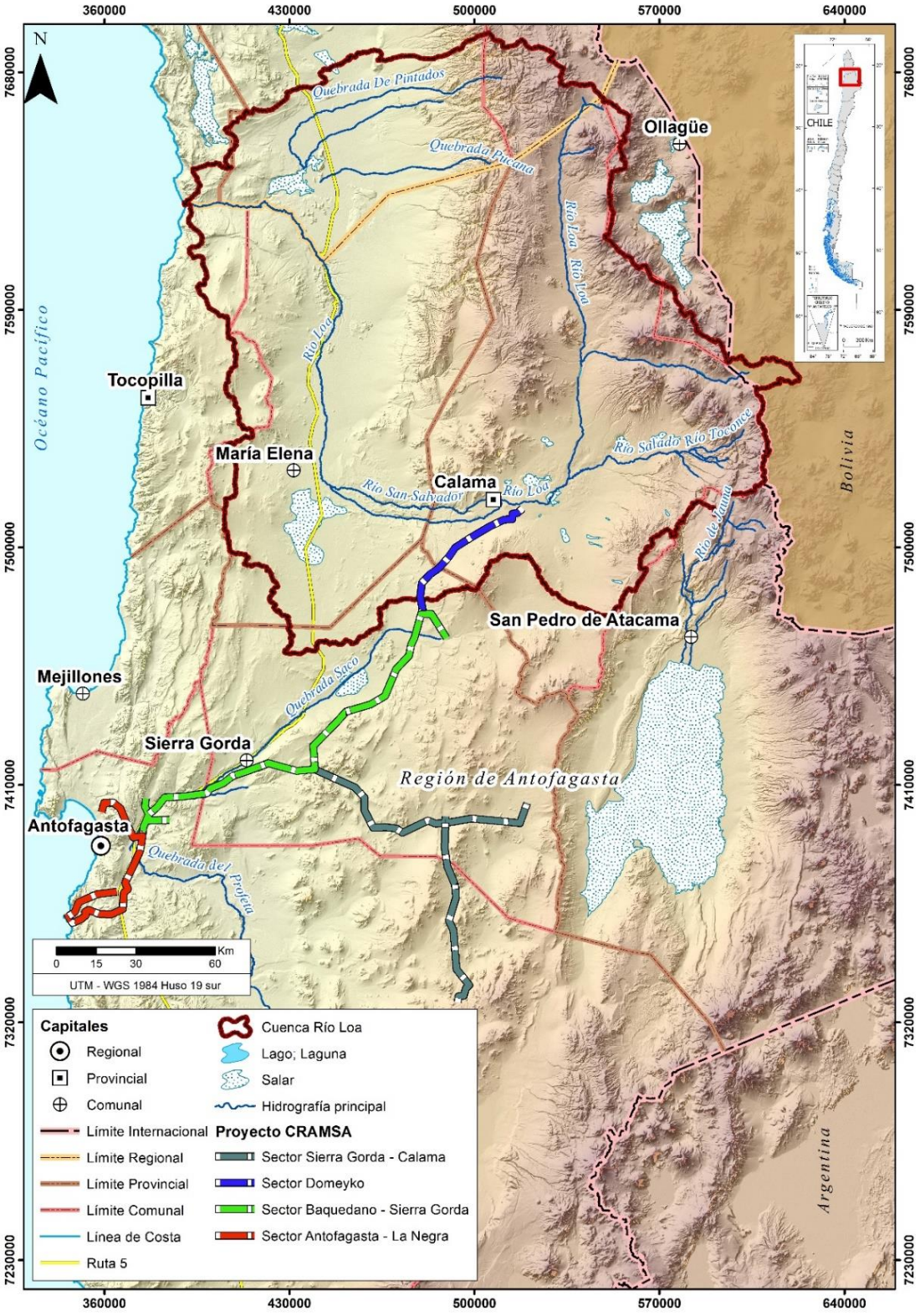
El proyecto consiste en la construcción y operación, de las obras principales de desalinización y conducción para la provisión de agua, en los sectores de Antofagasta Norte, La Negra y Calama, todas zonas urbanas de la Región de Antofagasta que hoy no cuentan con provisión de agua para consumo humano. La infraestructura considera un sistema de suministro de agua para consumo humano y uso industrial, mediante un proceso de desalinización de agua de mar a partir de captación ubicada en el sector de Caleta Bolfin, 15 km al sur del límite urbano de Antofagasta, donde se construirá una planta desalinizadora por osmosis inversa, con su sistema de captación y emisario para dilución de agua de rechazo (agua de mar con mayor concentración salina), un sistema de conducción y estaciones de bombeo elevadoras, líneas eléctricas, entre otras instalaciones de apoyo.

La planta desalinizadora constará de 4 módulos para producción de 175.000 m³/día (equivalente a un caudal de 2.025 l/s) cada uno, para lo cual el sistema de captación considera 4 inmisarios por sistema gravitacional de vasos comunicantes (captación no mecanizada), cada uno de ellos con una capacidad para conducir 420.000 m³/día de agua de mar para su posterior desalación. El proceso de desalación se realizará mediante el método de osmosis inversa, por lo cual el agua de rechazo se diluye en el mar a través de un emisario con capacidad de 985.000 m³/día. Las principales obras son:

- **Obras de Captación y Descarga:** considera obras en zona marítima como las 4 torres de captación y el emisario con su tramo de difusores para la dilución del agua de rechazo.
- **Planta Desalinizadora:** considera 4 módulos de producción de agua desalinizada por osmosis inversa, cada uno con capacidad de producción de 175.000 m^3/día; además de toda la infraestructura de apoyo, tales como subestación eléctrica, Planta de Tratamiento de Agua Servidas, Oficinas, Bodegas, entre otros.

- **Sistema de impulsión y conducción:** 18 Estaciones de Bombeo, 2 estanques de almacenamiento y 14 piscinas de emergencia, unidas por un acueducto compuesto por 2 a 4 líneas de tuberías (según tramo) dispuestas en paralelo y contiguas entre sí, con una longitud de 590 km con diámetros variables entre 12 y 48".
- **Sistema de Suministro Eléctrico:** Líneas de transmisión eléctrica y subestaciones necesarias para alimentar a las estaciones de Bombeo y la Planta Desalinizadora.
- **Estanques de distribución de agua:** Se considera la construcción 4 recintos de distribución de agua, ubicados en el sector sur y norte de La Negra, uno en Antofagasta Norte y otro en Calama. Cada uno de los cuatro recintos contará inicialmente con 2 estanques de almacenamiento de agua de 5.000 m^3 de capacidad

En la Figura 2-66 muestra la disposición de las obras principales que componen este proyecto.



Fuente: EIA CRAMSA

Figura 2-66: Ubicación obras propuestas proyecto CRAMSA, Región de Antofagasta

2.5.2 Acuíferos profundos

En base a las exploraciones profundas realizadas mediante técnicas geofísicas de Transciente Electromagnéticos y Audiomagnetotelúrico (AMT), realizado por Geodatos SIAC 2016 en la comuna de María Elena, Provincia de Tocopilla, al Este de Quillagua, se determina la existencia de un estrato conductor profundo que podría constituir un acuífero de buena calidad. Esto se deduce dado que los valores de resistividad indicarían una alta permeabilidad y porosidad, de espesor variable y profundizándose a medida que el perfil se desplaza al centro de la cuenca (95 m a 220 m de espesor), confinado y desconectado de acuífero superior, por medio de un estrato de gran espesor con resistividades asociadas a arcillas y yeso de muy baja a nula permeabilidad.

Por otra parte, el acuífero de Calama está constituido por las siguientes unidades Hidrogeológicas, descritas en los estudios Knight Piésold (2010) y DGA (2014):

- Unidad Hidrogeológica 1: Depósitos Aluvio - Evaporíticos
- Unidad Hidrogeológica 2: Acuífero Superior Cárstico-Detrítico El Loa
- Unidad Hidrogeológica 3: Acuitardo Ignimbrítico
- Unidad Hidrogeológica 4: Acuitardo El Loa ("Acuitardo")
- Unidad Hidrogeológica 5: Acuífero Gravas de Calama ("Acuífero Inferior")
- Unidad Hidrogeológica 6: Acuicludo Rocas Pre-Terciarias ("Basamento Impermeable")

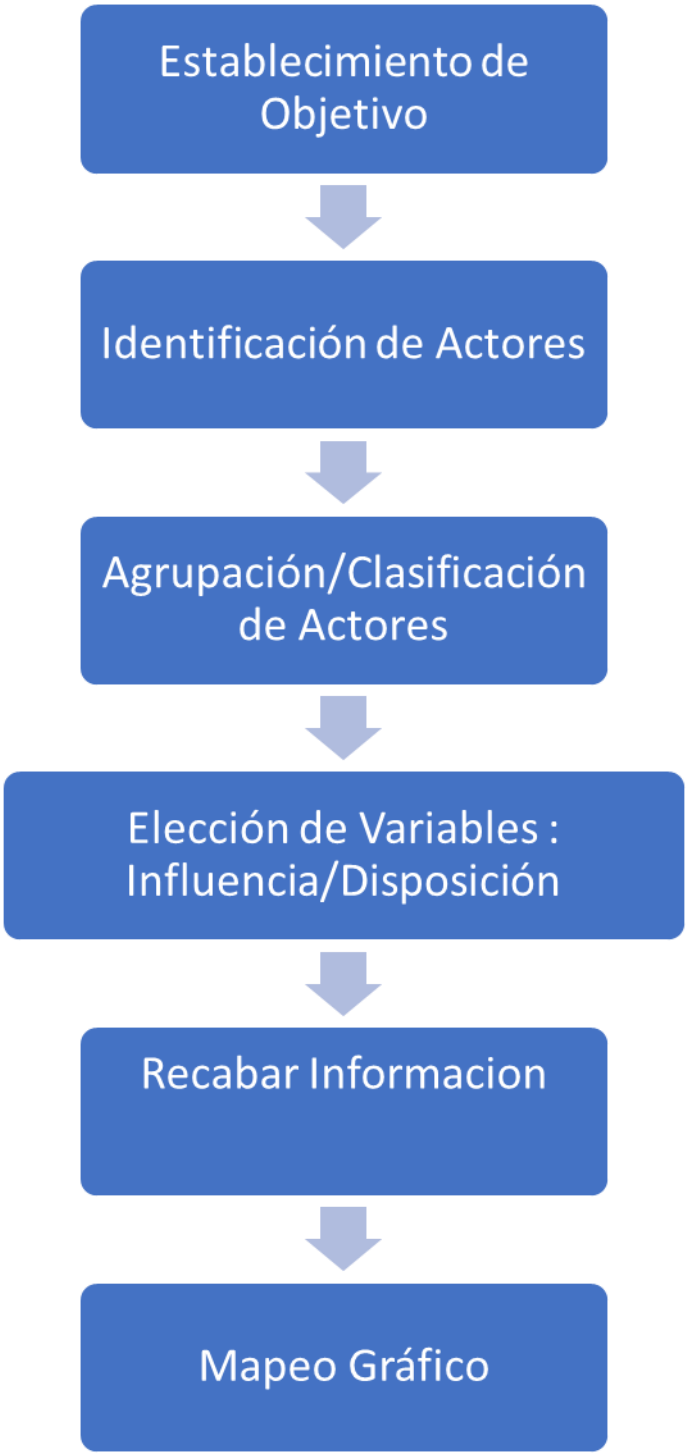
Del listado anterior, se reconocen dos unidades acuíferas, la primera unidad superior no confinada (UH2) y una segunda una unidad acuífera profunda confinada (UH5).

2.6 Gobernanza del Agua a nivel de Cuenca

En este acápite se presenta el mapa de actores relevantes en el tema hídrico de la cuenca del río Loa. Además, una síntesis de los problemas que se pudieron levantar en las reuniones de participación ciudadana (reuniones de presentación, talleres intermedios y talleres finales), de la revisión bibliográfica y de análisis realizado como de los aspectos relativos a la coordinación actual entre actores y las brechas de información que existen.

2.6.1 Mapeo de Actores

En este punto se presenta a los actores que fueron convocados a participar en las actividades de participación ciudadana del estudio y en la Figura 2-67: Proceso de mapeo de actores se presenta el proceso de construcción del mapeo de actores. El detalle del proceso se encuentra en Anexo I (acápite 4.4).

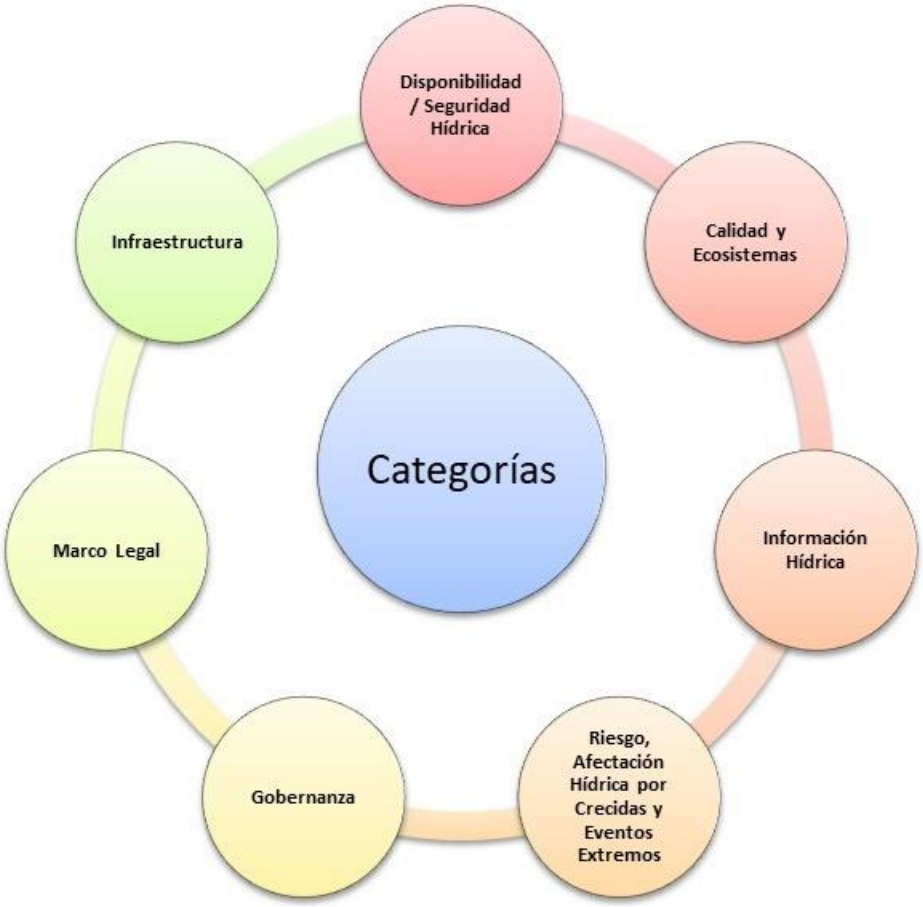


Fuente: Elaboración propia

Figura 2-67: Proceso de mapeo de actores

2.6.1.1 Actores en el Territorio

Los problemas identificados en la cuenca del río Loa se dividieron en 7 grandes categorías de problemas, según se muestra en la Figura 2-68, y que se desarrollan con más detalle en el Acápite 2.5.2.3.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-68: Categorías de problemas identificados

2.6.1.2 Mapa de Actores Convocados

En la Tabla 2-41 se detalla el listado de actores y grupo de actores relevantes que fueron convocados a integrar las actividades de participación ciudadana, programadas y realizadas.

Tabla 2-41: Listado de Actores convocados

N°	Públicos	N°	Privados	N°	Comunitarios
1	Intendencia Regional de Antofagasta	1	Empresa Sanitarias Aguas Antofagasta	1	Comunidad Indígena de Chiu-Chui
2	Gobierno Regional de Antofagasta	2	SOQUIMICH	2	Junta de Vecinos de Chiu-Chui
3	Gobernación del Loa	3	Ferrocarril Antofagasta Bolivia	3	SSR de Chiu-Chui
4	INDAP	4	Corporación Pro Loa	4	Directiva Canal Grande
5	CONADI	5	Minera El Abra	5	Directiva Canal del Pueblo
6	CONAF	6	Minera Lomas Bayas	6	Organización de Agricultores/Regantes de Chiu-Chui
7	SERNAGEOMIN	7	ENAEX S.A.	7	Comunidad Indígena de Lasana
8	SEA	8	Antofagasta Minerals	8	Junta de Vecinos de Lasana
9	CNR	9	Minera Centinela	9	SSR de Lasana
10	DOH	10	ENGIE	10	Directiva Canal Quilchiri de Lasana
11	Dirección de Planeamiento (MOP)	11	Hidroestudios	11	Directiva Canal Buen Retiro de Lasana
12	Unidad de Gestión Ambiental Seremi MOP	12	Museo San Pedro de Atacama	12	Comité SSR Las Vegas de Sailao
13	DGA	13	Empresa NEXT	13	Directiva Canal San Antonio de Lasana
14	SAG	14	CICITEM	14	Directiva Canal Los Ramírez de Lasana
15	ONEMI	15	Universidad Católica del Norte	15	Directiva Canal Pona de Lasana
16	Seremi de MINAGRI	16	CIDERH,	16	Directiva Canal Los Perales de Lasana
17	Seremi de Medio Ambiente	17	CEITZAZA,	17	Directiva Canal 7 Quichira de Lasana
18	Seremi de Minería	18	Universidad Bernardo O "Higgins	17	Comunidad Checar
19	Seremi de Bienes Nacionales			18	Organización de Agricultores de Chiu-Chui

N°	Públicos	N°	Privados	N°	Comunitarios
20	Superintendencia de Servicios Sanitarios			19	Unión Comunal de Juntas de Vecinos Calama
21	Municipalidad de Calama			20	Asociación de Agricultores de Calama (ASAC)
22	Municipalidad de María Elena			21	Directiva Canal Chunchuri de Calama
23	Senador Pedro Araya Guerrero			22	Directiva Canal Lay Lay de Calama
24	Senador Alejandro Guillier Álvarez			23	Directiva Canal La Prensa de Calama
25	Diputado José Miguel Castro			24	Directiva Canal Núñez de Calama
26	Diputada Marcela Hernando			25	Directiva Canal Topaner de Calama
27	Diputada Paulina Núñez			26	Directiva Canal Chañar de Calama
28	Diputada Catalina Pérez			27	Directiva Canal Yalquincha de Calama
29	Diputado Esteban Velásquez			28	Directiva Canal Coco La Villa de Calama
30	Consejera Regional Alejandra Oliden Vega			29	Directiva Canal Dupont de Calama
31	Consejero Regional Jorge Espíndola Toroco			30	Comunidad Atacameña Agricola y Cultural, Kamac Mayu Hijos de Yalquincha
32	Consejera Regional Mirta Moreno Moreno			31	Coordinadora por la Defensa del Río Loa
33	Consejera Regional Sandra Pastenes Muñoz			32	SSR de Flor de Alfalfa
34	Consejera Regional Sandra Berna Martínez			33	SSR de Chunchuri
35	Municipalidad de Tocopilla			34	SSR de Quillagua
36	Municipalidad de Ollague			35	Comunidad Indígena de La Banda
37	Seremi de economía, fomento y turismo			36	Comunidad Atacameña San Francisco de Chiu-Chiu

N°	Públicos	N°	Privados	N°	Comunitarios
38	Seremi de Transporte y Telecomunicaciones			37	Comunidad Atacameña de Lasana
39	SEREMI MINVU			38	Comunidad Indígena Atacameña Toconce
40	Seremi Desarrollo Social			39	Comunidad Indígena Atacameña de Ayquina-Turi
41	Seremi de la Mujer y Equidad de Género			40	Comunidad Indígena Atacameña Chunchuri
42	Seremi de Culturas, las Artes y el Patrimonio			41	Comunidad Indios en el sector de Chunchuri
43	Seremi de Energía			42	Comunidad Indígena Atacameña de Caspana
44	Seremi de Educación			43	Comunidad Indígena Atacameña Cupo
45	Seremi Justicia			44	Comunidad Quechua Pueblo San Pedro Estación
46	Seremi Trabajo			45	Comunidad Indígena Atacameña Conchi Viejo
47	Gobernación de Tocopilla			46	Comunidad Indígena Quechua de Ollagüe
48	DIFROL			47	JJ.VV. Quillagua
49	CODELCO			48	Comunidad Aymara de Quillagua
50	Concejales Comuna de María Elena			49	Comité SSR Quillagua
51	Universidad de Taparacá			50	JJ.VV. de Lasana
52	Universidad de Antofagasta			51	Comunidad Indígena Atacameña Taira
				52	JJ.VV. Lomas Huasi
				53	Comunidad Atacameña de Chiu-Chiu
				54	JJ.VV. Peuco 1 y 2
				55	Directiva Canal Quilchiri de Lasana
				56	JJ.VV. Peuco 5
				57	JJ.VV. Av. La Paz

N°	Públicos	N°	Privados	N°	Comunitarios
				58	Directiva Canal Quilchiri de Lasana
				59	Consejo Autónomo Ayllu Sin Fronteras
				60	Sindicatos Alfa
				61	Comunidad Indígena Sumac Llajta
				62	JJ.VV. Av. La Paz
				63	JJ.VV. Quillagua
				64	Comunidad de Campana
				65	Comunidad indígena LAVAN

Fuente: Elaboración propia

Para comprender mejor el listado de actores precedente, se agrupó/clasificó a los actores estratégicos presentes en la cuenca del río Loa, según se detalla en la Figura 2-69. Asimismo, en la Figura 2-70 Se presenta el mapa de actores según su grado de Disposición/Influencia hacia el PEGH Loa y en la Figura 2-71 se presenta el mapa de relaciones entre los actores junto al grado de Disposición/Influencia en relación al PEGH Loa. La explicación y justificación de las figuras se encuentran en el Anexo I, acápite 4.4.10 y 4.4.1.1.

Como se indica en el Anexo I (acápite 4.4.1), sobre las limitaciones en el desarrollo del estudio, la construcción de las referencias/categorías tienen un componente subjetivo e interpretativo. Es una aproximación general a las relaciones entre los actores construidas con la interpretación de la información recogida en las reuniones y la revisión de la información secundaria. Cabe recordar que no se consultó directamente a los involucrados su opinión sobre las relaciones con otros actores.

Con esas restricciones y para entender las figuras presentadas, 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: Se entenderá por el grado de interés por asistir a las reuniones y por expresar su apoyo al PEGH. Por el contrario, la no asistencia a participar en el estudio y/o expresar opiniones negativas a la realización del mismo se comprenderá con una baja disposición.

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.

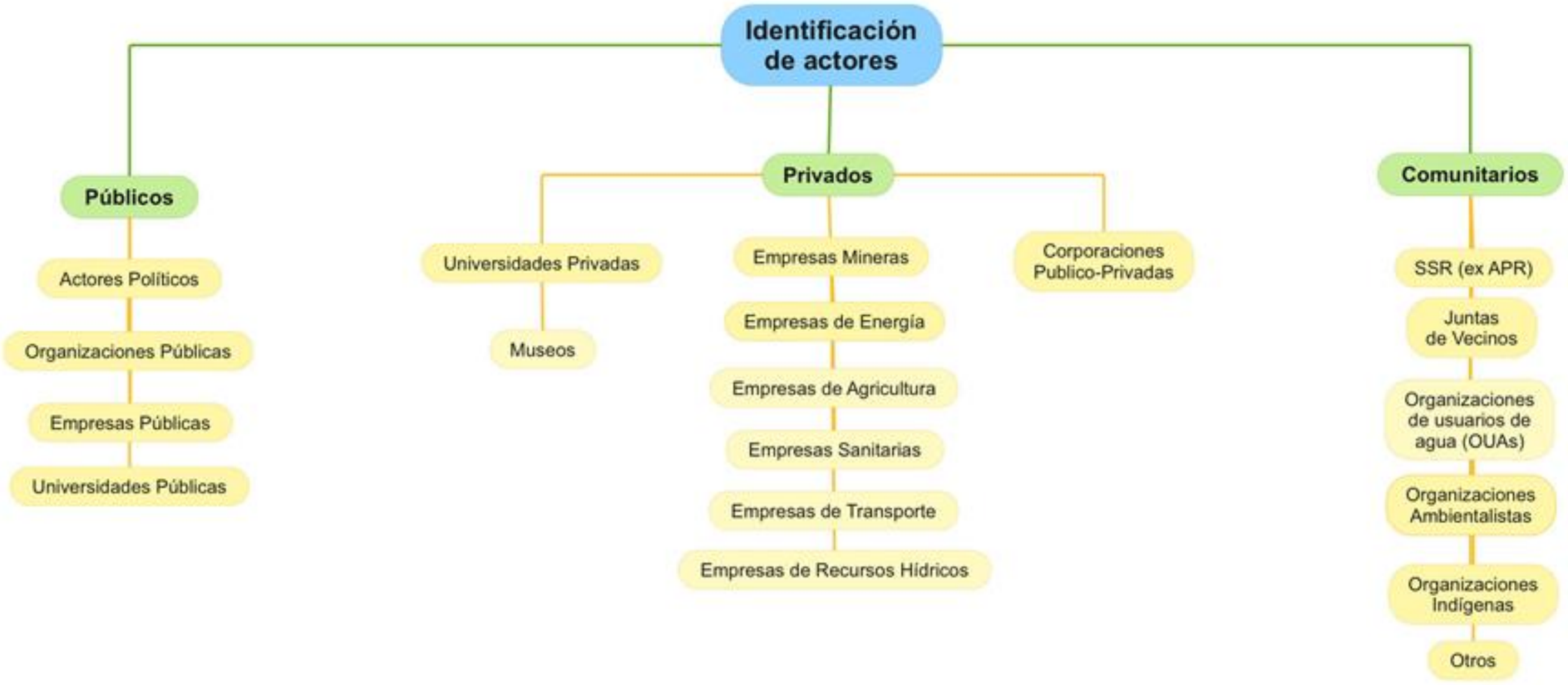
Para las figuras se consideran la lista de acrónimos presentados en la Tabla 2-42.

Tabla 2-42: Acrónimos utilizados en mapas conceptuales

Acrónimo	Institución
DGA	Dirección General de Agua
DOH	Dirección de Obras Hidráulicas *
SISS	Superintendencia de Servicios Sanitarios
SAG	Servicio Agrícola y Ganadero *
DIPROREN	Dirección de Protección de los Recursos Naturales *
INDAP	Instituto de Desarrollo Agropecuario
CONAF	Corporación Nacional Forestal
CNR	Comisión Nacional de Riego
DDU	División de Desarrollo Urbano *
SERVIU	Servicio de Vivienda y Urbanismo *
ONEMI	Oficina Nacional de Emergencias
GORE	Gobierno Regional
ISP	Instituto de Salud Pública *
SEA	Servicio de Evaluación Ambiental
SMA	Superintendencia del Medio Ambiente *
SERNAGEOMIN	Servicio Nacional de Geología y Minería *
J.J.V.V.	Juntas de Vecinos
CAS	Comunidades de Aguas
PJ	Poder Judicial *
CONADI	Corporación Nacional de Desarrollo Indígena *

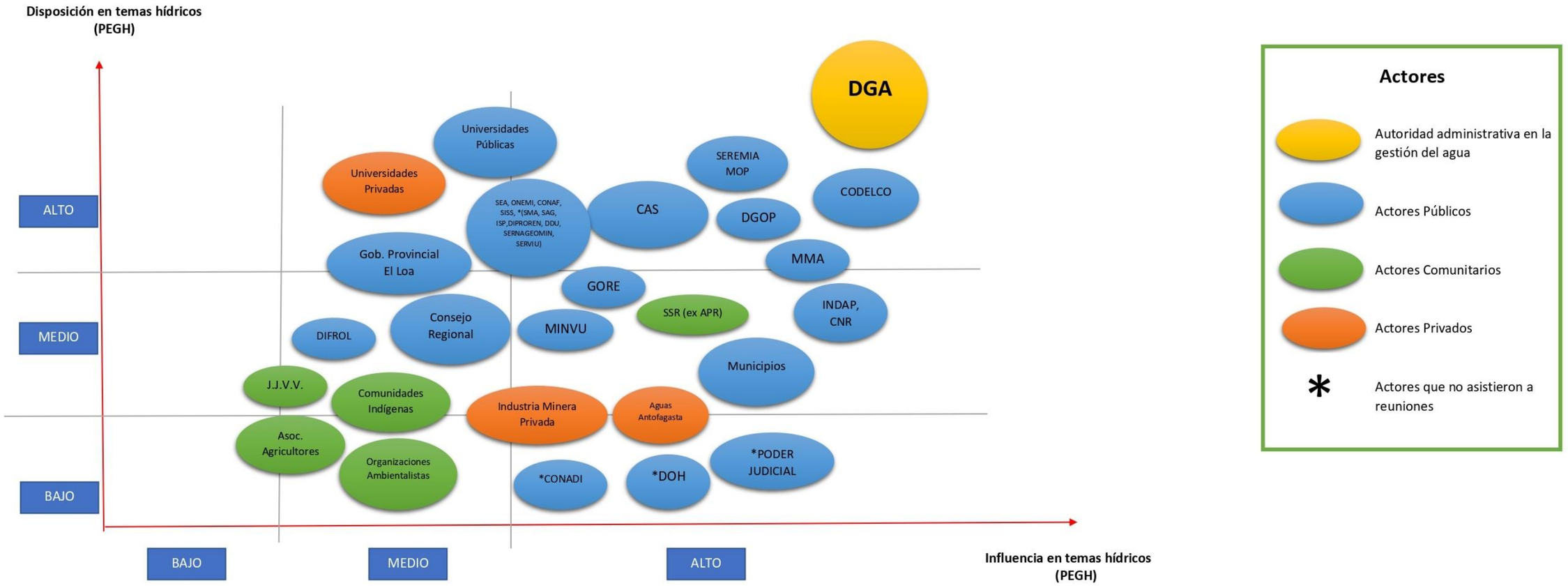
Acrónimo	Institución
DGOP	Dirección General de Obras Públicas
MMA	Ministerio de Medio Ambiente
MINVU	Ministerio de Vivienda y Urbanismo
SEREMIA MOP	Ministerio de Obras Públicas
DIFROL	Dirección Nacional de Fronteras y Límites del Estado
CODELCO	Corporación Nacional del Cobre, Chile.
SSR (ex APR)	Servicios Sanitarios Rurales (ex Agua Potable Rural)
CBR	Conservador de Bienes Raíces **
INH	Instituto Nacional de Hidráulica de Chile **
CNE	Comisión Nacional de Energía **
CIREN	Centro de Información de Recursos Naturales **
DMC	Dirección Meteorológica de Chile **
SUBPESCA	Subsecretaría de Pesca y Acuicultura **
SERNAPESCA	Servicio Nacional de Pesca **
JdV	Juntas de Vigilancia **
COD	Comunidades de Obras de Drenaje **
ASCAN	Asociaciones de Canalistas **
TDLC	Tribunal de la Defensa de la Libre Competencia **
TA	Tribunales Arbitrales **
CGR	Contraloría General de la República **
Fiscalía	Fiscalía **
CGR	Contraloría General de la República **
Fiscalía	Fiscalía **

(*) Actores que no asistieron a reuniones
(**) Actores relacionados con la gestión Hídrica pero no incluidos en este mapa de actores



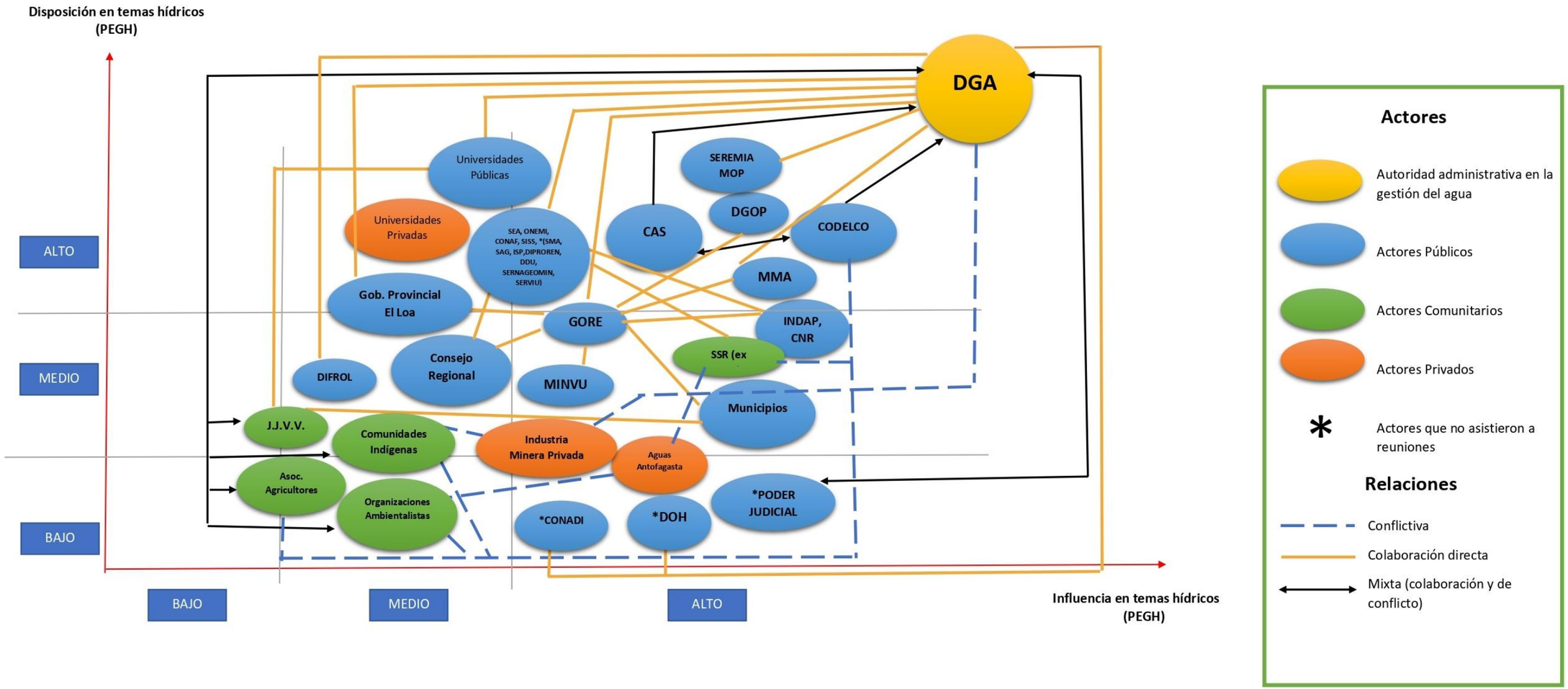
Fuente: Elaboración propia

Figura 2-69: Clasificación/Agrupación de Actores



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-70: Mapa de Actores (Disposición/Influencia)



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-71: Mapa de Actores-Relaciones

En la Figura 2-71 se puede evidenciar que la DGA ocupa el rol más importante en el tejido relacional que se configura en torno al estudio, ubicándose en la parte superior de la figura, comprendiendo que presenta **la más alta disposición e influencia** en temas hídricos (PEGH), considerando que esta dirección, por un lado, es la autoridad encargada de la gestión del agua en el territorio y, por otro, es la que guía y conduce el PEGH en la cuenca de El Loa. La DGA tiene **una relación colaborativa directa** con CONADI y DOH, que se refleja en las labores que deben llevar a cabo, establecidas por la normativa vigente. Asimismo, la DGA mantiene **una relación colaborativa directa** con DIFROL, puesto que por funciones administrativas estos dos actores deben trabajar conjuntamente.

La DGA tiene, a su vez, una **colaboración directa** con organismos públicos como el MMA, el GORE y los Municipios. Estos 3 actores se considerarían de suma relevancia para el despliegue del PEGH, ya que los tres fueron partícipes del proceso de participación ciudadana (PAC); son instituciones que se colaboran en la gestión de los recursos hídricos en Chile; y se presentan como responsables en las iniciativas del PEGH. En este sentido, y reconociendo estos criterios, el MMA se ubica **en un grado alto tanto de influencia** como de disposición en temas hídricos, manteniendo una relación de colaboración activa con la DGA y con el GORE. Por otro lado, el GORE es un **actor de alta influencia**, teniendo en cuenta que su importancia en la región y se involucra en las iniciativas del PEGH, manteniendo un grado medio-alto de disposición hacia el estudio.

El GORE tiene una **relación colaborativa directa** con la DGA, el MINVU, el MMA, INDAP, CNR, el Consejo Regional, el Gobierno Provincial y los municipios. Esta relación se infiere a partir del trabajo colaborativo que llevaron a cabo al conformar la Mesa de Agua Regional, pero que con la pandemia (Covid) esta instancia no continuó en funcionamiento.

En cuanto a las municipalidades, se considera que todas las involucradas en el área de estudio son importantes y tienen un **grado medio de influencia en temas hídricos**, destacándose los municipios de Calama, María Elena y Tocopilla que han participado de las reuniones. A su vez, los municipios se ubican en una **mediana disposición en temas hídricos** debido a que no todos los involucrados en el estudio han participado del proceso de PAC (tales como la Municipalidad de Pozo Almonte, Ollagüe, Pica, Iquique, Sierra Gorda y San Pedro de Atacama), pero sí se consideran de suma importancia debido a que se posicionan como **actores presentes en las iniciativas** para la ejecución del PEGH Loa. Por su parte, el Gobierno Provincial, **colabora directamente** con la DGA y el GORE, ubicándose en un **grado medio de disposición e influencia** en temas hídricos.

A su vez, los municipios tendrían una **relación colaborativa directa con** el GORE, las J.J.V.V. y Organismos Públicos como SEA, ONEMI, CONAF, SISS, SMA, SAG, ISP, DIPROREN, DDU, SERNAGEOMIN y SERVIU, que se ubican en un **grado alto de disposición** hacia el estudio, teniendo en cuenta que la mayoría ha participado de las reuniones y ha manifestado un interés por continuar colaborando en el PEGH y también un **grado medio-alto de influencia**, al ser instituciones para la gestión de los recursos hídricos en Chile. Asimismo, se observa una **relación de colaboración directa** entre estos organismos públicos y los SSR (ex APR), quienes se ubican en un **grado alto de disposición** para con el estudio y un **grado de influencia alto** hacia el mismo. También, el Consejo Regional tendría una **colaboración directa** con estos Organismos Públicos (SEA, ONEMI, CONAF, SISS, SMA, SAG, ISP, DIPROREN, DDU, SERNAGEOMIN Y SERVIU) y se posicionaría en una **mediana-alta influencia y una mediana disposición** en temas hídricos, considerando las funciones que cumple en la gestión de recursos hídricos y su participación en las reuniones.

Asimismo, se pudo observar en las instancias PAC, la **buena relación** que tienen las organizaciones de la comunidad, tales como Organizaciones indígenas, Grupos Ambientalistas, Juntas de Vecinos y Organizaciones de Usuarios de Agua con las Universidades y Centros de Estudios, lo cual se refleja en lo mencionado en las diversas reuniones, indicando los diálogos constantes que habría entre ambas entidades. Las Universidades, además, se ubicarían en una **alta disposición**, puesto que han participado activamente del proceso de PAC y una **mediana-alta influencia** en lo que respecta al estudio. Así también, las universidades tendrían una **relación de colaboración** con organizaciones públicas como CONAF, SERNAGEOMIN, SEA, entre otras, debido al traspaso de información y ayuda para proyectos tanto de las universidades como del organismo público.

Otro actor que se considera de suma importancia para el proyecto es la Empresa Aguas Antofagasta, del sector productivo privado sanitario, ya que es uno de los poseedores de derechos de agua en la zona, que se relaciona directamente con el estudio, ubicándose **alta influencia y mediana-baja disposición.** Además, n**o mantiene buenas relaciones** con los SSR (ex APR) y las Comunidades Indígenas por los conflictos con los derechos de agua.

Por otro lado, se ha podido evidenciar que la DGA mantiene relaciones **mixtas, de colaboración y conflicto** con organizaciones de la comunidad, como Juntas de Vecinos, Comunidades Indígenas, Organizaciones Ambientalistas (Consejo Autónomo Ayllu Sin Fronteras y la Coordinadora por la Defensa del río Loa), la Asociación de Agricultores y las

COMAG. Aquello, se ve reflejado en las palabras mencionadas por las comunidades en las distintas reuniones, señalando, desde su percepción, la falta de fiscalización y acompañamiento por parte de la DGA. Este tipo de relación fue recopilada a partir de los mismos relatos de los integrantes de estas organizaciones que fueron mencionados en las distintas actividades de participación ciudadana. Estas organizaciones de la comunidad se ubican en un **grado más bien medio- bajo** de influencia en temas hídricos del PEGH, puesto que, si bien se consideran dentro del proceso de participación del estudio, no tendrían mayor incidencia en las decisiones finales del estudio como otras entidades y también, debido a lo reflejado en las instancias de PAC, tienen **una mediana y baja disposición** hacia el Plan. Por el contrario, las CAS se ubican en un **grado alto de influencia y disposición** en el estudio, ya que fueron partícipes de las reuniones, son parte de los actores institucionales para la gestión de los recursos hídricos y participan en las iniciativas del PEGH.

De igual forma, la empresa pública minera CODELCO, también se considera uno de los actores de **gran importancia** en lo que respecta al estudio, convirtiéndose en un actor protagonista en el uso del agua y **manteniendo una relación mixta de colaboración** y conflicto con la DGA, debido a que ambas entidades se transmiten información, ya sea de estudios, datos, etc. y también de conflicto, debido a la fiscalización que la DGA debe llevar a cabo cuando la comunidad denuncia prácticas indebidas hacia CODELCO. Por otro lado, CODELCO tiene relaciones conflictivas con organizaciones de la comunidad, tales como las Organizaciones de Usuarios de Agua (OUAs), Organizaciones Indígenas, Grupos Ambientalistas, Juntas de Vecinos, SSR (ex APR), la Asociación de Agricultores de Calama y la comunidad en general, según las opiniones expresadas en las reuniones PAC.

Asimismo, se observa una **relación conflictiva** entre Codelco y la Universidad de Tarapacá, lo cual se evidenció cuando, desde la Universidad de Tarapacá, en una de las reuniones, mencionan cómo las mineras, específicamente CODELCO, es una amenaza latente que podría desecar las Vegas de Calama con una eventual compra de DDA por parte de Codelco. Lo que se refleja, de igual modo con el sector productivo minero privado, manifestando las Comunidades Indígenas, J.J.V.V, entre otros actores de la comunidad, su descontento con empresas como SOQUIMICH, Minera el Alba, Minera Las Bayas, Antofagasta Minerals, entre otras, pudiéndose identificar que también la DGA tiene una relación más bien conflictiva con la Industria minera debido a la posición de fiscalización en la que se encuentra la DGA, en que mediante las denuncias de los vecinos y vecinas deben chequear que todos los temas relativos al agua estén en orden.

Por otro lado, se puede relevar el **conflicto que mantienen** las Comunidades Indígenas con Aguas Antofagasta (sector productivo privado sanitario), debido a la intención de esta de vender excedentes de DDA a las mineras, generando un descontento en la comunidad.

Otro actor que se considera importante en la cuenca y que se ha querido destacar es el Poder Judicial, específicamente, los Tribunales de Justicia. Estas instituciones son **importantes** debido a que se encargan de otorgar los derechos de agua cuando el proceso de judicializa y que en muchas ocasiones se asignan sin detenerse en los estudios que lleva a cabo la DGA, pudiendo reflejarse que la relación entre DGA y los Tribunales de Justicia no sería tan fluida y colaborativa hasta el momento, pero que una vez que se ejecuten las iniciativas del PEGH, será necesaria una **relación colaborativa que se active** en base al Plan.

Retomando los actores que se han ido mencionando, la SEREMIA MOP se considera un actor relevante en el estudio, puesto que ha sido una institución activa en la participación de todo el proceso PAC y se encuentra dentro de las 43 instituciones que gestionan los recursos hídricos en Chile. Por ello, se ubica en un **nivel alto de influencia y disposición**. De igual forma, como se indicó anteriormente, este actor mantendría una **relación colaborativa directa** con la DGA puesto que de ella depende directamente.

La DGOP, INDAP, CNR y el MINVU, son actores que mantienen una directa **relación de colaboración** con el GORE, ubicándose INDAP, CNR y la DOGP en una **alta influencia y alta disposición** en temas hídricos, y el MINVU un poco más arriba en la escala de **influencia y disposición**, considerando su participación en las reuniones y su capacidad para incidir en las decisiones que se tomen para el estudio y ejecución del PEGH. Ahora bien, la DGOP, INDAP y CNR son actores relevantes, especialmente, para la etapa de ejecución del PEGH, ya que **son parte de las iniciativas propuestas**. La CONADI y la DOH también son actores que se involucran en las iniciativas de ejecución del PEGH y en la gestión del recurso hídrico, pero no han sido partícipes de las reuniones, ni del proceso general del estudio, por lo que se ubican en una **baja disposición**.

2.6.2 Síntesis de reuniones PAC cuenca del río Loa

2.6.2.1 Reuniones realizadas

Las reuniones realizadas fueron las siguientes: cuatro (4) reuniones de presentación, cuatro (4) talleres intermedios y dos (2) talleres finales. Por el COVID-19 todas las reuniones se realizaron de forma virtual y se detallan en la Tabla 2-43 con su respectiva derivación al Anexo I donde se encuentra la información.

Tabla 2-43: Reuniones Realizadas

Tipo de reunión	Fecha	Anexo I
Reunión de presentación sector público y municipal	4-12-2020	Acápite 5.2
Reunión de presentación con universidades	27-01-2021	Acápite 5.3
Reunión de presentación con privados	28-01-2021	Acápite 5.4
Reunión de presentación comunidad	28-01-2021	Acápite 5.5
Taller intermedio comunidad	14-04-2021	Acápite 6.2
Taller intermedio privados y universidades	15-04-2021	Acápite 6.3
Taller intermedio sector público y municipal	19-04-2021	Acápite 6.4
Taller intermedio gabinete regional	23-04-2021	Acápite 6.5
Taller Final privados y universidades	19-05-2021	Acápite 7.2
Taller Final servicios públicos y comunidad	19-05-2021	Acápite 7.3

Fuente: Elaboración propia

2.6.2.2 Síntesis de los principales problemas detectados en Reuniones PAC

En la Tabla 2-44 se resumen las principales problemáticas identificadas por los actores que participaron en las distintas reuniones de participación ciudadana. Se organiza la información por categorías o ejes temáticos para evaluación PAC, problemas, tipo de reunión y tipo de actor donde la problemática se comentó.

Se hace notar, que posteriormente en el Capítulo 6 se presenta una nueva categorización, similar a la usada en otros PEGH.

Tabla 2-44: Síntesis de problemas según Tipo de reunión y Actor

Categoría o Ejes Temáticos para Evaluación PAC	Problema	Reunión Presentación (*)				Taller Intermedio (**)				Taller Final (***)	
		P y M	U	Pr	C	P y M	U	Pr	C	P y C	U y Pr
Disponibilidad / Seguridad Hídrica	• Afectación Disponibilidad / Seguridad hídrica por efectos Cambio Climático	X		X	X	X			X	X	
	• Déficit hídrico relevante en la cuenca / mayor afectación a sector bajo	X		X	X	X			X	X	
	• Falta de visión estratégica del uso del agua (priorizar consumo humano / Comunidades / Industria)	X			X	X			X	X	
	• Baja disponibilidad de aguas para consumo humano y su saneamiento	X		X	X	X			X	X	
	• Baja disponibilidad de agua para riego (en forma segura)				X	X				X	
	• Acuíferos en vías de agotamiento (Como por Ej. sector de San Pedro, Calama, Llamara)	X				X			X	X	
	• Uso poco eficiente del agua y falta de mayor reúso					X			X	X	
	• Comunidades sin acceso al agua potable	X				X			X	X	
	• Mala calidad de las aguas (presencia de Sulfatos, cloruros, Boro y Arsénico)					X	X	X	X	X	
Calidad y Ecosistemas	• Escasa protección y conservación de ecosistemas hídricos (deterioro del ecosistema asociado al río, Vega, Bofedales y humedal costero)	X				X			X		
	• Urgencia de aplicar Caudales Ambientales al río Loa					X			X	X	
	• Falta de información y monitoreo de sistemas ambientales		X	X		X	X		X		X
	• Presencia de Pasivos Ambientales (Relaves, descarga de contaminantes al río y acuíferos)					X	X			X	
información hídrica	• Insuficiencia de redes de control y monitoreo hídrico y de calidad aguas		X	X	X		X	X	X	X	
	• Asimetría en Manejo de la información por parte de privados: necesidad de mayor acceso, difusión y análisis		X			X			X	X	
	• Necesidad de mayor fiscalización e instrumentación- Monitoreo de extracciones efectivas e ilegales		X	X		X		X	X	X	
	• Necesidad de Integrar información ambiental público privada		X			X			X	X	X
	• Falta de instancias de difusión y transferencia tecnológica a actores de la sociedad civil y comunidades					X			X	X	
	• Falta recursos para mayor labor fiscalizadora DGA / MMA						X		X	X	
Riesgo Afectación Hídrica Por Crecidas y Eventos Extremos	• Alto riesgo por falla potencial de Obra Embalse Conchi					X					
	• Riesgo afectación ambiental y física Tranque Talabre					X					
	• Falta de implementación de un sistema de alerta para crecidas para eventos meteorológicos extremos (lluvias del invierno altiplánico)	X		X							
Marco Legal	• Sobre otorgamiento de DAA afecta la disponibilidad y el ejercicio	X			X	X	X		X	X	
	• Descoordinación entre criterios DGA – Tribunales para otorgar DAA ajustados a disponibilidad real de la cuenca.					X					
	• Normativa actual Código Aguas / Propiedad privada, impide realizar infraestructura de la cuenca					X			X	X	
Gobernanza	• Falta de incentivos y poca claridad para la conformación de organización de Usuarios (Juntas de vigilancia (JdV), ó Comunidades de aguas subterráneas (CAS)					X			X		X
	• Falta de acuerdos y/o mesas de conversación de carácter multisectorial				X	X			X	X	
	• Inclusión y exposición de todos los actores en las decisiones				X	X			X	X	
	• Desconfianza entre los actores (Comunidades / industria/ sector público)				X	X			X	X	
	• Escasa inclusión y comprensión de la cosmovisión de los pueblos originarios en los usos del agua (visión predominantemente economista)	X			X				X	X	
	• Descoordinación institucional de los servicios públicos					X			X	X	
	• Bajo número de iniciativas de los servicios públicos para abordar los problemas del agua					X					
Infraestructura	• Falta de fuentes alternativas de abastecimiento – Desalación / Recarga Acuíferos			X		X				X	
	• Escazas Obras de regulación y almacenamiento de agua (por ejemplo, embalses de regadío) – Respaldo Hídrico insuficiente					X					
	• Falta de información para conocer el estado de grandes obras, por ejemplo, volumen de sedimentación y capacidad del embalse Conchi y estabilidad de Tranque Talabre					X					
	• Falta de infraestructura asociada a la Gestión del riesgo de desastres (como crecidas por eventos extremos)	X				X	X				

(*) Reunión Presentación: P y M (Sector Público y Municipal), U (Universidades), Pr (privados) y C (Comunidad)

(**) Taller Intermedio: P y M (Sector Público y Municipal), U (Universidades), Pr (privados) y C (Comunidad)

(***) Taller Final: P y C (Sector Público y Comunidad) y U y Pr (Universidades y Privados)

Fuente: Elaboración propia

2.6.2.3 Descripción de los problemas detectados

Los problemas identificados en la cuenca se dividieron en 7 grandes categorías, según se mostró anteriormente en la Tabla 2-44.

Para complementar la información recopilada en las reuniones y en la revisión bibliográfica, se envió a los convocados/asistentes a las reuniones, una encuesta para ser respondida por ellos. Dicha encuesta identificó los problemas detectados en la cuenca del río Loa y las iniciativas elaboradas hasta la fecha (abril 2021). Se distribuyó vía correo electrónico y WhatsApp a los actores públicos y municipales, actores privados, actores universitarios y actores comunitarios.

Se entregó la encuesta el miércoles 28 de mayo, con un plazo para ser respondido hasta lunes 3 de mayo (16:00), recibiéndose 23 encuestas. La información de quienes respondieron se presenta en la Tabla 2-45. Los principales resultados de la encuesta son los siguientes:

a) El 30 % (7) de los encuestados (23) correspondió a mujeres y un 70 % (16) a hombres

b) Respecto de la identificación del grupo /organización que representa los encuestados (23), un 48% (11) pertenecen al sector público y un 22% (5) a comunidades.

c) Un 65% (15) del total de encuestados (23) está de acuerdo con el diagnóstico de los problemas o deficiencias detectadas en la cuenca. Respecto del 35% (8) que señaló que NO, indica que al diagnóstico le faltó algún aspecto como más participación, incluir indicadores, mejorar definición de problemas, entre otros aspectos.

d) Se enviaron un total de 259 encuestas a los todos los convocados a las reuniones y talleres, de los cuales respondieron 23 personas.

Tabla 2-45: Encuestas respondidas por actor

Actor	N° de Encuestas Enviadas	N° de Encuestas contestadas	%
Público y Municipal	124	11	8,87
Universidades	26	3	11,53
Privados	50	4	8
Comunidad	59	5	8,47
Total	259	23	8,88

Fuente: Elaboración propia

La información más detallada de la encuesta se encuentra en Anexo I, Acápite 8.

En lo que sigue se presentan y describen cada uno de los problemas identificados. Se hace notar que a este nivel no se ha calificado la mayor o menor importancia de estos problemas, sino que solo su ocurrencia. Mayores detalles se presentan en el Capítulo 6.

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). Lo anteriormente indicado, prueba que la naturaleza cíclica del diagrama muestra que los problemas son muy cercanos a la realidad, ya que donde empieza un problema, termina otro.

a) Problemas de Disponibilidad/Seguridad Hídrica

Como resultado del trabajo de participación ciudadana se identificaron 9 problemas según se detalla:

- **Afectación Disponibilidad/Seguridad hídrica por Efectos del Cambio Climático:** Este problema está definido, por una parte, por falta de recursos en las condiciones actuales, problemas que la modelación hidrológica muestra que se acrecientan para los escenarios de cambio climático. En todo caso, se debe hacer notar que los problemas de disponibilidad hídrica no son homogéneos en toda la cuenca, sino que hay sectores con mayor o menor disponibilidad. También la disponibilidad hídrica está asociada a la disponibilidad de recursos monetarios. Por ejemplo, en la minería, se puede explotar agua subterránea en forma más simple que un regante. Por último, la modelación realizada, muestra que el efecto del cambio climático es muy relevante, disminuyendo la disponibilidad de recursos hídricos en toda la cuenca, solo que en diferente magnitud.
- **Déficit hídrico relevante en la cuenca/mayor afectación a sector bajo:** Este problema es equivalente al anterior, pero ve el problema desde una perspectiva territorial, ya que se centra en la distribución del recurso en sectores específicos. El problema es exactamente el mismo anterior, aunque omite la agravante del cambio climático.
- **Falta de visión estratégica del uso del agua:** Esto se traduce en que, a juicio de los usuarios, principalmente canalistas y comunidades, que el uso del agua se realiza sin priorizar el uso de los recursos disponibles o su necesidad, sino que solo en base a su valor económico. En ningún caso, se considera darle prioridad al consumo humano por sobre otros consumos como tampoco establecer un orden de prioridad permanente para cada uso del agua.

- **Baja disponibilidad de aguas para consumo humano y su saneamiento: Este** problema también queda confirmado por la modelación, ya que muestra que en la situación actual no hay satisfacción plena de la demanda, principalmente a nivel rural. De hecho, la demanda urbana se suple, ya que se libera el uso de recursos en la zona costera por desalación de agua de mar, pero esto no aplica para los sistemas de SSR. Por otra parte, tal como lo muestra la información de infraestructura identificada, a nivel rural, el saneamiento es principalmente en la forma de pozos negros y fosas sépticas.
- **Baja disponibilidad de agua para riego (en forma segura):** Esto también queda demostrado por la información recopilada, la que muestra que los beneficios agropecuarios han disminuido en forma constante, debido a que la superficie regada ha disminuido en forma dramática. Desde 1.500 ha en la década de los 70 a menos de 800 ha en la actualidad. Incluso la superficie actualmente regada no se riega con 100% de seguridad, estimaciones muestran que la seguridad de riego es en el mejor de los casos cercana a un 50%.
- **Acuíferos en vías de agotamiento (Ej. sector de San Pedro, Calama, Llamara):** Este es un problema claramente mostrado no solo por la modelación, sino que también por las acciones que ha tomado la DGA, y se ha traducido en prohibición del uso de nuevos recursos subterráneos.
- **Uso poco eficiente del agua y falta de mayor reúso:** Esto no queda del todo demostrado por la modelación, ya que su alcance no lo permite, sino que por percepción entregada por parte de los usuarios. Entre otras cosas, se observa en que la práctica de riego es principalmente por tendido, lo que en todo caso se da por la mala calidad natural de las aguas, que limita en forma severa el uso de métodos más eficientes de riego. Por otra parte, el reúso se ve restringido principalmente por problemas de costo y también en parte por la percepción de los usuarios.
- **Comunidades sin acceso al agua potable:** Este problema también fue identificado por los usuarios, ya que la modelación no permite identificarlo (por problemas de escala). De hecho, algunos sistemas de SSR (antiguamente APR) no están operativos por falta de recursos en la zona de captación. El problema también se ve acrecentado porque en muchos casos las captaciones son de tipo subterráneo o sub-superficial y el incremento en las extracciones ha "colgado" los sistemas dejándolos sin posibilidad de operación.

- **Mala calidad de las aguas (presencia de Sulfatos, cloruros, Boro y Arsénico):** Este es un problema de origen natural, pero que tiene incidencia en la disponibilidad de agua segura. En todo caso para los usuarios, principalmente de comunidades indígenas y regantes, es un problema inducido principalmente por la minería, y no como una condición natural de la cuenca. En todo caso, los usuarios no dejan de tener razón, ya que hay sectores en que claramente la explotación minera ha exacerbado el problema.

b) Problemas de Calidad y Ecosistemas

Se identificaron 4 problemas según se detalla:

- **Escasa protección y conservación de ecosistemas hídricos (deterioro del ecosistema asociado al río, Vega, Bofedales y humedal costero):** Este es un problema identificado por los usuarios y también en estudios anteriores. Para los usuarios de origen indígena es un problema muy relevante, ya que no les permite mantener la relación con la tierra como la han tenido desde tiempos ancestrales, no pueden practicar pastoreo y otras actividades.
- **Urgencia de aplicar Caudales Ambientales al río Loa:** Al igual que en el caso anterior, este es un problema identificado por los usuarios, y estudiado en detalle por GORE (2020). Este problema está de la mano con el anterior, ya que, al lograr mantenerse caudales ambientales en la cuenca, se estima que debería producirse un mejoramiento de las vegas y bofedales, no en forma inmediata, pero si en un plazo acotado.
- **Falta de información y monitoreo de sistemas ambientales:** Para este problema también aplica lo indicado para el problema anterior, ya que los usuarios sienten que no tienen como acceder a este tipo de información, además de desconfiar de la información disponible.
- **Presencia de Pasivos Ambientales (relaves, descarga de contaminantes al río y acuíferos):** Se tiene la misma situación indicada anteriormente, es decir, desconfianza, desconocimiento, y falta de acceso a la información, que en este caso puede afectarles la forma de vida en forma directa.

c) Problemas de Información Hídrica

Para este tópico se identificaron 6 problemas según se detalla:

- **Insuficiencia de redes de control y monitoreo hídrico y de calidad aguas:** Este problema queda identificado en la modelación, al encontrarse brechas de información,

es estudios anteriores ya que no es posible caracterizar la cuenca en su totalidad. El problema también fue identificado por los usuarios, ya que ellos ven que la información es fundamental para poder defender sus intereses, ya que no es suficiente con creer en la existencia de un problema, sino que estos deben ser demostrados.

- **Asimetría en manejo de la información por parte de privados:** Este es un problema caracterizado por la necesidad de tener un mayor acceso, difusión y análisis de la información generada por usuarios. Esto ha sido detectado por los usuarios en estudios anteriores, y también durante la búsqueda de información para la actualización de la modelación. Los usuarios ven esto como un gran problema, y una fuente importante de desconfianza, ya que los privados disponen de mayores recursos para generar información, y por lo mismo, tener una mejor visión de la verdadera realidad de la cuenca.
- **Necesidad de mayor fiscalización e instrumentación:** En el marco del monitoreo de extracciones efectivas e ilegales, se identificó la necesidad de mayores recursos para la fiscalización, especialmente en lo que se refiere al correcto uso de los DAA asignados. Los usuarios ven esto como una necesidad importante, ya que a juicio de ellos las "mineras" usan los recursos hídricos en forma indiscriminada, lo que podría limitarse con mejor y mayor fiscalización.
- **Necesidad de integrar información ambiental público-privada:** Este problema también proviene de la comunidad en lo que se refiere a poder disponer de información de calidad adecuada, en forma rápida y clara. Nuevamente es un problema que se mezcla con los anteriores
- **Falta de instancias de difusión y transferencia tecnológica a actores de la sociedad civil y comunidades:** Aplica lo mismo indicado para el problema anterior, es decir, falta un mejor acceso a la información, y también la difusión de esta.
- **Falta recursos para mayor labor fiscalizadora DGA/MMA:** Este problema fue identificado por usuarios, universidades y organismos públicos. Es un planteo diferente al tercer problema identificado, que involucra los recursos humanos, financieros y del equipamiento necesario para una óptima fiscalización.

d) Riesgo Afectación Hídrica por Crecidas y Eventos Extremos

Se identificaron 3 problemas según se detalla:

- **Alto riesgo por falla potencial de Obra Embalse Conchi:** Problema identificado en el documento "Estudio de la inundación producida por caudales extremos vertidos

desde el embalse Conchi, Región de Antofagasta" (INH, 2015) que muestra que el embalse debe disminuir su capacidad usada para garantizar la seguridad aguas abajo. Se hace notar que en la legislación chilena no existe el concepto de riesgo de rotura de embalses (existe por inundación), por lo que se hace necesario también estudiar las características de la legislación para poder darle un marco de acción y requerimientos a los propietarios de embalses, en lo que respecta a su responsabilidad aguas abajo. En otros ámbitos los usuarios ven problemas en el manejo del embalse y el "real" uso de sus aguas

- **Riesgo afectación ambiental y física Tranque Talabre:** Esto se detectó especialmente por los proyectos de uso actual del tranque y la expansión del mismo. También es un problema que los usuarios identificaron como una afectación a su forma de vida, y además como los potenciales problemas que puede acarrear lo que está ocurriendo en forma subterránea y que por ende ocurre sin que se observe.
- **Falta de implementación de un sistema de alerta para crecidas para eventos meteorológicos extremos (lluvias del invierno altiplánico):** Esta es una necesidad importante dada las grandes distancias y el potencial efecto devastador de las tormentas altiplánicas, que anteriormente ha redundado en inundaciones y rotura de puentes. Los usuarios tienen este problema en relación al uso del embalse Conchi, y su posible uso para mitigar los problemas al suministro de agua potable durante los eventos de crecidas.

e) Problemas de Gobernanza

Se identificaron 7 problemas según se detalla:

- **Falta de incentivos y poca claridad para la conformación de organización de Usuarios Juntas de vigilancia (JV) o Comunidades de aguas subterráneas (CAS):** Este es un problema ampliamente identificado, y probablemente uno de los más importantes. Por una parte, faltan confianzas entre los actores, principalmente los actores comunitarios y la industria, y por otra, por falta de información específica en lo que realmente conlleva la formación de estas organizaciones, especialmente las JV. Los actores comunitarios desconfían de las JV, ya que legalmente el poder está dado en términos de acciones, las que están mayoritariamente en manos de los privados, por lo que el poder está en esos usuarios. Las comunidades de aguas subterráneas son aparentemente más aceptables por los usuarios, pero su alcance es más limitado.
- **Falta de acuerdos y/o mesas de conversación de carácter multisectorial:** Esta es otra manifestación del problema anteriormente expuesto, que incide en la falta de

confianzas entre los actores. Un problema para el que no se espera una solución simple o rápida.

- **Inclusión y exposición de todos los actores en las decisiones:** Nuevamente se identifica otra vertiente del problema de confianzas, no todos los actores pueden incidir en las decisiones, ya sea por falta de acceso, por falta de interés, o simplemente por no validar lo que ocurre.
- **Desconfianza entre los actores (comunidades/industria/sector público):** Resolver este problema es básico, ya que sin confianzas los problemas anteriormente expuestos no tendrán solución.
- **Escasa inclusión y comprensión de la cosmovisión de los pueblos originarios en los usos del agua (visión predominantemente economista):** Problema identificado por los usuarios de origen indígena, ya que para ellos el agua no solo es un bien de uso común, sino que es parte de su modo de vida. Lo identifican no solo en este aspecto, sino que, en el tema del acceso de agua para vegas y bofedales, la necesidad de caudales ambientales, la distribución de DAA y otras áreas.
- **Descoordinación institucional de los servicios públicos:** Ocurre porque cada repartición pública responde a sus propios fines, al no existir un hilo conductor único. Se indicó que el proyecto de subsecretaría del agua podría resolver este problema al juntar en una misma institución toda la institucionalidad relacionada con el agua. Para los usuarios este es muy complejo, ya que el usuario no comprende las limitaciones administrativas o burocráticas existentes, y se observa que en muchos casos el problema es de voluntad, y no como es en realidad, de índole legal.
- **Bajo número de iniciativas de los servicios públicos para abordar los problemas del agua:** Problema relacionado con las restricciones presupuestarias y la falta de ideas claras de proyectos a resolver. Se hace notar que este estudio permite identificar las acciones faltantes y que los diversos actores públicos podrían incluir en sus carteras. Este es un tipo de problema que los usuarios evidencian al no observar acciones por parte del sistema público para resolver sus problemas. El mejor ejemplo está dado por los reclamos continuos que hay al desarrollo de este tipo de estudios, ya que los usuarios solo ven gastos e ingresos para Consultores, siendo que el dinero podría mejor ser usado en la solución de problemas del territorio.

f) Problemas de Marco Legal

En esta área se identificaron 3 grandes problemas según se detalla:

- **Sobre otorgamiento de DAA afecta la disponibilidad y el ejercicio:** Es un problema identificado por los actores sociales, que ocurre en parte por falta de herramientas de control apropiadas. Ellos lo ven también como un descontrol de las instituciones que entregan los recursos al mejor postor, sin necesariamente tener razones claras y precisas. Fundamentalmente se traduce en desconfianza. Los usuarios explicitan su reclamo al indicar que no les es posible ejercer el DAA otorgado por la autoridad, poniendo todo el problema en la excesiva extracción de recursos por parte de las mineras.
- **Descoordinación entre criterios DGA – Tribunales de Justicia para otorgar DAA ajustados a disponibilidad real de la cuenca:** Este es un problema identificado por algunos usuarios, pero que DGA puntualizó que ocurre no por falta de coordinación, sino que por no utilización por parte de tribunales de los informes técnicos emanados por la DGA al momento de analizarse los problemas de "regularizaciones" por parte de tribunales. Es un problema más bien de índole interno de comunicación efectiva DGA-Tribunales, el que se observa como de difícil solución, ya que significa entrometerse en las atribuciones de otro poder del estado.
- **Normativa actual Código Aguas/Propiedad privada, impide realizar gestión de la cuenca:** Este es un problema que no se puede resolver en forma simple, a menos que se modifique el Código. En todo caso, al considerar que se está ad-portas de comenzar con un proceso constituyente, los usuarios esperan que esto se traduzca en cambios reales.

g) Problemas de Infraestructura

En esta área se identificaron 4 problemas según se detalla:

- **Falta de fuentes alternativas de abastecimiento:** Este problema identifica que se deben buscar alternativas de fuentes, ya sea por incremento en la desalación de agua de mar o salobre (como la del río Salado), o la recarga de acuíferos con agua tratada o de crecidas. Se hace notar en todo caso que los usuarios están divididos en este tipo de soluciones, y que incluso, hay usuarios que estiman que la solución es volver al nivel de uso de agua de mediados del siglo pasado, y por ningún motivo hay que proceder con el reúso o la búsqueda de nuevas fuentes. Este tipo de soluciones es más esperado por usuarios industriales o mineros.
- **Escazas obras de regulación y almacenamiento de agua:** Se identificó la falta de infraestructura para regulación con fines de riego (tanto a nivel predial como mayor) o control de crecidas. En todo caso este tipo de obras lo ven como más lejano, por todos

los problemas ambientales, sociales y de otra índole que una obra de este tipo puede traer, ya sea durante su construcción, como durante su operación.

- **Falta de información para conocer el estado de grandes obras, por ejemplo, volumen de sedimentación y capacidad del embalse Conchi y estabilidad de Tranque Talabre:** También es un problema que se ve más lejano, al menos en apariencia, pero que en la práctica es importante ya que potencialmente puede generar problemas en la población.
- **Falta de infraestructura asociada a la gestión del riesgo de desastres (como crecidas por eventos extremos):** En este ítem se identifica tanto lo relacionado con defensas fluviales, embalses de regulación de crecidas, como estaciones hidrométricas de control de las crecidas. Este tipo de problema es más cercano a la comunidad ya que anualmente se ven los efectos del invierno altiplánico, aunque el cambio climático puede haber cambiado la duración de los eventos, no los ha eliminado, y por lo tanto siguen siendo latentes para la comunidad.

2.6.3 Brechas de Coordinación

2.6.3.1 Análisis de Organizaciones de Usuarios de Aguas

Los usuarios agrícolas del río Loa están organizados de acuerdo a la Ley en Comunidades de Aguas, en cambio en el río Salado, río Caspana y del Salar de Turi, se agrupan en otros tipos de organizaciones. En los afluentes del río Salado existen regantes que usan el agua desde tiempos inmemoriales y que no tienen DAA legalmente constituidos. La información recopilada en el informe "Análisis de la Oferta y Demanda de recursos Hídricos en Cuencas Críticas de Loa, Rapel y Mataquito" (DGA, 1986) sobre este aspecto señala que:

- El denominado río Toconce cuenta con cuatro canales carentes de regularización legal y su legitimidad se sustenta en el uso inmemorial (canal El Potrero que recibe 8 l/s y tiene 6 regantes, canal Media Quebrada recibe 8 l/s y cuenta con 4 regantes, canal Patillón extrae 8 l/s y tiene 81 regantes y canal Toconce que recibe 18 l/s y tiene 197 regantes).
- La Quebrada de Cupo cuenta con tres canales sin regularización de ningún tipo, pero de uso inmemorial, en los que se utiliza la totalidad de sus aguas (canal de Inga, con 5 l/s de caudal y 46 usuario, canal El Mesón, con 5 l/s y 18 usuarios y canal San Martín, con 4 l/s y 7 usuarios)
- En el Socavón Panire no existen DAA constituidos formalmente, sino que solamente una utilización inmemorial mediante un canal llamado canal Socavón Panire que extrae un caudal de 2 l/s. Este canal cuanta con unos 35 regantes.

En la cuenca del río Loa no hay juntas de vigilancia o asociaciones de canalistas.

a) Comunidades de aguas superficiales

Esta organización comprende a distintos usuarios de DAA que se encuentran relacionados a una obra común de acuerdo a la ley. Los DAA que constan en los títulos de usuarios son convertibles en acciones (las que a su vez son transformadas a caudal o volumen), y los estatutos son fijados por sentencia o por acuerdo. La comunidad de agua debe llevar registro de los comuneros asociados y debe presentar un directorio o administrador, el cual administra los bienes de la comunidad, atiende la captación de aguas, vela por la correcta repartición de éstas, vigila instalaciones, fija multas y resuelve las disputas entre comuneros.

En relación con los comuneros, estos tienen su derecho a voto y su obligación de concurrir gastos en función de sus acciones, las que se representan en términos de volumen disponible anualmente (m^3/año), valor que es proporcional a las acciones que poseen. También deben asistir a reuniones, costear construcción y reparación de obras comunes, costear gastos de mantención de la comunidad, entre otras obligaciones fijadas por los estatutos. La equivalencia entre acciones y volúmenes no es constante y está definida comunidad a comunidad, tal como se presenta en la Tabla 2-46, Tabla 2-47 y Tabla 2-48, donde en promedio para el sector de Lasana y Chui – Chiu una acción equivale a 0,88 l/s; en Calama a 0,91 l/s y en el Oasis de Quillagua a 1,04 l/s.

A modo de resumen, se muestran en la Tabla 2-49 los volúmenes de aguas anuales (según DAA) para las Comunidades de Aguas (CA) en Lasana, Chiu Chiu, Calama y Quillagüa y en la Figura 2-72 se detalla la ubicación de las comunidades mencionadas. En esta tabla ya están considerados los traslados de DAA desde y hacia Puente Negro, tal como se indica en el estudio DGA (2005) donde se indica que los traslados a Puente Negro fueron considerados para los cálculos presentados. Los derechos considerados en esta tabla son de tipo consuntivo y no necesariamente continuos.

Tabla 2-46: Comunidades de agua del sector Lasana – Chiu Chiu

Canal	Dotación (m^3/año)	Acciones
San Antonio de Lasana	65.052	2,34
Buen Retiro de Lasana	326.928	11,76
Quichira de Lasana	62.550	2,25
Quichiri de Lasana	137.332	4,94
Los Ramírez de Lasana	127.324	4,58
Los Perales de Lasana	177.086	6,37
Pona de Lasana	613.824	22,08

Canal	Dotación (m³/año)	Acciones
La Banda de Lasana y Chiu-Chiu	1.384.718	119,80
Los Banda-Ramal Los Blancos de Chiu-Chiu	196.824	7,08
Grande de Lasana y Chiu-Chiu	822.602	29,59
Grande-Ramal N°4 Pukará de Chiu-Chiu	575.738	20,71
Grande-Ramal N°6 San Andrés de Chiu-Chiu	168.190	6,05
Grande-Ramal San Juan de Chiu-Chiu	275.220	9,90
El Pueblo de Chiu-Chiu	442.576	15,92
El Pueblo-Ramal Cochala de Chiu-Chiu	12.788	0,46
El Pueblo-Ramal El Pongo de Chiu-Chiu	285.784	10,28
El Pueblo-Ramal El Calvario de Chiu-Chiu	15.012	0,54
El Pueblo-Ramal La Parroquia	25.854	0,93
El Pueblo-Ramal San ramón de Chiu-Chiu	193.210	6,95

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (1996)

Tabla 2-47: Comunidades de agua del sector Oasis de Calama

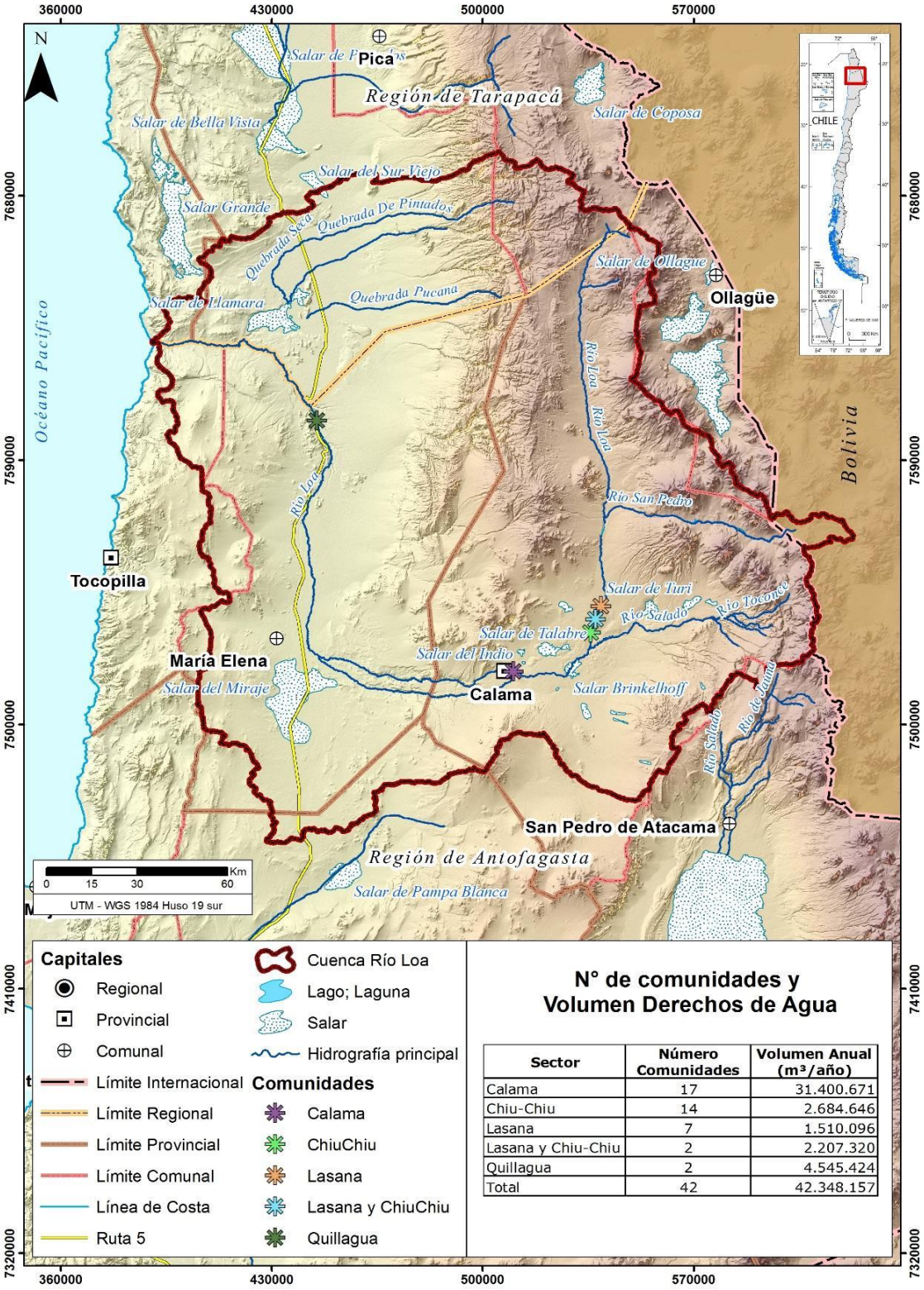
Canal	Dotación (m³/año)	Acciones
Yalquincha	1.435.000	50,00
Coco La Villa-Ramal Tambores	997.325	34,75
Coco La Villa-Ramal Berna	2.720.186	95,28
Coco La Villa	2.623.754	91,42
Coco La Villa-Ramal Bilbao	467.810	16,30
Coco La Villa-Ramal Quinta El Bosque	125.933	4,39
Coco La Villa-Ramal Radic	1.131.067	39,41
Chañar	1.586.249	55,27
Tronco	803.600	28,00
Topater	3.410.134	118,82
Lay Lay-Ramal Carvajal	881.664	30,72
Lay Lay-Ramal Chunchuri Alto	2.891.525	100,75
Lay Lay-Sector La banda	2.513.546	88,54
Núnez	3.171.350	110,50
Chunchuri Bajo	4.923.486	179,10
La Prensa	1.004.500	35,00
Toma Dupont	713.482	24,86

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (1996)

Tabla 2-48: Comunidades de agua del sector Oasis de Quillagua

Canal	Dotación (m³/año)	Acciones
Canal 1	3.281.640	100,05
Canal 2	1.263.784	38,53

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (1996)



N° de comunidades y Volumen Derechos de Agua

Sector	Número Comunidades	Volumen Anual (m³/año)
Calama	17	31.400.671
Chiu-Chiu	14	2.684.646
Lasana	7	1.510.096
Lasana y Chiu-Chiu	2	2.207.320
Quillagua	2	4.545.424
Total	42	42.348.157

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2005)

Figura 2-72: Ubicación de DAA Asociados a Comunidades de Agua cuenca del río Loa

Tabla 2-49: DAA Consuntivo para las Comunidades de Agua en Lasana, Chiu Chiu, Calama y Quillagüa

Sector	Número Comunidades	Volumen Anual (m³/año)
Calama	17	31.400.671
Chiu-Chiu	14	2.684.646
Lasana	7	1.510.096
Lasana y Chiu-Chiu	2	2.207.320
Quillagua	2	4.545.424
Total	42	42.348.157

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2005)

b) Comunidades de Aguas Subterráneas (CAS)

No existen CAS en la cuenca del río Loa, no obstante, existen sectores acuíferos con más de un usuario, donde este tipo de organización sería aconsejable. A diferencia de las CA, en que los actores que se organizan son del mismo tipo, en las CAS, en general los usuarios de un acuífero son de diferente tipo, lo que redunda en reticencia a organizarse. En sectores donde hay un solo usuario, por definición no existe la necesidad de generar algún tipo de organización, situación que por supuesto puede cambiar en el futuro.

2.6.3.2 Estado actual de la coordinación entre actores

a) Actores relevantes vinculados al agua de uso humano

Los principales centros urbanos que se localizan en la cuenca del río Loa, como son Calama y María Elena, son abastecidos por la empresa ADASA. La empresa cuenta con dos sistemas de abastecimiento de agua que funcionan de manera independiente. El Sistema Norte abastece las demandas de las comunas de Antofagasta, Calama, Tocopilla y Mejillones, el otro sistema corresponde al Sistema Sur que abastece la comuna de Taltal.

La Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) tiene por misión garantizar a los clientes de los servicios de agua potable y saneamiento de las zonas urbanas de la región, que éstos corresponden a los ofrecidos; y asegurar a la comunidad, que el agua una vez utilizada será tratada para ser devuelta a la naturaleza de forma compatible con un desarrollo sustentable.

Por otra parte, el programa de SSR MOP, cuenta con 6 Sistemas de Saneamiento Rural existentes, cuya distribución territorial se relaciona con la dinámica de localización de la población.

b) Actores relevantes vinculados al riego

Estas organizaciones comprenden a distintos usuarios de DAA que se encuentran relacionados a una obra común, como son las ya identificadas 42 CA de la Tabla 2-47. También se deben considerar otras instituciones como comunidades indígenas, que, aunque no están organizadas como lo establece el Código de Aguas, en la práctica realizan las acciones de las CA.

Por otra parte, los actores se relacionan en el tema riego a nivel intra-predial, ya sea a través de la CNR (Ley 18.450), INDAP e incluso CONADI, en lo que respecta al fomento de actores indígenas.

Por otra parte, a nivel extra-predial tanto DOH como CNR son las instituciones encargadas de proveer de infraestructura de regadío que permita disponer del recurso hídrico para incorporar nuevas áreas al riego y/o aumentar la seguridad de riego de las superficies actualmente regadas. Es importante destacar la relación de la DOH en el manejo del embalse Conchi. CNR también se ha preocupado del ámbito calidad de las aguas y su efecto en el regadío, desarrollando distintas iniciativas (estudios, programas y proyectos) en la cuenca del río Loa.

c) Relación de DGA en ámbitos de agua potable y riego

Los vínculos principales de la DGA son ADASA y SSR y con las CA guardan relación con el otorgamiento de DAA (Derechos de Aprovechamientos de Aguas) y la resolución de conflictos sobre procedimientos administrativos en temas relacionados a la constitución o ejercicio de los DAA; también se relaciona con la generación de información sobre el recurso hídrico a través de su red hidrométrica (estaciones fluviométricas y nivel de pozos); con el registro y fiscalización del funcionamiento de las OUA e indirectamente con las fiscalizaciones sobre extracciones. Adicionalmente, en estado de vigencia de Decreto de Escasez Hídrica, los usuarios (sanitaria, SSR, regantes) pueden solicitar a la DGA extracción temporal de aguas.

d) Instancias de relación entre actores

Respecto de las instancias/modalidad de relación entre los distintos actores, se detectó los siguientes problemas:

- Falta de acuerdos y/o mesas de conversación de carácter multisectorial
- Falta inclusión de todos los actores en las decisiones

• Desconfianza entre los actores (Comunidades / industria/ sector público)

• Escasa inclusión y comprensión de la cosmovisión de los pueblos originarios en los usos del agua (visión predominantemente economista)

• Descoordinación institucional de los servicios públicos

• Bajo número de iniciativas de los servicios públicos para abordar los problemas del agua

e) Valoración de las Junta de Vigilancia por parte de las comunidades indígenas

Falta de incentivos e información para la conformación de organización de usuarios de agua (Juntas de vigilancia). Este es un problema ampliamente identificado, y probablemente uno de los más importantes. Por una parte, faltan las confianzas entre los actores, principalmente los actores comunitarios (indígenas y no indígenas) y la industria, y, por otra parte, falta la información específica en lo que realmente conlleva la formación de estas organizaciones. Los actores comunitarios indígenas desconfían de la Junta Vigilancia, ya que legalmente el poder está dado en términos de acciones, las que hoy están mayoritariamente en manos de los privados, por lo que el poder está en esos usuarios.

Además, la gran mayoría de las comunidades indígenas no acepta las formas de organización que impone el Código de Aguas del año 1981 por ser contrario la organización tradicional indígena. La separación de la propiedad del agua y de la tenencia de la tierra, tampoco está considerado como parte de la cosmovisión indígena y finalmente, las organizaciones indígenas tienen una crítica profunda al actual sistema de gestión del recurso hídrico.

f) Vínculos y redes entre actores

Siguiendo el análisis anterior, en la Figura 2-73 se representa la dinámica de relación entre los principales actores sociales e institucionales, públicos y privados que son susceptibles de interés para el PEGH.

A partir de la información recopilada de los comentarios y observaciones proporcionadas tanto por las comunidades, los servicios públicos y municipales, las universidades y las empresas privadas 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 la cuenca del río Loa.

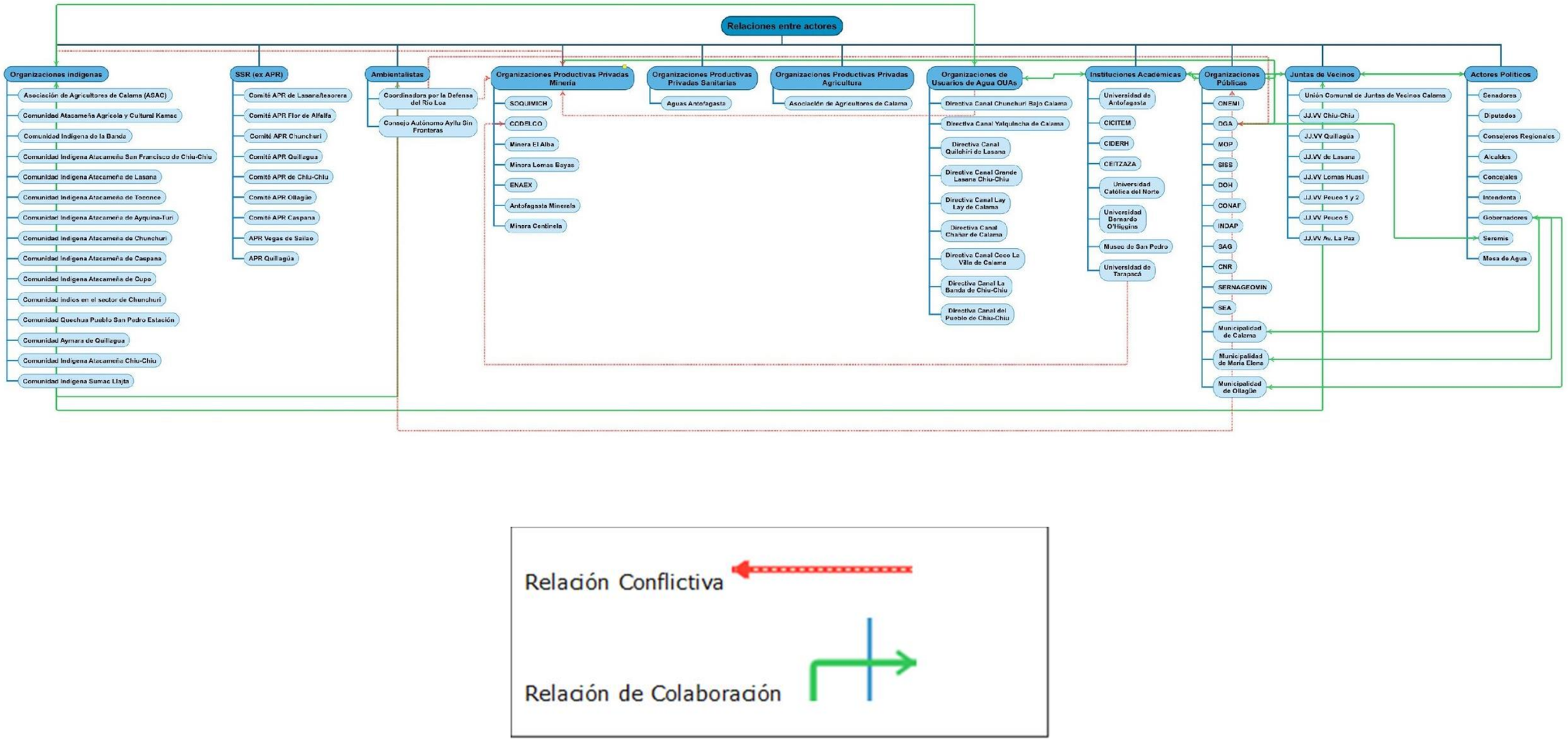
Por un lado, se puede reconocer una demanda generalizada de las comunidades de las diversas localidades, hacia las autoridades públicas, por el sentir colectivo de una falta de

regulación a las empresas privadas, específicamente, hacia las mineras. Esto se ve reflejado en los relatos de los asistentes, ya que mencionan, reiteradamente, que la privatización del agua ha sido una problemática que las autoridades y diversos gobiernos han permitido, fomentando la crisis hídrica que se vive hoy en día en la Región de Antofagasta. Asimismo, es posible identificar el descontento de las comunidades hacia el Estado por el desplazamiento de las comunidades indígenas, no indígenas, urbanas y rurales del recurso de agua, demandando la preservación y recuperación de la cuenca hídrica del río Loa.

Por otro lado, se puede destacar una relación de desconfianza de las comunidades hacia los gobiernos locales, regionales y a comunales, puesto que, si bien se han mencionado los informes y el criterio técnico de estos como factor relevante en los estudios, la comunidad manifiesta que fueron estos mismos elementos los que han aprobado proyectos que atentan contra la vida y preservación del río Loa y de sus habitantes, prevaleciendo, en palabras de ellos y ellas, una mirada economicista en los estudios y proyectos de gestión hídrica.

En cuanto a lo recopilado de los relatos de los actores asistentes a las reuniones con Universidades y Centro de estudio, se identifica una relación conflictiva con respecto a las empresas privadas que extraen agua de los ríos. Ellos reconocen que las mineras han sido un gran actor en la compraventa de DAA, generando una situación de preocupación para quienes habitan esas localidades, debido a la pérdida de suelo agrícola. Así también, estos actores destacan la falta de preocupación de las autoridades por generar información acabada que permita abordar las problemáticas que hoy en día se enfrentan. Se releva, por ejemplo, la falta de mediciones fluviométricas, la ausencia de una caracterización recabada de ciertos sectores, información deficiente, hacer nuevos muestreos, entre otros. Asimismo, es importante relevar que, se reconoce la intención de algunas autoridades de llevar a cabo trabajos colaborativos como es el trabajo en conjunto que se está llevando a cabo con la Municipalidad de Calama, en la parte urbana del río Loa. También, es posible relevar la autocrítica del gobierno regional, respecto de la deuda histórica que se tiene con la región, puesto que no se ha podido implementar un caudal ecológico mínimo en la cuenca del río Loa.

Finalmente, en base a lo expuesto, se han podido identificar e interpretar, de forma general y exploratoria las relaciones de colaboración y conflicto entre los actores mencionados.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-73: Relaciones entre Actores cuenca del río Loa

g) Relación entre problemas y brechas de coordinación

En la Tabla 2-50 se presenta un resumen de la relación entre los problemas detectados y las brechas de coordinación en el ámbito de las comunidades de Agua.

Tabla 2-50: Relación problemas y brechas de coordinación

Problemas	Análisis de Organizaciones de Usuarios de Aguas	
	Comunidades de aguas Superficiales	Comunidades de Aguas Subterráneas (*)
Problemas de Disponibilidad/Seguridad Hídrica	X	X
Problemas de Calidad y Ecosistemas	X	
Problemas de Información Hídrica	X	X
Riesgo Afectación Hídrica por Crecidas y Eventos Extremos	X	
Problemas de Gobernanza	X	X
Problemas de Marco Legal	X	X
Problemas de Infraestructura	X	X

(*) No existen CAS en la cuenca del Río Loa

Fuente: Elaboración propia

2.6.4 Brechas de Información

2.6.4.1 Brecha de información sobre funcionamiento de comunidades indígenas en relación a la gestión de recurso hídrico en la Cuenca de Loa

Se requiere profundizar el conocimiento de las comunidades indígenas como OUA ya que presentar algunas particularidades que es necesario precisar. En primer lugar, la gran mayoría no acepta las formas de organización que impone el Código de Aguas del año 1981 por ser contrario la organización tradicional indígena. En segundo lugar, la separación de la propiedad del agua y de tenencia de la tierra, tampoco está considerado como parte de la cosmovisión indígena y finalmente, las organizaciones indígenas quieren un cambio profundo en el actual sistema de gestión del recurso hídrico.

Se debe generar una investigación especifica que permita conocer el funcionamiento de dichas organizaciones y como gestionan el recurso hídrico en su territorio.

2.6.4.2 Brechas para la implementación de una Gobernanza

La Gobernanza del agua hace alusión al conjunto de actores, reguladores, usuarios o beneficiarios que interactúan en torno al recurso hídrico, y que en conjunto dan forma a un conjunto de normas o acuerdos, explícitos e implícitos, para la gestión del recurso.

Los actores públicos se encuentran en coordinación con los actores privados, y canalizan intervenciones de distinto nivel, ya sea a nivel de formación y apoyo productivo (CNR, INDAP), a la inversión en grandes obras (MOP DOH).

La Dirección General de Aguas, por su parte, tiene una participación en mesas regionales para la gestión hídrica, además de su rol de implementación sobre el Código de Aguas.

Las brechas para la implementación de una gobernanza se basan en la ausencia de formalización de los actores locales. Estos son:

La falta de constitución o reconocimiento de las Juntas de Vigilancia de:

- Sector río Loa: JV del río Loa (no constituida)
- Sector río Salado: JV del río Salado (no constituida)
- Sector río San Pedro: JV del río San Pedro (no constituida)

- Capacidades Técnicas Organización de Usuarios de Agua - Comunidades de Agua:

  Existe una disparidad de capacidades técnicas y organizacionales a nivel de Comunidades de Aguas, las cuales, si bien cumplen con las labores básicas de captación y distribución de agua, suelen carecer de desarrollo organizacional y profesionalización, impidiendo una participación informada y efectiva en la toma de decisiones respecto a la gestión hídrica de la cuenca; debido a esto, se debe considerar que el nivel organizacional actual de la OUA condicionará el nivel desarrollo que puedan alcanzar al fortalecer sus capacidades. No obstante, cualquier iniciativa que acorte dicha brecha de disparidad, permitirá mejorar las aptitudes de gestión y de coordinación de las OUA, incrementando las posibilidades de participar en instancias de alianzas público-privadas en materia hídrica.

- La falta de una Comunidad de Aguas Subterráneas (CAS) en el sector y la constitución voluntaria de otras comunidades de agua en la cuenca:

  Actualmente en la cuenca, no existen Comunidades de Aguas Subterráneas que permitan una administración local y un manejo sustentable de los acuíferos, lo que impide la correcta integración de la gestión de recursos hídricos superficiales y subterráneos. Debido a esto, la conformación de CAS es esencial para generar entidades que, a través de una gestión estratégica del recurso, permita reducir las

brechas entre oferta y demanda de agua, especialmente considerando los efectos del cambio climático y eventos críticos (sequía); además, la conformación de estas OUA promoverá la creación de nuevas alianzas público-privadas.

- La falta de organización de Comités de Agua Potable Rural a nivel de cuenca o regional, que agrupe no solo a los SSR dependientes del MOP.
- La implementación de la consulta indígena:

  El memo DL 131-20, enviado a Con Potencial el 15 de septiembre del año 2020 por la DGA, es una interpretación jurídica sobre la aplicación del proceso de consulta indígena a las cuencas del río Imperial y Valdivia que, en la parte final del mencionado memo, señala que debe aplicarse a los otros estudios de otras regiones. En ese sentido, la extrapolación aplicada, desconoce el contexto de la cuenca del río Loa y de los estudios/ planes realizados precedentemente. En ellos, el tema del Convenio 169 fue un aspecto importante en la discusión, conclusiones y recomendaciones de los procesos PAC.

  Asimismo, más allá de las interpretaciones legales, que pueden apoyar o no la aplicación de la consulta en todo el territorio nacional, la finalidad de un proceso de consulta indígena es la de llegar "acuerdos". Si bien un proceso de PAC puede ser más rápido de implementar que un proceso de consulta indígena. Los estándares del Convenio 169, que eleva y regula los parámetros de la participación, aumentaría la legitimidad de la intervención del Estado y también podría incidir en la calidad de los resultados. Por el diseño de los términos de referencia del presente estudio (plazos, objetivos y metodología) no contempló la aplicación de un proceso de consulta indígena. Resultaría conveniente, una vez terminado el presente estudio, someter al proceso de consulta indígena el PEGH.

  Las propuestas en el ámbito de la gobernanza, el aspecto más político relacionado con los recursos hídricos, están supeditadas a los cambios que pueden nacer de la Convención Constitucional, el Parlamento y la Mesa del Agua Nacional. En primer caso, los convencionales han señalado que el tema del agua debe tratarse como un derecho humano. En el segundo caso, hay una modificación al Código del agua en el parlamento y en el tercer caso, la mesa de agua está proponiendo que sea la cuenca el nuevo espacio para la gestión de los recursos hídricos.

2.6.4.3 Brecha de información en relación a las experiencias internacionales

De las experiencias internacionales revisadas y atingentes al presente estudio, se destaca a aquellas que tiene como principal foco la incorporación de la "cuenca hidrográfica" como

principal eje de la gestión de recursos hídricos y la forma de participación de los actores vinculados a ella.

En América Latina y el Caribe, comenzaron México y Brasil incorporando en sus nuevas leyes organizaciones de recursos hídricos por cuenca, continuo Uruguay que lo incluyó en su constitución y luego Venezuela, Perú y Ecuador. Chile ha ingresado en esta senda con la publicación de la Estrategia Nacional de Gestión de Cuencas y con la instalación de las Mesas del Agua. Sin embargo, a diferencia de los demás países, estas iniciativas no están amparadas por una ley específica.

En la Tabla 2-51 se detalla las normativas que los países incluyeron en su legislación para plasmar la inclusión de la cuenca como articulador de la gestión hídrica.

Tabla 2-51: Ejemplo de Normativas Internacionales

País	Normativa legal
Ecuador, Decreto No. 1088: Reorganización del Consejo Nacional de Recursos Hídricos, Mediante la Creación de la Secretaría Nacional Del Agua	Art. 3 La Secretaría Nacional del Agua tiene la finalidad de conducir los procesos de gestión de los recursos hídricos de una manera integrada y sustentable en los ámbitos de cuencas, subcuencas, microcuencas o demarcaciones hidrográficas e hidrogeológicas de acuerdo a la Ley de Aguas, su reglamento y demás normas conexas vigentes relacionadas con los recursos hídricos superficiales y los acuíferos en el Ecuador
Perú, Ley 29388 Aguas Perú, Sub Capítulo IV, Consejo de Cuenca	Artículo 24 Naturaleza de los Consejos de Cuenca: Los Consejos de Cuenca son órganos de naturaleza permanente e integrantes de la Autoridad Nacional, creados mediante decreto supremo, a iniciativa de los gobiernos regionales, con el objeto de participar en la planificación, coordinación y concertación del aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos en sus respectivos ámbitos denominaciones cuando se haga referencia a "la Ley" o "el Reglamento", se entiende que se trata de la presente Ley o de su Reglamento. La Autoridad Nacional debe entenderse como Autoridad Nacional del Agua (ANA) y el Consejo de Cuenca como Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca

País	Normativa legal
Venezuela, Ley De Aguas (Documento Oficial Nº 38.595 del 2 de enero de 2007)	Artículo 34 Los Consejos de Cuenca Hidrográfica tendrán a su cargo las funciones referentes a la elaboración, aprobación; ejecución y supervisión de la propuesta del Plan de Gestión Integral de las Aguas de la respectiva Cuenca Hidrográfica; así como las correspondientes, a los Consejos de Región Hidrográfica que le sean atribuidas en el Decreto de creación. Sección sexta De las Secretarías Ejecutivas del Consejo de Cuenca Hidrográfica. Designación y funciones. Artículo 35 Cada Consejo de Cuenca Hidrográfica contará con una Secretaría Ejecutiva que estará a cargo del ministerio que ejerza la Autoridad Nacional de las Aguas y será la encargada de coordinar la elaboración y ejecución del Plan de Gestión Integral de las Aguas, de la Correspondiente Cuenca Hidrográfica.
Uruguay: Texto de la Reforma Constitucional aprobado el 31 de octubre de 2004	Articulo 47 El agua es un recurso natural esencial para la vida. El acceso al agua potable y el acceso al saneamiento, constituyen derechos humanos fundamentales. 1) La política nacional de Aguas y Saneamiento estará basada en: a) el ordenamiento del territorio, conservación y protección del Medio Ambiente y la restauración de la naturaleza. B) la gestión sustentable, solidaria con las generaciones futuras, de los recursos hídricos y la preservación del ciclo hidrológico que constituyen asuntos de interés general. Los usuarios y la sociedad civil, participarán en todas las instancias de planificación, gestión y control de recursos hídricos; estableciéndose las cuencas hidrográficas como unidades básicas.

Fuente: Elaboración propia con antecedentes Dourojeann et al. (2010)

Asimismo, del análisis comparativo de diferentes leyes y reglamentos que crean organizaciones de cuenca hay características comunes que es necesario conocer para su discusión en Chile. En la Tabla 2-52 se detallan cada una ellas.

Tabla 2-52: Aspectos comunes para la creación de organizaciones de cuenca

N°	Patrones comunes en leyes y reglamentos
1	Son leyes de nivel nacional o regional. Las organizaciones están avaladas por leyes nacionales como las de aguas y refrendadas por leyes regionales (estados o provincias en países federales)
2	Las agencias o grupos técnicos de los consejos, comités o mesas tienen personería jurídica y poder para recabar fuentes de financiamiento
3	Existe la figura consultiva de los consejos, pero asociada a una autoridad de aguas que hace cumplir los acuerdos.

N°	Patrones comunes en leyes y reglamentos
4	Se les asigna un capital importante (presupuesto del estado) de apoyo inicial por unos 10 años, por parte del estado para establecer sistemas de cobranza para cubrir los costos de la gestión a futuro.
5	Le confieren autoridad a las organizaciones (consejos, comités, mesas) y sus organismos de cuenca (agencias, secretarías técnicas) en una serie de temas de gestión de agua lo cual los hace ser importantes y necesarios.
6	El tema financiero es debidamente considerado y adecuadamente valorado para cubrir los costos de operación del sistema de gestión, así como para apoyar inversiones en la cuenca.
7	Las agencias de la cuenca cuentan con apoyo de equipos técnicos estables y de alto nivel que se especializan en las áreas de mayor necesidad según sea la cuenca.
8	Los equipos locales cuentan con apoyo técnico desde el nivel central para realizar estudios o tareas especializadas
9	Tienen un buen equipamiento logístico (local, vehículos, redes de observación y monitoreo, equipos computacionales etc.) para cumplir sus funciones.
10	Las agencias de cuenca o equipos técnicos tienen un local adecuado para facilitar las reuniones y la participación de los actores.
11	Realizan tareas permanentes de creación de capacidades.
12	Las agencias disponen de capacidades para presentar soluciones alternativas a los conflictos por el agua, formular planes maestros, crear capacidades, fiscalizar el cumplimiento de los acuerdos, cobrar por el agua y ordenar las intervenciones sobre o que afecte el agua en la cuenca.

Fuente: Elaboración propia con antecedentes Dourojeann et al. (2010)

Las experiencias descritas sirven como un ejemplo para comparar con la experiencia chilena y en particular de la cuenca estudiada. En ese contexto y por el momento político actual de Chile, donde se discutirá una nueva Constitución, parece oportuno participar en el debate a nivel nacional y regional, con la experiencia acumulada desde la cuenca del río Loa.

De los países mencionados, se destaca Uruguay, Venezuela y Perú con la incorporación de la "Sociedad Civil" en las instancias de gestión de los recursos hídricos a través de Consejos de Cuencas. La participación de los distintos actores resalta como elemento central al momento de diseñar la arquitectura organizacional de las cuencas.

También se destaca que, al convertir a la cuenca como unidad básica de la gestión de los recursos hídricos, se requiere que existan leyes y reglamentos que delimiten tal propósito, que existan cuerpos técnicos profesionales de apoyo, un presupuesto mínimo para el funcionamiento, competencias específicas y con consejo consultivos/resolutivos que aseguren una participación de todos los actores locales en una cuenca.

Finalmente, la principal propuesta que se puede recoger para aplicar en Chile y para la cuenca del río Loa de la experiencia internacional, es avanzar en los cambios legales, administrativos y sociales para convertir a la cuenca como unidad básica de la gestión de los recursos hídricos.

2.6.4.4 Brecha de información en torno a la Mesa de Agua Regional

En octubre del año 2019 el Gobierno Nacional presentó la estrategia denominada Mesa Nacional del Agua con el objetivo de proponer un plan para hacer frente a la crisis hídrica que atraviesa el país. Los objetivos generales señalados fueron los siguientes:

- Establecer los contenidos centrales de una política hídrica de largo plazo
- Proponer la infraestructura hídrica necesaria y la forma de gestión del agua en las cuencas en el mediano y largo plazo
- Definir los principios básicos del marco legal e institucional para sustentar la política hídrica de largo plazo

En septiembre del año 2020 el Gobierno Regional de Antofagasta informa de la conformación del Mesa de Agua Regional que será una "instancia permanente de diálogo técnico, consultivo y multisectorial, en el que participarán el mundo público, privado y la academia, según precisó el intendente Edgar Blanco, quien liderará esta iniciativa".[9]

Respecto de los resultados del trabajo de la Mesa del Agua Región de Antofagasta, no se encontró información publicada en sitios oficiales del gobierno regional de Antofagasta como tampoco en la revisión de la prensa regional digital. Sin embargo, igual se propone que la implementación del Plan sea realizada por la "Mesa del Agua" como órgano rector, y la DGA Regional actúe como entidad organizadora y coordinadora. El texto señala

"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)."

[9] https://www.mch.cl/2020/09/11/elaboran-la-mesa-del-agua-para-abordar-la-crisis-hidrica-y-definir-politicas-regionales-en-antofagasta/

2.6.4.5 Brechas de información hidrológica

En términos de información hidrológica, una brecha importante es disponer de conocimiento acabado y actualizado de los glaciares en la cuenca, aunque sean pocos. Tal como se indicó previamente, la información de glaciares es poca y antigua.

2.6.4.6 Brechas de infraestructura de redes de control

Consideramos como una brecha de infraestructura de redes de control la ausencia de algún tipo específico de infraestructura de control que genera problemas en otras áreas. Dentro de este paradigma, se identificaron a las diversas redes de medición dentro de la cuenca y se determina la cantidad de estaciones faltantes para suplir el déficit que permita lograr una densidad mínima de estaciones según recomendaciones internacionales.

El mayor déficit está en la red de aguas subterráneas, especialmente en calidad de aguas, donde solo hay un punto de muestreo. El análisis desarrollado en el acápite 2.4.10 establece el déficit para llegar a la cantidad óptima para caracterizar cada subcuenca. Este déficit de infraestructura se muestra la Tabla 2-53, para cada sector de la cuenca y por tipo de red. Para aguas subterráneas se presenta un rango de valores, ya que la cantidad de estaciones necesarias para alcanzar el estándar sugerido es demasiado alta, por lo que se hizo un cálculo con un estándar modificado (revisar sección 2.4.10.3 más atrás para más detalles). Se destaca que no existen brechas para el registro de la calidad de agua superficial.

Tabla 2-53: Déficit de Redes de Control

Tipo de Red	Loa Bajo	Loa Medio	Loa Alto
Meteorológicas	0	8	1
Fluviométricas	0	6	0
Niveles de Aguas Subterráneas	1-3	28-300	7-120
Calidad de Aguas Subterráneas			
Sedimentológicas	1	2	0

Fuente: Elaboración propia

2.6.4.7 Brechas de Información de DAA

El tema de DAA requiere una mención muy específica, ya que la información es muy confusa de entender, las bases de datos entregan resultados diferentes, los caudales otorgados son diferentes y no hay claridad acerca de sus usos. Se requiere urgente un análisis interno de la situación, lo que posteriormente debería traducirse en un estudio específico.

2.6.4.8 Brechas de Modelación

Las brechas de modelación hidrológica se relacionan con las ventajas y limitaciones de la conceptualización presentada y de los softwares y paquetes disponibles. A continuación, se enuncian las brechas detectadas:

- Limitación de la zona de acople WEAP – MODFLOW: se considera relevante que el modelo subterráneo abarque solamente al SHAC de Calama y parcialmente a los SHACs de Pampa Llalqui y Salado.
- Tamaño de la grilla del modelo base MODFLOW: el tamaño del grillado del modelo puede afectar la precisión de los resultados.
- Falta de información geofísica para caracterización de SHACs: No existe información geofísica en la mayoría de la zona alta de la cuenca, es específico del SHAC Loa Alto y San Pedro de Inacaliri.
- Condiciones de borde de modelación subterránea: los caudales laterales, correspondientes a la interacción entre el dominio del modelo acoplado y el resto del modelo, son calculados en función de la información de los SHACs aguas arriba, la que viene con incertidumbre no despreciable debido a la falta de información en los sectores de cabecera de la cuenca.
- Motor y solvers permitidos en acople: debido a las limitaciones del acople del modelo, se trabaja con el motor MODFLOW-NWT, sin embargo, se recomienda utilizar el motor MODFLOW-USG cuando se permita.
- Problemas de modelación en sector bajo de la cuenca (Quillagua): este sector bajo de la cuenca presenta resultados insatisfactorios, los que podrían estar relacionados a que la estación reporta información no confiable debido a lo irregular de la sección de medición, estado de la estación y presencia de vegetación en el cauce.
- Conceptualización del acuífero de San Pedro: existen diversos factores que podrían afectar la modelación es este acuífero, tal como la inexistencia de una estación fluviométrica representativa del caudal natural; diferencias entre los valores de la tasa de recarga y la conexión subterránea con el acuífero Loa Alto.

El detalle de todos los comentarios de las brechas de modelación hidrológica se presenta en el capítulo 6 del Anexo H.

2.6.4.9 Otras brechas

Como resultado de las actividades PAC, se detectaron otras brechas de información, tales como desconocimiento de la forma de realizar la tarificación de los SSR, subsidios, y otros elementos que indicen en especialmente en los gastos de los usuarios.

3 DEMANDA FÍSICA Y LEGAL DE RECURSOS HÍDRICOS PARA DIFERENTES USOS

En este capítulo, se presenta la demanda de agua para distintos usos, partiendo por el uso humano, requerimientos ambientales, agrícolas, mineros e industriales. También se incluye para cada uso el tema de DAA además de proyecciones de demanda cuando esto es posible.

Debe hacerse notar que la demanda a nivel local no va a quedar directamente representada en el modelo de simulación integrado. Por ejemplo, las demandas de agua para uso humano quedan representadas por DAA en las zonas de toma, los que son posteriormente comparados con demandas a nivel de nodo.

Se deja en claro que las demandas que se presentan en este capítulo corresponden a las demandas máximas a satisfacer, y, por lo tanto, en la posterior modelación WEAP se incluyen solo como el valor objetivo, y no como una demanda impuesta.

3.1 Uso Humano

3.1.1 Agua Potable Urbana

Dentro de la cuenca, solo las comunas de Calama y María Elena tienen zona urbana, siendo abastecidas ambas por ADASA. Calama en forma directa, y María Elena a través de un contrato de abastecimiento entre ADASA y SOQUIMICH.

El abastecimiento de Calama es realizado como parte del llamado Sistema Norte, que capta los recursos en la cuenca del río Loa y los distribuyen en el territorio, supliéndose el déficit con agua de mar desalada. Este sistema abastece en forma conjunta a Antofagasta, Calama, Mejillones, Tocopilla, Baquedano y Sierra Gorda, además de SOQUIMICH, y a través de esta empresa María Elena. Las pérdidas de producción y distribución consideradas para la determinación de la producción de agua se muestran en la Tabla 3-1.

La sanitaria ADASA, encargada de abastecer agua a los sectores urbanos, no presenta obras para aumentar la capacidad de producción en la zona de Calama según su Plan de Desarrollo. En base a información proporcionada por la Municipalidad, el mayor problema se encuentra en el sector El Oasis, que corresponde a un 30% del área urbana de Calama y que no cuenta con factibilidad sanitaria (si con suministro de agua potable pero no para la totalidad de sus habitantes). En esta zona los sectores que necesitan tener acceso al servicio son: Teniente Merino, La Paz, La Banda y Riberas del Loa. Además, existen otros sectores, dentro del límite urbano (una parte de su territorio) y que también se encuentran fuera del área de concesión o Territorio Operacional como ocurre con parte de los sectores denominados Flor de Alfalfa y Chunchuri Bajo.

Tabla 3-1: Pérdidas Consideradas en Sistema Norte

Sector	Pérdida (%)	
	Producción	Distribución
Antofagasta	0,87	30,19
Mejillones	0,00	22,09
Calama	5,81	23,25
Tocopilla		34,19
Pampa		0,00
Sierra Gorda	1,41	40,81
Baquedano	1,41	28,65

Fuente: Elaboración propia con antecedentes ADASA (2019)

En la Tabla 3-2 se muestra la información de población abastecida para Calama junto al cliente industrial (que a su vez abastece a María Elena, desconociéndose la cantidad de agua que SOQUIMICH entrega a María Elena), los sectores abastecidos fuera de la cuenca y el Sistema Norte en su totalidad, así como los caudales de producción. No se dispone del consumo específico de María Elena, por lo que en términos prácticos esto constituye una brecha de información, aunque su abastecimiento es parte del caudal entregado a SOQUIMICH. Se muestra el año base (2019), mediano plazo (2023) y plazo de previsión del plan de desarrollo (2033). Se observa que aproximadamente los recursos destinados a Calama más Industria, representan un poco más del 25% del total del Sistema Norte (en términos de caudal). Lo anterior muestra que los requerimientos de agua potable de la cuenca son satisfechos en forma plena por los recursos disponibles en la cuenca, pero no alcanzan a satisfacer la demanda total del sistema que se encuentra fuera de la cuenca.

Debe hacerse notar que para efectos de cálculo y comparación, se utilizan los siguientes conceptos:

- **Dotación de consumo:** Cantidad de agua que puede consumir un usuario diariamente
- **Dotación de producción:** Cantidad de agua que se debe producir por usuario diariamente, incluye el efecto de las pérdidas de producción y distribución
- **Caudal medio de consumo:** Caudal promedio consumido por la comunidad
- **Caudal medio de producción:** Caudal promedio producido para satisfacer las necesidades de la comunidad
- **Caudal máximo diario:** Considera el efecto de variación diaria de los consumos, y se determina como un factor (variable entre 1,0 y 1,5) por el caudal medio

Cabe señalar que en el Plan de Desarrollo de ADASA que presenta la oferta y demanda hasta el año 2033, está plenamente vigente, se hace mención sobre la ampliación de la planta desaladora La Chimba en Antofagasta (100 l/s adicionales el año 2019), la construcción de una planta desaladora en Tocopilla en el año 2018 (75 l/s), ampliación planta desaladora Norte de 200 l/s al año 2023, 150 l/s al año 2027 y 150 l/s al año 2031. Esto significa un aumento en la oferta de 675 l/s durante el periodo de previsión.

Los detalles del cálculo de las demandas se presentan en lo que sigue, y su respaldo en el Anexo J-07.

En forma complementaria, se presenta en la Tabla 3-3 la proyección de la población de Calama al año 2050, donde se presenta la dotación de consumo reportada por ADASA y la dotación de producción determinada a partir de la dotación de consumo y las pérdidas. Para María Elena, se presenta en la Tabla 3-4 la proyección de problación, la producción media anual requerida, la cantidad de agua que recibe SOQUIMICH y la fracción que se entrega a María Elena de este total, la que varía desde 40% al año 2019 hasta 33,2 % al año 2050.

Tabla 3-2: Proyecciones de Población y Caudal de Producción

		Calama	Cliente Industrial	Sectores Fuera Cuenca río Loa	Total Sistema Norte	Participación Calama+Industria/ Sistema Norte
Población (habitantes) + Clientes						
2019		151.100	1	390.271	541.371 + 1	-
2023		155.186	1	409.214	564.400 + 1	-
2033		162.513	1	456.426	618.939 + 1	-
Caudal Producción (l/s)						
2019	Medio Anual	445,6	23,4	1.271,8	1.740,8	25,6%
	Máximo Diario	532,5	23,4	1.625,0	2.180,9	24,4%
2023	Medio Anual	480,6	24,5	1.407,9	1.913,0	25,1%
	Máximo Diario	574,3	24,5	1.792,5	2.391,3	24,0%
2033	Medio Anual	580,5	27,6	1.665,2	2.273,3	25,5%
	Máximo Diario	693,7	27,6	2.109,7	2.831,0	24,5%

Nota: El consumo del cliente industrial, SOQUIMICH, incluye lo aportado a María Elena

Nota: En la primera sección de la tabla, "+1" en el total, corresponde al cliente industrial para que quede clara la diferencia entre población y otros abastecidos

Fuente: Elaboración propia con antecedentes ADASA (2019)

Se hace notar que las proyecciones de demandas presentadas en el Plan de Desarrollo de ADASA para el sistema norte en su totalidad muestran que el déficit de oferta para el periodo de previsión asciende a 648,7 l/s (hasta el año 2033), tal como se muestra en la Tabla 3-5. Se proyecta suplir el déficit con proyectos de desalación en la costa.

Tabla 3-3: Proyección de Población de Calama

Año	Población (hab)	Dotación Media Consumo (l/hab/día)	Dotación Media Producción (l/hab/día)	Fuente
2019	151.100	184,2	259,66	Plan Desarrollo ADASA
2020	152.184	186,4	262,76	
2030	160.748	213,1	300,39	
2040	169.048	240,3	338,74	Extrapolación usando antecedentes Plan Desarrollo ADASA
2050	177.327	267,3	376,80	

Fuente: Elaboración propia con antecedentes ADASA (2019)

Tabla 3-4: Proyecciones de Población y Caudal de Producción María Elena

Año	Población María Elena	Producción Media Requerida (l/s)	Producción Media Disponible (l/s)	Fracción
2019	4.127	9,6	23,4	40,9%
2020	4.156	9,6	23,7	40,7%
2030	4.390	10,2	26,6	38,2%
2040	4.617	10,7	30,0	35,7%
2050	4.843	11,2	33,7	33,2%

Fuente: Elaboración propia con antecedentes ADASA (2019) e INE

Se hace notar que la inclusión de plantas desaladoras de agua de mar se hace, no como una forma de liberar DAA, sino que, como la solución más económica para suplir la demanda no satisfecha fuera de la cuenca, ya que la demanda dentro de la cuenca queda satisfecha por los recursos hídricos disponibles propios de la cuenca.

En forma adicional, se proyectó la demanda al año 2050, determinándose un déficit adicional de 808 l/s al año 2050, los que también podrían ser satisfechos con agua de mar. La metodología de proyección de la demanda desde el año 2034 al año 2050 se incluye en el Anexo F, Acápite 2.3.1. Los resultados de esta demanda se presentan en la Tabla 3-6. En la Figura 3-1 se muestra integrada la información de la Tabla 3-5 y Tabla 3-6, donde

claramente se observa el incremento del déficit que a su vez debe ser satisfecho, acción que ADASA está realizando incluyendo agua desalada para abastecer a los clientes que se ubican fuera de la cuenca.

Tabla 3-5: Evaluación Déficit de Oferta (Nivel Producción) a Satisfacer en periodo de Previsión

Año	Oferta Mínima (l/s)	Demanda Máxima Diaria (l/s)	Diferencia (l/s)	Déficit (l/s)
2020	2.177,0	2.230,2	-53,2	
2021	2.177,0	2.291,8	-114,8	
2022	2.177,0	2.355,0	-178,0	
2023	2.177,0	2.378,5	-201,5	
2024	2.177,0	2.422,1	-245,1	
2025	2.177,0	2.464,9	-287,9	
2026	2.177,0	2.508,6	-331,6	
2027	2.177,0	2.552,4	-375,4	
2028	2.177,0	2.595,7	-418,7	
2029	2.177,0	2.640,5	-463,5	
2030	2.177,0	2.684,2	-507,2	
2031	2.177,0	2.728,2	-551,2	
2032	2.177,0	2.772,8	-595,8	
2033	2.177,0	2.817,1	-640,1	648,7

Fuente: ADASA (2019)

A modo de resumen se presenta en la Tabla 3-7 la demanda máxima diaria para la cuenca y para el sistema norte, las que se comparan con la oferta mínima legal, consisten en los DAA seguros que ADASA dispone, y que ascienden en el mes de mínima oferta a 1.221 l/s. De esta forma se determinó el requerimiento de desalación, lo que se compara con la oferta de desalación. Se observa que, al horizonte del proyecto, las necesidades de APU en la cuenca se pueden satisfacer con recursos 100% disponibles en la cuenca. Debe hacerse notar que el cálculo de la oferta mínima legal no considera el efecto del cambio climático, por lo que las proyecciones podrían verse afectadas.

Tabla 3-6: Evaluación Déficit de Oferta (Nivel Producción)

a Satisfacer a Futuro

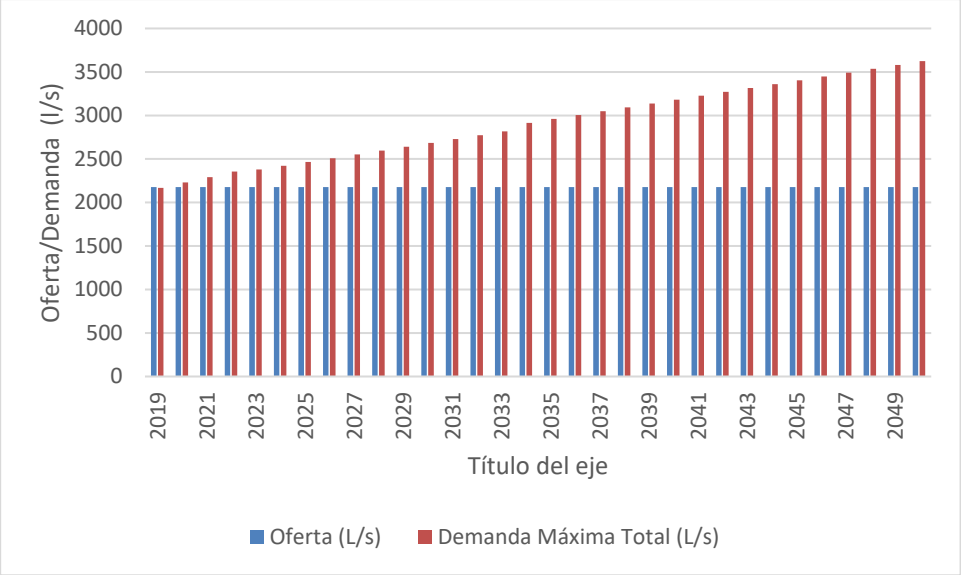
Año	Oferta Mínima (l/s)	Demanda Máxima Diaria (l/s)	Diferencia (l/s)	Déficit (l/s)
2034	2.177,0	2.915,5	-738,5	
2035	2.177,0	2.960,0	-783,0	
2036	2.177,0	3.004,5	-827,5	
2037	2.177,0	3.048,9	-871,9	
2038	2.177,0	3.093,4	-916,4	
2039	2.177,0	3.137,8	-960,8	
2040	2.177,0	3.182,2	-1.005,2	
2041	2.177,0	3.226,6	-1.049,6	
2042	2.177,0	3.271,0	-1.094,0	
2043	2.177,0	3.315,3	-1.138,3	
2044	2.177,0	3.359,6	-1.182,6	
2045	2.177,0	3.403,9	-1.226,9	
2046	2.177,0	3.448,2	-1.271,2	
2047	2.177,0	3.492,5	-1.315,5	
2048	2.177,0	3.536,7	-1.359,7	
2049	2.177,0	3.580,9	-1.403,9	
2050	2.177,0	3.625,1	-1.448,1	808,0

Fuente: Elaboración propia 2034-2050 usando antecedentes ADASA (2019)

Tabla 3-7: Comparación demanda máxima diaria v/s oferta mínima

Año	Demanda Máxima Diaria Cuenca (l/s)	Demanda Total Sistema Norte (l/s)	Oferta Mínima Legal dentro Cuenca (l/s)	Requerimiento Desalación (l/s)	Oferta Desalación (l/s)
2019	569,2	2.168,4	1.221,0	947,4	1.056,0
2030	704,6	2.684,2	1.221,0	1.463,2	1.756,0
2050	951,6	3.625,1	1.221,0	2.404,0	2.606,0

Fuente: ADASA (2019) (años 2019 y 2030) y elaboración propia (año 2050)



Fuente: Plan de Desarrollo ADASA 2020-2033 y Elaboración propia 2034-2050.

Figura 3-1: Evolución Demanda Agua Potable de Producción

3.1.2 Sistemas de Saneamiento Rural

Tal como se indicó en el Acápite 2.4.2, se ubican en la cuenca del río Loa 6 sistemas operativos. Al analizar la cobertura de agua potable en zonas rurales, se ve que en general las localidades semi concentradas (entre 80 y 500 hab. y con un mínimo de 8 viviendas conectadas por kilómetro de red) tienen abastecimiento. Las localidades rurales localizadas en la cercanía del casco urbano de Calama se abastecen con camión aljibe. Solo Chunchurri cuenta con sistema de SSR operativo, mientras que en Yalquincha y Verdes Campiñas los sistemas están en etapas de diseño. Las localidades Lickan Tatay y La Banda no tienen SSR, y su población asciende a 187 y 96 personas respectivamente.

En la Tabla 3-5 se muestra la proyección para el consumo de los sistemas de SSR, para las 6 localidades presentadas en el Acápite 2.4.3 y las localidades mencionadas en el párrafo anterior, sin SSR o en vías de diseño. El valor inicial de población total abastecida al año 2015 es de 3.428 habitantes. Para la situación actual solo se dispone de una proyección con 4.192 habitantes, los que se incrementan a 6.260 para la situación al 2030 y de 13.853 habitantes al año 2050. Las proyecciones se presentan en el Anexo J-07. Mayores detalles se presentan en el Anexo F, Acápite 2.3.2 donde se presenta la metodología empleada para este cálculo.

Tabla 3-8: Proyección del Demanda Sistemas de SSR

	Comuna	Tipo	Sistema SSR	N° de Beneficiarios			
				2015	2020	2030	2050
1	Calama	Existente	Chunchuri	295	361	540	1.198
2	Calama		Caspana	250	306	458	1.020
3	Calama		Toconce	100	124	189	427
4	Calama		Lasana	431	527	784	1.731
5	Calama		Chiu Chiu	1.200	1.461	2.170	4.766
6	María Elena		Quillagua	120	148	224	503
7	Calama	Proyectado	Verdes Campiñas	660	805	1.198	2.638
8	Calama		Yalquincha	89	111	170	388
9	Calama		Lickan Tatay	187	230	346	772
10	Calama		La Banda	96	119	181	410
			Total	3.428	4.192	6.260	13.853
			Variación		22,3%	49,3%	121,3%

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2016b).

3.1.3 DAA para Uso Humano

Con respecto a la explotación en las captaciones de agua cruda para agua potable, la disponibilidad legal de aguas urbanas se presenta en la Tabla 3-9. Se hace notar que por condiciones de seguridad el cálculo se hace no con los DAA, determinados con una probabilidad de excedencia del 85% sino que, con un caso más extremo, como es un 90% de probabilidad de excedencia, siguiendo la normativa vigente.

Tabla 3-9: Disponibilidad Legal de Agua año 2019, Aguas Urbanas

Fuente	**Punto de Captación**	**Caudal (l/s)**	
		DAA	**Considerado para Fines de Planificación (90% Prob. Excedencia)**
Captación Lequena	Río Loa	550,0	446,3
Captación Quinchamale	Río Loa	300,0	288,8
Captación Toconce	Río Loa	470,0	361,6
Captación Linzor	Río Loa	50,0	0,0
Captación San Pedro	Represa Codelco	90,0	90,0
Captación Hojalar	Río Loa	140,0	0,0
Captación Puente Negro	Río Loa	69,0	40,8
Total		1.669,0	1.227,5

Fuente: Plan de Desarrollo ADASA.

Por otra parte, para los sistemas de SSR fue posible identificar la información de DAA que se muestra en la Tabla 3-10. Se hace notar que para algunas localidades no se dispone de información (S/I).

Tabla 3-10: Disponibilidad Legal de Agua año 2018, Sistemas de SSR

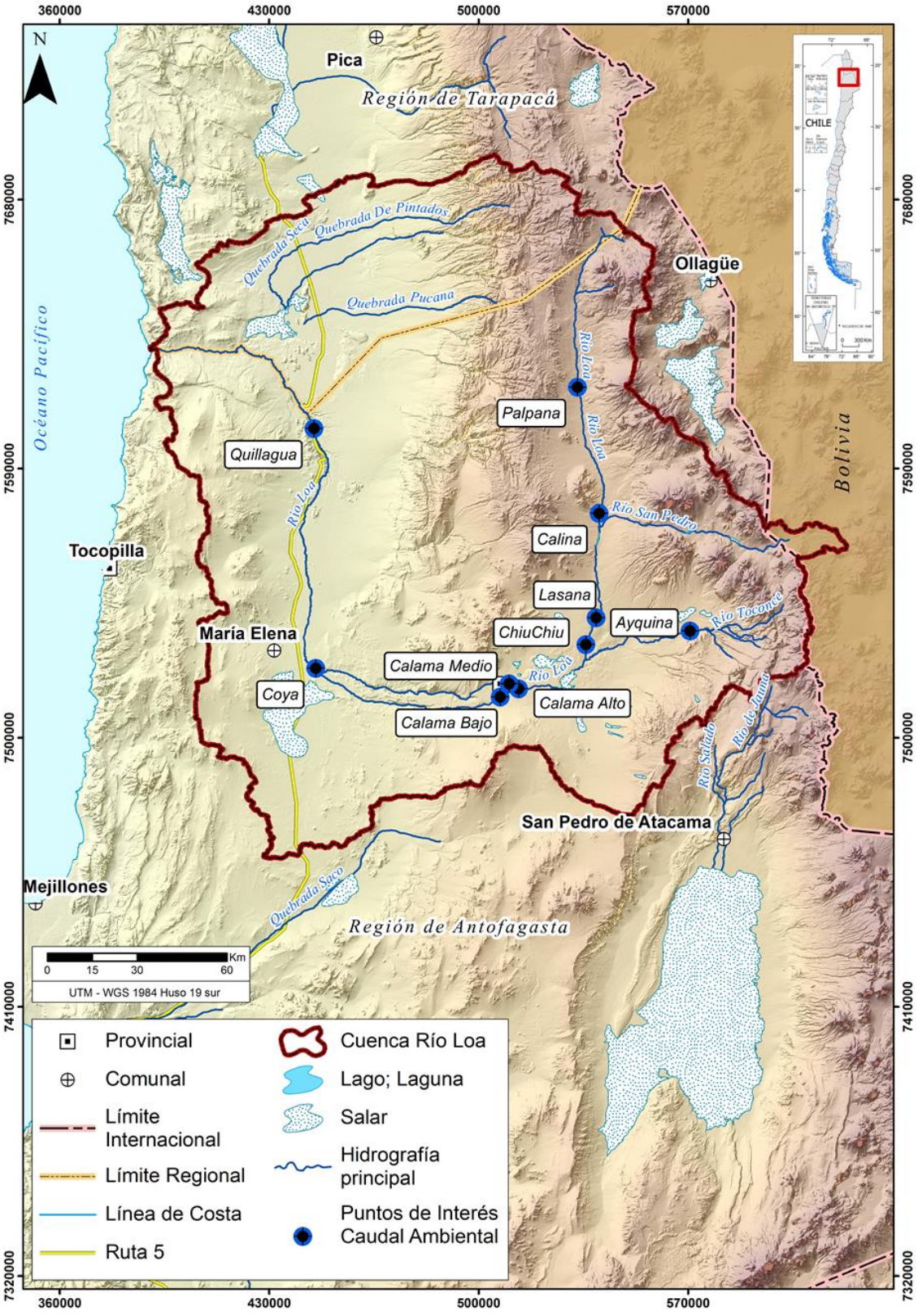
#	Comuna	Sistema SSR	Caudal (l/s)
1	Calama	Chunchuri	S/I
2	Calama	Caspana	2
3	Calama	Toconce	S/I
4	Calama	Lasana	2
5	Calama	Chiu Chiu	
6	María Elena	Quillagua	S/I
7	Calama	Verdes Campiñas	S/I
8	Calama	Yalquincha	S/I
9	Calama	LickanTatay	S/I
10	Calama	La Banda	S/I

Fuente: DGA (2012b).

3.2 Necesidades Mínimas Ambientales

En el marco del estudio desarrollado por GORE Antofagasta (2020), se determinó un caudal ambiental ecológico en diferentes sectores de la cuenca, bajo la definición desarrollada en la Declaración de Brisbane en el año 2007: "*los caudales ambientales (o ecológicos) son los flujos de agua, el momento de su aplicación y la calidad de las aguas precisos para mantener los ecosistemas de agua dulce y de los estuarios, así como los medios de subsistencia y bienestar de las personas que dependen del ecosistema*".

El cálculo se basa a la agrupación de cuatro caudales diferentes. Estos caudales responden a requerimientos sociales, ecológicos, estratégicos y de usuarios. En particular, para este PEGH se trabaja solamente con el caudal de requerimientos ecológicos, 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. En la Tabla 3-11 se presentan los caudales de requerimiento ecológico determinados como resultado del estudio GORE Antofagasta (2020), y que se consideraron como condicionante en la modelación, según se presenta con mayor detalle en el capítulo 5 acápite 5.3.1. Su ubicación se presenta en la Figura 3-2.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes GORE Antofagasta (2020).

Figura 3-2: Puntos de interés ambiental en cuenca del río Loa

Tabla 3-11: Caudal de requerimientos ecológicos (m^3/s)

Sector	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Palpana	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,19	0,18	0,16	0,15	0,17	0,18	0,17
Calina	0,48	0,49	0,48	0,49	0,48	0,47	0,47	0,46	0,45	0,49	0,51	0,52
Ayquina	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lasana	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,35	0,35	0,35	0,35	0,36	0,37	0,38
Chiu Chiu	0,62	0,61	0,61	0,61	0,61	0,60	0,61	0,61	0,62	0,64	0,65	0,65
Calama Alto	0,60	0,60	0,61	0,63	0,62	0,62	0,61	0,60	0,61	0,65	0,75	0,62
Calama Medio	0,46	0,46	0,46	0,47	0,46	0,45	0,45	0,45	0,46	0,49	0,55	0,48
Calama Bajo	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,16	0,17	0,18	0,17
Coya	0,80	0,81	0,82	0,85	0,84	0,82	0,80	0,80	0,81	0,85	0,95	0,86
Quillagua	0,85	0,89	1,00	1,07	1,03	0,96	0,89	0,86	0,88	0,92	0,94	0,88

Fuente: Elaboración propia con antecedentes GORE Antofagasta (2020).

3.3 Caudales Ecológicos Legales

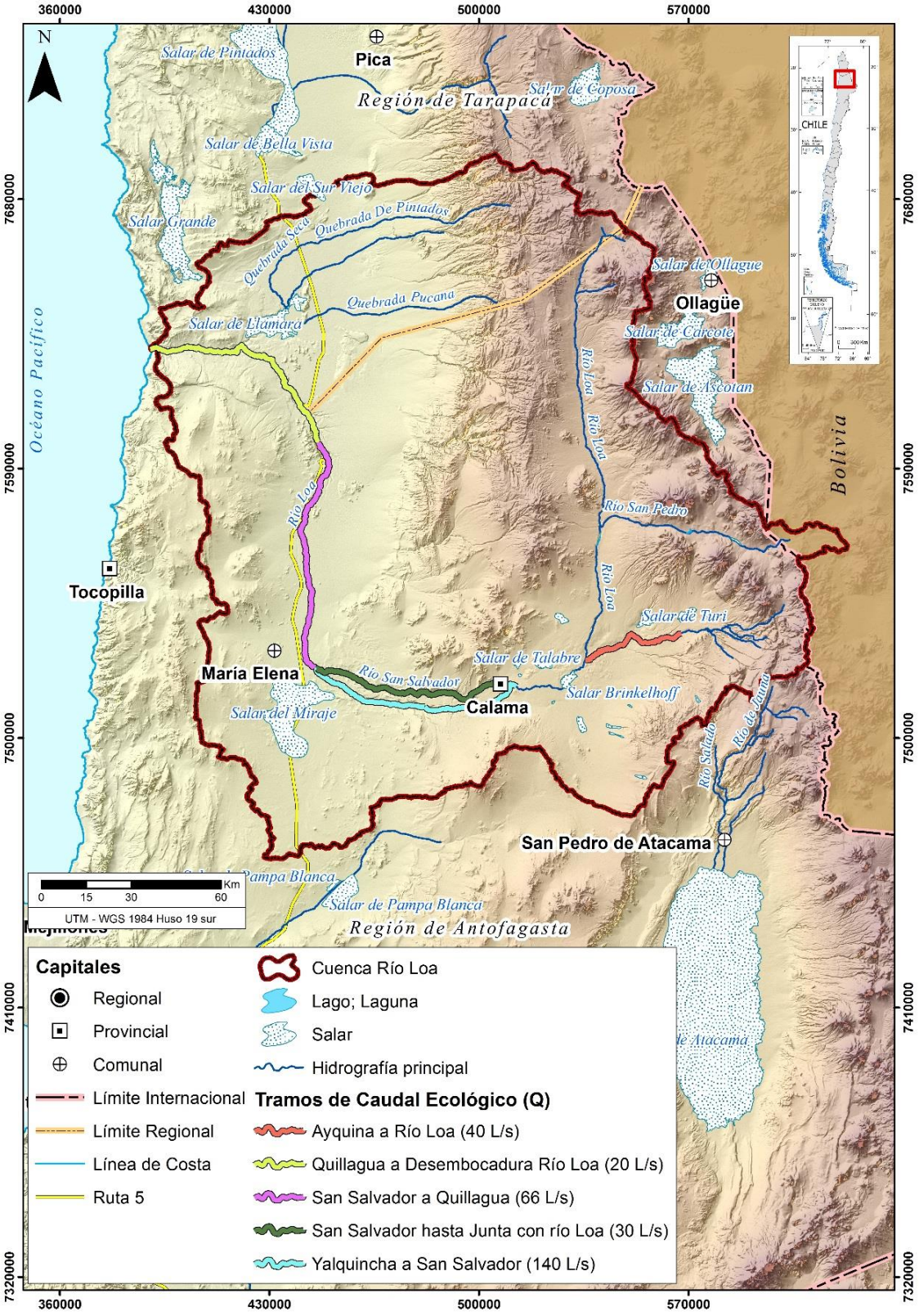
En el estudio DGA (2005), se determinaron caudales ecológicos para la cuenca del río Loa, que no necesariamente corresponden a los caudales disponibles, sino más bien a los caudales ecológicos que teóricamente deberían tener los cauces, entendiendo que posiblemente dichos cauces no tengan posibilidad de dejar esa disponibilidad. El caudal ecológico se estimó utilizando uno de los criterios recomendados para la estimación de caudales ecológicos para la resolución de solicitudes de DAA. Este criterio indica que el caudal ecológico es igual al 50% del caudal mínimo de estiaje del año para una probabilidad de excedencia del 95%. Dejando presente que en situaciones especiales el caudal ecológico total a respetar podrá ser igual al caudal ecológico más la demanda hídrica.

Así, los caudales ecológicos determinados por este estudio para cada tramo y sección del río Loa, que "fija las condiciones ambientales que debieran cumplir aquellas solicitudes no resueltas y que sean factibles de constituirse y para satisfacer los DAA constituidos y el caudal ecológico determinado", se presentan en la Tabla 3-12. En la Figura 3-3 se muestran los tramos de río para los cuales se definió un caudal ecológico.

Tabla 3-12: Caudales ecológicos legales en cuenca del río Loa

Tramo del río	Cauce	Caudal (l/s)
Desde Yalquincha a junta con San Salvador	río Loa	140
Desde Loa en junta San Salvador hasta Quillagua	río Loa	66
Desde Estación Loa en Desembocadura al mar	río Loa	20
Desde Estación Sifón Ayquina a Junta con río Loa	río Salado	40
Desde Estación San Salvador hasta Junta con río Loa	río San Salvador	30

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2005).



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2005).

Figura 3-3: Zonas con tramos de caudal ecológico legal cuenca del río Loa

Se hace notar que si se incluyera la situación hidrológica de los últimos años, lo más probable es que los valores determinados como mínimos disminuirían. Otro punto importante, es que como estos valores se usan como condicionante a los posibles DAA que a la fecha estaban en proceso de otorgación (proceso pendiente al momento en que se cerró la cuenca a la otorgación de nuevos DAA). Es probable que un cambio en estos valores no tendría injerencia en los DAA, ya que lo otorgado no es posible modificarlo, a menos que se den las condiciones que establece el Código de Aguas.

3.4 Demanda de Agua para Riego

En este acápite se presenta la caracterización general de las demandas de agua para riego presentando sus elementos constitutivos: zonas de riego, cultivos, parámetros de definición del sistema, y como resultado la demanda a nivel de río. El análisis se basa principalmente en lo presentado en los estudios DGA (2014a) y GORE Antofagasta (2020). Se hace notar aquí en lo que respecta a la modelación WEAP los parámetros de entrada son las superficies, cultivos, coeficientes de cultivo y parámetros de todo tipo. Los detalles metodológicos se presentan en el Anexo F, Acápite 2.3.3.

3.4.1 Zonas de Riego

El número de zonas agrícolas, su distribución espacial, las superficies regadas y su evolución temporal son adoptadas desde el estudio DGA (2014a), ya que no existe nueva información que justifique su actualización. En efecto, la forma de lograr aquello es la realización de una encuesta en terreno a los agricultores, actividad que se consideró como parte del estudio CNR (2018), pero no se logró desarrollar a solicitud de los mismos agricultores. Se consideran un total de 13 zonas de riego, cuya distribución espacial se presenta en la Figura 3-5, y los valores de la superficie actual en la Tabla 3-13.

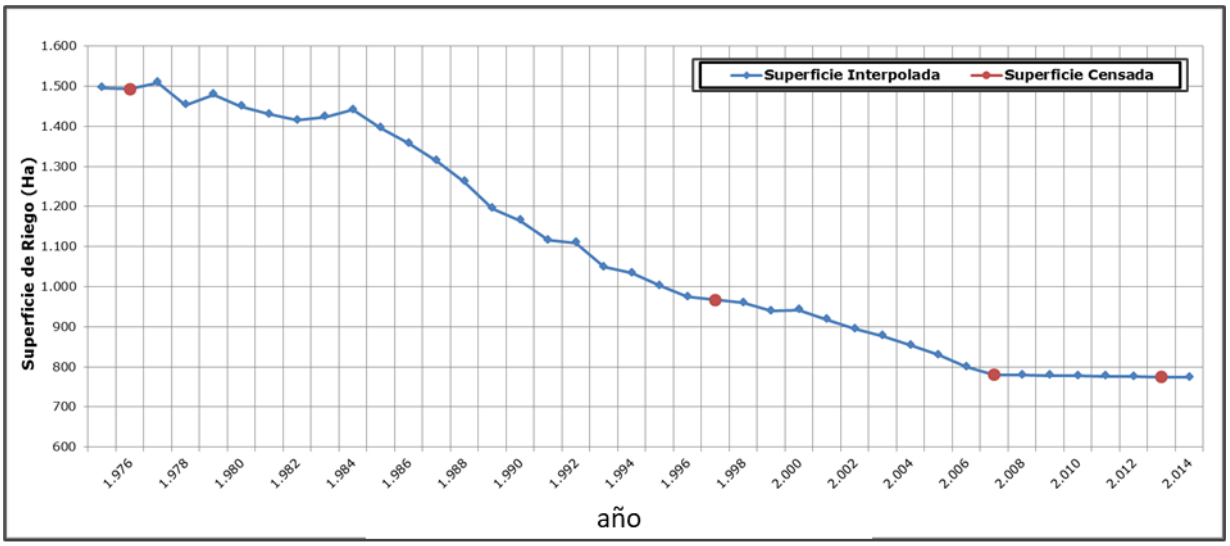
Tabla 3-13: Superficies zonas de riego

Zona de riego	Localidad	Superficie (ha)		
		Cultivada	No cultivada	Total
ZR 1	Lasana	91,5	73,5	165,0
ZR 2	Chiu Chiu	115,4	98,6	214,0
ZR 3	Toconce	9,5	34,3	43,8
ZR 4	Caspana	22,3	58,9	81,2
ZR 5	Ayquina	3,9	9,0	12,9
ZR 6	Turi	50,7	142,3	193,0
ZR 7	Paniri	4,2	6,5	10,7
ZR 8	Cupo	12,8	44,3	57,1

Zona de riego	Localidad	Superficie (ha)		
		Cultivada	No cultivada	Total
ZR 9	Calama	19,7	62,3	82,0
ZR 10	Calama	256,0	262,0	518,0
ZR 11	Calama	182,0	942,0	1.124,0
ZR 12	Calama	6,2	1,5	7,7
ZR 13	Quillagua	1,0	151,0	152,0
Total		775,2	1.886,2	2.661,4

Fuente: DGA (2014a).

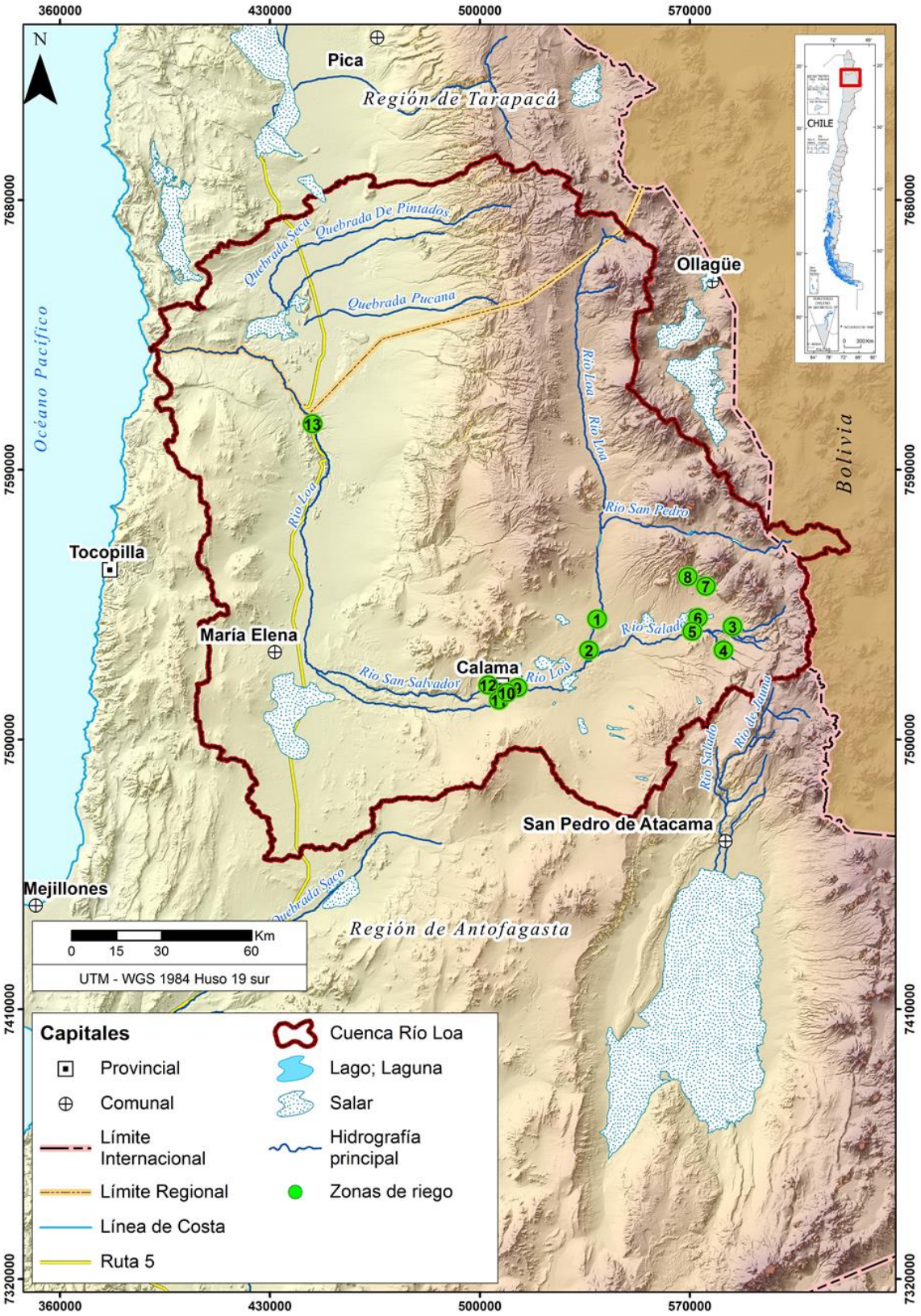
Con el fin de disponer de una historia de la superficie de la cuenca, se correlacionó la superficie regada con el PIB agrícola, usando como puntos fijos la información de los años 1977, 1997, 2007 y 2013 (puntos en rojo), según se muestra en la Figura 3-4. Esto es bajo el supuesto de relación directa entre PIB y superficie regada.



Fuente: DGA (2014a).

Figura 3-4: Variación anual superficie regada total en la cuenca del río Loa

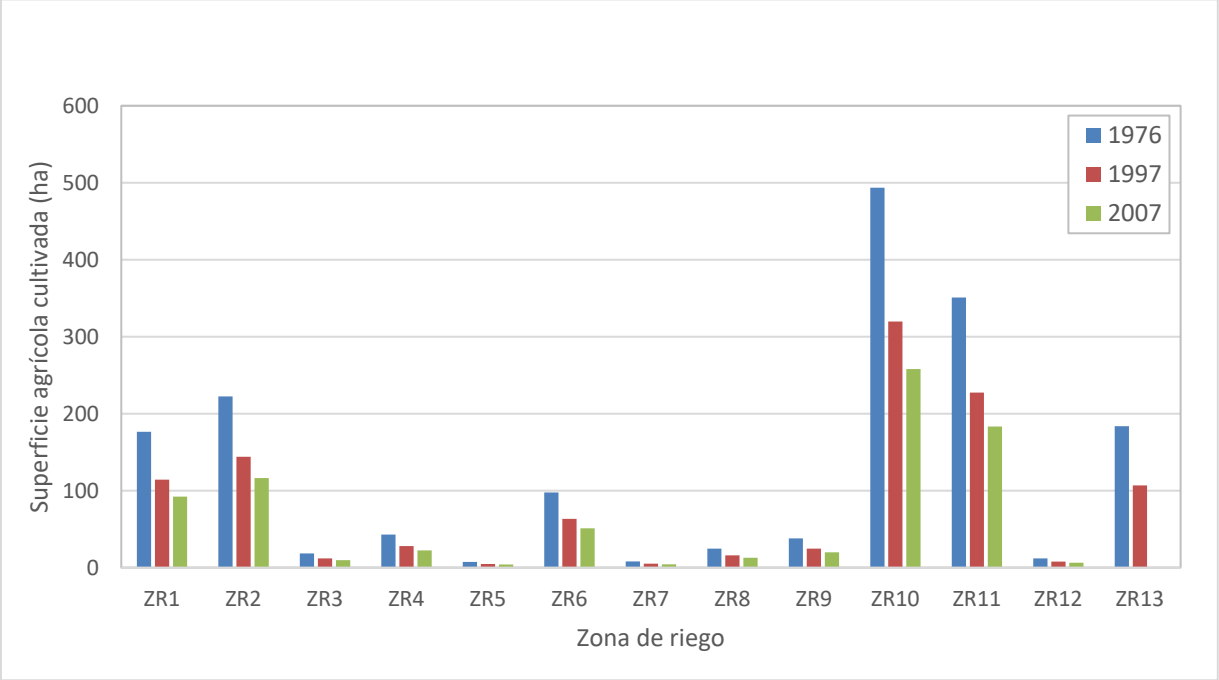
Se observa un fuerte decaimiento de la superficie cultivada en el periodo de modelación, pero con tendencia a la estabilización de acuerdo a los últimos registros. Esto se puede explicar remarcando la situación vivida por el poblado de Quillagua, donde existía una importante producción agrícola hasta la década de los años 80 y que fue decayendo hasta no poder verificarse esta actividad en la actualidad (DGA, 2014a). En consecuencia, en el peor de los casos la demanda futura será como máximo igual la demanda actual, situación tendencial que se impone como condicionante en la modelación posterior.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2014a).

Figura 3-5: Distribución espacial de zonas de riego cuenca del río Loa

Finalmente, se presenta en la Figura 3-6, la evolución de la superficie a nivel de zona de riego, donde se exterioriza que los cultivos y superficies cultivadas varían en el tiempo.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2014a).

Figura 3-6: Evolución superficie regada por zonas de riego cuenca del río Loa

3.4.2 Demandas por Cultivos

Los cultivos considerados fueron catastrados en terreno, y para cada uno de ellos se identificaron sus superficies en forma anual, junto a sus coeficientes de cultivos. A modo de ejemplo, se muestra en la Tabla 3-14 la distribución de cultivos para la situación actual, y en la Tabla 3-15 los coeficientes de cultivo, cuyos valores fueron obtenidos del estudio DGA (2014a) basados en el documento "Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la Determinación de los Requerimientos de Agua de los Cultivos" (FAO, 2006). Se complementa lo presentado, con la distribución del área total cultivada por tipo de cultivo, lo que se muestra en la Figura 3-7.

Con la información de cultivos, se procede a determinar la evapotranspiración neta de los mismos, evaluada como la diferencia entre la evapotranspiración real y la precipitación efectiva. Por otra parte, las eficiencias y pérdidas de los canales corresponden a valores promedios los cuales guardan relación con el catastro en terreno de los estudios realizados por DGA (2014a) y GORE Antofagasta (2020), valores que en todo caso están sujetos a calibración posterior.

Tabla 3-14: Distribución de cultivos en zonas de riego (situación actual)

Zona de Riego	Alfalfa	Avena	Betarraga	Habas	Hortalizas	Lechugas
ZR-01	36,8%	0,0%	2,8%	0,0%	0,0%	2,1%
ZR-02	21,5%	0,0%	2,1%	0,0%	0,0%	10,3%
ZR-03	6,6%	0,0%	0,0%	5,5%	0,0%	0,0%
ZR-04	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	13,8%	0,0%
ZR-05	9,2%	0,0%	0,0%	0,0%	9,2%	0,0%
ZR-06	10,5%	0,0%	0,0%	6,6%	0,0%	0,0%
ZR-07	15,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
ZR-08	18,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
ZR-09	10,9%	4,8%	0,0%	0,0%	1,2%	0,0%
ZR-10	22,3%	9,9%	0,0%	0,0%	2,5%	0,0%
ZR-11	7,3%	3,2%	0,0%	0,0%	0,8%	0,0%
ZR-12	15,0%	0,0%	0,0%	0,0%	62,5%	0,0%
ZR-13	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Zona de Riego	**Maíz**	**Manzanas**	**Papas**	**Peras**	**Tunas**	**Zanahoria**
ZR-01	8,9%	0,0%	1,4%	0,0%	0,0%	3,6%
ZR-02	9,8%	0,0%	2,4%	0,0%	0,0%	8,0%
ZR-03	6,6%	0,0%	3,2%	0,0%	0,0%	0,0%
ZR-04	0,0%	2,7%	0,0%	2,7%	8,3%	0,0%
ZR-05	11,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
ZR-06	9,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
ZR-07	15,5%	0,0%	7,3%	0,0%	0,0%	0,0%
ZR-08	4,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
ZR-09	7,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
ZR-10	14,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
ZR-11	4,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
ZR-12	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
ZR-13	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

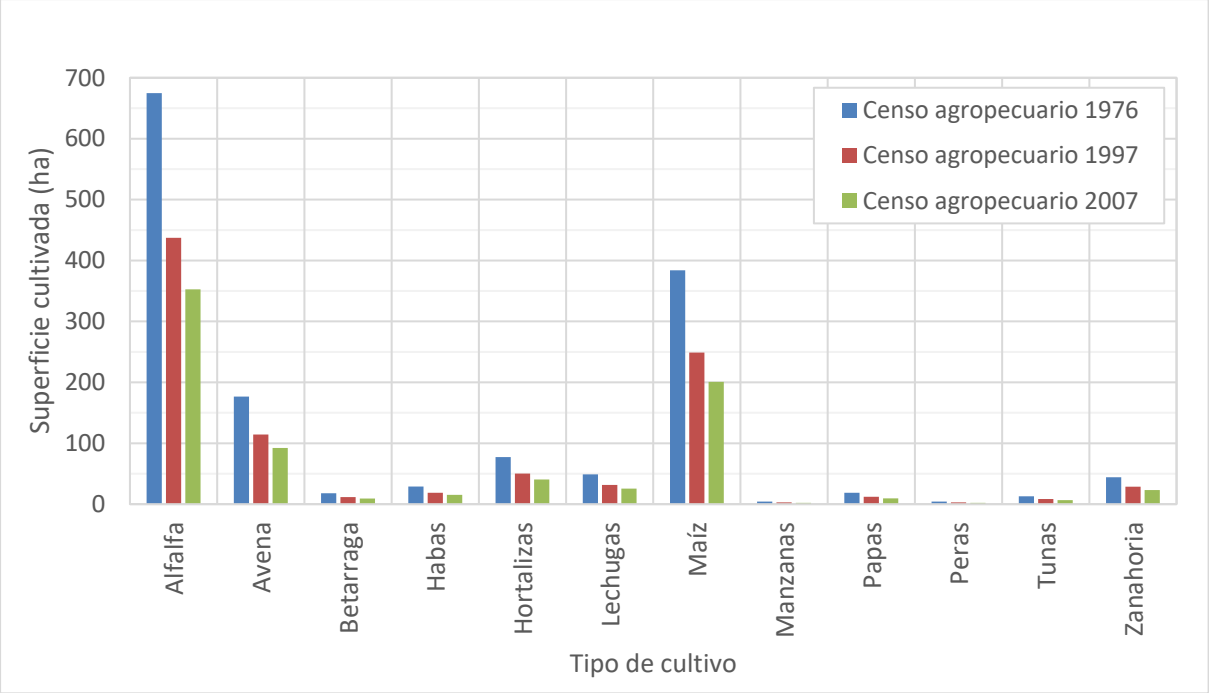
Fuente: DGA (2014a).

Tabla 3-15: Coeficientes de Cultivos Representativos

Mes	Alfalfa	Avena	Betarraga	Habas	Hortalizas	Lechugas
Enero	0,95	0,00	1,20	1,15	0,00	0,00
Febrero	0,95	0,00	0,95	1,10	0,00	0,00
Marzo	0,95	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00
Abril	0,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mayo	0,95	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00
Junio	0,95	0,82	0,00	0,00	0,00	0,00
Julio	0,95	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00
Agosto	0,95	1,15	0,00	0,00	0,50	0,70
Septiembre	0,95	1,15	0,35	0,00	0,78	0,78
Octubre	0,95	1,15	0,87	0,50	1,05	1,00
Noviembre	0,95	0,75	1,39	0,80	1,00	1,00
Diciembre	0,95	0,33	1,20	1,05	0,90	0,95
Mes	**Maíz**	**Manzanas**	**Papas**	**Peras**	**Tunas**	**Zanahoria**
Enero	1,20	0,95	1,15	0,95	0,00	0,00
Febrero	0,84	0,95	0,75	0,95	0,00	0,00
Marzo	0,35	0,90	0,00	0,90	0,00	0,00
Abril	0,00	0,75	0,00	0,75	0,00	0,00
Mayo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Junio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Julio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agosto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Septiembre	0,00	0,60	0,00	0,60	0,50	0,70
Octubre	0,50	0,60	0,00	0,60	0,43	0,77
Noviembre	0,83	0,73	0,50	0,73	0,30	1,05
Diciembre	1,20	0,95	0,73	0,95	0,30	0,95

Fuente: DGA (2014a).

Los canales de riego en la cuenca poseen una determinada capacidad y eficiencia en base a su revestimiento. La Tabla 3-16 presenta información detallada para cada canal de riego y zona de riego donde distribuye su caudal, de acuerdo a lo reportado por los estudios DGA (2014a) y GORE Antofagasta (2020). Estos parámetros no dependen del escenario climático, ni tampoco de las demandas de riego, ya que corresponden a condiciones físicas.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2014a).

Figura 3-7: Evolución superficie regada por tipo de cultivo cuenca del río Loa

Tabla 3-16: Propiedades agregadas de canales de riego

Nombre de Canal	Zona de riego	Capacidad (m^3/s)	Eficiencia (%)	Largo (m)
Canal Buen Retiro	Lasana	0,160	95	1.826
Canal San Antonio	Lasana	0,160	95	1.519
Canal Los Ramírez	Lasana	0,260	95	1.127
Canal Quichire	Lasana	0,182	95	10.706
Canal Los Perales	Lasana	0,160	95	591
Canal Pona	Lasana	0,160	95	3.379
Canal Grande	Chiu Chiu	0,309	95	6.312
Canal La Banda	Chiu Chiu	0,309	95	2.705
Canal El Pueblo	Chiu Chiu	0,309	95	4.080
Canal Toconce	Toconce	0,195	95	5.070
Canal Caspana	Caspana	0,051	95	8.112
Canal Ayquina	Ayquina	0,062	90	1.167
Canal El Trigal	Turi	0,118	95	485
Canal Puente	Turi	0,118	95	4.106
Canal Paniri	Paniri	0,042	95	150
Canal Inga	Cupo	0,062	95	3.110
Canal Mesón	Cupo	0,062	95	2.530
Canal Yalquincha 2	Calama	0,275	95	5.674
Canal Yalquincha 1	Calama	0,260	95	4.809

Nombre de Canal	Zona de riego	Capacidad (m^3/s)	Eficiencia (%)	Largo (m)
Canal Tronco	Calama	1,220	95	5.135
Canal Unificado Banda Radic Topater	Calama	0,121	95	3.467
Canal Lay Lay	Calama	0,376	95	3.106
Canal Núñez	Calama	0,532	95	4.772
Canal Chunchuri Bajo	Calama	0,460	95	4.051
Canal La Prensa	Calama	0,183	95	2.584
Canal Dupont	Calama	0,091	95	2.337
Canal río San Salvador	Calama	0,062	95	795
Canal 1	Quillagua	0,429	95	10.227
Canal 2	Quillagua	0,156	95	4.888

Fuente: DGA (2014a) y GORE Antofagasta (2020).

Debe hacerse notar que, en forma estricta, la demanda hídrica de la supercie de riego no se afecta con el cambio climático. Es por eso que los parámetros anteriormente indicados, son parámetros válidos tanto para situación con o sin cambio climático. Lo que ocurre es que el verdadero indicador de la demanda de agua, es la Demanda No Satisfecha, o Demanda Neta (ver Anexo F, Acápite 2.3.3.2) demanda que, si está afecta al cambio climático, ya que se define como la diferencia entre la Evapotranspiración (que dependería del cambio climático), y la precipitación efectiva. Esta es la razón porque en el modelo no se considera la demanda de riego calculada en este acápite, sino que la metodología de cálculo, de modo que la demanda real se calcula en forma interna, respondiendo efectivamente a los cambios de temperatura y precipitación considerados en los escenarios de cambio climático.

3.4.3 Demanda a nivel de río

Integrando la información presentada en las secciones precedentes, se determina la demanda bruta de riego a nivel de río por zona agrícola, la que se muestra indicando zona de riego y localidad en la Tabla 3-17.

Tabla 3-17: Demandas por zonas de riego

Zona de riego	Localidad	Demanda (m^3/s)
ZR-01	Lasana	0,253
ZR-02	Chiu Chiu	0,253
ZR-03	Toconce	0,006
ZR-04	Caspana	0,023
ZR-05	Ayquina	0,003

Zona de riego	Localidad	Demanda (m³/s)
ZR-06	Turi	0,039
ZR-07	Paniri	0,003
ZR-08	Cupo	0,012
ZR-09	Calama	0,046
ZR-10	Calama	0,596
ZR-11	Calama	0,424
ZR-12	Calama	0,011
ZR-13	Quillagua	0,003

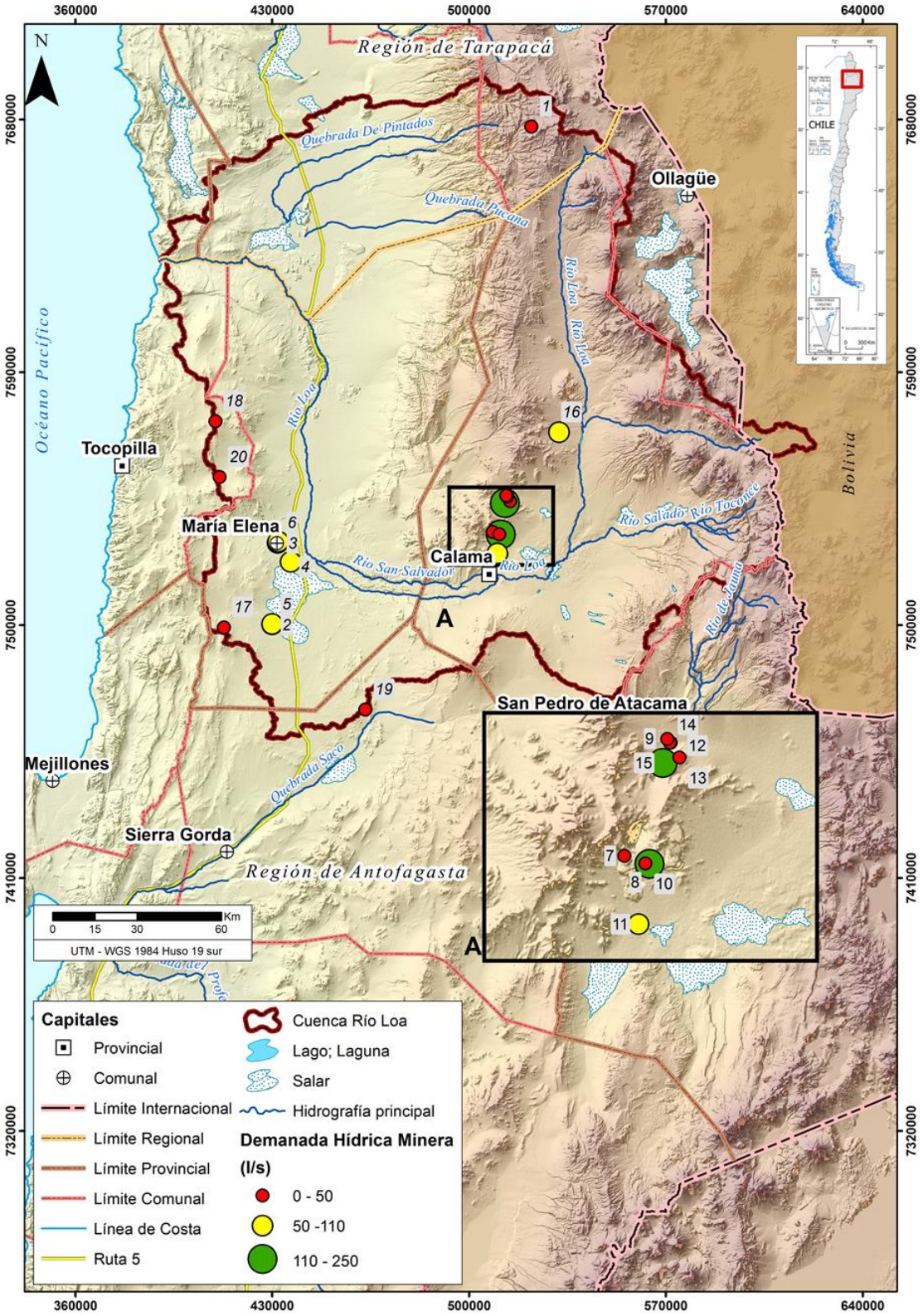
Fuente: DGA (2014a).

Se vuelve a indicar que este valor corrresponde a la demanda que los cultivos necesitan para obtener el desarrollo plantario óptimo. En el modelo WEAP lo que se determina es la demanda satisfecha, usando como valores de entrada los mismos parámetros indicados previamente.

3.5 Demanda de Agua para Minería

La gran minería es un actor protagonista en el uso de aguas en la cuenca. Si bien esta actividad es sin duda la más productiva a nivel regional, también es una de las que genera las mayores presiones en distintos sectores del río y sus afluentes. La Figura 3-8 muestra la demanda hídrica asociada a los actores mineros en la cuenca del río Loa, los cuales se detallan en la Tabla 3-18.

En términos de demandas agregadas, se dispone de la información contenida en el estudio DGA (2017b) donde se determinó la demanda de agua al año 2015 y la esperada a los años 2030 y 2040. Las proyecciones presentadas van a la baja, tal como se muestra en la Tabla 3-19, lo que está en contra de las proyecciones de las mineras, ya que están supliendo sus necesidades de agua con desalación, por lo que esa demanda debería subir, o al menos mantenerse de constantes.



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

Figura 3-8: Demandas hídrica minera en cuenca del río Loa

Tabla 3-18: Detalle de empresas con demandas de agua para minería

ID	Nombre empresa	Recurso minero	Demanda (l/s)
1	CIA. MRA. TECK QUEBRADA BLANCA	OXIDOS DE COBRE	26,4
2	SQM S. A.	CALICHE (YODO)	73,5
3	SQM S. A.	CALICHE (YODO)	73,5
4	SQM INDUSTRIAL S.A.	CALICHE (NITRATOS)	81,2
5	SQM INDUSTRIAL S.A.	CALICHE (NITRATOS)	81,2
6	SQM INDUSTRIAL S.A.	CALICHE (NITRATOS)	81,2
7	CODELCO	OXIDOS DE COBRE	39,3
8	CODELCO	SULFUROS DE COBRE	226,2
9	CODELCO	OXIDOS DE COBRE	39,3
10	CODELCO	OXIDOS DE COBRE	39,3
11	CODELCO	OXIDOS DE COBRE	97,8
12	CODELCO	OXIDOS DE COBRE	47,6
13	CODELCO	OXIDOS DE COBRE	47,6
14	CODELCO	OXIDOS DE COBRE	47,6
15	CODELCO	SULFUROS DE COBRE	231,4
16	SCM EL ABRA	OXIDOS DE COBRE	116,7
17	MINERA ANTUCOYA LIMITADA	OXIDOS DE COBRE	0,0
18	MINERA CAPACHO VIEJO LTDA.	OXIDOS DE COBRE	3,6
19	SIERRA GORDA SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA	OXIDOS DE COBRE	0,0
20	SOCIEDAD MINERA E INDUSTRIAL LOS MANTOS LTDA.	OXIDOS DE COBRE	3,6

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

Tabla 3-19: Proyección demandas mineras en la cuenca

Año	Agua fresca (m^3/año)	Agua desalada (m^3/año)
2015	42.677.769	1.821.961
2030	26.830.759	625.847
2040	18.086.245	0

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

3.6 Otras Demandas de Agua

En este territorio no se han identificado demandas de tipo hidroeléctrico o industrial. Por otra parte, las demandas de tipo turístico están inmersas dentro de las demandas de tipo urbana o SSR.

3.7 Mercado de Aguas

Un mercado de aguas puede definirse como las interacciones entre compradores y vendedores de algún tipo de título de propiedad de agua para usarla, asignándole a este, un precio determinado mediante el libre intercambio (CNR, 2016a).

3.7.1 Evolución Histórica

La información que a continuación se presenta corresponde a la contenida en la base de datos "Inscripciones de Derechos de Aprovechamiento de Aguas en Conservadores de Bienes Raíces" disponible en el portal web de la DGA y que contiene las transacciones informadas por los Conservadores de Bienes Raíces (CBR) de Calama y María Elena, con jurisdicción en las comunas que integran la cuenca del río Loa. El periodo histórico considerado en la base de datos corresponde a 1985-2020, aunque en las figuras solo se muestra el rango de años donde existen transacciones. Las bases de datos se presentan en el Anexo J-08.

El análisis considera inscripciones de categoría "mercado" tales como: compraventa, adjudicación, aporte, dación en pago, entre otras, de naturaleza superficial y subterránea, del tipo consuntivos y no consuntivos, de ejercicio permanente y eventuales. No fueron consideradas transacciones de categoría "no mercado" (herencias, concesiones, regularizaciones, entre otras), ya que no tienen asociado un valor económico.

En lo que respecta al mercado de aguas, la información disponible es de mala calidad. Por ejemplo, en la página web de la DGA[10] se dispone de un informe de 1.370 transacciones en los diferentes conservadores en la región. Del total de transacciones, para 568 no se indica la fuente (50,2%), para 941 no se indica el uso (68,7%), para 1.010 (73,7%) no se indica el tipo de ejercicio, para 188 (13,7 %) no se indica la naturaleza, para 531 no se indica el caudal considerado (38,7 %), y para 512 (37,3%) no se indica la unidad.

3.7.2 Valor del Agua

Con el objetivo de estimar el valor de mercado de los DAA, se tomó como fuente la información indicada en el acápite anterior.

Lo anterior requirió un análisis detallado y depuración de las bases de datos con revisión detallada de los expedientes digitalizados de las transacciones, a fin de poder salvar las omisiones e inconsistencias detectadas en las bases de datos de transacciones de los CBR.

[10] https://snia.mop.gob.cl/ciudadaniacbr/ Consultado: Mayo 2012

Sobre la base de datos inicial se procedió a aplicar los criterios de depuración de manera incremental, con el fin de contar con una base de datos depurada que incluya transacciones que cumplan con todas las condiciones para que sean consideradas en la estimación. Esta depuración se ha realizado en base a la metodología que la SISS utiliza para la estimación del valor de los DAA en los procesos tarifarios que se llevan a cabo cada 5 años y que se encuentra plasmada en el estudio DGA (2018c).

Las transacciones excluidas fueron aquellas con las siguientes características:

- Imposibilidad de identificar el tipo de naturaleza del DAA
- Imposibilidad de identificar el tipo de ejercicio del DAA
- Imposibilidad de identificar el mercado a la cual pertenece la transacción DAA
- Inexistencia de información de caudal
- Imprecisión en el monto de la transacción
- Transacciones diferentes a compraventa
- Transacciones en conjunto con otros bienes
- Transacciones entre parientes
- Agrupación de observaciones que no presenten diferencias en la fecha de inscripción, comprador, vendedor y mercado relevante.

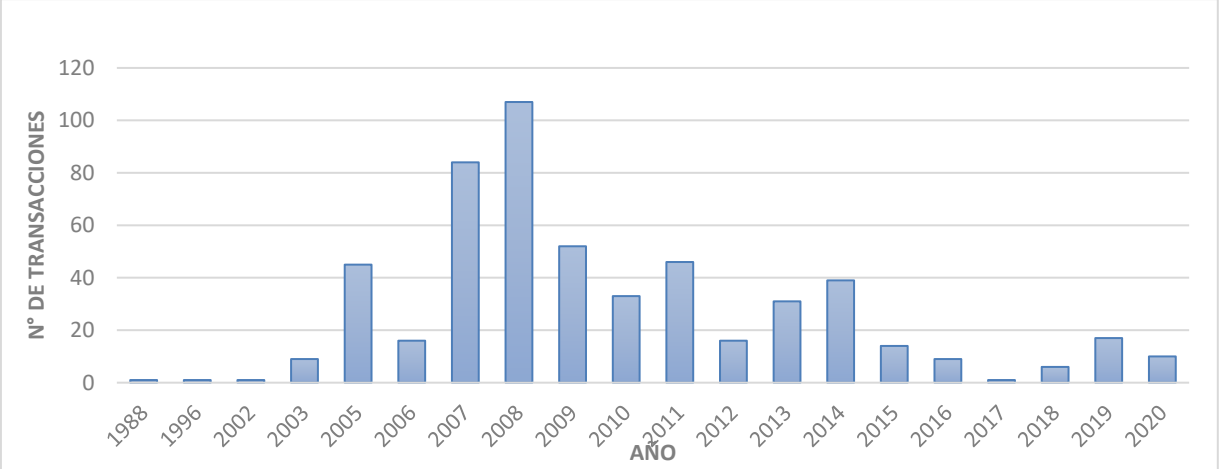
La Tabla 3-20 presenta el resultado del proceso de depuración de la base de datos inicial. Se observa que, de las 1.370 transacciones, 561 (41%) cumplen con los requisitos definidos para estimar precios de mercado de DAA.

Tabla 3-20: Transacciones depuradas según naturaleza del agua, años 1985-2020

Tipo de Transacción	COMPRAVENTA		
Ejercicio del DAA	Naturaleza del Agua		
	Subterránea	Superficial	Total
Permanente y Continuo	23	538	561

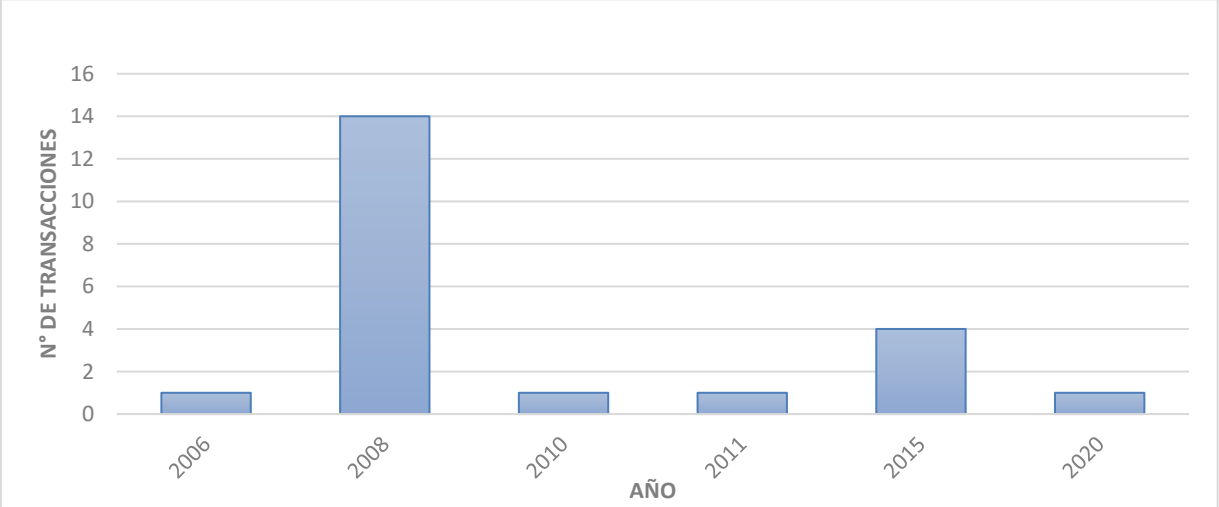
Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2020c).

En la Figura 3-9 y Figura 3-10 se muestra la distribución de transacciones de DAA superficiales y subterráneas, respectivamente. Si bien es cierto el rango de análisis corresponde al periodo 1985-2020, en los gráficos solo se muestran las transacciones en los años en que existen transacciones.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2020c).

Figura 3-9: Distribución anual del número de DAA superficiales transados, periodo 1985-2020



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2020c).

Figura 3-10: Distribución anual del número de DAA subterráneos transados, periodo 1985-2020

Se desconoce la razón por la que hay un explosivo aumento de transacciones subterranéas el año 2008. Se ha considerado como "unidad de mercado" la naturaleza del agua (subterránea o superficial) y el sector económico en cual se realizó la transacción.

3.7.2.1 Aguas Superficiales

Para la unidad de mercado de aguas superficiales, se encontraron valores asociados al sector de captación del DAA, siendo los mayores valores pagados los del sector de Calama (Canal Coco La Villa), y los menores valores pagados en el sector de Quillagua y Lasana.

Con esto, se obtiene, de un total depurado de 538 transacciones, un valor medio de $ 4.220 por 1 m³/año de caudal transado, que equivale a 0,14 UF x m³/año.

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

Para analizar si existen diferencias en los valores del m³/año de agua tranzados, por rubro comprador, se filtraron los rubros minería e Industria, y Personas Naturales y empresas privadas de otros rubros.

Las transacciones filtradas, asociadas a los sectores Minería e Industria, alcanzan un total de 129 transacciones, con un valor promedio de $ 9.631 por 1 m³/año de caudal transado, que equivale a 0,33 UF x m³/año.

Por otra parte, filtrando las transacciones asociadas a empresas privadas de otros rubros, y personas naturales, se obtiene un total de 409 transacciones, con un valor promedio de $ 2.514 por 1 m³/año de caudal transado, que equivale a 0,09 UF x m³/año.

Se hace notar que se estima que las grandes fluctuaciones del precio del agua se pueden deber a transacciones ficticias que se hacen entre partes relacionadas, y que sirven para transferir fondos entre las mismas. En particular se desconoce que ocurrió el año 2008, que explique el peak, donde el valor del m³/año llegó a transarse por más de 145.000, en lo que respecta.

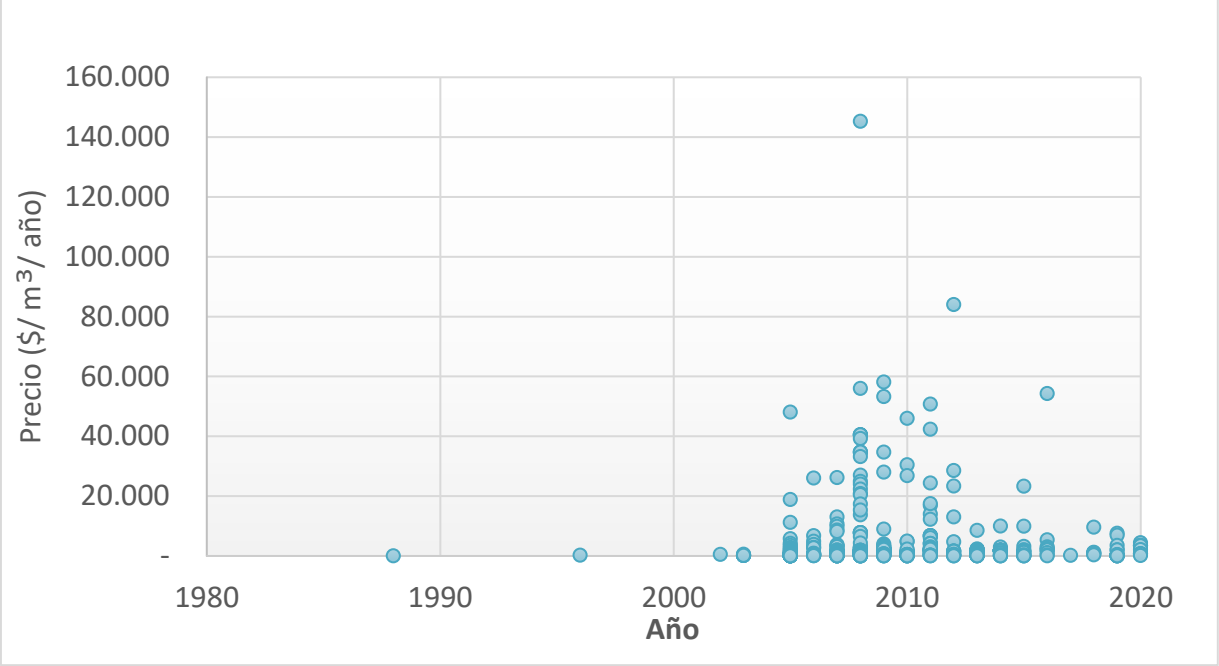
Los resultados anteriores se resumen en la Tabla 3-21, y se muestran graficados en la Figura 3-11.

Tabla 3-21: Resultados valor de aguas superficiales

		Tipo		
		Otros Privados	**Minería/ Industria**	**Total**
	Cantidad Transacciones	409	129	538
Valor ($/m³/año)	Mínimo	0,5	11,1	0,5
	Promedio	2.514,00	9.631,00	4.220,10
	Desviación	6.715,30	25.726,90	11.275,50
	Máximo	84.000,00	145.266,90	145.266,90
Valor (UF/m³/año)	Mínimo	0,00002	0,00038	0,00002
	Promedio	0,08522	0,32647	0,14305
	Desviación	0,2276	0,8721	0,3822
	Máximo	2,84746	4,9243	4,9243

Valor UF: $ 29.500

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2020c).



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2020c).

Figura 3-11: Distribución anual y valor transado de DAA superficiales, periodo de análisis 1985-2020

3.7.2.2 Aguas Subterráneas

Para la unidad de mercado de aguas subterráneas, no se encontraron valores atípicos. Con esto, se obtiene, de un total depurado de 23 transacciones, un valor medio de $ 39,5 millones por 1 l/s de caudal transado, que equivale a 1.342 UF x l/s.

Para analizar si existen diferencias en los precios por l/s de agua tranzados, por rubro comprador, se filtraron los rubros minería e Industria, y Personas Naturales y empresas privadas de otros rubros.

Las transacciones filtradas, asociadas a los sectores Minería e Industria, alcanzan un total de 14 transacciones, con un valor promedio de $ 50 Millones por 1 l/s de caudal transado, que equivale a 1.697 UF x l/s.

Por otra parte, filtrando las transacciones asociadas a empresas privadas de otros rubros, y personas naturales, se obtiene un total de 9 transacciones, con un valor promedio de $ 23 millones por 1 m³/año de caudal transado, que equivale a 790 UF x l/s.

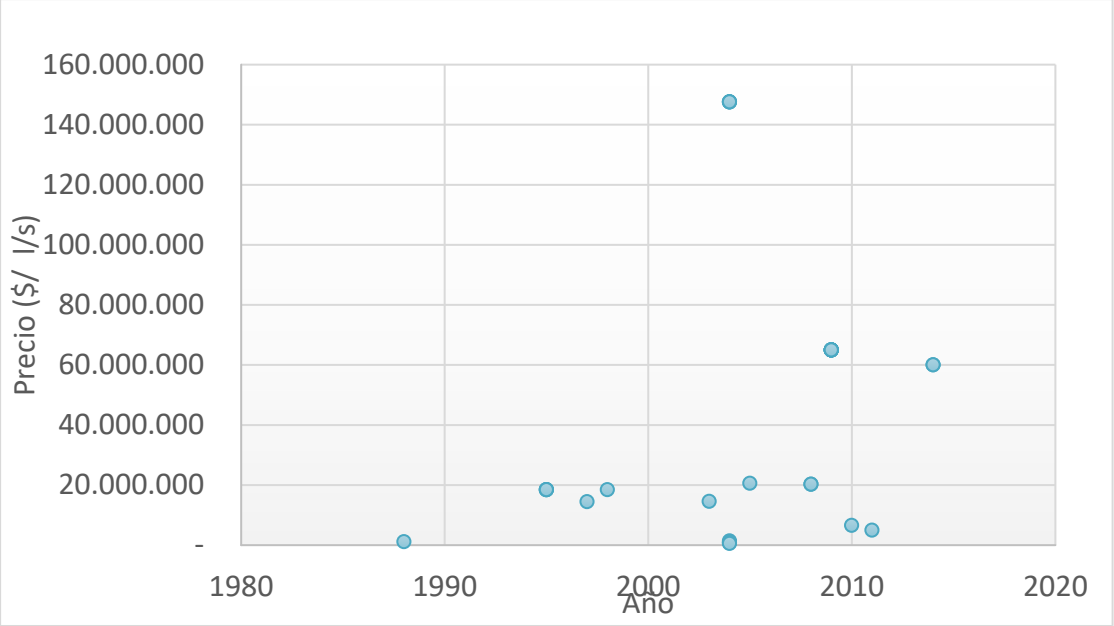
Los resultados anteriores se resumen en la Tabla 3-22, y se muestran graficados en la Figura 3-12.

Tabla 3-22: Resultados valor de aguas subterráneas

		Tipo		
		Otros Privados	**Minería/ Industria**	**Total**
	Cantidad Transacciones	9	14	23
Valor ($/m³/año)	Mínimo	1.122.216	545.999	1.122.216
	Promedio	23.307.283	50.049.187	39.584.964
	Desviación	27.168.989	58.341.669	46.143.664
	Máximo	60.000.000	147.567.189	147.567.189
Valor (UF/m³/año)	Mínimo	38,0	18,5	38,0
	Promedio	790,1	1.696,6	1.341,9
	Desviación	921,0	1.977,7	1.564,2
	Máximo	2.033,9	5.002,3	5.002,3

Valor UF: $ 29.500

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2020c).



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2020c).

Figura 3-12: Distribución anual y valor transado de DAA subterráneos, periodo 1985-2020

Al igual que para el agua superficial, se desconoce la razón exacta que explique el peak del año 2008.

4 OFERTA HÍDRICA

En este capítulo se presentan los elementos principales relacionados con la oferta de recursos hídricos para la zona de estudio. El análisis se presenta en términos de oferta de aguas superficiales y subterráneas. El objetivo último es disponer de la información de oferta histórica en la cuenca y determinar las condiciones futuras del sistema frente a diversos cambios, ya sean cambios en las demandas o en la oferta misma debido a cambio climático. Mayor detalle se expone en posteriormente en acápite 5.2.

4.1 Aguas superficiales

4.1.1 Fuentes

Como se indicó en el acápite de hidrografía, el río Loa es el cauce principal de la cuenca y recibe los aportes de los ríos Salado y San Salvador (Figura 2-8), además de otras quebradas menores. De acuerdo con la resolución DGA 197 (DGA, 2000), el río Loa y sus afluentes son declarados como agotados legalmente para la constitución de nuevos DAA superficiales.

4.1.2 Oferta de la fuente

La oferta de la fuente debe de 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.

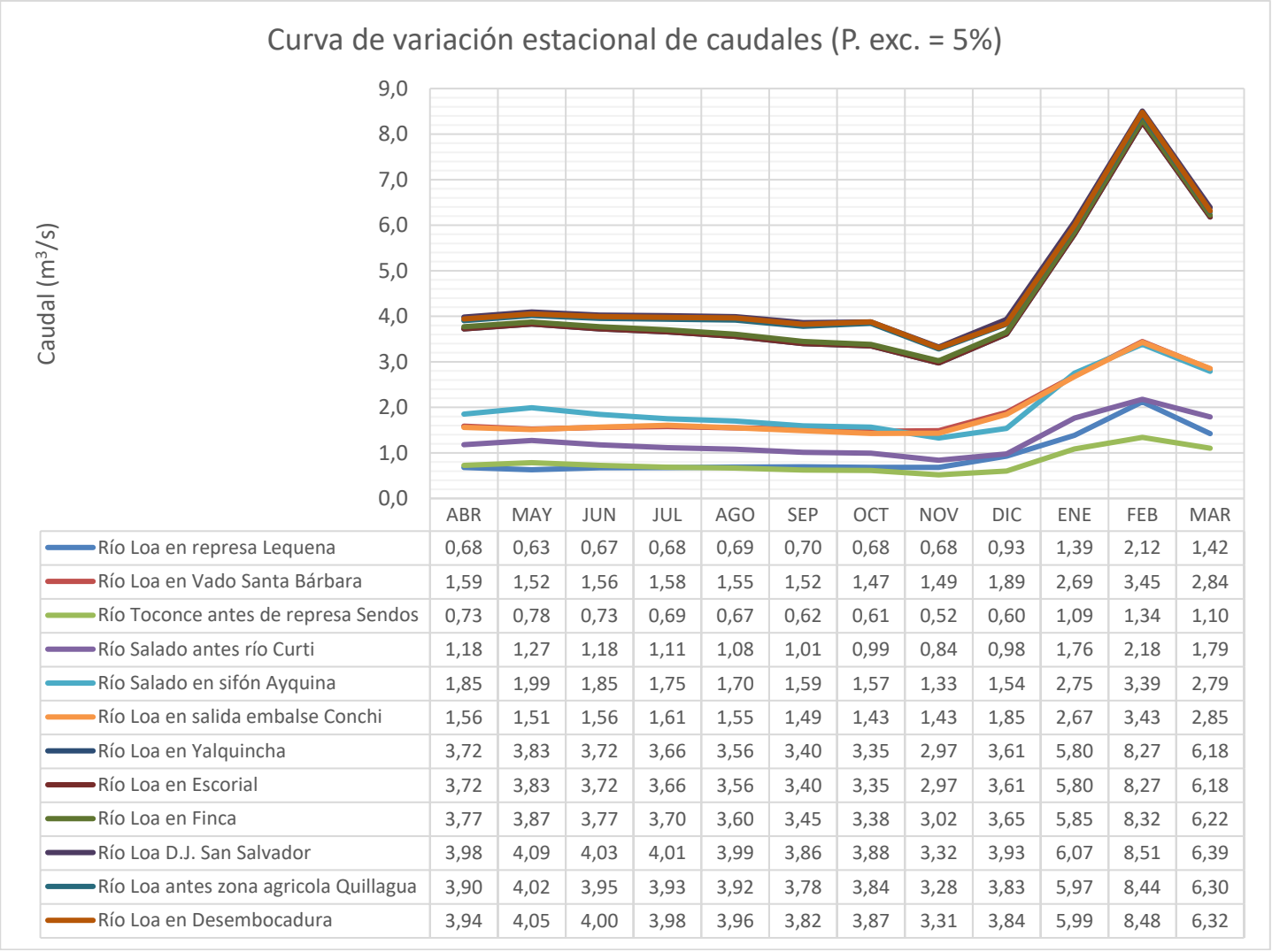
Para cuantificar la oferta hídrica natural del sistema se presenta en la Tabla 4-1 los resultados de caudales con probabilidades de excedencia 5% ($Q_{5\%}$), 50% ($Q_{50\%}$), 85% ($Q_{85\%}$) y 95% ($Q_{95\%}$) en los puntos de control que definen las estaciones fluviométricas empleadas para la calibración del modelo (Figura 5-2), durante el periodo 1981 – 2019 sin intervención antrópica. (Detalle en Anexo J-09).

Tabla 4-1: Oferta natural de la fuente superficial (m³/s), periodo 1981 – 2019

ID	Código BNA	Punto de control	$Q_{5\%}$	$Q_{50\%}$	$Q_{85\%}$	$Q_{95\%}$
1	02101001-4	Río Loa en represa Lequena	0,95	0,57	0,46	0,39
2	02104013-4	Río Loa en Vado Santa Bárbara	1,98	1,34	1,13	0,95
3	02105007-5	Río Toconce antes de represa Sendos	0,73	0,34	0,29	0,25
4	02105001-6	Río Salado antes río Curti	1,18	0,56	0,48	0,40
5	02105002-4	Río Salado en sifón Ayquina	1,85	0,89	0,77	0,65
6	02105005-9	Río Loa en salida embalse Conchi	1,85	1,32	1,10	0,95
7	02110002-1	Río Loa en Yalquincha	4,05	2,50	2,19	1,87
8	02110001-3	Río Loa en Escorial	4,05	2,50	2,19	1,87
9	02110004-8	Río Loa en Finca	4,10	2,54	2,23	1,92
10	02112006-5	Río Loa D.J. San Salvador	4,33	2,87	2,51	2,16
11	02112005-7	Río Loa antes zona agrícola Quillagua	4,26	2,81	2,42	2,06
12	02120001-8	Río Loa en Desembocadura	4,30	2,85	2,44	2,07

Fuente: Elaboración propia

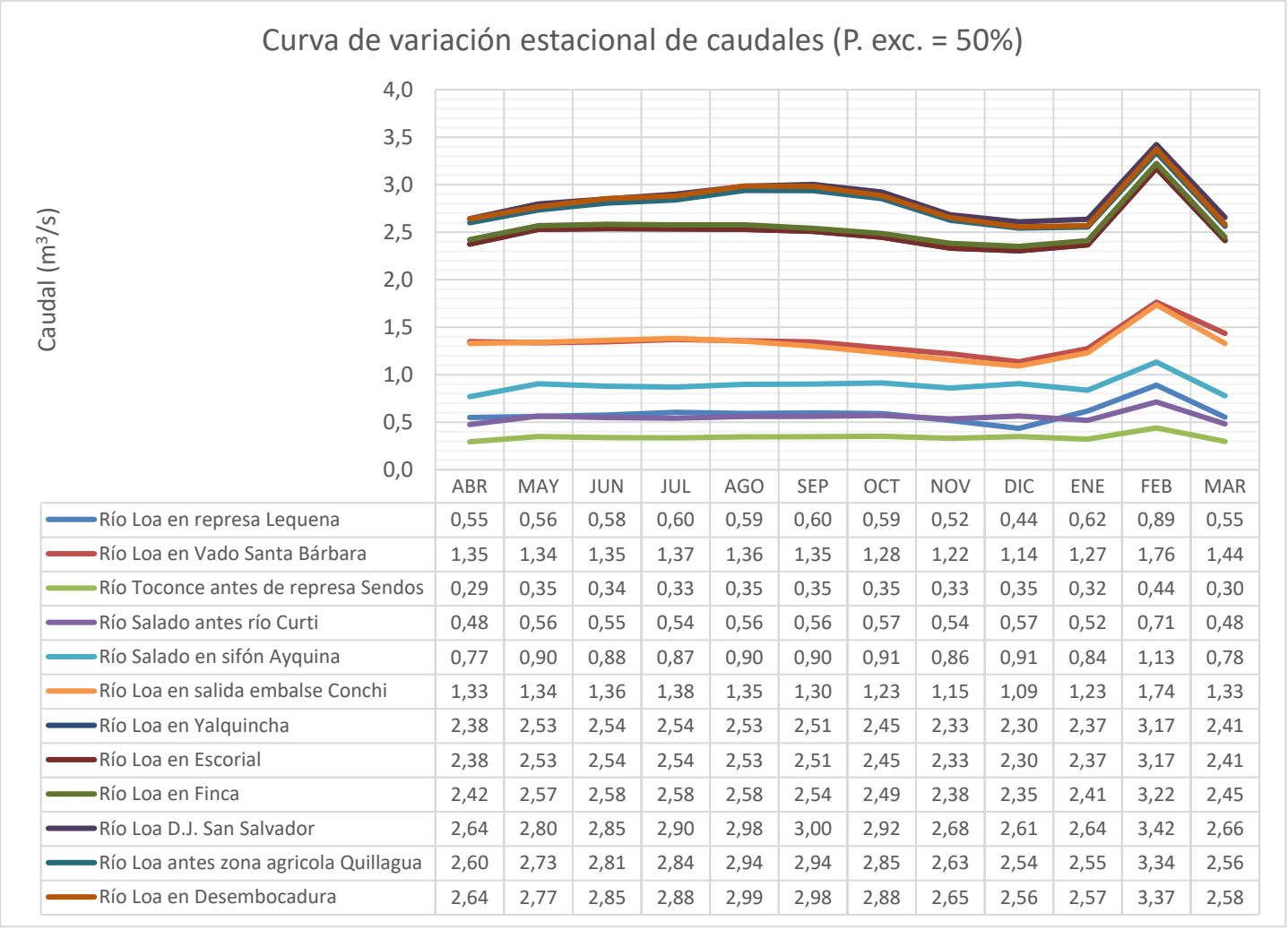
Para el periodo histórico sin demandas antrópicas, las curvas de variación estacional de caudales de la oferta natural con probabilidad de excedencia de 5%, 50%, 85% y 95%, se muestran en la Figura 4-1, Figura 4-2, Figura 4-3 y Figura 4-4, respectivamente. Las curvas de frecuencia de caudales se muestran en la Figura 4-5.



	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Río Loa en represa Lequena	0,68	0,63	0,67	0,68	0,69	0,70	0,68	0,68	0,93	1,39	2,12	1,42
Río Loa en Vado Santa Bárbara	1,59	1,52	1,56	1,58	1,55	1,52	1,47	1,49	1,89	2,69	3,45	2,84
Río Toconce antes de represa Sendos	0,73	0,78	0,73	0,69	0,67	0,62	0,61	0,52	0,60	1,09	1,34	1,10
Río Salado antes río Curti	1,18	1,27	1,18	1,11	1,08	1,01	0,99	0,84	0,98	1,76	2,18	1,79
Río Salado en sifón Ayquina	1,85	1,99	1,85	1,75	1,70	1,59	1,57	1,33	1,54	2,75	3,39	2,79
Río Loa en salida embalse Conchi	1,56	1,51	1,56	1,61	1,55	1,49	1,43	1,43	1,85	2,67	3,43	2,85
Río Loa en Yalquincha	3,72	3,83	3,72	3,66	3,56	3,40	3,35	2,97	3,61	5,80	8,27	6,18
Río Loa en Escorial	3,72	3,83	3,72	3,66	3,56	3,40	3,35	2,97	3,61	5,80	8,27	6,18
Río Loa en Finca	3,77	3,87	3,77	3,70	3,60	3,45	3,38	3,02	3,65	5,85	8,32	6,22
Río Loa D.J. San Salvador	3,98	4,09	4,03	4,01	3,99	3,86	3,88	3,32	3,93	6,07	8,51	6,39
Río Loa antes zona agricola Quillagua	3,90	4,02	3,95	3,93	3,92	3,78	3,84	3,28	3,83	5,97	8,44	6,30
Río Loa en Desembocadura	3,94	4,05	4,00	3,98	3,96	3,82	3,87	3,31	3,84	5,99	8,48	6,32

Fuente: Elaboración propia

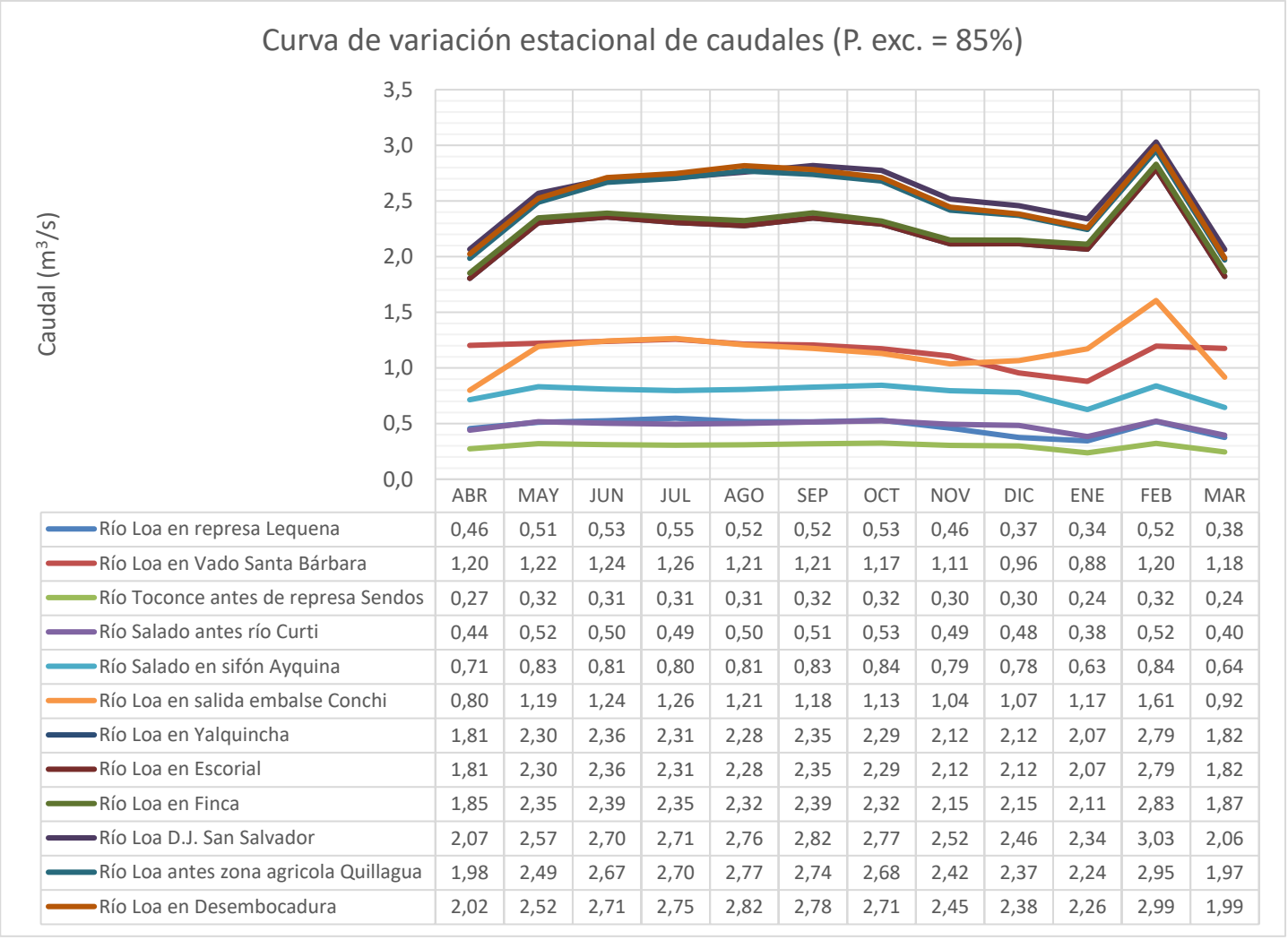
Figura 4-1: Curvas de variación estacional con probabilidad de excedencia 5% para los puntos de control, bajo régimen sin intervención antrópica (1981 – 2019)



	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Río Loa en represa Lequena	0,55	0,56	0,58	0,60	0,59	0,60	0,59	0,52	0,44	0,62	0,89	0,55
Río Loa en Vado Santa Bárbara	1,35	1,34	1,35	1,37	1,36	1,35	1,28	1,22	1,14	1,27	1,76	1,44
Río Toconce antes de represa Sendos	0,29	0,35	0,34	0,33	0,35	0,35	0,35	0,33	0,35	0,32	0,44	0,30
Río Salado antes río Curti	0,48	0,56	0,55	0,54	0,56	0,56	0,57	0,54	0,57	0,52	0,71	0,48
Río Salado en sifón Ayquina	0,77	0,90	0,88	0,87	0,90	0,90	0,91	0,86	0,91	0,84	1,13	0,78
Río Loa en salida embalse Conchi	1,33	1,34	1,36	1,38	1,35	1,30	1,23	1,15	1,09	1,23	1,74	1,33
Río Loa en Yalquincha	2,38	2,53	2,54	2,54	2,53	2,51	2,45	2,33	2,30	2,37	3,17	2,41
Río Loa en Escorial	2,38	2,53	2,54	2,54	2,53	2,51	2,45	2,33	2,30	2,37	3,17	2,41
Río Loa en Finca	2,42	2,57	2,58	2,58	2,58	2,54	2,49	2,38	2,35	2,41	3,22	2,45
Río Loa D.J. San Salvador	2,64	2,80	2,85	2,90	2,98	3,00	2,92	2,68	2,61	2,64	3,42	2,66
Río Loa antes zona agricola Quillagua	2,60	2,73	2,81	2,84	2,94	2,94	2,85	2,63	2,54	2,55	3,34	2,56
Río Loa en Desembocadura	2,64	2,77	2,85	2,88	2,99	2,98	2,88	2,65	2,56	2,57	3,37	2,58

Fuente: Elaboración propia

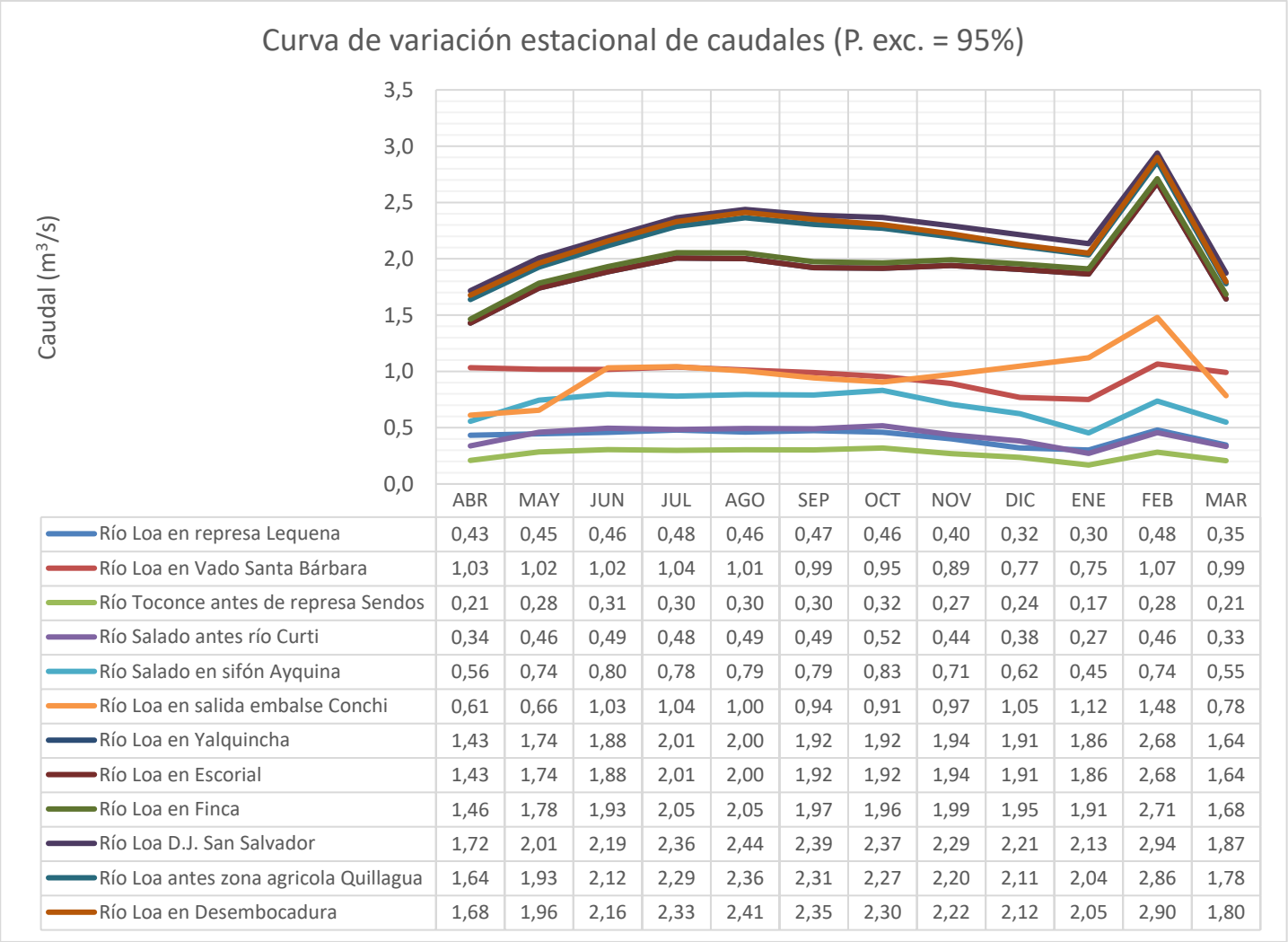
Figura 4-2: Curvas de variación estacional con probabilidad de excedencia 50% para los puntos de control, bajo régimen sin intervención antrópica (1981 – 2019)



	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Río Loa en represa Lequena	0,46	0,51	0,53	0,55	0,52	0,52	0,53	0,46	0,37	0,34	0,52	0,38
Río Loa en Vado Santa Bárbara	1,20	1,22	1,24	1,26	1,21	1,21	1,17	1,11	0,96	0,88	1,20	1,18
Río Toconce antes de represa Sendos	0,27	0,32	0,31	0,31	0,31	0,32	0,32	0,30	0,30	0,24	0,32	0,24
Río Salado antes río Curti	0,44	0,52	0,50	0,49	0,50	0,51	0,53	0,49	0,48	0,38	0,52	0,40
Río Salado en sifón Ayquina	0,71	0,83	0,81	0,80	0,81	0,83	0,84	0,79	0,78	0,63	0,84	0,64
Río Loa en salida embalse Conchi	0,80	1,19	1,24	1,26	1,21	1,18	1,13	1,04	1,07	1,17	1,61	0,92
Río Loa en Yalquincha	1,81	2,30	2,36	2,31	2,28	2,35	2,29	2,12	2,12	2,07	2,79	1,82
Río Loa en Escorial	1,81	2,30	2,36	2,31	2,28	2,35	2,29	2,12	2,12	2,07	2,79	1,82
Río Loa en Finca	1,85	2,35	2,39	2,35	2,32	2,39	2,32	2,15	2,15	2,11	2,83	1,87
Río Loa D.J. San Salvador	2,07	2,57	2,70	2,71	2,76	2,82	2,77	2,52	2,46	2,34	3,03	2,06
Río Loa antes zona agricola Quillagua	1,98	2,49	2,67	2,70	2,77	2,74	2,68	2,42	2,37	2,24	2,95	1,97
Río Loa en Desembocadura	2,02	2,52	2,71	2,75	2,82	2,78	2,71	2,45	2,38	2,26	2,99	1,99

Fuente: Elaboración propia

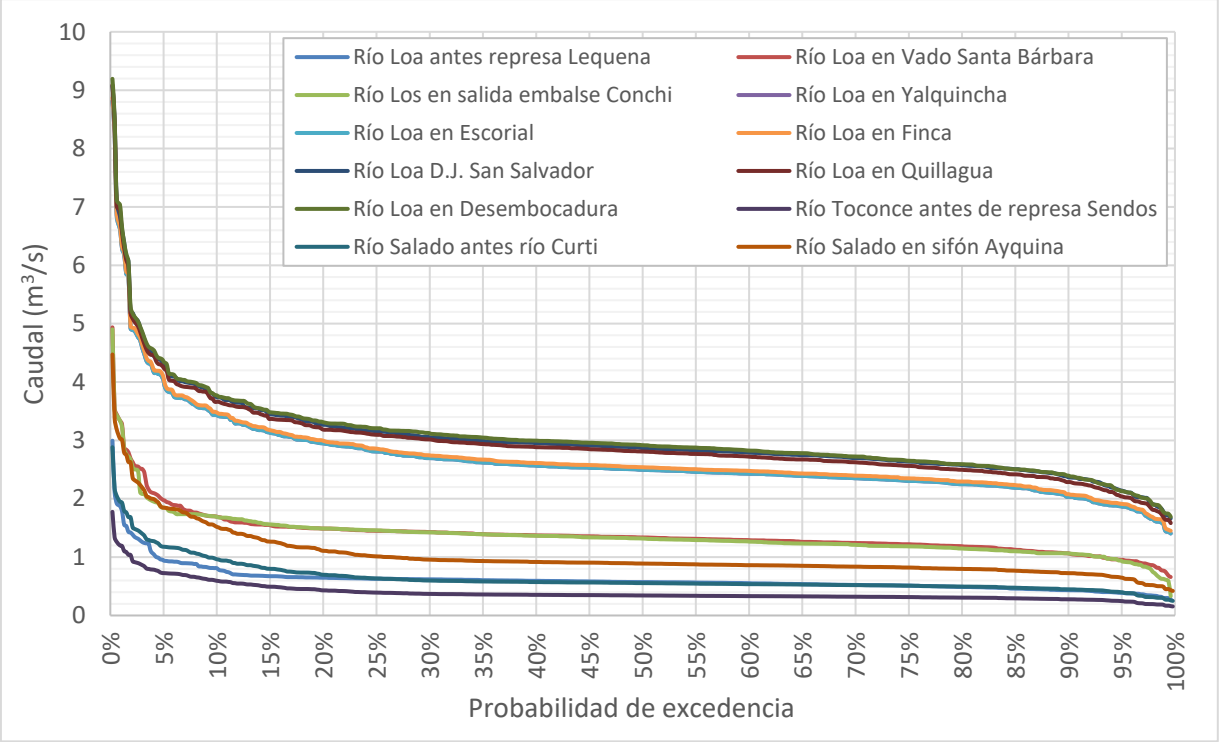
Figura 4-3: Curvas de variación estacional con probabilidad de excedencia 85% para los puntos de control, bajo régimen sin intervención antrópica (1981 – 2019)



	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Río Loa en represa Lequena	0,43	0,45	0,46	0,48	0,46	0,47	0,46	0,40	0,32	0,30	0,48	0,35
Río Loa en Vado Santa Bárbara	1,03	1,02	1,02	1,04	1,01	0,99	0,95	0,89	0,77	0,75	1,07	0,99
Río Toconce antes de represa Sendos	0,21	0,28	0,31	0,30	0,30	0,30	0,32	0,27	0,24	0,17	0,28	0,21
Río Salado antes río Curti	0,34	0,46	0,49	0,48	0,49	0,49	0,52	0,44	0,38	0,27	0,46	0,33
Río Salado en sifón Ayquina	0,56	0,74	0,80	0,78	0,79	0,79	0,83	0,71	0,62	0,45	0,74	0,55
Río Loa en salida embalse Conchi	0,61	0,66	1,03	1,04	1,00	0,94	0,91	0,97	1,05	1,12	1,48	0,78
Río Loa en Yalquincha	1,43	1,74	1,88	2,01	2,00	1,92	1,92	1,94	1,91	1,86	2,68	1,64
Río Loa en Escorial	1,43	1,74	1,88	2,01	2,00	1,92	1,92	1,94	1,91	1,86	2,68	1,64
Río Loa en Finca	1,46	1,78	1,93	2,05	2,05	1,97	1,96	1,99	1,95	1,91	2,71	1,68
Río Loa D.J. San Salvador	1,72	2,01	2,19	2,36	2,44	2,39	2,37	2,29	2,21	2,13	2,94	1,87
Río Loa antes zona agricola Quillagua	1,64	1,93	2,12	2,29	2,36	2,31	2,27	2,20	2,11	2,04	2,86	1,78
Río Loa en Desembocadura	1,68	1,96	2,16	2,33	2,41	2,35	2,30	2,22	2,12	2,05	2,90	1,80

Fuente: Elaboración propia

Figura 4-4: Curvas de variación estacional con probabilidad de excedencia 95% para los puntos de control, bajo régimen sin intervención antrópica (1981 – 2019)



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-5: Curva de frecuencia de caudales medios mensuales en puntos de control, bajo régimen sin intervención antrópica (1981 – 2019)

Por otro lado, la oferta en la fuente superficial actual se determina a través del mismo modelo WEAP acoplado para el periodo de calibración (1981 – 2019), pero considerando intervención antrópica. Los resultados en los puntos de control determinados por las estaciones fluviométricas de calibración del modelo, para caudales medios anuales, caudales medios mensuales y curvas de duración general se muestran en profundidad en el acápite 5.1.1.5 más adelante.

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 5.2.1 más adelante.

De acuerdo a los resultados del modelo, considerando los efectos del cambio climático (Modelos de Circulación General CSIRO y MIROC, ver detalle en Anexo H acápite 5.1.1.1), se presenta en la Tabla 4-2 la oferta hídrica superficial con probabilidades de excedencia 5% (Q_5), 50% (Q_{50}), 85% (Q_{85}) y 95% (Q_{95}) en los puntos de control que definen las estaciones fluviométricas empleadas para la calibración del modelo (Figura 5-2), durante el periodo 2020 – 2050.

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

Estación - Punto de control	MCG MIROC				MCG CSIRO			
	Q_5	Q_{50}	Q_{85}	Q_{95}	Q_5	Q_{50}	Q_{85}	Q_{95}
Río Loa en represa Lequena	0,87	0,56	0,48	0,40	0,64	0,48	0,39	0,32
Río Loa en Vado Santa Bárbara	1,81	1,31	1,14	1,01	1,43	1,12	0,94	0,79
Río Toconce antes de represa Sendos	0,62	0,34	0,28	0,23	0,40	0,27	0,16	0,12
Río Salado antes río Curti	1,01	0,54	0,46	0,38	0,65	0,44	0,26	0,19
Río Salado en sifón Ayquina	1,59	0,87	0,74	0,61	1,04	0,71	0,44	0,32
Río Loa en salida embalse Conchi	1,68	1,30	1,13	1,04	1,52	1,11	0,89	0,64
Río Loa en Yalquincha	3,51	2,51	2,27	1,89	2,85	2,15	1,71	1,50
Río Loa en Escorial	3,51	2,51	2,27	1,89	2,85	2,15	1,71	1,50
Río Loa en Finca	3,57	2,57	2,33	1,94	2,90	2,21	1,77	1,55
Río Loa D.J. San Salvador	3,84	2,90	2,58	2,21	3,14	2,50	2,01	1,81
Río Loa antes zona agrícola Quillagua	3,76	2,82	2,49	2,11	3,10	2,41	1,92	1,73
Río Loa en Desembocadura	3,80	2,86	2,51	2,15	3,14	2,44	1,94	1,77

Fuente: Elaboración propia

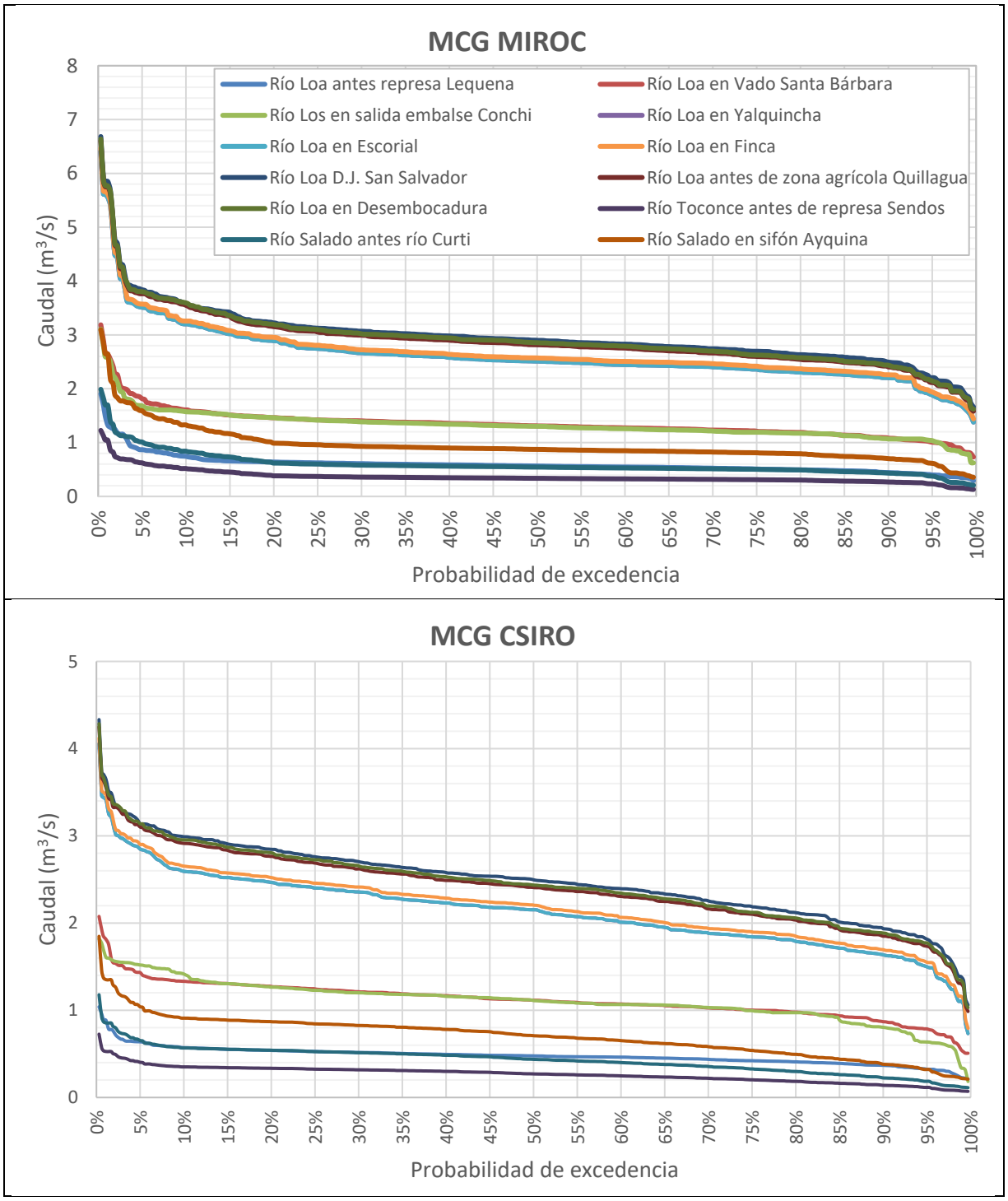
Se presenta en la Tabla 4-3 los caudales medios mensuales (Q_{MA}) proyectados en régimen natural y su variación porcentual con respecto al mismo flujo para el periodo histórico 1981 – 2019. Bajo MCG MIROC, se proyectan disminuciones entre un 1 a 8%, mientras que en MCG CSIRO, la baja en la disponibilidad natural oscila entre un 17 y 32%. En ambos escenarios, la subcuenca del río Salado es la más afectada, en términos porcentuales.

Tabla 4-3: Oferta en la fuente proyectada (2021 – 2050) en régimen natural

Estación - Punto de control	MCG MIROC		MCG CSIRO	
	Q_{MA} (m^3/s)	Cambio	Q_{MA} (m^3/s)	Cambio
Río Loa en represa Lequena	0,59	-3,6%	0,48	-21,6%
Río Loa en Vado Santa Bárbara	1,35	-2,7%	1,12	-19,3%
Río Toconce antes de represa Sendos	0,36	-8,5%	0,27	-31,4%
Río Salado antes río Curti	0,59	-7,4%	0,43	-32,5%
Río Salado en sifón Ayquina	0,95	-6,5%	0,70	-31,1%
Río Loa en salida embalse Conchi	1,33	-2,5%	1,11	-18,6%
Río Loa en Yalquincha	2,63	-1,8%	2,13	-20,5%
Río Loa en Escorial	2,63	-1,8%	2,13	-20,5%
Río Loa en Finca	2,68	-1,6%	2,19	-19,6%
Río Loa D.J. San Salvador	2,98	-1,3%	2,48	-17,8%
Río Loa antes zona agrícola Quillagua	2,90	-1,6%	2,40	-18,6%
Río Loa en Desembocadura	2,93	-1,7%	2,43	-18,5%

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se presentan en la Figura 4-6 las curvas de frecuencia de caudales para todos los puntos de control bajo las proyecciones de cambio climático de los MCG MIROC y CSIRO.



Fuente: Elaboración propia

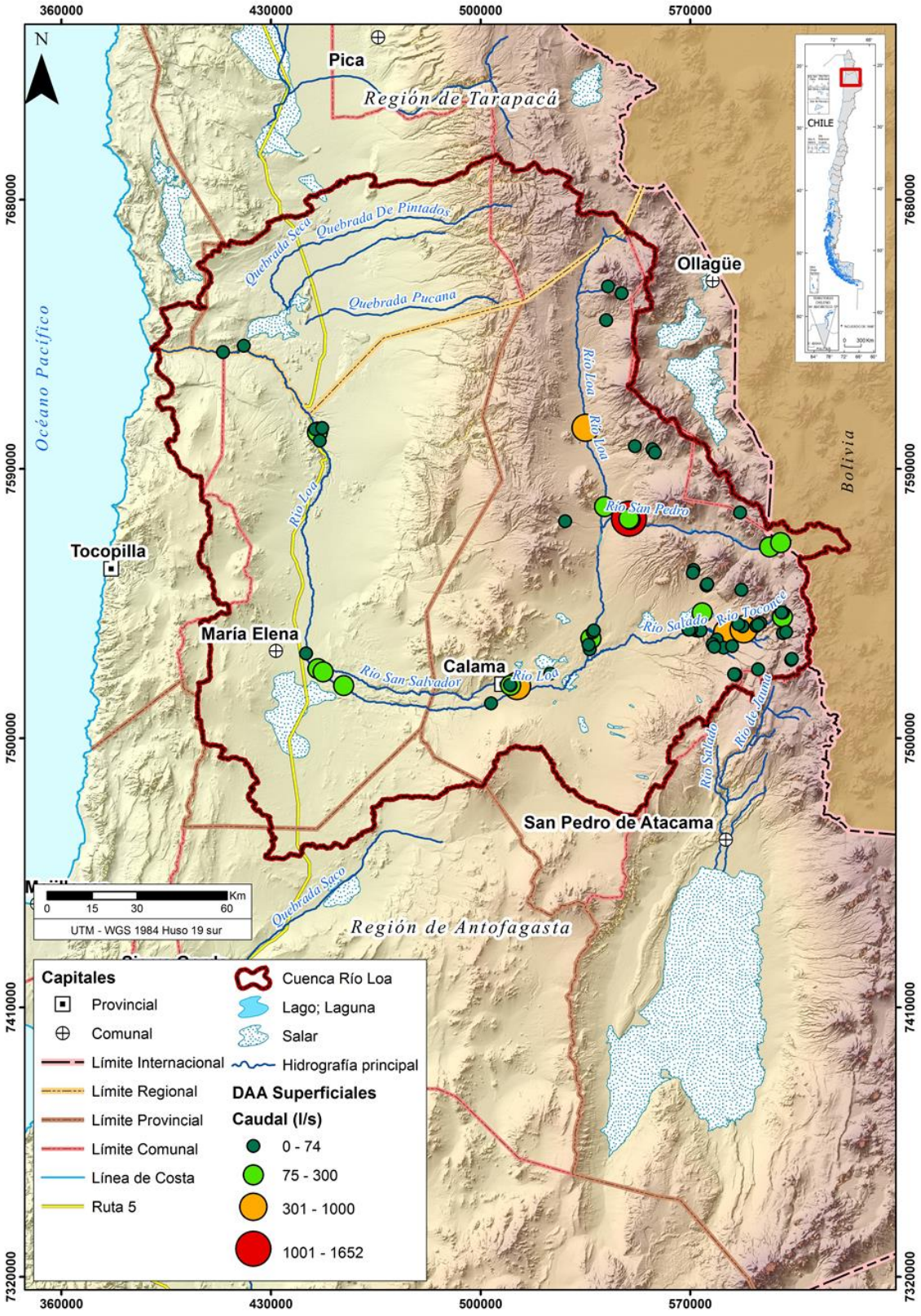
Figura 4-6: Curva de duración de caudales proyectada en puntos de control, bajo régimen sin demandas (2021 – 2050).

4.1.4 Derechos de Aguas

Para definir aquellos actores principales respecto al uso de agua de la cuenca, es conveniente en primer lugar clasificar el uso de las aguas en DAA subterráneos y DAA superficiales. Tal y como ha sido expuesto hasta este punto, el consumo de agua principal dentro de esta cuenca debe estar asociado principalmente a los DAA subterráneos debido a la escasez hídrica superficial, de agua de buena calidad, de esta cuenca.

Para el análisis se dispone de la información disponible en el Banco Nacional de Aguas (BNA) de la Dirección General de Aguas, además de información interna de DGA. Ambas informaciones son diferentes, tanto en términos de cantidad de DAA otorgados como de su caudal. En la Tabla 4-4 se resume un análisis realizado sobre los antecedentes disponibles. En primer lugar, se observa una gran discrepancia en el volumen de DAA, los que en el Catastro Público de Aguas (CPA) ascienden a 6.617,3 L/s, en cambio en el registro interno se reducen a 4.126,2 L/s, es decir hay casi 2.500 L/s de diferencia entre uno y otro registro. En términos de cantidad de DAA, hay una diferencia de 131 registros. Este caudal total se encuentra disgregado en diferentes usos los cuales se presentan en la Tabla 4-4. Se hace notar que los usos presentados en el BNA no necesariamente representan los usos actuales del agua, ya que el BNA no se actualiza regularmente con las mutaciones de DAA, registrándose en general el propietario y uso original declarado. Al analizar en mayor detalle los antecedentes se observa que para el uso minero, riego y consumo humano las diferencias entre ambos registros son menores. Por otra parte, las diferencias se observan claramente en lo que corresponde a otros usos o sin clasificar. Es importante indicar que la mayor parte de los DAA de aguas de riego, corresponden a una reserva fiscal en el río San Pedro, la cual asciende a 1.350 L/s (según expediente UA-0202-806342). Desafortunadamente para este DAA no se dispone de ubicación en coordenadas UTM o geográficas, y solo en términos generales.

De acuerdo a lo informado por la DGA Regional, el registro interno corresponde a un registro depurado, y por lo tanto es lo que se utilizó como base para la modelación. Los DAA identificados y utilizados se muestran graficados en la Figura 4-7. En el Anexo J-11 se presenta tanto la base de datos CPA como la base de datos DGA Regional.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA Regional.

Figura 4-7: DAA superficiales identificados en cuenca del río Loa

Tabla 4-4: Tipos de uso del agua superficial

Tipo de Uso	CPA		Registro Interno DGA Regional	
	Cantidad	Caudal (L/s)	Cantidad	Caudal (L/s)
Riego	67	1.625,3	62	1.496,0
Minero	10	360,4	5	334,9
Bebida/Uso Doméstico/Saneamiento	8	824,5	6	782,4
Otros Usos	55	2.346,2	49	914,1
Sin Clasificar	146	1.460,9	53	599,2
Total	286	6.617,3	175	4.126,2

Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA-DGA y registros internos DGA.

4.1.4.1 Derechos de Agua Potable

La Tabla 4-5 presenta los DAA asignados a agua potable desde fuentes superficiales para la empresa ADASA. En total, corresponden a 1,47 m³/s, sin embargo, actualmente la empresa sanitaria no ocupa la totalidad de sus DAA asignados, sino que varían dependiendo de la captación y su disponibilidad hídrica.

Tabla 4-5: Demandas de agua potable implementadas en el modelo

Nombre de demanda	DAA (l/s)	Uso	UTM E (m)	UTM N (m)
ESSAN Lequena	550	81%	535.115	7.603.695
ESSAN Quinchamale	300	95%	541.455	7.577.335
ESSAN Calama (Puente Negro)	150	28%	510.049	7.517.686
ESSAN Toconce	470	75%	587.944	7.536.403

Fuente: Elaboración propia

4.1.4.2 Derechos Industriales y Mineros

La Tabla 4-6 presenta las demandas industriales y de uso minero distribuidas en la cuenca, siendo la minería el uso principal. Cada nodo tiene asociado un flujo requerido máximo dado por el DAA asignado.

Las captaciones listadas en el cuadro anterior poseen una capacidad acorde a su caudal de DAA, a excepción del nodo "Inacaliri I y II ADASA" ya que su capacidad corresponde al DAA de 90 l/s existente sumado a la captación del flujo de explotación desde los pozos ubicados en el sector Ojos de San Pedro, propiedad de Codelco, que entregan el caudal bombeado directamente al cauce del río. La captación de los DAA en este punto corresponde a un supuesto de modelación en base a que la estación fluviométrica río San Pedro en Camino

Internacional, ubicada a una distancia aproximada de 1.500 m aguas abajo, presenta un caudal nulo (DGA, 2014c).

Tabla 4-6: Demandas industriales implementas en el modelo

Nombre	DAA (l/s)	UTM E (m)	UTM N (m)	Subcuenca DGA
FCAB Aguada Palpana	2,1	551.545	7.597.550	Río Loa entre Quebrada de Hachas y Río San Pedro
Vertiente Polapi 1	16,2	557.485	7.596.545	Río Loa entre Quebrada de Hachas y Río San Pedro
Vertiente Polapi 2	0,4	558.250	7.595.456	Río Loa entre Quebrada de Hachas y Río San Pedro
Ferrocarriles Siloli	124,3	600.232	7.565.330	Río San Pedro
Codelco Inacalari	151,5	596.571	7.563.889	Río San Pedro
Codelco Colana	50,0	586.697	7.575.396	Río San Pedro
Parshall 2	175,0	550.047	7.573.027	Río San Pedro
Inacaliri I y II ADASA	1.652,2	549.593	7.573.344	Río San Pedro
Codelco Linzor	50,0	601.040	7.541.946	Río Salado
Toconce (Linzor) ADASA	50,0	600.590	7.541.973	Río Salado
Toconce (Hojalar) ADASA	140,0	600.872	7.540.530	Río Salado
Codelco Salado	540,0	582.416	7.535.247	Río Salado
Soquimich Pedro de Valdivia	94,7	454.320	7.517.567	Río Loa entre río Salado y río San Salvador
Sociedad Inmobiliaria El corregidor	10,5	510.042	7.517.643	Río Loa entre río Salado y río San Salvador
Masters development	9,0	507.876	7.813.949	Río Loa entre río Salado y río San Salvador
Soquimich Coya Sur	90,0	445.667	7.523.182	Río San Salvador
Soquimich San Salvador - permanente	74,1	447.447	7.522.171	Río San Salvador
Soquimich San Salvador - eventual	92,8	447.447	7.522.171	Río San Salvador
Soquimich María Elena	62,5	441.757	7.528.313	Río Loa entre río San Salvador y Quebrada Amarga
Soquimich Quillagua	100,0	445.546	7.602.285	Río Loa entre río San Salvador y Quebrada Amarga
SQM Quebrada Amarga	60,0	420.955	7.631.135	Río Loa entre río San Salvador y Quebrada Amarga

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2014c) y GORE Antofagasta (2020).

4.1.5 Calidad de Aguas

En este acápite se presenta en primer lugar un análisis basado en lo contenido en el estudio DGA (2017b) que entrega una buena caracterización inicial de la calidad del agua en el

territorio. Posteriormente se presenta un análisis mas completo al integrar lo medido por DGA y por CODELCO. Finalmente, se presenta un breve análisis de brechas de información, que usa lo ya presentado en el acápite 2.4.8.4.

4.1.5.1 Caracterización en base a antecedentes DGA

La calidad de las aguas en la cuenca, se caracterizado a partir de las estaciones de calidad pertenecientes a la Red Hidrométrica de la DGA, información que se procesó en el estudio "Estimación de la Demanda actual, Proyecciones Futuras y Caracterización de la Calidad de los Recursos Hídricos en Chile" (DGA, 2017b), y que se incluyen en el Anexo J-10.

Posteriormente se presenta un segundo análisis, a nivel temporal, basado en la información del estudio "Mapa Hidroquímico de Chile" (DGA, 2019b), y plasmada en el documento "Atlas Calidad del Agua de Chile 2020" (DGA, 2019c), que se incluye en el Anexo J-10.

Por último, la información se contrasta con la contenida en monitoreos realizados por CODELCO en diferentes sectores del río, los que también se presentan en el Anexo J-10.

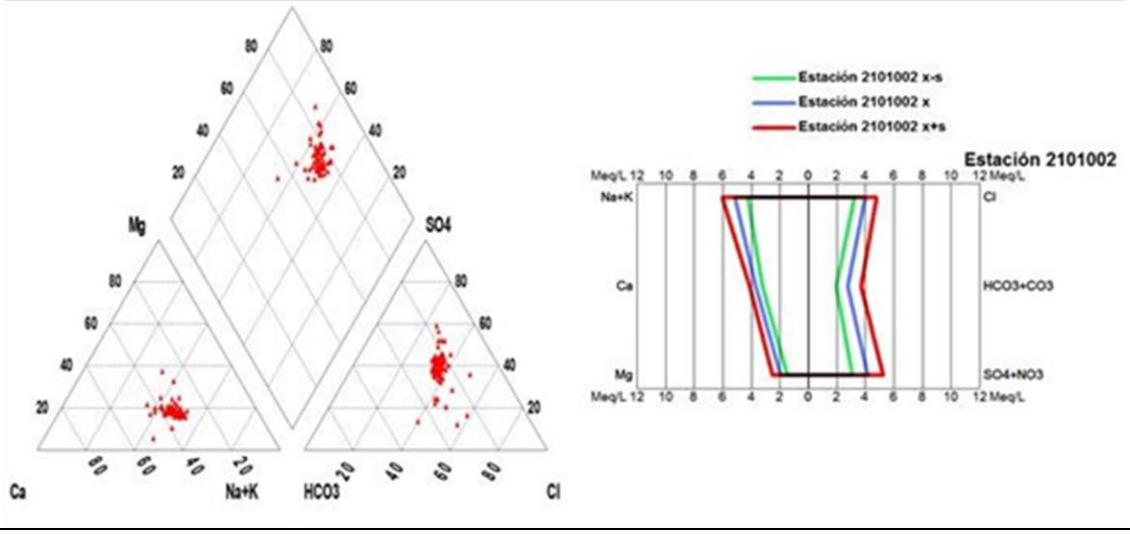
La caracterización se presenta por subcuencas DGA.

a) Subcuenca Río Loa Alto

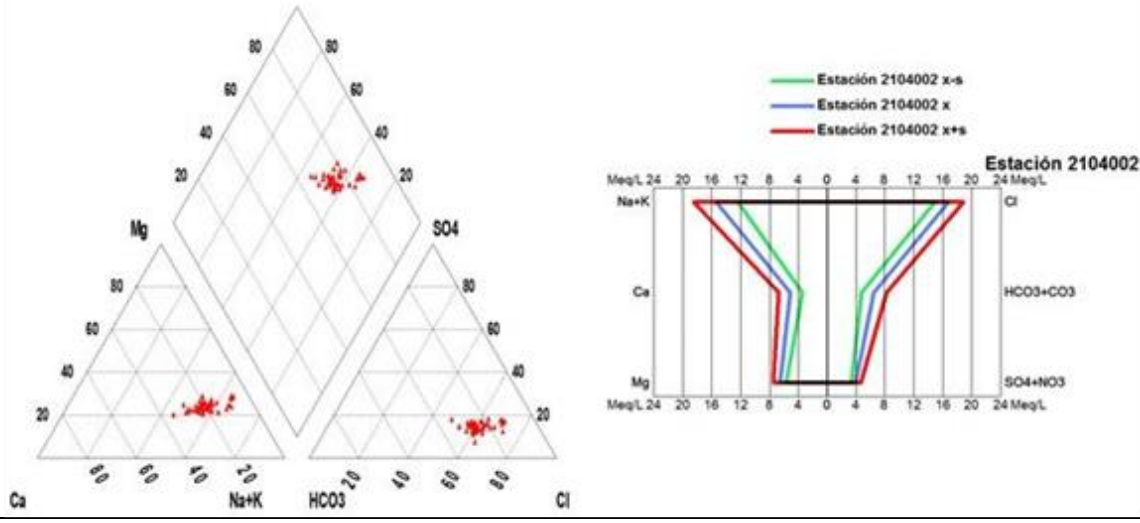
En términos generales, las aguas de la cuenca del río Loa poseen una composición clorurada sódica/potásica, cuya marca es cada vez más clara a medida que recibe el aporte de los principales afluentes hacia aguas abajo.

En la Figura 4-8 se muestran los diagramas de Piper y Stiff correspondientes a las estaciones río Loa en Represa Lequena, ubicada en la parte alta de la cuenca, y río Loa en Salida Embalse Conchi, ubicada aguas abajo del embalse Conchi y de la junta con el río San Pedro. Se observa que la composición de las aguas inicialmente es más equilibrada, mientras que aguas abajo la composición es claramente clorurada sódica/potásica.

Río Loa en Represa Lequena (código 2101002)



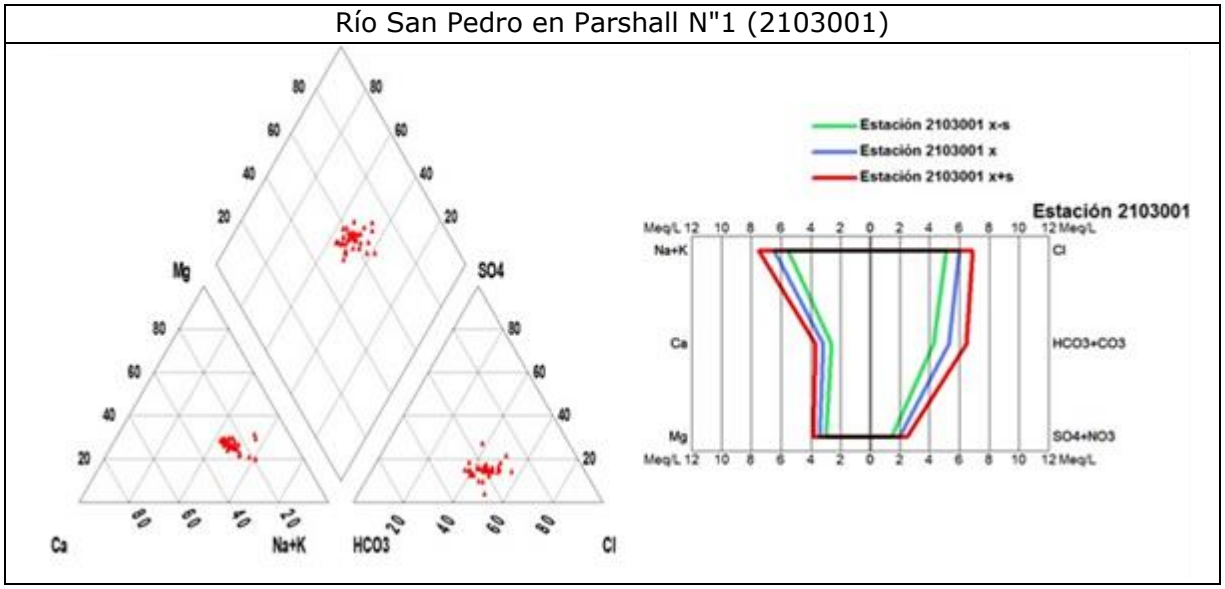
Río Loa en Salida Embalse Conchi (código 2104002)

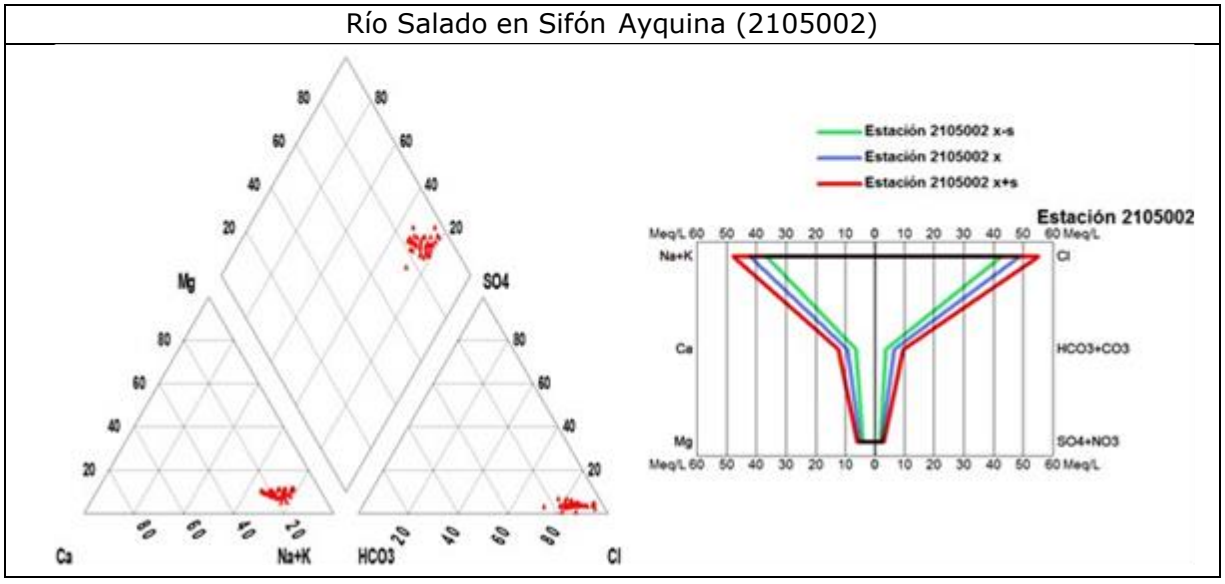


Fuente: DGA (2017b).

Figura 4-8: Diagramas de Piper y Stiff–subcuenca río Loa Alto

En relación a los afluentes del río Loa, cuyos diagramas se muestran en la Figura 4-9, el río San Pedro como el río Salado poseen una composición clorurada sódica/potásica, aunque en el caso del río San Pedro existe una componente bicarbonatada importante. Sin embargo, lo más relevante de destacar es la calidad de las aguas del río Salado, cuya carga clorurada sódica/potásica es muy elevada y define la composición de las aguas de la cuenca en las subcuencas media y baja.





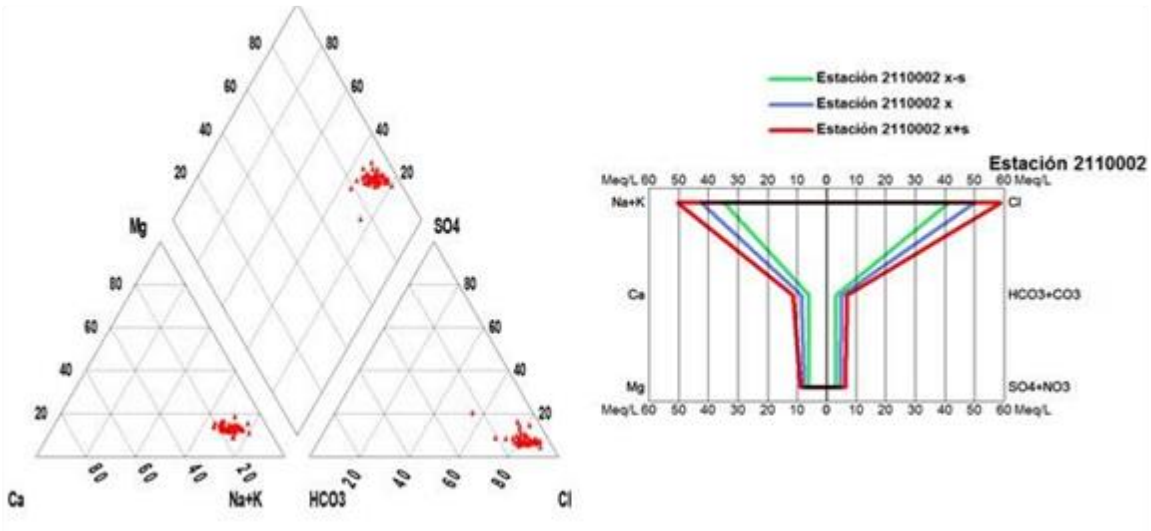
Fuente: DGA (2017b).

Figura 4-9: Diagramas de Piper y Stiff Afluentes subcuenca río Loa Alto

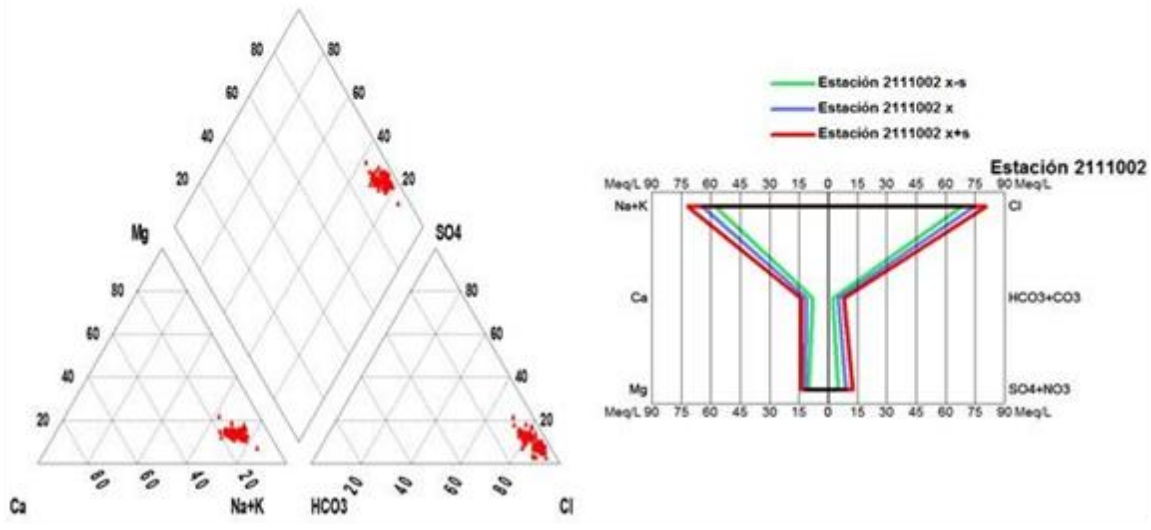
b) Subcuenca Río Loa Medio

Para el acápite media de la cuenca, se mantiene la composición clorurada sódica/potásica con una carga muy marcada a causa del aporte del río Salado. La Figura 4-10 muestra los diagramas de Piper y Stiff para las estaciones "Río Loa en Yalquincha" y "Río San Salvador antes junta río Loa", apreciándose en ambos una composición similar de sus aguas.

Río Loa en Yalquincha (código 2110002)



Río San Salvador antesjunta río Loa (código 2111002)

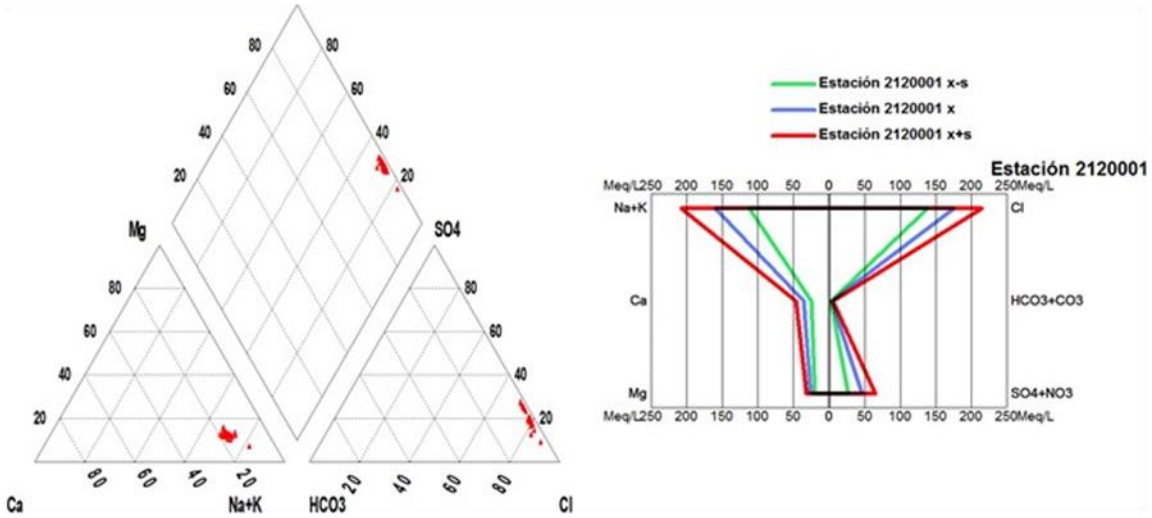


Fuente: DGA (2017b).

Figura 4-10: Diagramas de Piper y Stiff–subcuenca río Loa Medio

c) Subcuenca Río Loa Bajo

Al igual que en la zona media de la cuenca, en la zona baja se mantiene la composición clorurada sódica/potásica con la carga más alta observada dentro de la cuenca. La Figura 4-11 muestra los diagramas de Piper y Stiff para la estación Río Loa en Desembocadura donde su composición se debe a las aguas provenientes desde la zona media de la cuenca más el aporte de la quebrada Amarga.

Río Loa en Desembocadura (código 2120001)


Fuente: DGA (2017b).

Figura 4-11: Diagramas de Piper y Stiff–subcuenca río Loa Bajo

d) Caracterización general de la calidad del agua

De acuerdo a lo observado, la cuenca posee en términos generales una composición de sus aguas clorurada sódica/potásica, observándose con un menor nivel en la zona alta, aguas arriba de la junta con el río San Pedro. Esto cambia luego de la junta con el río Salado, donde sus elevadas cargas clorurada sódica/potásica definen la calidad de las aguas del río Loa hasta su desembocadura.

Sin embargo, similares características se observan en las aguas del río San Salvador, cuyo nacimiento se produce por afloramientos al oriente de la ciudad de Calama, por lo que su aporte también es significativo en la composición de las aguas del río Loa luego de la junta de ambos.

La información anterior queda ratificada en los estudios del Mapa Hidroquímico (DGA, 2019b y 2019b), donde si bien es cierto se observan variaciones temporales, las tendencias identificadas son similares.

e) Caracterización Según Normas Agua Potable (NCh409/1) y Agua Riego (NCh1333)

En términos generales, la información presentada muestra que las concentraciones de metales totales se mantienen cercanos o bajos las normas. En el caso del Cobre, Cromo y Zinc, las concentraciones observadas en el tiempo son menores que los límites definidos por las normas. En el caso del Plomo, los valores se mantienen cercanos al límite de la norma más restrictiva para ellos, siendo sobrepasada en 3 estaciones (Loa en Escorial, Loa

en Quillagua y Loa en Desembocadura), sin ninguna relación espacial que pueda ser establecida.

Por otra parte, muy diferente es el caso del Arsénico, Molibdeno y Mercurio, para los cuales se sobrepasan los límites de las normas en todas las estaciones. En el caso del Arsénico, es posible observar que mientras las concentraciones son menores a 0,5 mg/l en la zona alta del Loa, la situación cambia para el río Salado y el Loa aguas debajo de la junta. Se aprecia que el río Salado posee altas concentraciones de Arsénico, las cuales se mantienen elevadas en el río Loa, superando por muchas veces los valores de la norma.

En el caso del Molibdeno y el Mercurio, no se observa ninguna relación espacial en las concentraciones de las estaciones.

Para los compuestos orgánicos e inorgánicos, el Nitrato es el único que se encuentra en norma dentro de la cuenca. Mientras el Cloruro supera las normas prácticamente en toda la cuenca, el Sulfato lo hace en la zona media-baja de la cuenca. Se observa claramente que, en el caso del Cloruro y el Sulfato, su concentración aumenta hacia aguas abajo, siendo sus valores máximos observados en la estación Río Loa en Desembocadura.

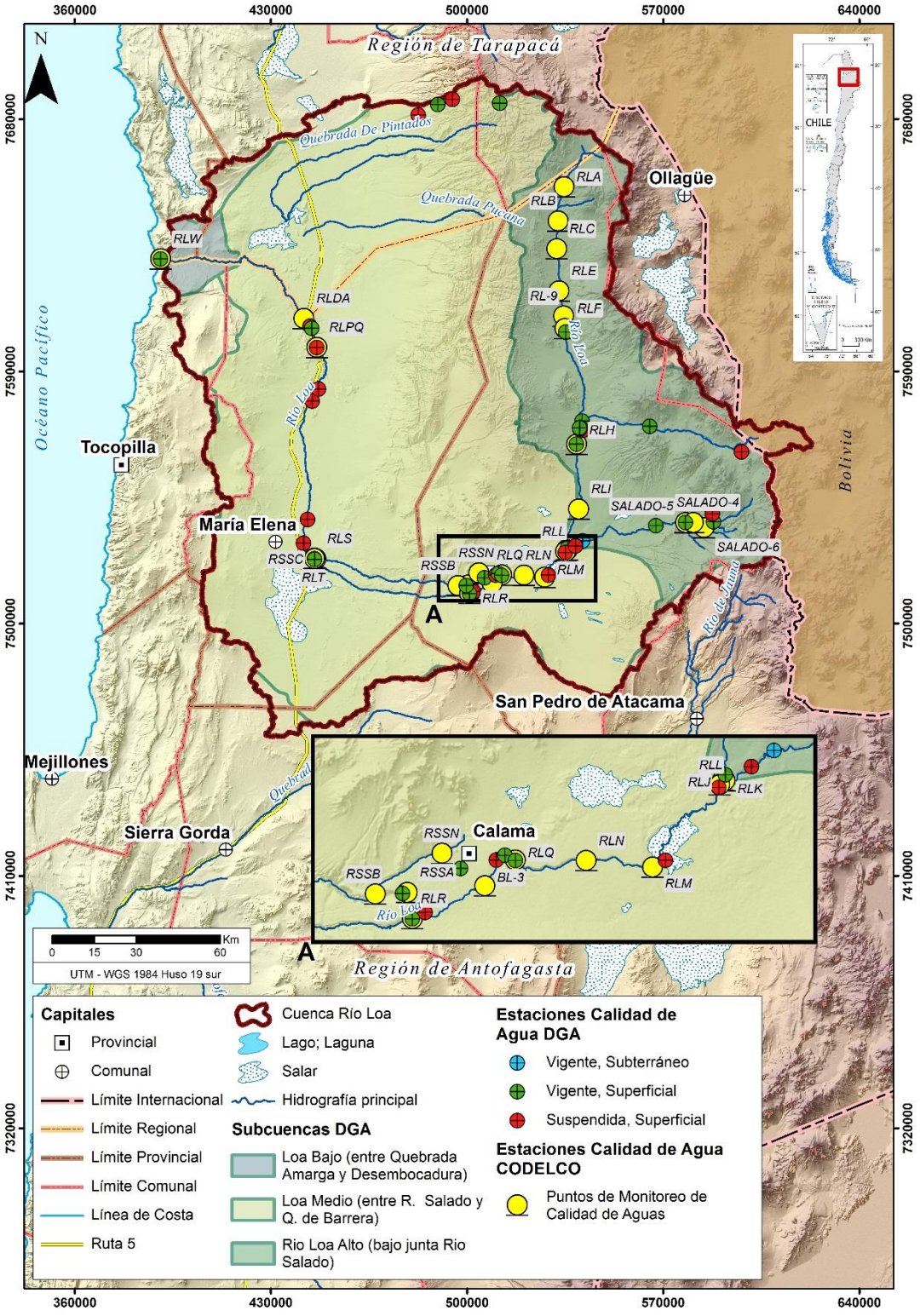
En lo que respecta a los parámetros físico-químicos, se tiene en primer lugar respecto del pH, éste se encuentra en general por sobre el valor neutro, aunque nunca superando el valor de 8,5, límite superior de la norma de agua potable. En lo relativo a la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos totales, que observa que sus valores van en aumento hacia aguas abajo, superando los valores límite de las normas y ubicándose por sobre el rango C4 aproximadamente a partir de Calama hasta la desembocadura.

4.1.5.2 Caracterización de calidad con información integrada DGA-CODELCO

A modo de comparación, se dispone de la información de la red de monitoreo superficial de CODELCO, la que se incluye en el Anexo J-10, con información en 31 puntos de muestreo y antecedentes entre 2013 y 2021. La ubicación de los puntos de muestreo se presenta en la Figura 4-12.

Usando la información contenida en el Anexo J-10, tanto para CODELCO y DGA, se preparó una base de datos integrada, que también se incluye en el mismo anexo, donde la información se caracterizó espacialmente como representativa del Loa Alto (LA), Loa Medio (LM) y Loa Bajo (LB), agregando el sufijo DGA para la información proveniente de DGA y CDC para lo proveniente de Codelco, es decir, XX-DGA o XX-CDC, con XX: LA, LM o LB.

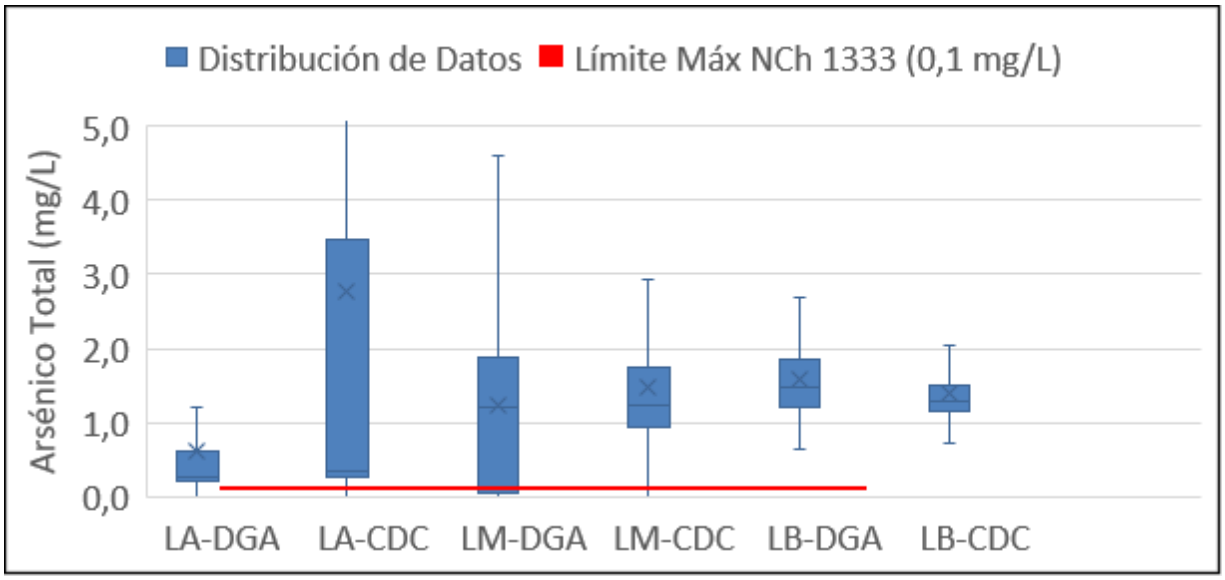
Se presenta un análisis en el que solo se consideró los parámetros más relevantes para caracterizar el territorio: arsénico, boro, cloruros y sulfatos.



Fuente: CODELCO y DGA.

Figura 4-12: Puntos de muestreo Calidad de Aguas de CODELCO y DGA dentro de la cuenca del río Loa

En primer lugar, en la Figura 4-13, se muestran los resultados para el arsénico, donde los diagramas boxplot presentados muestran que en todo el territorio el arsénico supera la norma de riego. Se hace interesante notar que en la parte alta de la cuenca, las estaciones DGA muestran menor variabilidad que las estaciones de CODELCO. En la zona media la variabilidad se invierte, mientras que en la parte baja, ambas mediciones muestran una variabilidad similar. Otro punto interesante es que los datos de Codelco muestran que el arsénico disminuye, mientras que con los datos de DGA, el arsénico se incrementa.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA y CODELCO

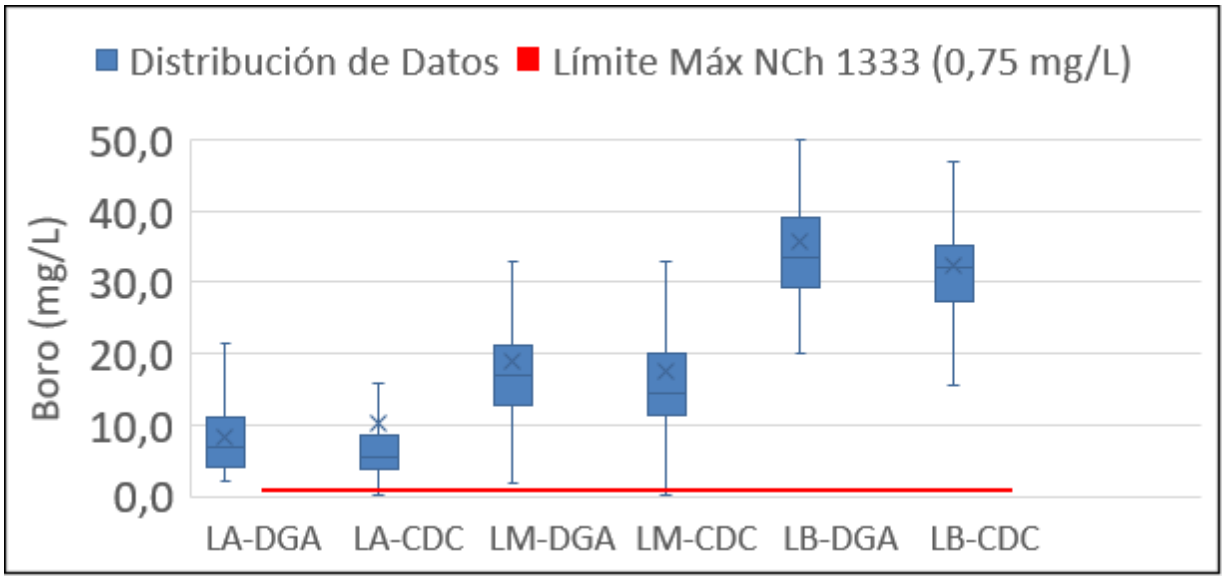
Figura 4-13: Comparación CODELCO-DGA para Arsénico

En lo que respecta al boro, mostrado en la Figura 4-14, nuevamente se observa que la norma se supera la mayor parte del tiempo, incrementándose a medida que se va de la zona alta a la baja, y lo indicado se observa tanto para las estaciones DGA como Codelco.

En tercer lugar, los sulfatos mostrados en la Figura 4-15 muestran una situación diferente, ya que en la parte alta, se observan valores mayoritariamente bajo la norma, situación que se invierte en la zona media y baja, donde para ambas fuentes de información se observan valores sobre la norma, que van creciendo, pero sin observarse mayores diferencias entre lo medido por Codelco o DGA.

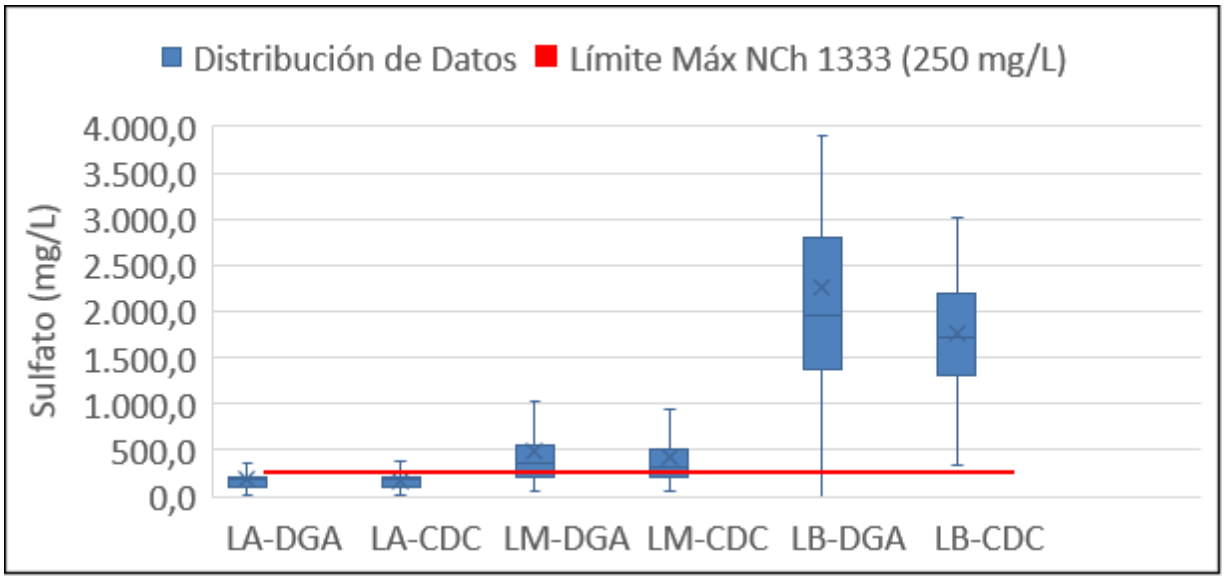
Finalmente, en la Figura 4-16 se muestran los cloruros, donde se osbervan valores principalmente sobre la norma, y que van aumentando hacia aguas abajo. En términos de variabilidad en la zona alta, las mediciones de DGA presentan mayor variabilidad, mientras

que en la zona media ocurre lo contrario. Finalmente, en la zona baja, la variabilidad es similar entre las mediciones de DGA y Codelco.



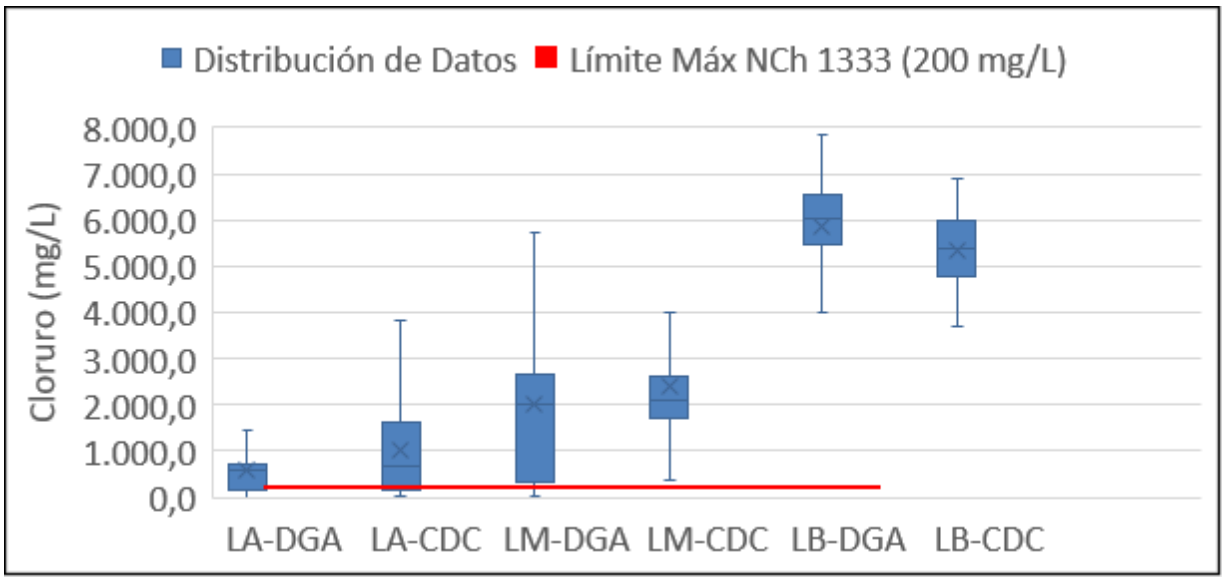
Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA y CODELCO

Figura 4-14: Comparación CODELCO-DGA para Boro



Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA y CODELCO

Figura 4-15: Comparación CODELCO-DGA para Sulfatos



Fuente: Elaboración propia con antecedentes BNA y CODELCO

Figura 4-16: Comparación CODELCO-DGA para Cloruros

4.1.5.3 Brechas de Información

Se identificó previamente en el acápite 2.4.8.4 más atrás que no se requiere aumentar el número estaciones de calidad de aguas por parte de DGA en el territorio, debido a que la densidad actual de la red de control, a escala de cuenca y subcuencas, supera a la densidad mínima de 20.000 km^2/estación recomendada por la Organización Meteorológica Mundial en la Guía de prácticas hidrológicas (OMM, 2008). A pesar que se desprende del indicador que actualmente existe una adecuada distribución espacial de la red de control de calidad de agua, sólo el 20% del total de las estaciones corresponden a monitoreo subterráneo, por lo que se sugiere reforzar aquella componente.

Finalmente, lo mostrado en los acápites precedentes ratifica las tendencias de los valores, por lo que no se justificaría aumentar la cantidad de estaciones superficiales, sin embargo, se estima que la temporalidad de las mediciones es deficiente ya que no es uniforme en el tiempo. Se aconseja medir al menos 3 veces al año, con una de las mediciones antes del invierno altiplánico y otra después. El tercer muestreo debe definirse en algún otro momento, siempre que sea concordante en el tiempo, de modo de disponer de un análisis más robusto.

Se hace notar que la red existente permite identificar lo que ocurre por ejemplo con el agua del río Siloli, antes de su junta con el río Loa, situación similar ocurre con la caracterización de la calidad del agua del río Salado antes de aportar al río Loa.

4.1.6 Derechos de Aguas Comunidades Indígenas y Canales de Riego

En el estudio de la DGA (2005), se identificaron los DAA asociados al riego de carácter permanente, tanto para canalistas como para comunidades indígenas. Los caudales identificados se muestran en la Tabla 4-7 y en promedio ascienden a 1.341,9 L/s.

Tabla 4-7: DAA Identificados para Riego

Usuario	Fuente	Sector o subafluente	DAA	
			Cantidad	Unidad
CA Canal Quilchiri de Lasana	Río Loa	Lasana	137.332,0	m³/año
CA Canal Quichira de Lasana	Río Loa	Lasana	62.550,0	m³/año
C. de A. Canal Buen Retiro de Lasana	Río Loa	Lasana	326.928,0	m³/año
CA Canal San Antonio de Lasana	Río Loa	Lasana	65.052,0	m³/año
CA Canal Los Ramírez de Lasana	Río Loa	Lasana	127.324,0	m³/año
CA Canal Pona de Lasana	Río Loa	Lasana	613.824,0	m³/año
CA Canal Los Perales de Lasana	Río Loa	Lasana	177.086,0	m³/año
CA Canal Grande de Lasana y Chiu Chiu	Río Loa	Lasana y Chiu Chiu	822.602,0	m³/año
CA Canal La Banda de Lasana y Chi Chiu	Río Loa	Lasana y Chiu Chiu	1.384.718,0	m³/año
CA Canal La Banda Ramal Los Blancos de Chiu Chiu	Río Loa	Chiu Chiu	196.824,0	m³/año
CA Canal El Pueblo de Chiu Chiu	Río Loa	Chiu Chiu	442.576,0	m³/año
CA Canal Grande Ramal N°3 Piar de Chiu Chiu	Río Loa	Chiu Chiu	98.134,0	m³/año
CA Canal Grande Ramal N°4 Pukara de Chiu Chiu	Río Loa	Chiu Chiu	575.738,0	m³/año
CA Canal Grande Ramal N°6 San Andrés de Chiu Chiu	Río Loa	Chiu Chiu	168.190,0	m³/año
CA Canal Grande Ramal Callejón de Chiu Chiu	Río Loa	Chiu Chiu	131.772,0	m³/año
CA Canal Grande Ramal Triangulo de Chiu Chiu	Río Loa	Chiu Chiu	204.608,0	m³/año
CA Canal Grande Ramal San Juan de Chiu Chiu	Río Loa	Chiu Chiu	275.220,0	m³/año
CA Canal El Pueblo Ramal El Calvario de Chiu Chiu	Río Loa	Chiu Chiu	15.012,0	m³/año
CA Canal El Pueblo Ramal Cochala de Chiu Chiu	Río Loa	Chiu Chiu	12.788,0	m³/año
CA Canal El Pueblo Ramal San Ramon de Chiu Chiu	Río Loa	Chiu Chiu	193.210,0	m³/año
CA Canal El Pueblo Ramal la Parroquia de Chiu Chiu	Río Loa	Chiu Chiu	25.854,0	m³/año
CA Canal El Pueblo Ramal Santa Faustina de Chiu Chiu	Río Loa	Chiu Chiu	58.936,0	m³/año
CA Canal El Pueblo Ramal El Pongo de Chiu Chiu	Río Loa	Chiu Chiu	285.784,0	m³/año
CA Canal Chunchurri bajo	Río Loa	Calama	4.923.486,0	m³/año
CA Canal Lay Lay Ramal Chunchurri Bajo	Río Loa	Calama	2.891.525,0	m³/año

Usuario	Fuente	Sector o subafluente	DAA	
			Cantidad	Unidad
CA Canal Bocatoma Dupont de Calama	Río Loa	Calama	713.482,0	m³/año
CA Canal La Prensa	Río Loa	Calama	1.004.500,0	m³/año
CA Canal Nuñez	Río Loa	Calama	3.171.350,0	m³/año
CA Canal Topater	Río Loa	Calama	3.410.134,0	m³/año
CA Canal Chañar	Río Loa	Calama	1.586.249,0	m³/año
CA Canal Tronco	Río Loa	Calama	803.600,0	m³/año
CA Canal Yalquincha	Río Loa	Calama	1.435.000,0	m³/año
CA Canal Lay Lay Ramal Carvajal	Río Loa	Calama	881.664,0	m³/año
CA Canal Lay Lay sector la Banda	Río Loa	Calama	2.513.546,0	m³/año
CA Canal coco la Villa	Río Loa	Calama	2.623.754,0	m³/año
CA Canal coco La Villa Ramal Berna	Río Loa	Calama	2.720.186,0	m³/año
CA Canal coco La Villa Ramal Quinta El Bosque	Río Loa	Calama	125.993,0	m³/año
CA Canal coco La Villa Ramal Radic	Río Loa	Calama	1.131.067,0	m³/año
CA Canal coco La Villa Ramal Bilbao	Río Loa	Calama	467.810,0	m³/año
CA Canal coco La Villa Ramal Tambores	Río Loa	Calama	997.325,0	m³/año
C. de A. Canal Uno de Quillagua	Río Loa	Quillagua	3.281.640,0	m³/año
C. de A. Canal dos de Quillagua	Río Loa	Quillagua	1.263.784,0	m³/año
Comunidad Quechua de Ollague	Río Loa	Río Chela	7,0	L/s
Comunidad Quechua de Ollague	Río Loa	Río Chauhuiri	4,0	L/s
Comunidad Quechua de Ollague	Río Loa	Río Casicsa	1,0	L/s
Comunidad Quechua de Ollague	Río Loa	Río Blanco	1,0	L/s
Comunidad Atacameña de Conchi Viejo	Vertiente Conchi Viejo	Conchi Viejo, Loa Alto	0,3	L/s
Regantes Pueblo de Caspana	Río Salado	Río Caspana	65,0	L/s

Fuente: DGA (2005).

4.1.7 Zonas de Agotamiento

La cuenca del río Loa se encuentra legalmente agotada a partir del año 2000 (DGA, 2000). Esto se traduce que no es posible asignar nuevos DAA de tipo superficial en el río Loa y sus afluentes, con posterioridad a la fecha de la resolución, con excepción de peticiones de DAA que hubiesen estado en trámite antes de esas fechas.

4.1.8 Uso Efectivo del Agua

El uso efectivo de las aguas en la cuenca se dispone por una parte de la información de la información de ADASA, que comunican que para efectos de planificación usan sus DAA como el caudal con 90% de probabilidad de excedencia. El detalle de los porcentajes de uso efectivo de agua potable por captación se muestra en el acápite 4.1.4.1 más atrás. Por otra parte, para las mineras se esperan usos de agua cercanos al DAA otorgado.

En los últimos años, DGA ha puesto en funcionamiento un sistema para el monitoreo de las extracciones efectivas desde la fuente[11], sin identificarse captaciones en la cuenca, o al menos sin tener acceso a esa información para ser incluida en el informe, en caso de que esta exista. Las captaciones superficiales sujetas al sistema de control de extracción actual normado mediante la Resolución DGA Antofagasta 101/2003 son mostrados en la Tabla 4-8, aunque aún no se encuentran operativas.

Tabla 4-8: Captaciones superficiales que reportan extracciones

Código	Captación	Titular	WGS 84 UTM 19S	
			E (m)	N (m)
02101004-9	Lequena	Aguas Antofagasta	535.115	7.603.695
02102007-9	Quinchamale	Aguas Antofagasta	541.455	7.577.335
02105033-4	Toconce	Aguas Antofagasta	510.049	7.517.686
02110020-k	Puente Negro	Aguas Antofagasta	587.944	7.536.403
02103015-5	Siloli	FCAB	600.232	7.565.330
02103016-3	Colana	Codelco	586.697	7.575.396
02103017-1	Inacaliri	Codelco	596.571	7.563.889
02105034-2	Salado-Hojalar	Codelco	582.416	7.535.247
02105035-0	linzor	Codelco	601.040	7.541.946
02110021-8	Vergara	SQM	454.320	7.517.567
02112012-k	María Elena	SQM	441.757	7.528.313
02112013-8	Coya Sur	SQM	445.667	7.523.182

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA.

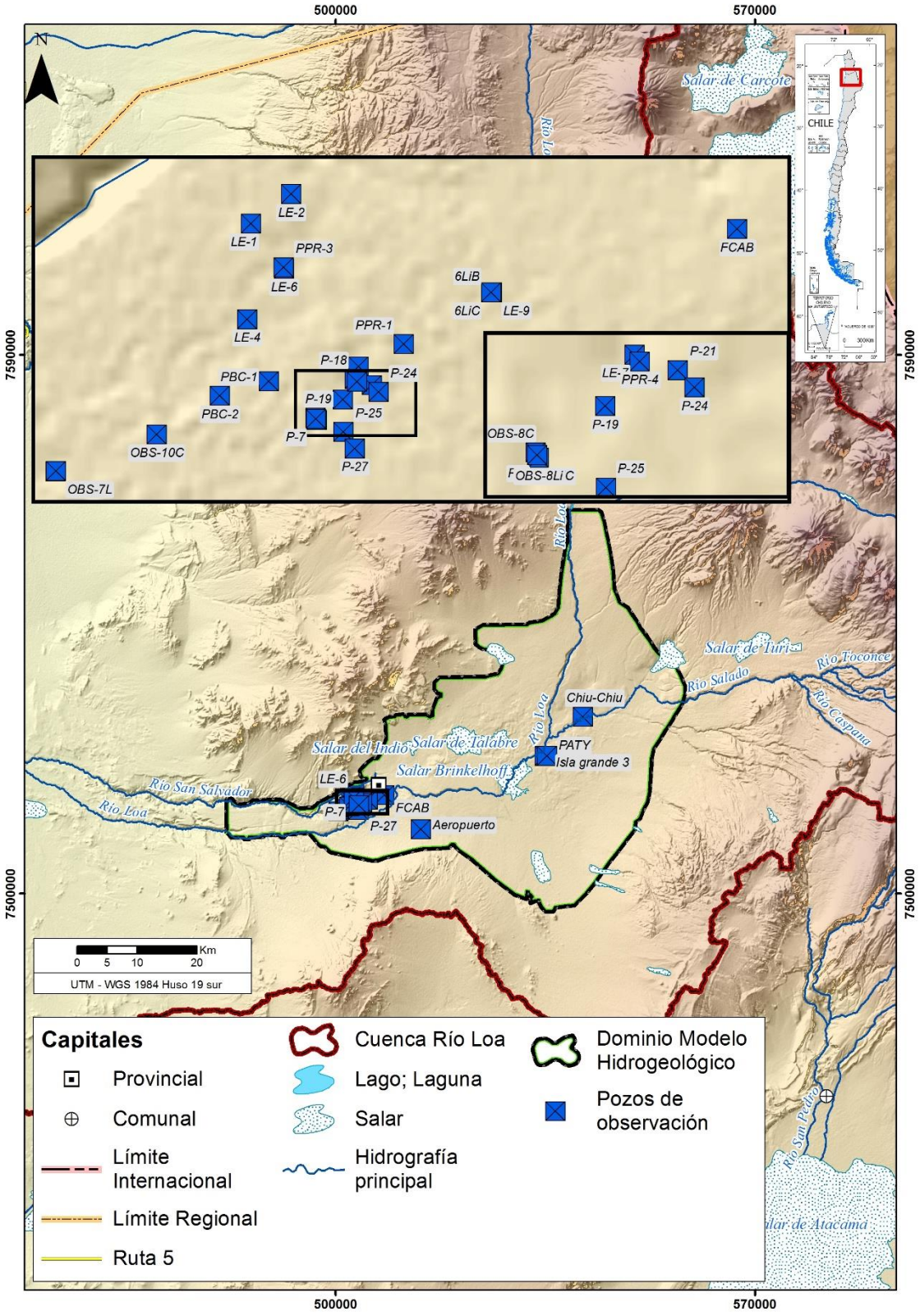
Por último, para el proceso de fijación de patentes por no uso del agua, se identificaron 2 DAA sin uso de tipo consuntivo y permanente por un total de 30,83 l/s. Las bases de datos para este pago se presentan en el Anexo J-12.

4.2 Aguas Subterráneas

En la cuenca del río Loa, tal como se presentó en la caracterización hidrogeológica, los acuíferos más potentes corresponden a los de la unidad Calama.

Para caracterizar los niveles de aguas subterráneas en este acuífero, el que además es el único que se simula su comportamiento con el acople WEAP-MODFLOW, se dispone de una serie de pozos con niveles piezométricos recopilados desde fuentes como DGA, CODELCO, Minera El Tesoro y terceros, los cuales son mostrados en la Figura 4-17. Más detalles de estos pozos de observación y del estrato que miden se muestran en el acápite 5.1.1.7, mientras que las series de niveles medidos por los pozos se presenta en el apéndice A del Anexo H.

[11] https://snia.mop.gob.cl/cExtracciones2/#/busquedaPublica



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-17: Niveles de pozos examinados en el acuífero de Calama

En general, se puede notar a partir del año 2000 hacia adelante la influencia que tiene la extracción subterránea industrial y minera en el sector. Por esto, el balance neto global del acuífero de Calama para el periodo 2000 – 2019 es de especial interés para evaluar la situación actual del acuífero.

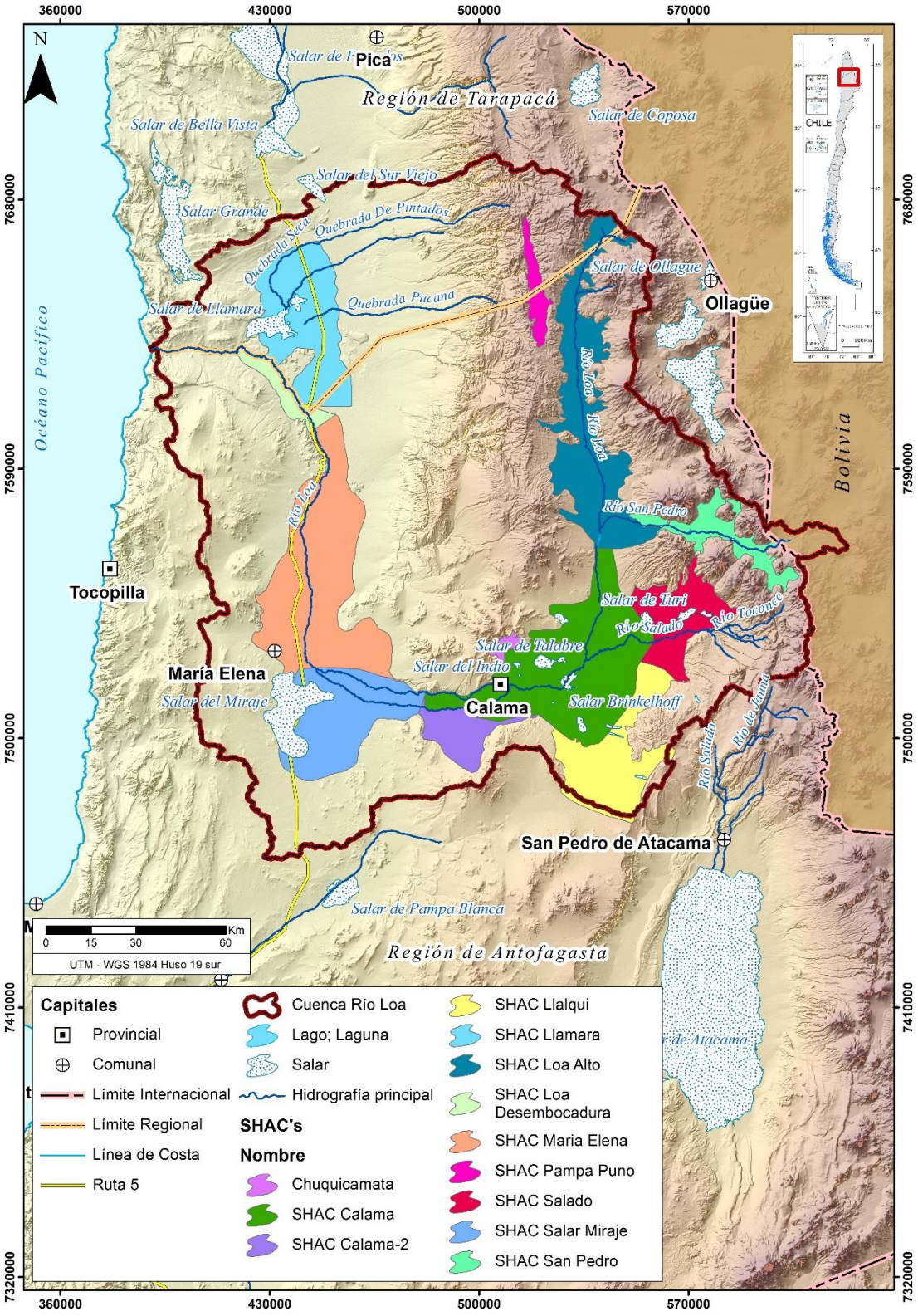
4.2.1 Sectores hidrogeológicos de Aprovechamiento Común

En base al análisis realizado por DGA (2014a), se definieron 10 sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común, usualmente denominados SHAC, cuyas características geométricas se muestran en la Tabla 4-9 y su ubicación en la Figura 4-18.

Tabla 4-9: Parámetros geométricos SHACs cuenca río Loa

Código	Nombre	Área Superficial (km^2)	Volumen (hm^3)
SHAC Pampa Puno	Pampa Puno	175,4	6.595
SHAC 01	Loa Alto	1.492,9	8.057
SHAC 02	San Pedro	398,2	2.984
SHAC 03	Salado	641,3	1.198
SHAC 04	Llalqui	909,2	1.634
SHAC 05	Calama	2.398,8	12.345
SHAC 06	Salar Miraje	1.195,4	3.511
SHAC 07	Llamara	1.165,4	7.679
SHAC 08	María elena	2.013,1	7.204
SHAC 09	Loa Desembocadura	275,8	3.297

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2014a).

Figura 4-18: SHACs cuenca río Loa

4.2.2 Oferta

En el presente acápite se presentan resultados y análisis extraídos desde los resultados del modelo numérico integrado desarrollado en el Capítulo 5, y que se resumen en el Anexo J-09.

La oferta sustentable de agua de los sistemas es presentada en la Tabla 4-10. La definición de esta oferta se sustenta en el uso de los excedentes naturales de agua de los acuíferos, por tanto, un valor nulo de oferta sustentable no significa que el acuífero está vacío.

El acuífero de Calama se determina en base al modelo acoplado WEAP-MODFLOW, mientras que para los otros acuíferos de la cuenca se obtiene a través del modelo WEAP con embalses subterráneos simplificados. El detalle de los flujos de entradas y salidas para cada uno de los Sectores hidrogeológicos considerados es presentado en el Anexo H sección 4.2.4.

Tabla 4-10: Flujos y oferta sustentable en acuíferos considerados (m^3/s), periodo 2000 – 2019.

Nombre	Entradas	Salidas	Balance	Oferta
Pampa Puno	0,04	0,04	0,00	-
Loa Alto	0,46	0,46	0,00	-
San Pedro	0,59	1,27	-0,68	-
Salado	0,59	0,59	0,00	-
Llalqui	0,23	0,24	-0,00	-
Calama	0,95	1,05	-0,10	-
Salar Miraje	0,22	0,26	-0,04	-
Llamara	0,06	0,29	-0,23	-
María Elena	0,16	0,13	0,03	0,03
Loa Desembocadura	0,20	0,16	0,04	0,04

Fuente: Elaboración propia

Desde la Tabla 4-10 se extrae que los únicos acuíferos que presentan una oferta sustentable son el de María Elena y Loa Desembocadura. Esto ocurre ya que son los sistemas ubicados en el sector de Loa Bajo y además no presentan intervención antrópica.

El stock de agua subterránea, definido como el volumen existente de agua dentro de los sistemas subterráneos se presenta en la Tabla 4-11. El valor para el acuífero de Calama se determina en base a la simulación del modelo acoplado WEAP-MODFLOW, mientras que para los otros acuíferos de la cuenca se obtiene a través del modelo WEAP con embalses subterráneos simplificados.

Tabla 4-11: Stock de agua de los sistemas acuíferos (hm^3)

Nombre	Promedio 2000 - 2019	Actual 2019
Pampa Puno	6.161,7	6.153,3
Loa_Alto	7.499,3	7.499,3
San Pedro	2.587,3	2.377,7
Salado	1.064,1	1.062,5
Llalqui	1.528,8	1.525,2
Calama	11.493,6	11.441,3
Salar Miraje	3.188,9	3.154,9
Llamara	7.055,2	6.948,6
María Elena	6.899,3	6.956,7
Loa_Desembocadura	3.156,8	3.181,7

Fuente: Elaboración propia

El detalle de la evolución temporal del volumen de agua de los acuíferos se puede revisar en el acápite 4.2.4 del Anexo H.

4.2.3 Calidad de Aguas

Se hace notar que para las aguas subterráneas no se cuenta con información de contraste de CODELCO, por lo que solo se presenta un análisis en base a la información de DGA.

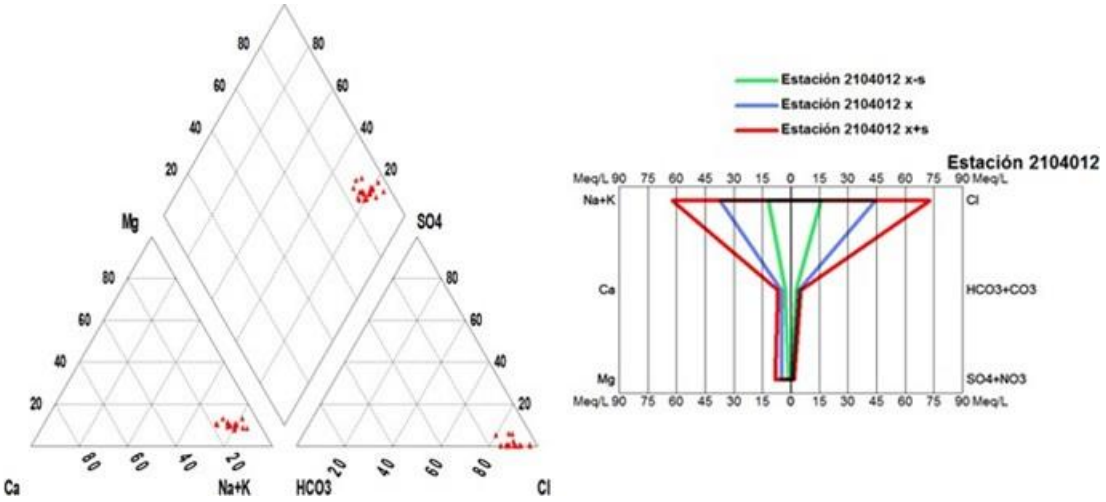
4.2.3.1 Análisis general

Al igual que para las aguas superficiales, se dispone de información del estudio de "Estimación de la Demanda actual, Proyecciones Futuras y Caracterización de la Calidad de los Recursos Hídricos en Chile" (DGA, 2017b). La caracterización se basa en el uso de información del único pozo DGA en la red de calidad de aguas, que se ubica en la parte media de la cuenca, cuya estadística se presenta en el Anexo J-10.

Como se observa en los diagramas de Piper y Stiff de la Figura 4-19, la composición de las aguas subterráneas del sector es, al igual que las aguas superficiales, clorurada sódica/potásica. Es en esta zona de la cuenca donde se produce la mayor interacción entre aguas superficiales y subterráneas, por lo que los diagramas son coherentes con este fenómeno, es decir, las aguas subterráneas presentan un comportamiento similar al de las aguas superficiales. Al disponerse de una única estación de carácter subterráneo, no es posible realizar un análisis espacial.

En términos de comparación con las normas, se tiene lo siguiente:

- Metales: al igual que con las aguas superficiales, el Arsénico, Molibdeno y Mercurio son los elementos que sobrepasan las normas en el caso de las aguas subterráneas. La similitud con lo observado para las aguas superficiales es un reflejo de la conexión existente entre el sistema superficial y subterráneo.
- Compuestos orgánicos e inorgánicos: sólo el Cloruro presenta valores por sobre ambas normas, con valores medios cercanos a 1.500 mg/l, muy por sobre los 400 mg/l que fija como límite la norma de agua potable.
- Parámetros físico-químicos: los resultados asociados al comportamiento de pH muestran que los valores medios se mueven alrededor del valor 8,0, ubicándose en términos generales dentro de los límites fijados por las normas. En el caso de la conductividad específica y los sólidos disueltos totales, éstos se mueven dentro de la clasificación C4, es decir, agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos.



Fuente: DGA (2017b).

Figura 4-19: Diagramas de Piper y Stiff–subcuenca río Loa Medio

En términos de variación temporal, se observa el mismo tipo de dispersión presente para las aguas superficiales, aunque solo se dispone de un pozo, no es factible extrapolar el comportamiento al resto de la cuenca.

4.2.3.2 Brechas de información

En lo que respecta a la calidad de las aguas subterráneas, la brecha de información es muy alta, ya que DGA solo controla la calidad del agua en un pozo en Loa Medio. En el acápite 2.4.8.4 se indicó que al no existir un estándar para calidad de aguas subterráneas, en

términos de densidad mínima, se adopta al menos medir en las estaciones propuestas como estaciones de nivel, es decir, 7 en Loa Alto, 28 en Loa Medio y 1 en Loa Bajo, en las zonas hidrogeológicas de interés. Se sugiere mantener la frecuencia de mediciones propuesta para calidad superficial.

4.2.4 Derechos de Aguas

Al igual que para las aguas subterráneas, existen diferencias entre lo registrado en el CPA y el registro interno de la DGA, aunque en este caso las diferencias son menores, de hecho, en términos de caudal total la diferencia es menor al 2%. Los resultados se muestran en la Tabla 4-12, donde se observa que un cambio drástico en el caudal asociado a la minería. Al igual que para el caso superficial, se ha preferido usar los DAA obtenidos de la base DGA Regional, y su ubicación se presenta en la Figura 4-20.

Tabla 4-12: Tipos del Uso del Agua Subterránea Cuenca del río Loa

Tipo de Uso	CPA		Registro Interno DGA	
	Cantidad	Caudal (L/s)	Cantidad	Caudal (L/s)
Minero	39	2.560,0	58	3.474,7
Uso industrial	-	-	1	16,5
Riego	1	0,6	1	0,6
Otros Usos	2	262,4	2	32,0
Sin Clasificar	18	716,8	4	76,2
Total	**60**	**3.539,8**	**66**	**3.600,0**

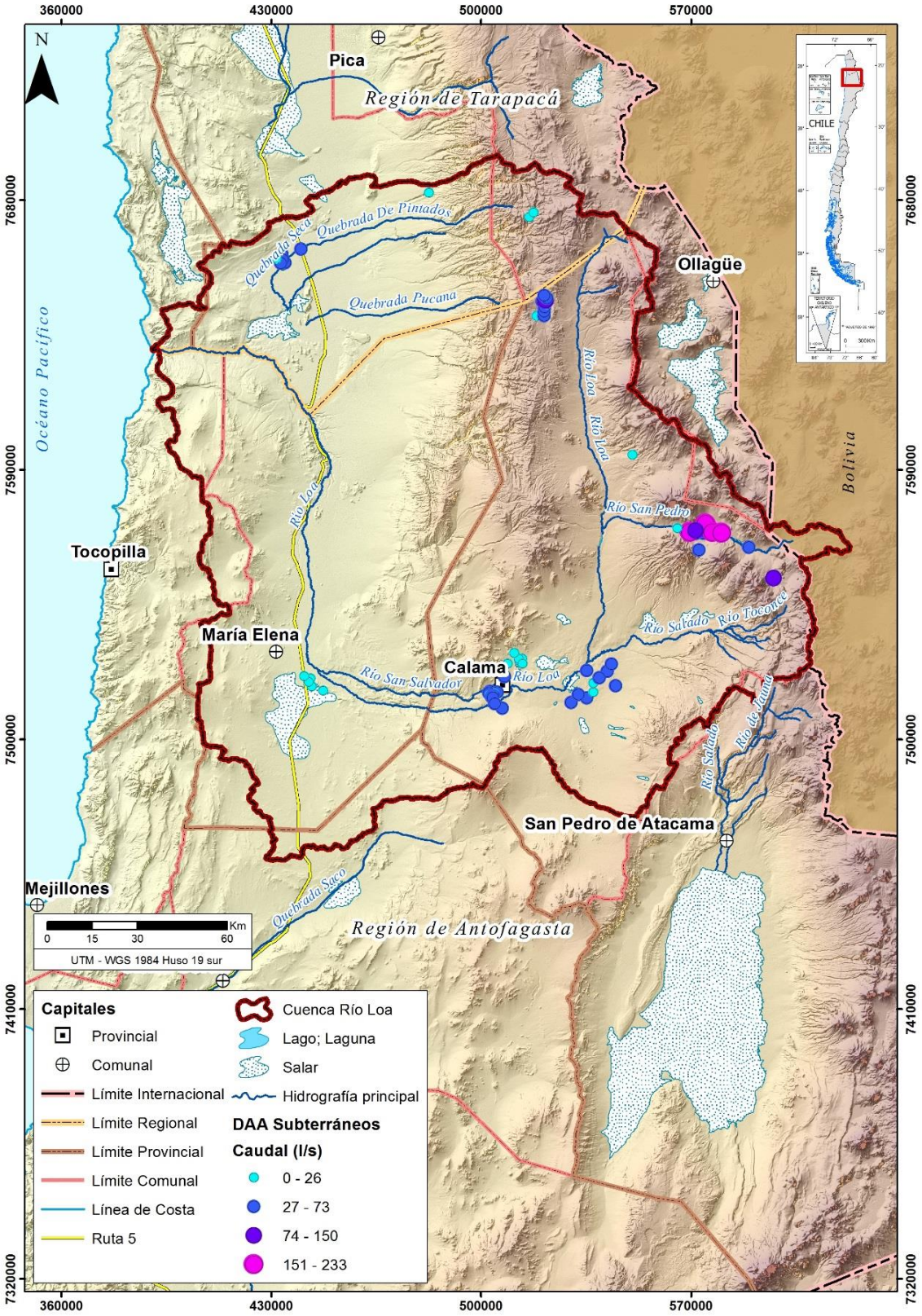
Fuente: BNA-DGA

Se observa en la tabla anterior que, a diferencia de los DAA superficiales, los DAA subterráneos en gran medida son destinados al uso minero, desde su otorgación, ya que es lo consignado en el CPA.

A partir de los resultados, es posible concluir que, de los DAA subterráneos, el 96,5% de ellos se encuentran asociados al uso minero.

En lo que respecta a la modelación, se consideraron todos los pozos del modelo de base (DGA, 2014c; GORE Antofagasta, 2020) y también se agregaron nuevos pozos que no estaban considerados en los modelos anteriores. Estos pozos se categorizan según su uso: Riego, Industria, Minería y son detallados en la Tabla 4-13.

Adicionalmente, se agruparon por acuífero, tipo y titular del DAA. También, si los pozos son para riego, se agruparon por nodo de destino para posteriormente facilitar el acople. Cada uno de los elementos de pozo posee su propia serie de tiempo a partir de las bases de información oficial y el monitoreo de extracciones efectivas entregadas por DGA.



Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA Regional.

Figura 4-20: DAA Subterráneos Identificados cuenca río Loa

Tabla 4-13: Detalle de pozos implementados como sitios de demanda en modelo WEAP actualizado

SHAC	Suma de DAA (m^3/s)	Nombre de pozo en DGA	DAA (l/s)	Fecha de resolución
Loa Alto	0,0225	ANTOFAGASTA CHILI AND BOLIVIA RAILWAY P.L.C.	22,5	18-04-2019
San Pedro	0,625	B1	60	13-01-1993
		B2	135	01-01-1993
		B-2 (N)	200	12-01-1990
		B3	100	01-01-1993
		B4	40	15-02-1993
	1,208	CHU-10B	90	12-01-1990
		CHU-10BN	200	
		CHU-17B	220	
		CHU-18B	220	
		CHU-1B	233	
		CUH25B	30	
		CHU-2B	58	
		CHU-5B	7	
		CHU-6B	150	13-01-1994
	0,0893	EXPLORACIONES, INVERSIONES Y ASESORIAS HUTURI S.A.	89,3	19-05-2015
Calama	0,031	Paty Nº1	31	01-08-1996
	0,319	AGUAS DE LA SIERRA LIMITADA	30	12-05-2008
			40	
			35	
			50	
			20	
			20	
			50	
			40	
			34	
	0,0165	ANTOFAGASTA MINERALS S.A.	16,5	09-01-2008
	0,002	CODELCO CHILE DIVISIÓN RADOMIRO TOMIC	2	18-04-2008

SHAC	Suma de DAA (m^3/s)	Nombre de pozo en DGA	DAA (l/s)	Fecha de resolución
Calama	0,529	COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	0,7	11-07-1995
			47	
			50	
			0,5	
			45	13-02-1998
			65,8	26-01-2001
			46,8	05-02-2004
			73,2	
			65	
			70	
			65	
	0,030	CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE, DIVISIÓN CODELCO NORTE	30	19-06-2003
	0,030	INVERSIONES ARLEQUÍN LIMITADA	30	09-05-2008
	0,058	TALABRE / SIN DERECHOS	1	01-02-2000
			26	
			2	
			12	
			5	
			12	
	0,033	COMPAÑIA MINERA XSTRATA LOMAS BAYAS	33	07-07-2000
Salar Miraje	0,007	BAIX EBRE S.A.	7	14-07-2000
	0,005	S.Q.M. NITRATOS S.A.	5	08-10-2003
	0,02018	SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA DE CHILE S.A. SQM S.A.	8	15-09-1992
			2,68	
			9,5	08-09-2003
Llamara	0,0062	MINERA SILVER STANDARD CHILE SOCIEDAD ANÓNIMA.	6,2	18-05-2012

SHAC	Suma de DAA (m^3/s)	Nombre de pozo en DGA	DAA (l/s)	Fecha de resolución
Llamara	0,2447	SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA DE CHILE S.A.	4,7	23-06-1999
			35	24-06-1999
			19	
			65	
			30	
			60	
			31	
Pampa Puno	0,399	CODELCO CHILE DIVISION RADOMIRO TOMIC	5	22-10-2002
			35	
			50	
			50	
			9	
			60	
			110	
			30	23-10-2002
			50	
	0,0032	COMPAÑIA MINERA TECK QUEBRADA BLANCA S.A.	3,2	03-08-2007
			0,2	03-09-2019

Fuente: Actualización y Elaboración propia con antecedentes GORE Antofagasta (2020).

4.2.5 Área de restricción y zonas de prohibición

El SHAC de Llamara fue declarado área de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas a partir del año 2012 (DGA, 2012c), mientras que el SHAC de San Pedro de Inacaliri fue declarado zona de prohibición para nuevas explotaciones de aguas subterráneas a partir del año 2021 (DGA, 2021).

Las resoluciones de áreas de restricción y zonas de prohibición confirman lo mostrado en la Tabla 4-10, donde los SHACs de San Pedro y Llamara son los que presentan el mayor balance negativo de oferta subterránea para el periodo 2000 – 2019.

4.2.6 Uso Efectivo del Agua

El Monitoreo de Extracciones Efectivas (MEE) subterráneas se enmarca bajo los Planes de Alerta Temprana (PAT) adquiridos por Minera Centinela en el marco de la RCA 031/1997 para el sector de Calama (CONAMA, 1997) y CODELCO en orden con la RCA N°2603/2005 para el sector de Pampa Puno (CONAMA, 2015a). También existe el Plan de Seguimiento Ambiental (PAS) de Tamarugos establecido en la Resolución Exenta Nº32/2005, que aprueba el Proyecto Aducción Llamara de SQM S.A (CONAMA, 2015b).

En la Tabla 4-14 se presenta la extracción efectiva de caudales sujetos a monitoreo de extracciones efectivas para el año 2020.

Tabla 4-14: Extracción Efectiva de Caudales Sujetos a MEE

Pozo	Acuífero	Nombre DGA	Q_L (l/s)	Bombeo Efectivo
PO-01	San Pedro	B1	60	68,8%
PO-02		B2	135	
PO-03		B-2 (N)	200	
PO-04		B3	100	
PO-05		B4	40	
PO-06		CHU-10B	90	
PO-07		CHU-10BN	200	
PO-08		CHU-17B	220	
PO-09		CHU-18B	220	
PO-10		CHU-1B	233	
PO-11		CHU25B	150	
PO-12		CHU-2B	58	
PO-13		CHU-5B	7	
PO-14		CHU-6B	30	
PO-15	Calama	Paty N°1	31	100,0%
PO-16		P21	65,8	14,7%
PO-17	Salar de Miraje	SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE SQM S.A.	8	78,5%
PO-18			3	
PO-19		BAIX EBRE S.A.	7	100,0%
PO-20		SOQUIMICH COMERCIAL S.A.	16	100,0%
PO-21	Calama	COMPAÑIA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	45	28,2%
PO-22			1	0,0%
PO-23			47	87,6%
PO-24			50	23,2%
PO-25			1	0,0%
PO-26		ANTOFAGASTA MINERALS	17	97,1%
PO-27	Salar de Miraje	S.Q.M. NITRATOS S.A.	5	100,0%
PO-28		SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE SQM S.A.	10	78,5%
PO-29	Calama	COMPAÑIA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	47	0,0%
PO-30			73	31,0%
PO-31			65	0,0%
PO-32			70	0,0%
PO-33			65	0,0%
PO-34		AGUAS DE LA SIERRA LIMITADA	30	0,0%
PO-35			40	0,0%
PO-36			35	0,0%
PO-37			50	0,0%

Pozo	Acuífero	Nombre DGA	Q_L (l/s)	Bombeo Efectivo
PO-38	Calama	AGUAS DE LA SIERRA LIMITADA	20	0,0%
PO-39			20	0,0%
PO-40			50	0,0%
PO-41			40	0,0%
PO-42			34	0,0%
PO-43		INVERSIONES ARLEQUIN LIMITADA	30	100,0%
PO-44		CORPORACION NACIONAL DEL COBRE DE CHILE, DIVISION CODELCO NORTE	30	100,0%
PO-45		CODELCO CHILE DIVISION RADOMIRO TOMIC	2	100,0%
PO-46	Salar de Llamara	SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE SQM S.A.	19	67,7%
PO-47			65	
PO-48			35	
PO-49			30	
PO-50			60	
PO-51			31	
PO-52			5	
PO-61	Calama	COMPAÑIA MINERA XSTRATA LOMAS BAYAS	33	100,0%
PO-62		TALABRE / SIN DERECHOS	1	0,0%
PO-63		TALABRE / SIN DERECHOS	26	
PO-64		TALABRE / SIN DERECHOS	2	
PO-65		TALABRE / SIN DERECHOS	12	
PO-66		TALABRE / SIN DERECHOS	5	
PO-67		TALABRE / SIN DERECHOS	12	
PO-68	San Pedro	EXPLORACIONES, INVERSIONES Y ASESORIAS HUTURI S.A.	89,3	100,0%
PO-69	Loa Alto	ANTOFAGASTA CHILI AND BOLIVIA RAILWAY P.L.C.	22,5	100,0%
PO-70	Pampa Puno	CODELCO CHILE DIVISION RADOMIRO TOMIC	5	14,0%
PO-71			35	
PO-72			50	
PO-73			50	
PO-74			9	
PO-75			60	
PO-76			110	
PO-77			30	
PO-78			50	
PO-79		COMPAÑIA MINERA TECK QUEBRADA BLANCA S.A.	3,2	100,0%
PO-80			0,2	

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA

Un último antecedente está dado por el pago de patentes por no uso. Para el proceso 2021 se identificaron 51 DAA sin uso, con un caudal de 4.592,1 l/s sujetos a pago de patente.

4.3 Glaciares

En lo que respecta a glaciares, tal como se expuso en el Acápite 2.3.3, la información disponible de glaciares es muy poca, por lo mismo, en la modelación WEAP no se considera como fuente de agua, además que de poca importancia para la cuenca.

En forma adicional, la necesidad de contar con mejor información de los glaciares en la zona corresponde a una brecha de información, la que va a ser incluida en el análisis de brechas.

5 BALANCE DE AGUA

Para la ejecución del presente estudio, se desarrollaron modelos independientes de simulación de flujos superficiales y subterráneos que posteriormente fueron 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 de la cuenca se llevó a cabo según las indicaciones generales presentadas en DGA (2019a).

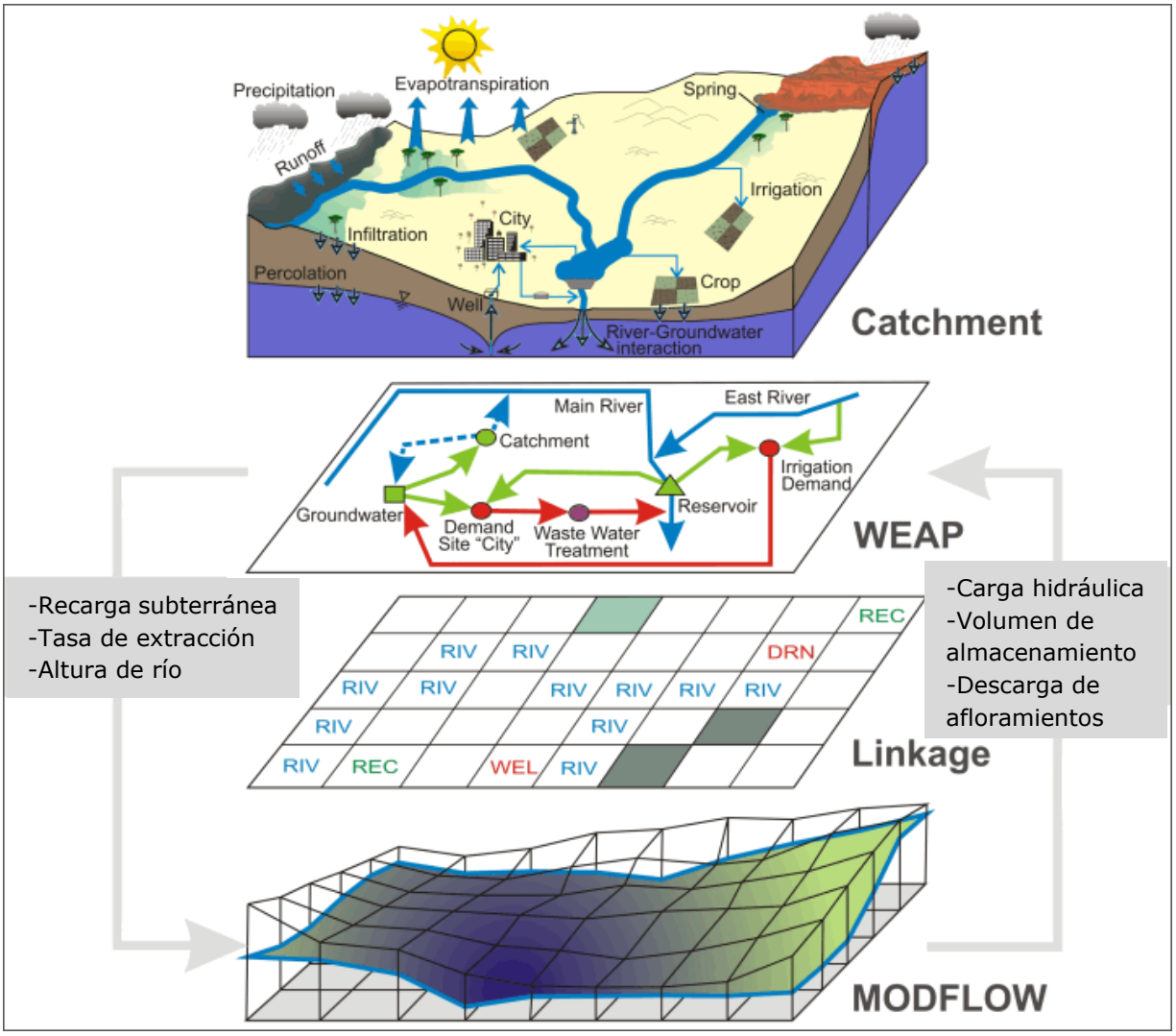
5.1 Modelo de simulación

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

WEAP permite apoyar la planificación de recursos hídricos mediante el balance de la oferta hídrica (generada a través de módulos físicos de tipo hidrológico, a escala de subcuenca) con la demanda de agua, caracterizada por un sistema de distribución de variabilidad espacial y temporal, con diferencias en las prioridades de demanda y oferta. Para llevar a cabo este balance hídrico, se utiliza una gama de diferentes objetos disponibles en WEAP y procedimientos accesibles a través de una interfaz gráfica.

MODFLOW es un software de modelamiento tridimensional de agua subterránea, el cual resuelve las ecuaciones de flujo mediante diferencias finitas, elementos finitos (MODFLOW 2000,2005, NWT) y volúmenes finitos (MODFLOW USG). En el acople con WEAP solamente están permitidos el primer set de motores MODFLOW: MODFLOW 2000,2005, NWT.

Es importante recalcar que WEAP es un modelo conceptualizado con segmentación espacial concentrada o semidistribuida; mientras que el modelo de flujo MODFLOW representa la dinámica de flujo subterráneo de manera espacialmente distribuida. De esta manera, mediante la implementación de un archivo de enlace en WEAP (Linkage), que permite representar el acuífero vinculado a MODFLOW, es posible integrar directamente los flujos superficiales y subterráneos, para todos los periodos de simulación, ejecutando simultáneamente un modelo distribuido y otro semidistribuido. En la Figura 5-1 se presenta un esquema de la vinculación entre ambos modelos. Mayor detalle de la metodología y plataformas utilizadas para alcanzar un acople efectivo se presentan en el Anexo F acápite 2.4.3.



Fuente: BGR

Figura 5-1: Esquema de vinculación de elementos WEAP – MODFLOW mediante archivo de enlace

5.1.1 Situación actual

En los siguientes puntos se resume los principales aspectos de la construcción del modelo WEAP – MODFLOW aplicado en la cuenca, 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 1979 – 2019. La modelación acoplada se realiza en la zona que define al sector hidrogeológico de aprovechamiento común de Calama, mientras que todo el resto de la cuenca se modela sólo mediante WEAP. El detalle de la delimitación del sector acoplado se puede consultar en el Anexo H acápite 1.1.2.

5.1.1.1 Actualización de Modelo Superficial

En el Anexo H (acápite 2.2) se presenta la descripción del modelo superficial WEAP de la cuenca, utilizado como base en la elaboración del modelo acoplado del presente estudio, junto a las modificaciones realizadas en la actualización de éste.

5.1.1.2 Actualización de Modelo Subterráneo

En el Anexo H (acápite 1.2) se presenta la descripción del modelo subterráneo MODFLOW de la cuenca, 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 de Modelo Acoplado Superficial Subterráneo

En el Anexo H (acápite 3.1 y 3.2) se presenta la construcción del modelo acoplado WEAP-MODFLOW de la cuenca, conforme a la metodología indicada.

5.1.1.4 Calibración y Resultados de Modelo de Simulación Superficial

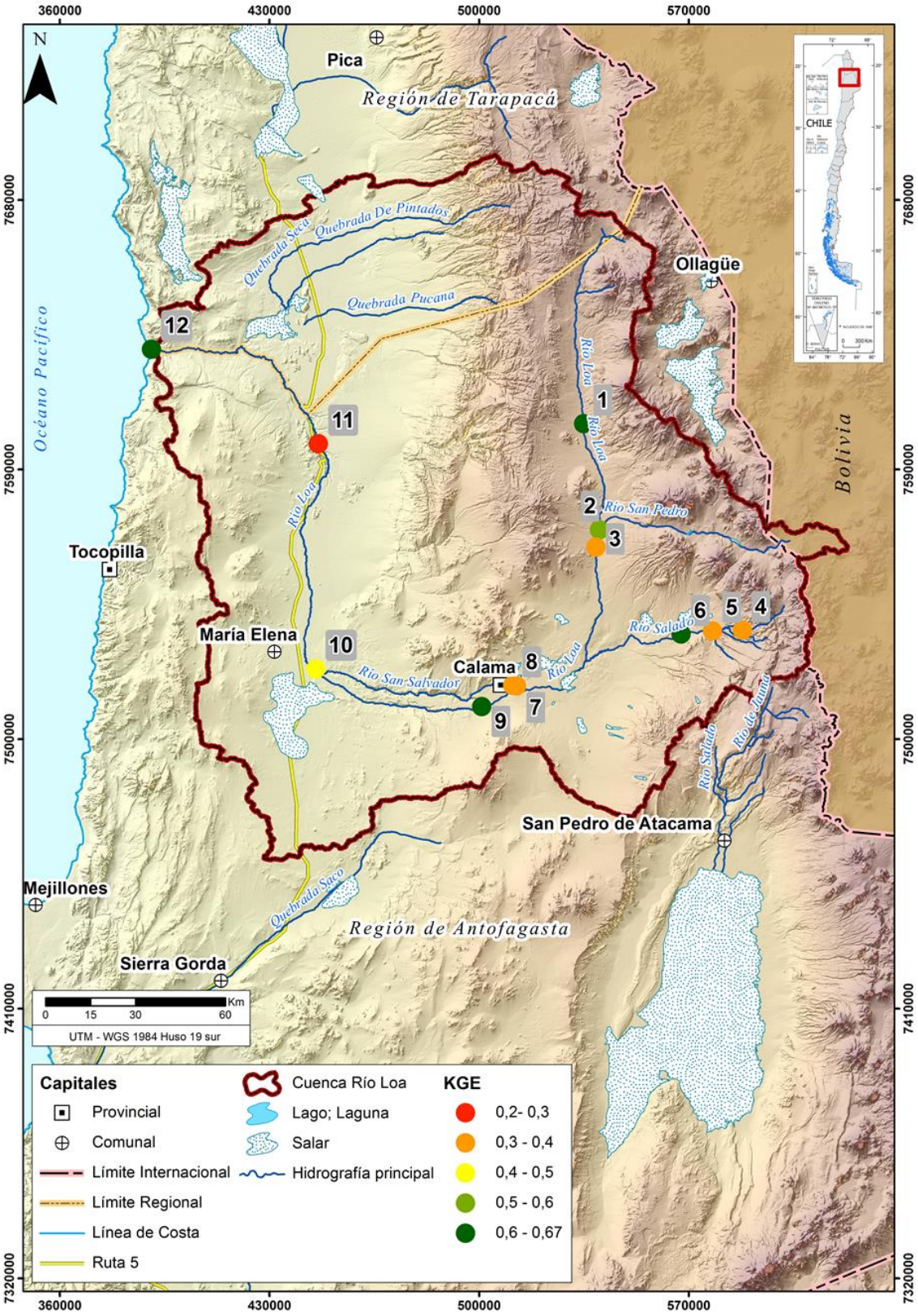
En el Anexo H (Capítulo 4) se presenta la calibración y resultados del modelo acoplado WEAP-MODFLOW del Loa, siguiendo los lineamientos indicados de la metodología.

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 cuencas de cabecera, para regular la cantidad de agua que se comunicaba entre el sistema superficial y el subterráneo. Adicionalmente en algunas zonas más difíciles de calibrar también se modificó el porcentaje de infiltración de la ineficiencia del riego a nivel mensual (porcentaje que percola contra el porcentaje que se asigna al derrame superficial).

Como resumen de la calibración superficial del sistema conjunto, se obtuvieron los indicadores de calibración en las estaciones fluviométricas más relevantes de la cuenca, las que representan una serie robusta para hacer una comparación.

La ubicación de las estaciones empleadas para calibrar y la distribución espacial del valor de la métrica de evaluación eficiencia de Kling-Gupta (KGE; Gupta et al., 2009) se muestra en la Figura 5-2. El detalle de la red de control fluviométrico utilizado y descartado para calibrar el modelo está disponible en el Anexo H sección 4.1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-2: Estaciones fluviométricas empleadas en la calibración

La Tabla 5-1 muestra los valores de las métricas de evaluación empleadas, correspondientes a la KGE, 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 H acápite 2.3.1. Cabe destacar que el periodo 1979-1980 fue usado como un periodo de "calentamiento" o "spin-up" del modelo, por lo que los indicadores y periodo de calibración son calculados a partir del año 1981.

Tabla 5-1: Indicadores de calidad de calibración para el periodo histórico (1981 -2019) en estaciones fluviométricas de la DGA consideradas

Sector	ID	Estación	KGE	NSE	R^2	PBIAS
Alto	1	Río Loa antes de represa Lequena	0,64	0,49	0,50	2,0
Alto	2	Río Loa antes de embalse Conchi	0,56	0,46	0,47	0,6
Alto	3	Río Toconce antes de represa Sendos	0,34	-0,72	0,18	12,1
Alto	4	Río Salado antes junta río Curti	0,36	0,17	0,23	22,5
Alto	5	Río Salado en sifón Ayquina	0,66	0,57	0,57	-3,7
Medio	6	Río Loa en salida embalse Conchi	0,37	0,16	0,21	0,7
Medio	7	Río Loa en Yalquincha	0,33	-0,57	0,42	-10,0
Medio	8	Río Loa en Escorial	0,38	0,37	0,41	-10,8
Medio	9	Río Loa en Finca	0,62	0,25	0,39	0,2
Bajo	10	Río Loa después junta San Salvador (Chacance)	0,45	0,39	0,42	-19,2
Bajo	11	Río Loa antes de zona agrícola Quillagua	0,22	-0,27	0,07	-14,7
Bajo	12	Río Loa en desembocadura	0,60	0,34	0,39	-1,1

Fuente: Elaboración propia

5.1.1.5 Caudales Simulados en Estaciones Fluviométricas de Control

Los resultados del proceso de calibración se resumen en estadígrafos de calibración como en resultados gráficos. La Figura 5-2 muestra mejores ajustes en las cuencas de cabecera y algunos sectores de Calama y Desembocadura, mientras que María Elena y Quillagua presentan ajustes insatisfactorios.

Como muestra la Tabla 5-1 y la Figura 5-2, la calidad de los ajustes es variada a lo largo del modelo. Desde la zona alta, las estaciones "Río Loa antes represa en Lequena" (Figura 5-3) y "Río Loa antes embalse Conchi" (Figura 5-4) constituyen la oferta hídrica de la mayor parte del sistema (aproximadamente 55% del recurso hídrico superficial total de la cuenca) y determina el volumen entrante al embalse Conchi. De ahí la importancia de que en dichas estaciones se esté representando adecuadamente el flujo pasante. La estación "Río Loa antes de represa Lequena" fue adecuadamente representada, ya que el caudal se modela

satisfactoriamente en el tiempo para las agregaciones temporales de caudal anual y mensual, sin embargo, existe un leve sesgo positivo en la representación de los caudales en los meses de verano, correspondientes al periodo de precipitación más intenso en la cuenca. Se debe notar que la estacionalidad del régimen está acorde a lo registrado y que la curva de duración de caudales simulados presenta una gran similitud a la real.

Para ambas estaciones, los ajustes alcanzados son satisfactorios según el índice KGE, con una sobrestimación menor al 2% (PBIAS), sin embargo, los valores de la métrica NSE no alcanzan valores mayores a 0,5, lo cual según algunos autores puede definirse como un ajuste insatisfactorio (Moriasi et al., 2007). Una posible explicación a este patrón que ocurre para la mayoría de las estaciones fluviométricas analizadas es que el criterio NSE, por su definición matemática, otorga mayor peso a los caudales altos que a los caudales bajos (Schaefli and Gupta, 2007; Gupta et al., 2009; Pfannerstill et al., 2014), por lo que para el caso de cuencas hiperáridas con lluvias convectivas, como de la cuenca del río Loa, es complejo lograr un ajuste destacable para caudales extremos, y por tanto los valores de está métrica tienden a ser menores. En base a lo anterior, la calibración es enfocada principalmente en lograr ajustes satisfactorios de KGE, ya que está métrica evalúa correlación temporal, variabilidad y valores medios entre las series comparadas, abordando las deficiencias percibidas en NSE. Lo homologación entre valores de KGE y NSE no es directa, sin embargo, valores de KGE mayores o iguales a 0,3 son considerados como Satisfactorios y menores a 0,3 como No satisfactorios (ver discusión en sección 4.1.1 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 (Moriasi et al., 2007).

Como se puede apreciar en la Figura 5-6, la estación que está aguas abajo del embalse Conchi presenta estadígrafos de calibración adecuados (KGE > 0,3 y PBIAS < 1%), aunque menores que las del sector de cabecera de Loa Alto. Esto se produce porque el modelo no logra reproducir algunas de las más intensas tormentas que ocurren en la zona en verano, tal como las ocurridas en enero y febrero de 2012, lo que conlleva a que este exceso puntual de caudal llegue al embalse y el flujo salga inmediatamente hacia aguas abajo ya que el reservorio se encuentra lleno de agua, provocando grandes diferencias entre lo modelado y la tormenta observada. Sería posible aproximarse a estos altos caudales, pero se generarían muchos otros inexistentes, por la alta sensibilidad del modelo a estímulos de precipitación. Así, considerando que no existe una regla de operación del embalse conocida, el objetivo fue asimilarse a los valores medios mensuales históricos. Es complejo mejorar

el rendimiento de la estación con la información operacional disponible y con los parámetros que WEAP posee para la calibración de los flujos de entrega.

Todas las estaciones correspondientes al río Salado y sus tributarios, presentan valores de KGE mayores a 0,4, por lo que logran reproducir adecuadamente el comportamiento estacional de esta cuenca. La estación "Río Salado en sifón Ayquina" (Figura 5-5) presenta estadígrafos de calibración muy buenos (KGE > 0,6 y PBIAS < 3%), lo cual es relevante debido a que el aporte desde río Salado al río Loa es el de mayor magnitud que cualquier otro tributario.

Las estaciones "Río Loa en Escorial" y "Río Loa en Yalquincha" también presentan indicadores adecuados (KGE > 0,4), aunque peores comparados con los de aguas arriba ya que las subestimaciones promedio oscilan entre un 8 a un 11%, valores esperables, ya que existe una pérdida importante de agua que no es de fácil atribución. El estudio DGA (2014a) menciona: "En cuanto al tramo del río Loa entre Yalquincha y Escorial, las observaciones en terreno no permiten justificar un caudal de pérdida tan alto en un tramo tan corto. Sin embargo, al encontrarse a la entrada de la ciudad de Calama, esta pérdida podría ser el resultado de captaciones no identificadas."

Calibraciones insatisfactorias se obtuvieron en la estación "Río Loa antes de zona agrícola Quillagua". Posibles razones de aquello se exponen a continuación: i) Es factible que la calidad de la información observada en aquellas estaciones donde el grado de intervención es alta, sea también limitada e interpretable de acuerdo con la calidad de la información disponible; ii) Los resultados del modelo WEAP toman en cuenta los flujos subsuperficiales mientras que la estación del sector de Quillagua sólo logra captar los caudales superficiales, por lo que en caudales bajos los errores porcentuales pueden ser altos, aunque las diferencias absolutas sean de pocos litros por segundo y iii) En esta zona, el modelo no trabaja acoplado con MODFLOW (dado el tamaño de la grilla del modelo y de falta de información de geofísica, entre otros), por lo que la modelación es mucho más simplificada justamente en una zona con posibles altas infiltraciones desde el cauce. Todos estos puntos deben quedar como puntos a revisar y mejorar a futuro.

En la salida de la cuenca, la estación Loa en desembocadura presenta un indicador de KGE satisfactorio (KGE = 0,58 > 0,3) y un error medio muy bajo (PBIAS < 2%), pero 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 si 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.

Cabe destacar que la precipitación considerada desde la desembocadura hasta Calama es prácticamente nula, como lo señala la Actualización del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2017a) y es también comentado por el informe de DGA (2014a). Por tanto, basados en la adecuada representación de lo que pasa en la parte alta, el grado de ajuste puede tener sus causas debido a la representación también de la información observada. La mayor discrepancia entre la serie simulada se refiere en efecto al comportamiento de eventos extremos, no así al flujo base (GORE Antofagasta, 2020).

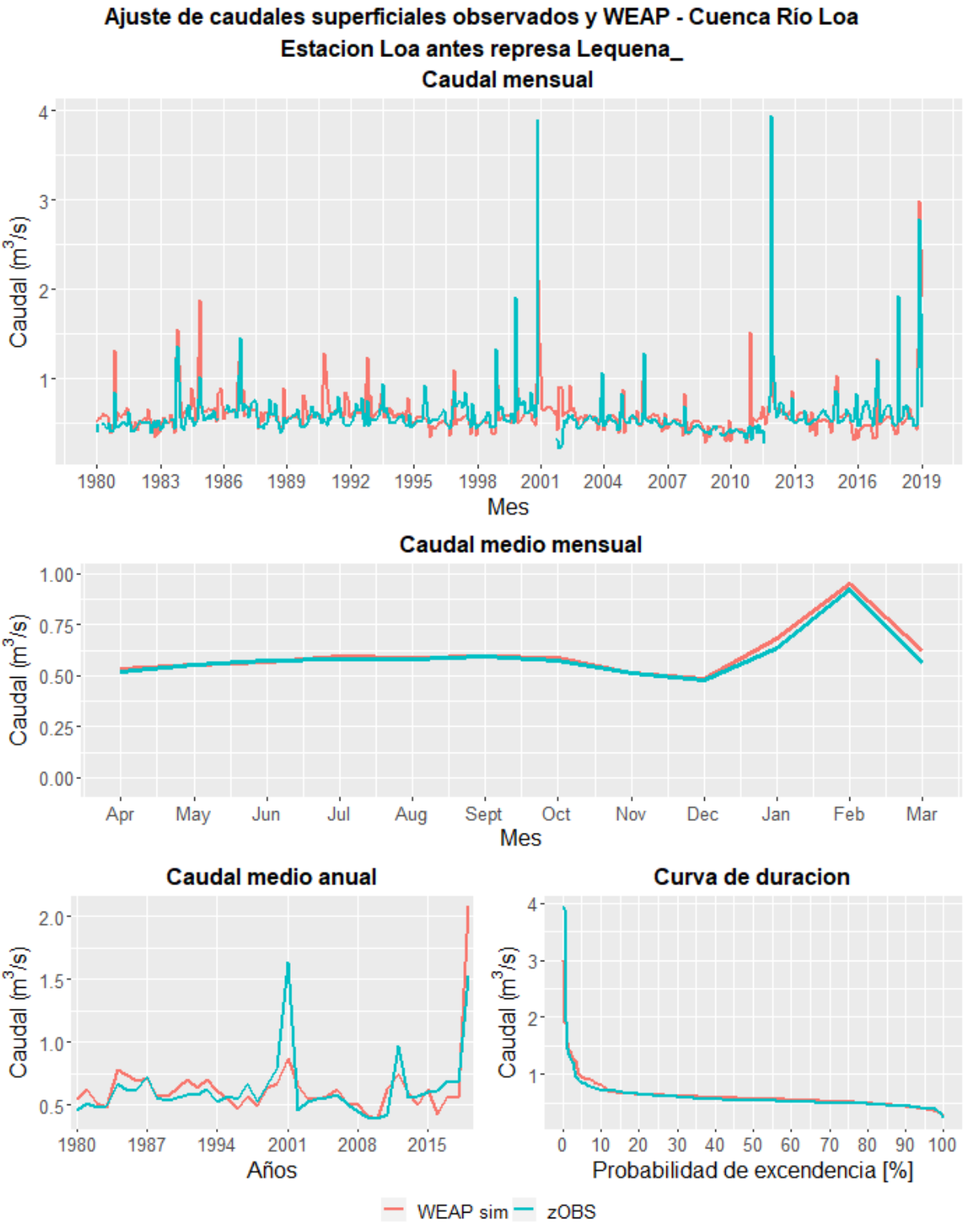
Se enfatiza que en la zona norte de Chile el monitoreo de caudales es de alta complejidad y desafiante, debido al bajo caudal medio mensual y las crecidas abruptas producto de lluvias estivales. La mantención de estaciones fluviométricas es un desafío para DGA e instituciones privadas que levantan información de este tipo. Por esta razón, el grado de incertidumbre asociado a las series temporales es no despreciable. Este tipo de fenómenos hace que trabajar con indicadores de bondad de ajuste la zona de estudio o similares no sea equivalente a su aplicación en la zona centro-sur.

Finalmente, se presenta en la Tabla 5-2 la oferta hídrica histórica del sistema para los caudales con probabilidades de excedencia 5% ($Q_{5\%}$), 50% ($Q_{50\%}$), 85% ($Q8_{5\%}$) y 95% ($Q9_{5\%}$) en los puntos de control que definen las estaciones fluviométricas empleadas para la calibración del modelo (Figura 5-2), durante el periodo 1981 – 2019.

Tabla 5-2: Oferta histórica de la fuente superficial (m³/s), periodo 1981 – 2019

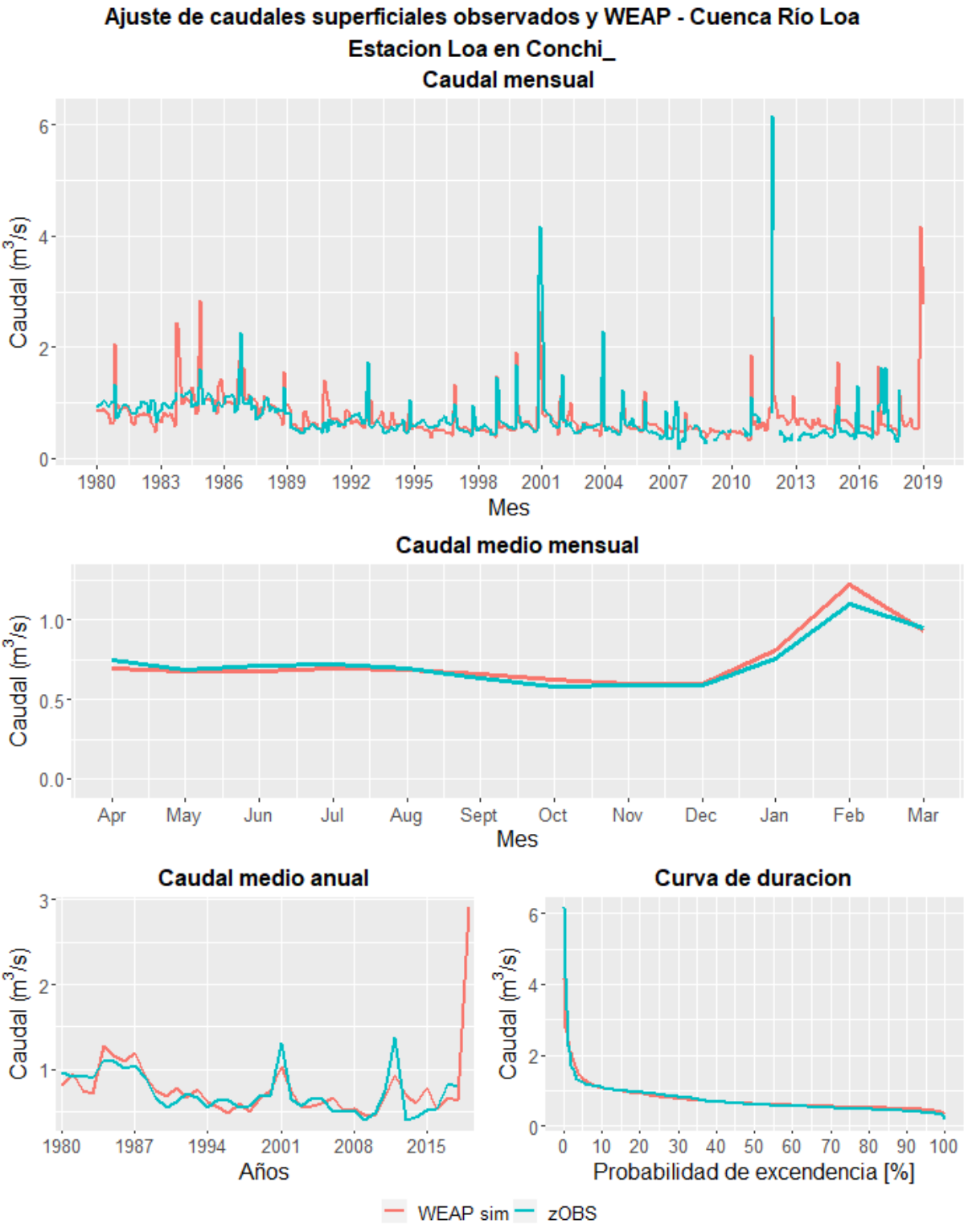
Sector	ID	Estación	$Q_{5\%}$	$Q_{50\%}$	$Q_{85\%}$	$Q_{95\%}$
Alto	1	Río Loa antes de represa Lequena	0,94	0,57	0,46	0,38
Alto	2	Río Loa antes de embalse Conchi	1,32	0,62	0,50	0,45
Alto	3	Río Toconce antes de represa Sendos	0,83	0,44	0,39	0,35
Alto	4	Río Salado antes junta río Curti	0,77	0,14	0,06	0,03
Alto	5	Río Salado en sifón Ayquina	1,33	0,38	0,29	0,21
Medio	6	Río Loa en salida embalse Conchi	1,39	0,77	0,21	0,14
Medio	7	Río Loa en Yalquincha	2,55	1,23	0,80	0,67
Medio	8	Río Loa en Escorial	2,55	1,22	0,79	0,67
Medio	9	Río Loa en Finca	1,94	0,38	0,22	0,20
Bajo	10	Río Loa después junta San Salvador (Chacance)	2,00	0,48	0,30	0,27
Bajo	11	Río Loa antes de zona agrícola Quillagua	1,88	0,35	0,16	0,12
Bajo	12	Río Loa en Desembocadura	1,80	0,22	0,04	0,01

Fuente: Elaboración propia



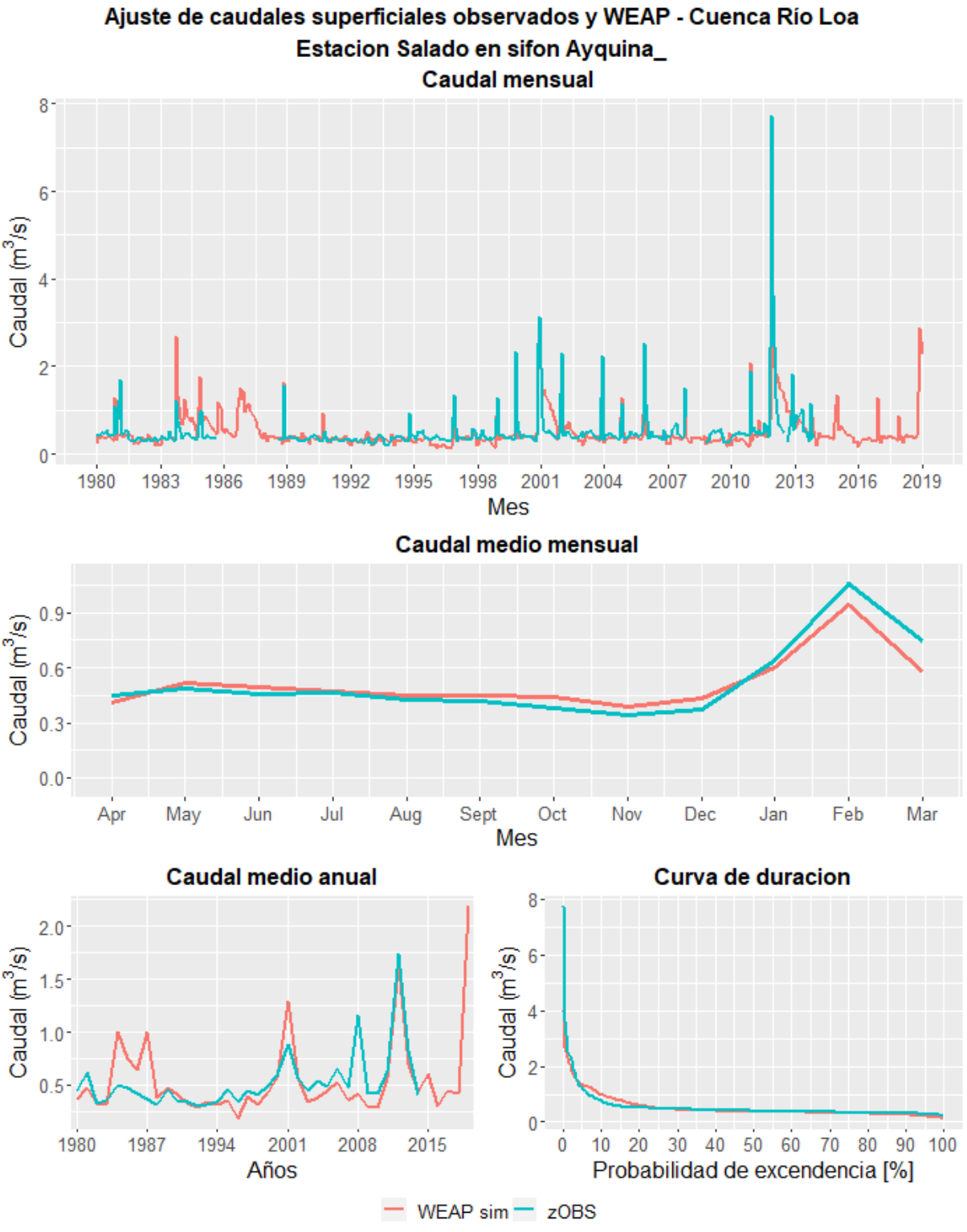
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-3: Resultados calibración estación Río Loa antes de represa Lequena



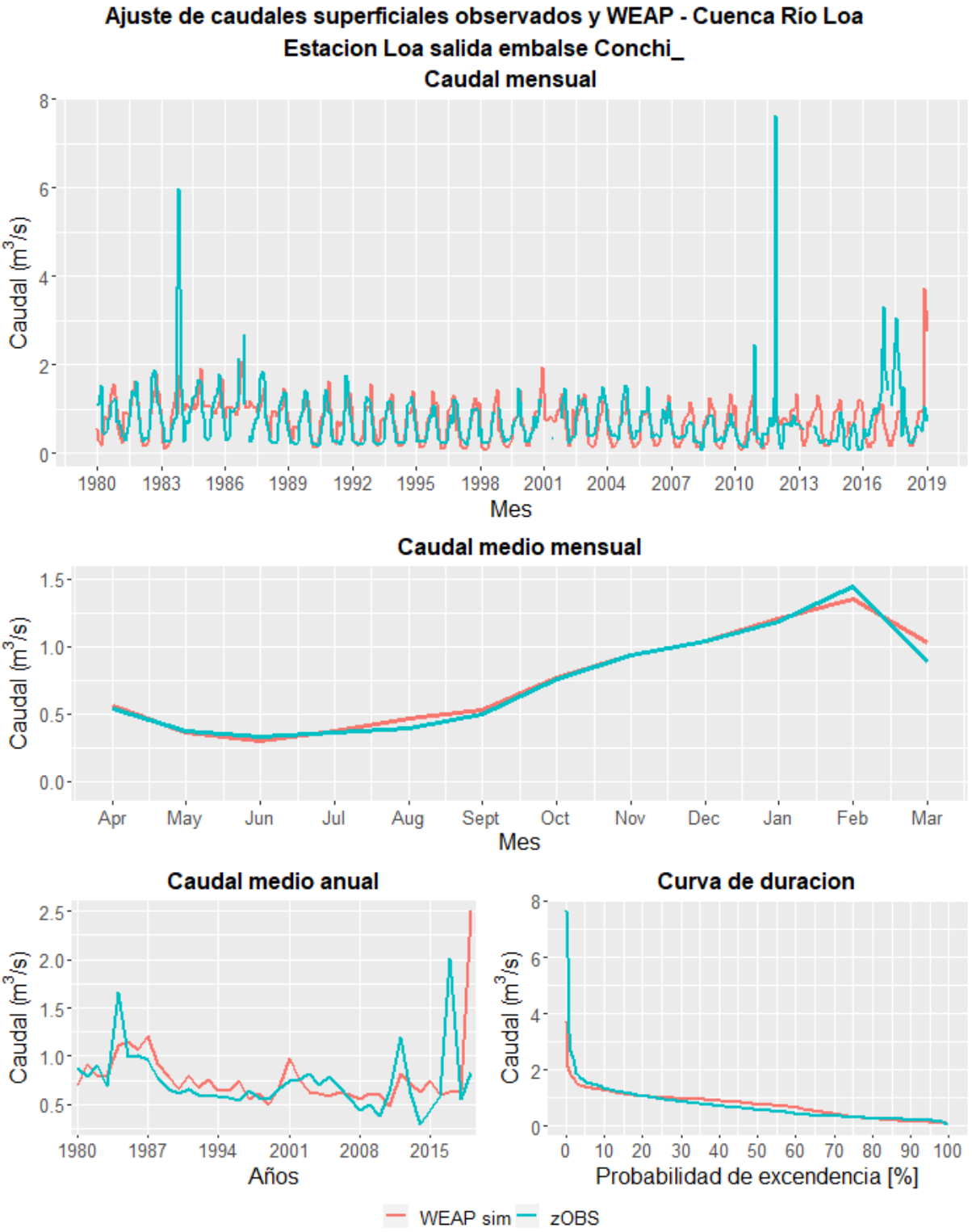
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-4: Resultados calibración estación Río Loa en Embalse Conchi



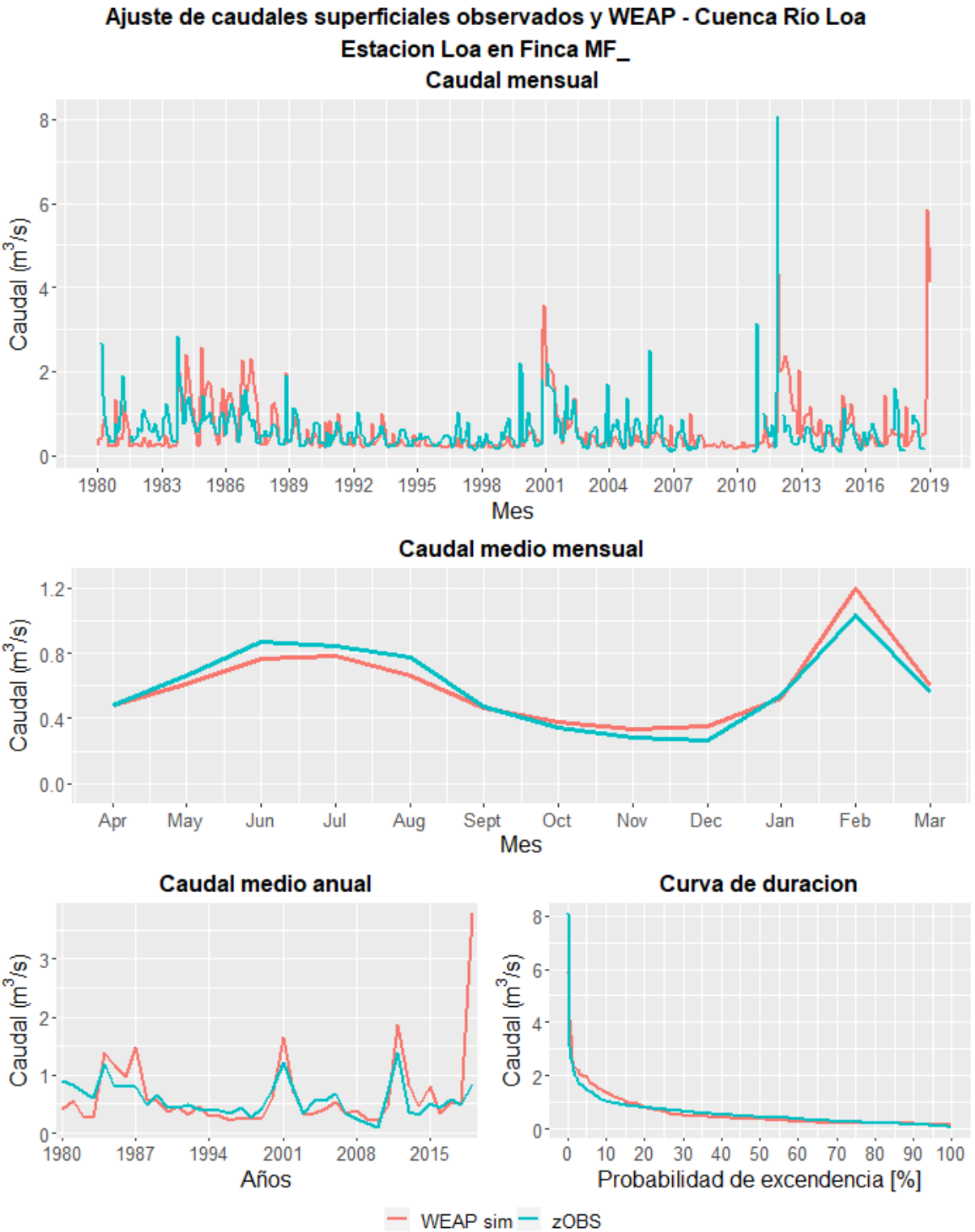
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-5: Resultados calibración estación Río Salado en sifón Ayquina



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-6: Resultados calibración estación Río Loa en salida embalse Conchi



KGE = 0.62 ; NSE = 0.25 ; RMSE= 0.49 ; R2= 0.39 ; PBIAS= 0.2 ; ME= 0

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-7: Resultados calibración estación Río Loa en Finca

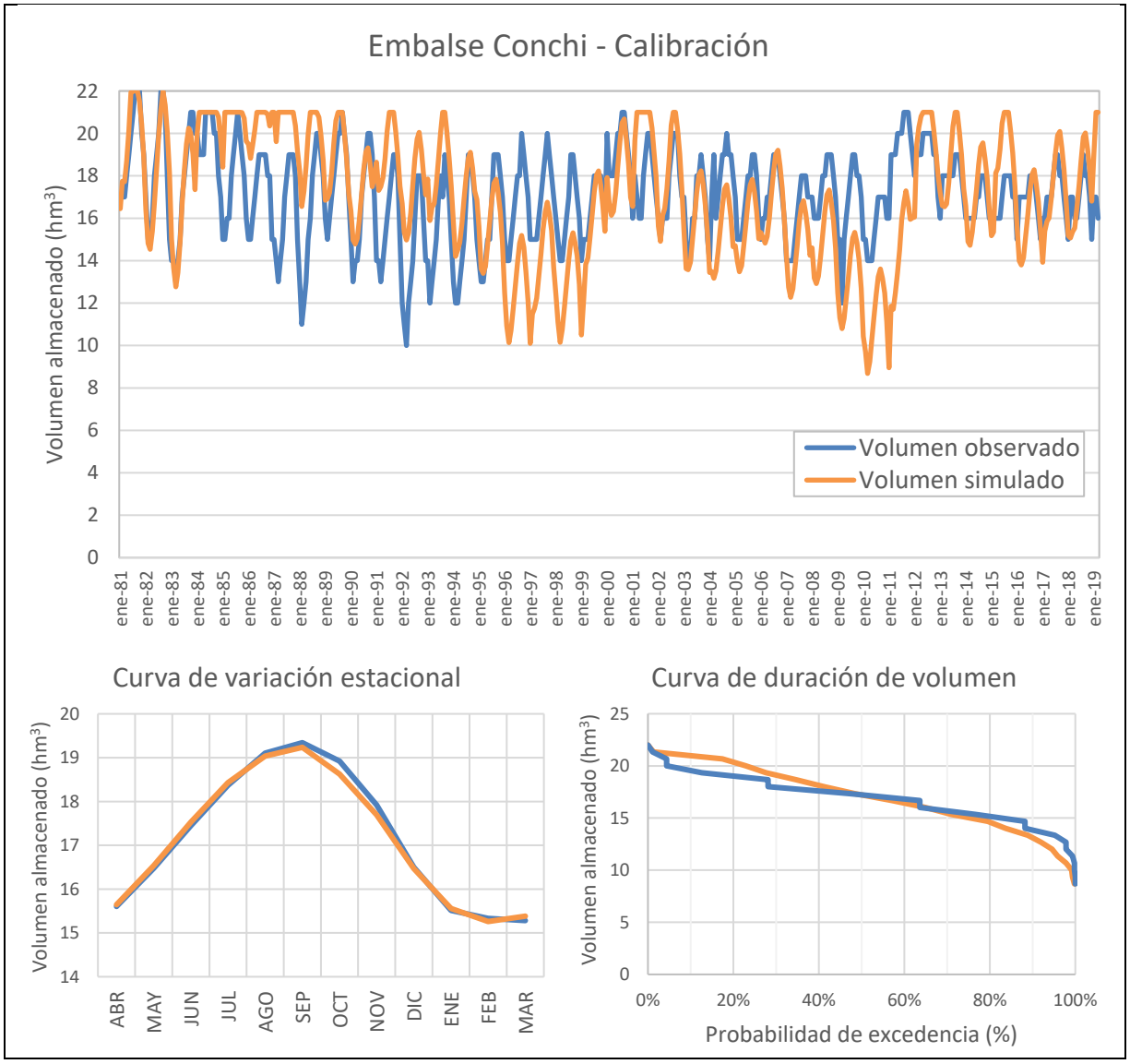
5.1.1.6 Verificación de Flujos Simulados para Elementos Operacionales

En el Anexo H, acápite 4.2.2, se presenta el detalle de la representación del embalse en el modelo acoplado junto con las aproximaciones topológicas consideradas para la representación del volumen embalsado.

A modo de ejemplo, se presenta el volumen reproducido del embalse Conchi, el que está ubicado en la parte baja de la zona alta de la cuenca. El embalse Conchi ha tenido un uso histórico orientado al abastecimiento del riego y posee una capacidad del orden de los 23 hm^3. Su afluente principal es el río Loa junta a todos sus esteros y quebradas de la zona alta, mientras que su oferta hídrica está ligada a la estación fluviométrica "Río Loa antes del embalse Conchi" y los aportes subterráneos del acuífero de Loa Alto. Esta obra entra en funcionamiento desde 1975, por lo que su tiempo de operación en el modelo corresponde a todo el periodo. La representación de los volúmenes modelados en el periodo de calibración se muestra en la Figura 5-8.

Desde la Figura 5-8 se extrae que la serie modelada del volumen almacenado a nivel mensual presenta diferencias con los volúmenes observados y reportados por DOH. La razón de aquello es que la regla de operación ingresada al modelo fue creada en base a los registros mensuales de la estación "Río Loa en salida embalse Conchi". Esta regla parametrizada difiere de los volúmenes vertidos históricamente, ya que la descarga de agua del embalse Conchi hacia los sectores aguas abajo se determina en base al contexto y condiciones actuales y no por una regla fija como se conceptualiza en el modelo. El fundamento de trabajar con una regla fija dependiente del volumen obedece a que se puede extrapolar hacia el futuro y modelar bajo escenarios de cambio climático. El detalle de la regla de operación se encuentra en el Anexo H acápite 2.2.9.

En términos del volumen almacenado promedio a nivel histórico, la serie modelada presenta una diferencia de -33.646 m^3, equivalentes a un -0,2% del volumen observado y reportado, lo cual es muy bajo e indica que, a pesar de diferencia puntuales, el comportamiento general de la modelación de volúmenes del embalse se encuentra adecuadamente representado, tal como se puede apreciar en la curva de variación estacional y en la curva de duración del volumen embalsado de la Figura 5-8.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-8: Resultados Calibración Embalse Conchi

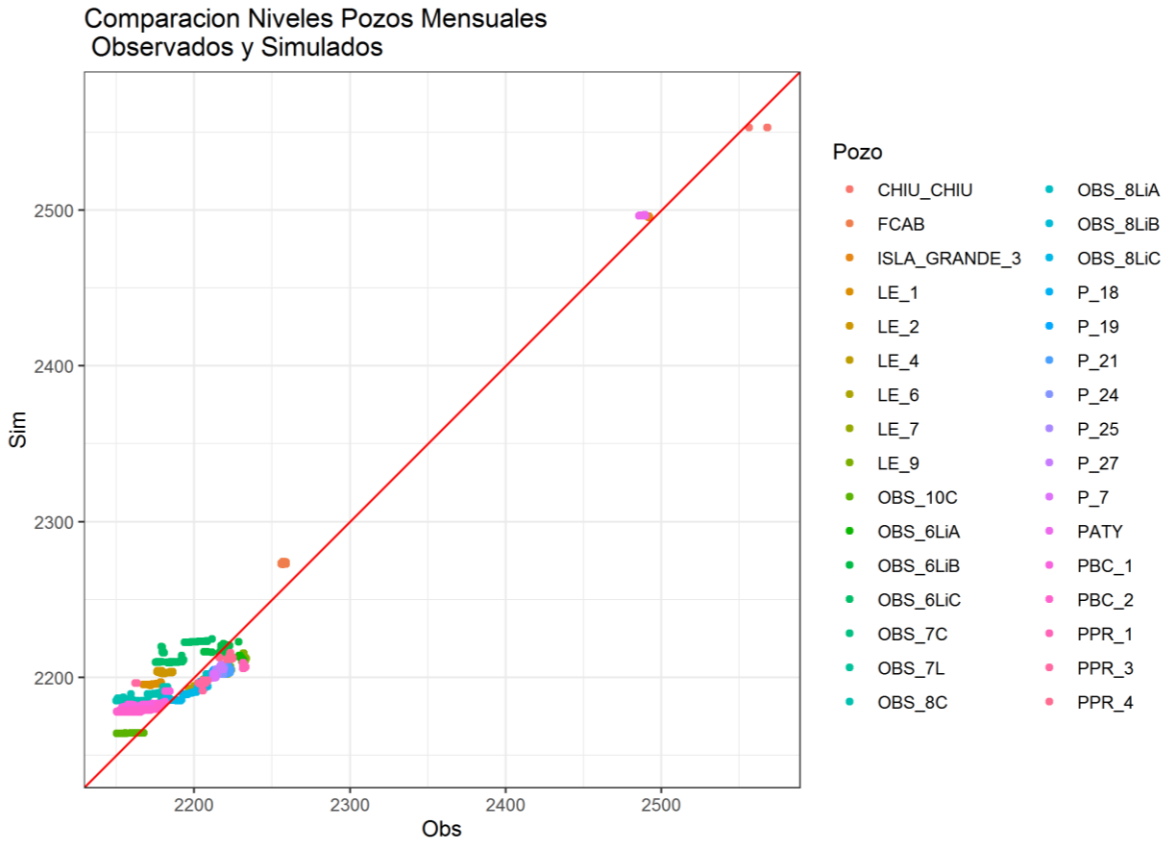
5.1.1.7 Niveles y Flujos Subterráneos

En esta sección se presenta un resumen de los resultados de la calibración subterránea del modelo acoplado en base a la información de los pozos listados en la Tabla 5-3. En la Figura 5-9 se muestra un diagrama de dispersión entre los niveles observados contra los simulados para todos los pasos de tiempo del modelo integrado. La concentración de las mediciones en los niveles se focaliza en el sector inmediatamente aguas debajo de la ciudad de Calama (Figura 4-17).

Tabla 5-3: Pozos de observación utilizados en el modelo

N°	Nombre	WGS 84 UTM 19S			Formación	Capa	Periodo
		Norte (m)	Este (m)	Cota (m s.n.m.)			
1	Aeropuerto	7.510.738,0	514.271,0	2.389	Opache	1	2000 – 2019
2	Chiu Chiu	7.529.542,0	541.305,0	2.568	Opache	1	2000 – 2019
3	FCAB	7.516.418,0	508.135,8	2.279	Calama	3	2001 – 2019
4	Isla grande 3	7.522.980,0	534.964,0	2.512	Opache	1	2000 – 2019
5	LE-1	7.516.480.9	502.674,3	2.225	Calama	3	2000 – 2011
6	LE-2	7.516.811,3	503.126,9	2.223	Calama	3	2000 – 2019
7	LE-4	7.515.406,3	502.631,9	2.209	Opache	1	2000 – 2011
8	LE-6	7.515.973,7	503.045,4	2.224	Opache	1	2003 – 2009
9	LE-7	7.514.733,2	503.840,1	2.228	Opache	1	2003 – 2009
10	LE-9	7.515.706,4	505.381,4	2.255	Opache	1	2003 – 2009
11	OBS-6LiA	7.515.706,4	505.373,9	2.254	Opache	1	2007 – 2012
12	OBS-6LiB	7.515.706,4	505.373,9	2.254	Jalquinche	2	2007 – 2018
13	OBS-6LiC	7.515.706,4	505.373,9	2.254	Calama	3	2007 – 2018
14	OBS-7C	7.513.699,5	500.481,3	2.151	Calama	3	2007 – 2019
15	OBS-7L	7.513.701,0	500.486,0	2.182	Opache	1	2007 – 2019
16	OBS-8C	7.514.298,2	503.399,7	2.223	Calama	3	2007 – 2019
17	OBS-8LiA	7.514.274,7	503.414,7	2.222	Opache	1	2007 – 2016
18	OBS-8LiB	7.514.274,7	503.414,7	2.222	Jalquinche	2	2007 – 2018
19	OBS-8LiC	7.514.274,7	503.414,7	2.222	Calama	3	2007 – 2018
20	OBS-10C	7.514.111,1	501.615,5	2.204	Calama	3	2008 – 2018
21	P-7	7.514.286,0	503.407,8	2.221	Opache	1	2005 – 2019
22	P-18	7.514.877,1	503.884,9	2.230	Opache	1	2007 – 2019
23	P-19	7.514.504,4	503.710,0	2.228	Opache	1	2005 – 2019
24	P-21	7.514.664,1	504.033,7	2.226	Opache	1	2000 – 2018
25	P-24	7.514.587,3	504.107,1	2.228	Opache	1	2005 – 2019
26	P-25	7.514.141,9	503.712,3	2.224	Opache	1	2005 – 2019
27	P-27	7.513.953,1	503.840,7	2.226	Opache	1	2005 – 2019
28	PATY	7.522.986,0	535.303,0	2.510	Opache	1	2004 – 2017
29	PBC-1	7.514.709,4	502.878,5	2.221	Calama	3	2007 – 2019
30	PBC-2	7.514.545,5	502.325,7	2.210	Calama	3	2007 – 2019
31	PPR-1	7.515.126,8	504.392,8	2.205	Opache	1	2000 – 2019
32	PPR-3	7.515.987,0	503.042,1	2.217	Opache	1	2000 – 2019
33	PPR-4	7.514.703,1	503.864,9	2.232	Opache	1	2000 – 2019

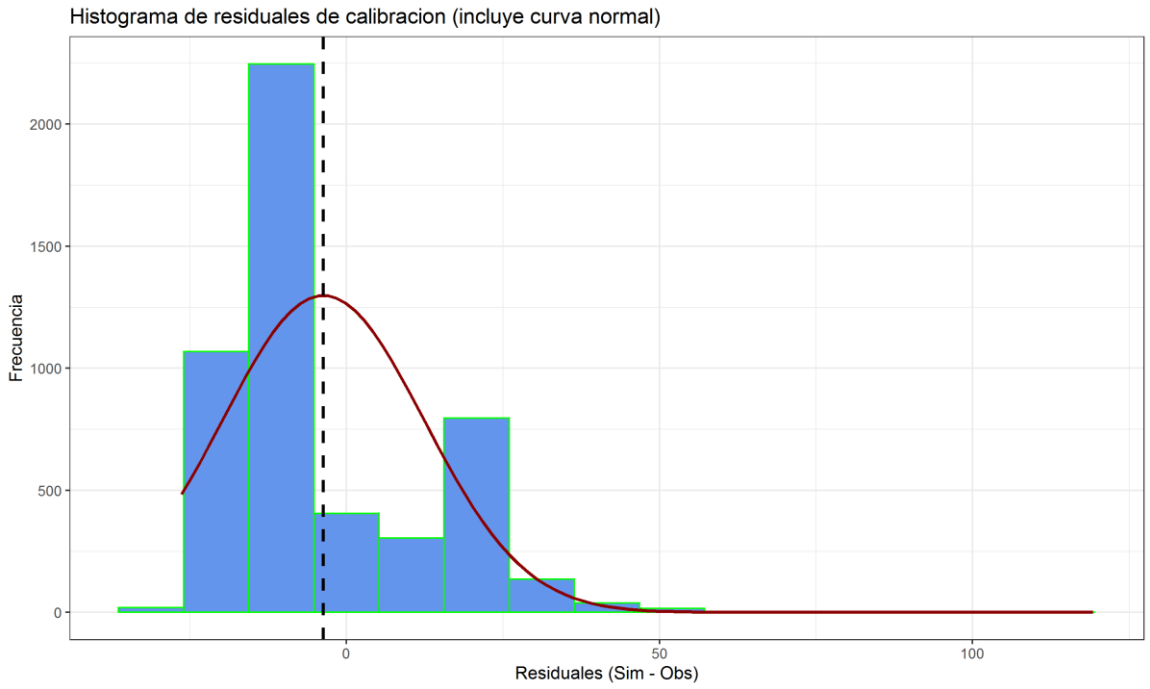
Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-9: Niveles observados contra simulados, periodo 1980-2020

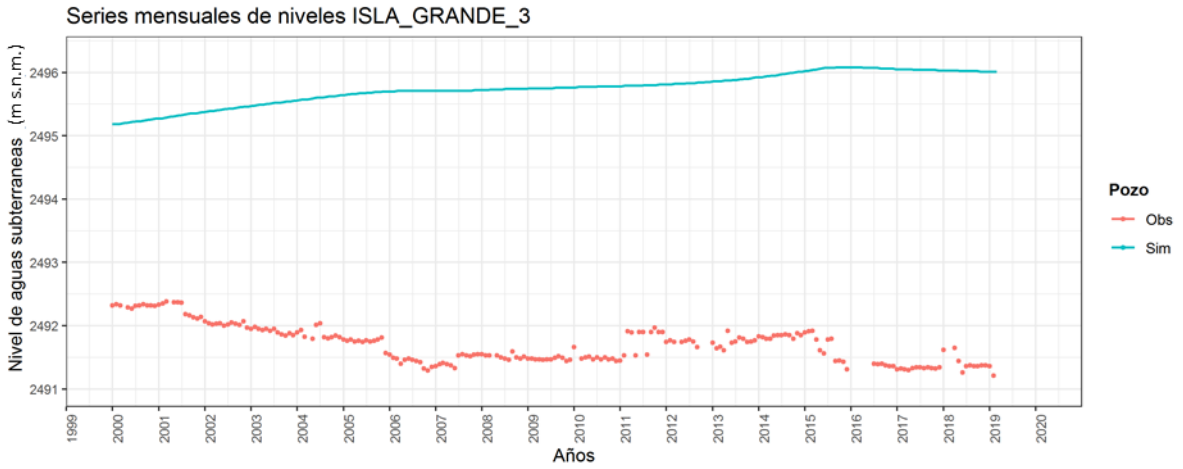
Además de la figura resumen de niveles observados contra simulados, se presenta como complemento en la Figura 5-10 el histograma de los residuos para todos los pozos observados, donde se aprecia que la media se encuentra centrada en torno a cero y el intervalo (-25;25) concentra la mayor cantidad de datos.



Fuente: Elaboración propia

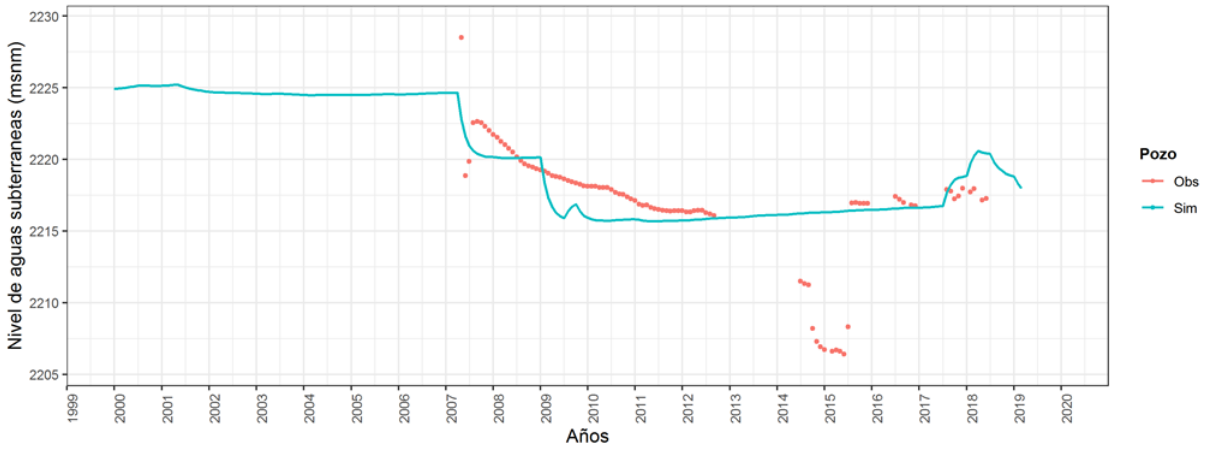
Figura 5-10: Histograma de residuales de pozos observados

Con respecto a los residuos, se deduce que hay algunos datos que corresponden a niveles dinámicos, que incrementan la dispersión en los residuos. Luego de procesar y limpiar los datos, aún quedan algunas incertidumbres con respecto a la precisión y uniformidad de las cotas, situaciones que quedan como brecha de pozos cercanos con varios metros de diferencia entre sus niveles. La Figura 5-11 y Figura 5-12 se presentan pozos con ajuste satisfactorio.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-11: Series mensuales de niveles pozo Isla Grande



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-12: Series mensuales de niveles pozo 6LIB

En el Apéndice A del Anexo H, se presentan las series de niveles de todos los pozos utilizados para la calibración.

5.1.1.8 Balance de acuíferos modelados

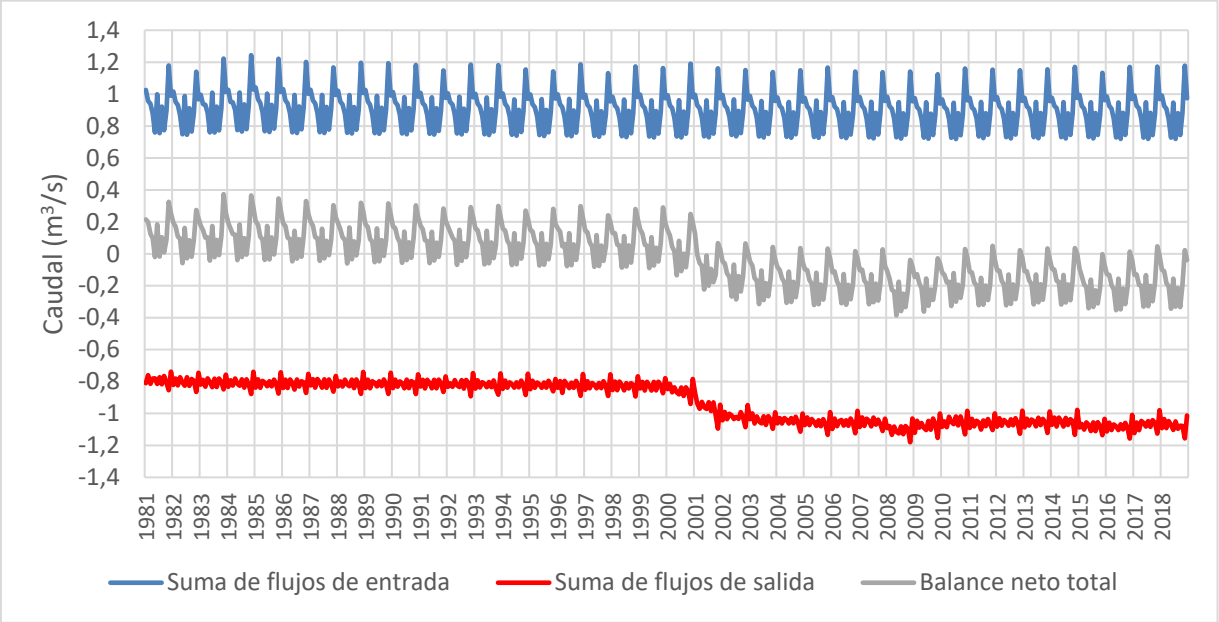
Para evaluar el comportamiento de los acuíferos modelados, se realizan balances a nivel mensual en todos los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común (SHAC) definidos en el modelo. La ubicación de estos SHACs se muestra en la Figura 4-18, mientras que la numeración empleada en el modelo para cada SHAC se muestra en la Tabla 5-4. El detalle de la conceptualización se puede consultar en el Anexo H acápite 2.2.3.

Tabla 5-4: Nomenclatura de SHACs empleada en modelo

Nombre	Acuífero
SHAC 01	Loa Alto
SHAC 02	San Pedro
SHAC 03	Salado
SHAC 04	Llalqui
SHAC 05	Calama (límite del modelo acoplado)
SHAC 05 02	Calama (fuera del modelo acoplado)
SHAC 06	Salar Miraje
SHAC 07	Llamara
SHAC 08	María Elena
SHAC 09	Loa Desembocadura
SHAC Chuqui	Chuquicamata

Fuente: Elaboración propia

El único SHAC modelado con el sistema acoplado WEAP - MODFLOW, corresponde al acuífero de Calama o SHAC 05. La Figura 5-13 muestra el resultado gráfico de la simulación mensual a nivel histórico del acuífero de Calama, donde se presentan con valores positivos aquellos flujos de entrada al acuífero y en negativo los flujos que representan las salidas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-13: Flujos a nivel mensual en periodo de calibración (1981 – 2019) del acuífero acoplado

En la Figura 5-13, los flujos de entrada al acuífero corresponden a la suma de la fracción de precipitación infiltrada; entradas subterráneas desde los acuíferos laterales Loa Alto, Salado, Llalqui y Chuquicamata; percolaciones de todas las zonas agrícolas ubicadas en Lasana, Chiu Chiu y Calama; infiltraciones de agua por parte del río Loa y del tranque Talabre; y pérdidas en la distribución y conducción en la red de agua potable de la empresa sanitaria. Los flujos de salida corresponden a las recuperaciones que presenta el río Loa y el río San Salvador; afloramientos naturales de la cuenca como las vertientes Ojos de Opache, Likantatay o Cascada; salidas subterráneas hacia el acuífero del Salar de Miraje; y extracciones antrópicas desde pozos de bombeo de carácter industrial y minero.

A partir del año 2000 la influencia que tiene la extracción subterránea industrial y minera en el sector aumenta notoriamente. Por esto, el balance neto global del acuífero de Calama para el periodo 2000 – 2019 es de especial interés para evaluar la situación histórica del acuífero.

La Tabla 5-5 detalla los resultados del modelo WEAP – MODFLOW acoplado para el balance hídrico en el acuífero de Calama en el periodo donde las extracciones antrópicas de agua subterránea están activas, concluyendo un balance neto global de -101 (l/s). Un valor negativo que expone que el almacenamiento de agua está en constante descenso.

Tabla 5-5: Balance neto global del acuífero de Calama. Periodo 2000 – 2019

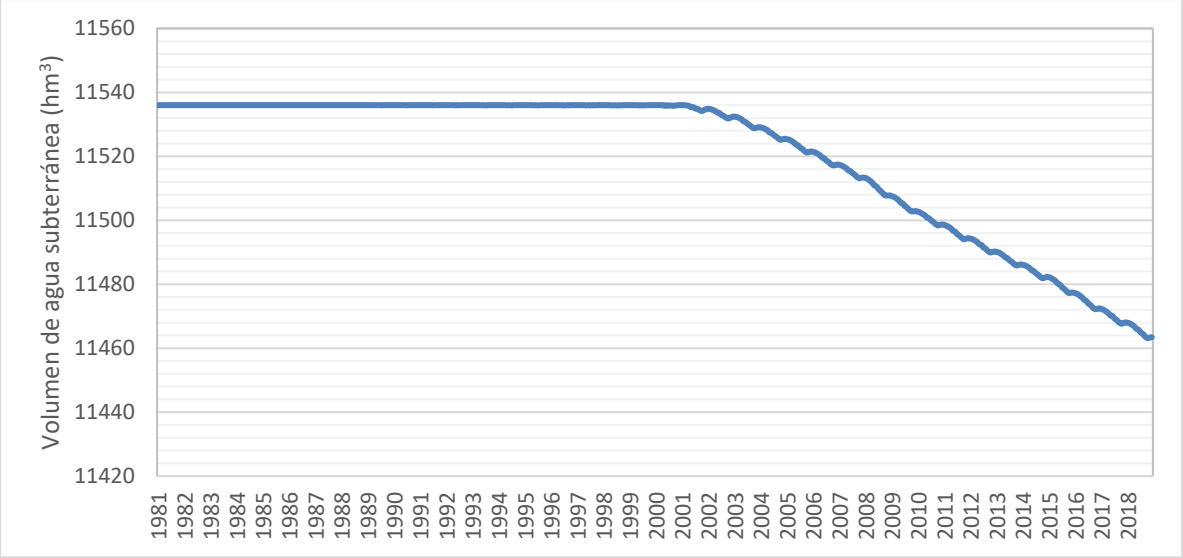
Entradas (l/s)		
Flujo Subterráneo	SHAC 01 - Loa Alto (N)	151
	SHAC 03 - Salado (NE)	262
	SHAC 04 - Llalqui (SE)	238
	SHAC Chuquicamata (NO)	34
Recarga	Precipitación Calama	1
	Zonas agrícolas	166
	Pérdidas desde río	0
	Infiltración tranque Talabre	20
	Pérdidas agua potable	76
Suma de entradas		948

Salidas (l/s)		
Flujo Subterráneo	SHAC Salar de Miraje	-150
Descarga	Recuperación río / Afloramientos	-710
	Bombeos agrícolas	0
	Bombeos minería / industria	-189
Suma de salidas		-1.049

Balance neto (l/s)	-101

Fuente: Elaboración propia

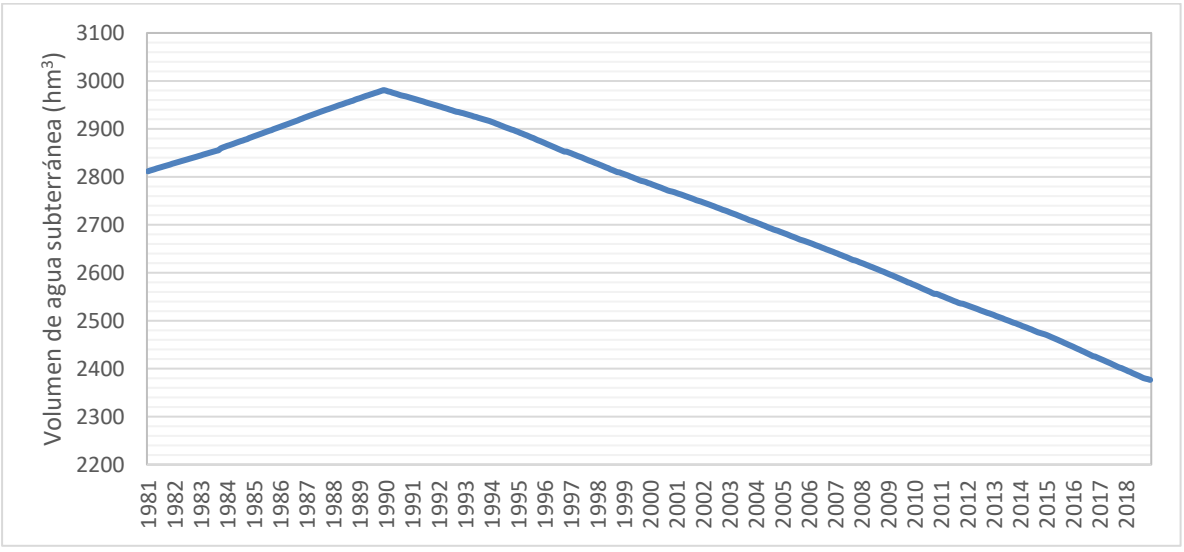
La Figura 5-14 es la evolución histórica del almacenamiento de agua del acuífero de Calama y confirma que desde que entraron en funcionamiento los pozos de bombeo a principios del año 2000, la reserva de agua subterránea presenta una tendencia negativa.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-14: Evolución histórica del almacenamiento de agua del Acuífero de Calama

La evolución del almacenamiento total de agua subterránea de otro acuífero de interés, como el de San Pedro, recientemente declarado como zona de prohibición (DGA, 2021) se presenta en la Figura 5-15. El balance hidrogeológico en el periodo de interés 2000 – 2019 de este acuífero se muestra en la Tabla 5-6.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-15: Evolución del almacenamiento de agua de acuífero San Pedro

Tabla 5-6: Balance subterráneo acuífero San Pedro (m^3/s), periodo 2000 – 2019

Mes	Infiltración superficial	Flujo subterráneo hacia SHAC 01	Extracciones subterráneas	Balance mensual
Abr	0,60	-0,05	-1,22	-0,67
May	0,57	-0,05	-1,23	-0,70
Jun	0,59	-0,05	-1,23	-0,68
Jul	0,57	-0,05	-1,23	-0,71
Ago	0,57	-0,05	-1,23	-0,71
Sep	0,58	-0,05	-1,23	-0,70
Oct	0,54	-0,05	-1,23	-0,73
Nov	0,55	-0,05	-1,23	-0,72
Dic	0,53	-0,05	-1,23	-0,74
Ene	0,64	-0,05	-1,23	-0,63
Feb	0,76	-0,05	-1,23	-0,51
Mar	0,60	-0,05	-1,23	-0,68
Media	0,59	-0,05	-1,23	-0,68

Fuente: Elaboración propia

La Figura 5-15 y Tabla 5-6 muestra que el acuífero de San Pedro está sometido a un gran estrés hídrico, ya que su balance global es ampliamente negativo, con un descenso constante de 0,68 m^3/s. Esto es debido a la gran magnitud de las extracciones subterráneas que ocurren en aquel acuífero. Para más detalle de la magnitud de extracciones consultar Anexo H acápite 2.4.

A pesar de contar con una recarga natural de 0,59 m^3/s, la mayor recarga de todos los acuíferos modelados, no es posible contrarrestar el efecto de las extracciones antrópicas, por lo que se genera un pronunciado descenso en los niveles. Las consideraciones empleadas para el cálculo de la recarga se exponen en el Anexo H sección 6.3.3.2. Este descenso también se registra en los niveles freáticos de franjas y drenes en base a la lectura de niveles de aguas en sondajes de control que CODELCO emplaza en la zona y reporta según lo indicado en la Resolución DGA II R N°763, donde se registran tasas de descenso entre 30 a 50 cm/año. El detalle del descenso es presentado en la Tabla 5-7.

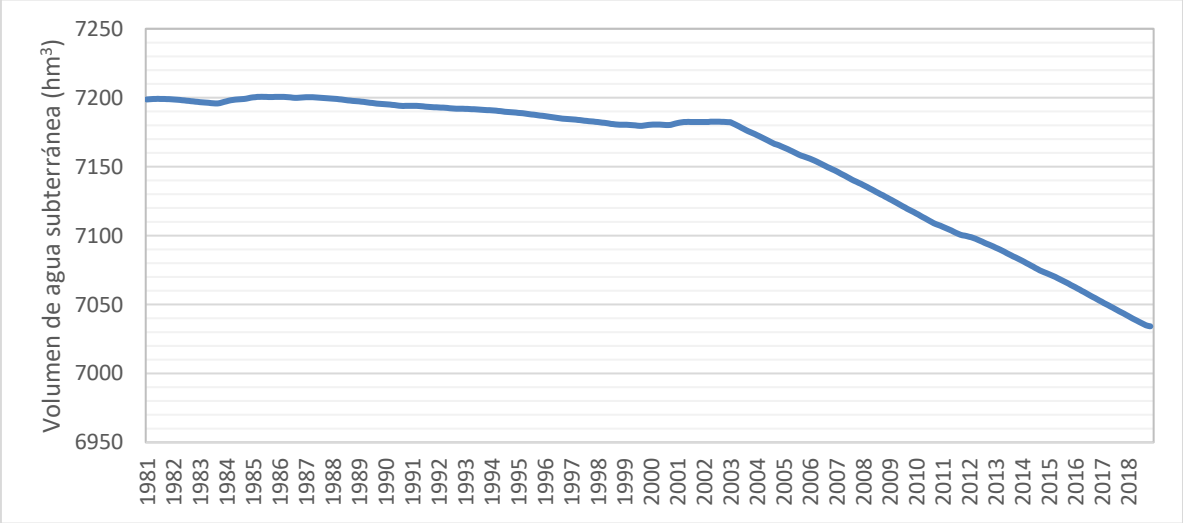
Tabla 5-7: Niveles de pozos de observación en acuífero San Pedro

Nombre	Profundidad (diciembre 2015) (m)	Profundidad (septiembre 2018) (m)	Cota (m s.n.m.)	Descenso (cm/año)
B4	12,35	13,43	3.805	-39,3
CHU-5B	16,97	17,19	3.786	-8,0

Nombre	Profundidad (diciembre 2015) (m)	Profundidad (septiembre 2018) (m)	Cota (m s.n.m.)	Descenso (cm/año)
CHU-2B	-	-	-	-
CHU-6B	90,28	91,65	3.876	-49,8
Dren 1	11,93	-	3.796	-
Dren 2	11,93	-	3.794	-
Dren 3	11,93	-	3.791	-
Zanja a	8,25	9,13	3.792	-32,0
Zanja b	8,25	9,13	3.792	-32,0
Zanja c	8,25	9,13	3.795	-32,0

Fuente: Elaboración propia en base a reportes de CODELCO

Se expone también el balance hidrogeológico del Salar de Llamara, el que fue declarado área de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas a partir del año 2012 (DGA, 2012c). La Figura 5-16 muestra la evolución del agua almacenada en el SHAC y la Tabla 5-8 el balance en el periodo de interés 2000 – 2019.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-16: Evolución del almacenamiento de agua del Salar de Llamara

Tabla 5-8: Balance subterráneo Salar de Llamara (m^3/s) (2000 – 2019).

Mes	Infiltración superficial	Afloramientos	Flujo subterráneo SHAC 09	Extracciones subterráneas	Balance mensual
Abr	0,08	-0,07	-0,02	-0,19	-0,20
May	0,07	-0,06	-0,02	-0,19	-0,20
Jun	0,07	-0,07	-0,02	-0,20	-0,22

Mes	Infiltración superficial	Afloramientos	Flujo subterráneo SHAC 09	Extracciones subterráneas	Balance mensual
Jul	0,06	-0,07	-0,02	-0,20	-0,23
Ago	0,06	-0,07	-0,02	-0,20	-0,24
Sep	0,05	-0,08	-0,02	-0,20	-0,25
Oct	0,04	-0,08	-0,02	-0,20	-0,26
Nov	0,04	-0,08	-0,02	-0,20	-0,26
Dic	0,03	-0,07	-0,02	-0,20	-0,26
Ene	0,04	-0,07	-0,02	-0,20	-0,25
Feb	0,08	-0,07	-0,02	-0,20	-0,22
Mar	0,09	-0,06	-0,02	-0,20	-0,20
Media	0,06	-0,07	-0,02	-0,20	-0,23

Fuente: Elaboración propia

En este sector existen importantes extracciones subterráneas antrópicas, las que aportan con tasas de descenso de hasta 0,2 m^3/s. Esto, sumado a los afloramientos propios del sector Quebrada Amarga y la limitada recarga superficial a lo largo del año concluyen en un balance hídrico negativo.

Este descenso también se registra en el Plan de Seguimiento Ambiental de Tamarugos del proyecto Aducción Llamara (PAS Llamara) de parte de SQM S.A, con RCA N°032/05, donde se reportan resultados referentes al nivel de la napa subterránea a través de la red de monitoreo de pozos existente en el Salar de Llamara. Los registros determinan tasas de descenso que alcanzan hasta 266,9 cm/año en la ubicación de pozos de bombeo. El detalle del descenso es presentado en la Tabla 5-9.

Tabla 5-9: Niveles en pozos de observación y bombeo en Salar de Llamara

Nombre	Distancia al pozo de bombeo 3X16A (m)	Profundidad (diciembre 2005) (m)	Profundidad (enero 2019) (m)	Descenso (cm/año)
3X16A	0	3,3	38,0	266,9
PO-6a	37	3,9	16,2	93,8
PO-7a	153	4,0	15,6	90,0
PO-2a	1.157	6,7	14,2	57,7
PO-5	156	4,2	14,0	75,4
PO-3	271	4,4	13,2	67,7
PO-4	811	5,1	11,4	48,5
PO-8	1.500	4,6	8,3	28,5
PO-1	2.100	5,9	7,6	13,1

Fuente: Elaboración propia con antecedentes SQM (2020)

Finalmente, para los demás SHACs modelados en WEAP, los resultados muestran que los acuíferos que no están sometidos a extracciones de agua de origen antrópico presentan en un estado cercano al equilibrio o con descensos muy leves, como los acuíferos de Loa Alto, Salado y Llalqui, mientras otros acuíferos con presencia de pozos, como Pampa Puno, exhiben balances de agua netos negativos. Un resumen del balance hidrogeológico para toda la cuenca se presenta en la Tabla 5-10, mientras que los balances detallados para cada SHAC se encuentran en el Anexo H acápite 4.2.4.

Tabla 5-10: Balance hidrogeológico por SHAC, periodo 2000 – 2019

SHAC	01	02	03	04	05	06
Entradas (l/s)						
Flujo subterráneo	49	0	0	232	685	150
Recarga desde río	38	49	47	0	0	4
Recarga superficial	372	543	544	2	263	0
Total	458	592	592	234	948	154
Salidas (l/s)						
Flujo subterráneo	-270	-49	-494	-238	-150	-153
Afloramiento río	-195	0	-96	0	-710	0
Pozos de bombeo	0	-1.225	0	0	-189	-44
Total	-465	-1.274	-590	-238	-1.049	-197
Balance (l/s)						
Variación de almacenamiento	-7	-682	2	-4	-101	-42
SHAC	**07**	**08**	**09**	**Puno**	**Chuqui**	**Total**
Entradas (l/s)						
Flujo subterráneo	0	153	147	0	0	1.416
Recarga desde río	0	3	33	0	0	173
Recarga superficial	0	1	16	44	0	1.785
Total	0	157	196	44	0	3.375
Salidas (l/s)						
Flujo subterráneo	-23	-124	-6	0	-34	-1.541
Afloramiento río	-70	0	-152	0	0	-1.223
Pozos de bombeo	-196	0	0	-36	0	-1.689
Total	-289	-124	-158	-36	-34	-4.454
Balance (l/s)						
Variación de almacenamiento	-289	33	38	9	-34	-1.078

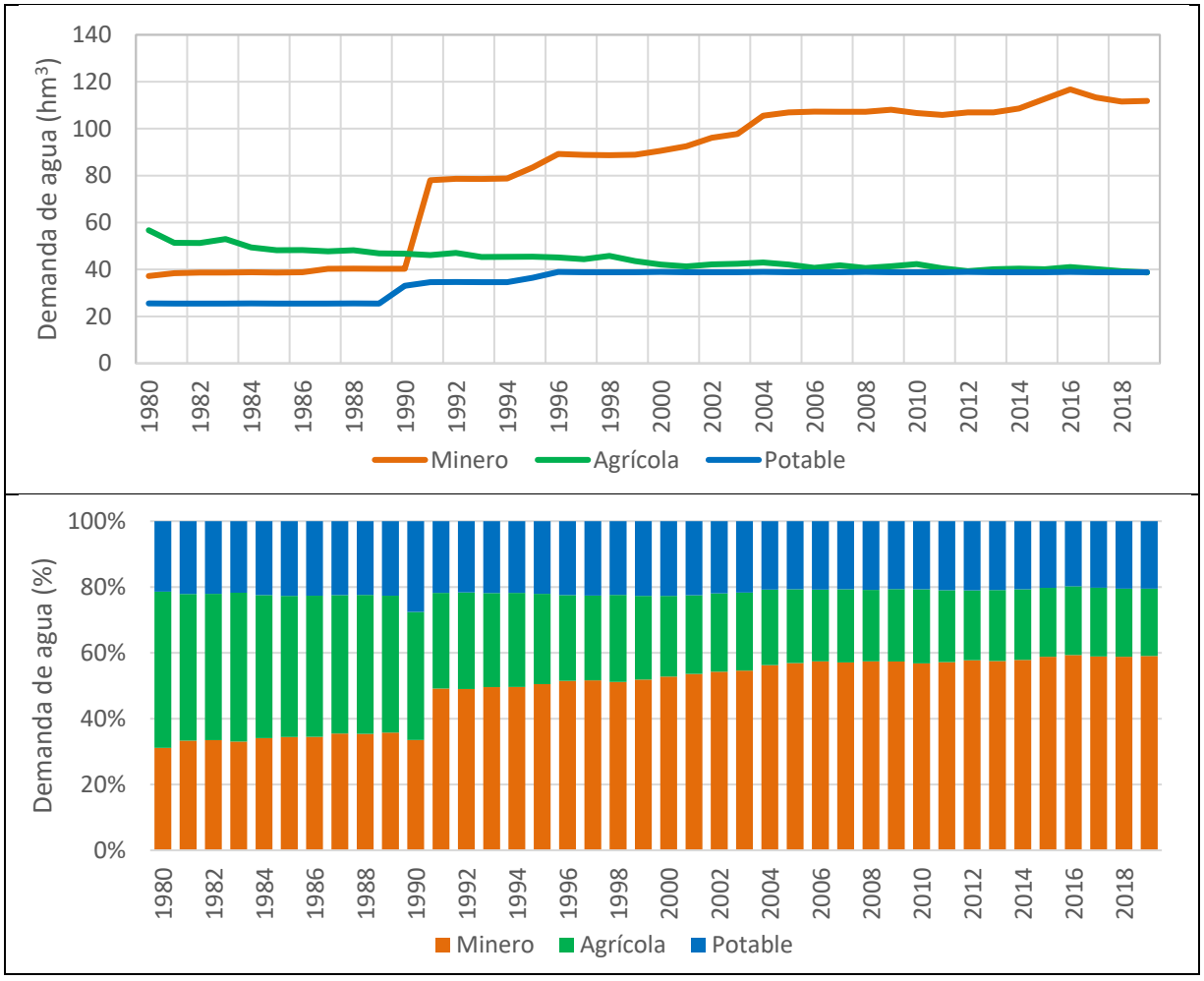
Fuente: Elaboración propia

El resultado del balance hidrogeológico para toda la cuenca del río Loa indica que existe una tasa de decaimiento del recurso almacenado de -1.078 l/s, equivalente a -34,0 hm^3/año en la ventana temporal 2000 – 2019.

5.1.1.9 Demanda de agua y Brecha Hídrica

La demanda de agua y brecha hídrica en la cuenca del río Loa se determina a través de los reportes "Demanda de Agua" (*Water Demand*) y "Demanda No Satisfecha" (*Unmet Demand*) del modelo WEAP, respectivamente, obteniéndose dichos términos para aquellos elementos 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.

A continuación, se presentan en la Figura 5-17 las demandas de agua del modelo WEAP según la información ingresada a éste y detallada en el capítulo 2 del Anexo H.

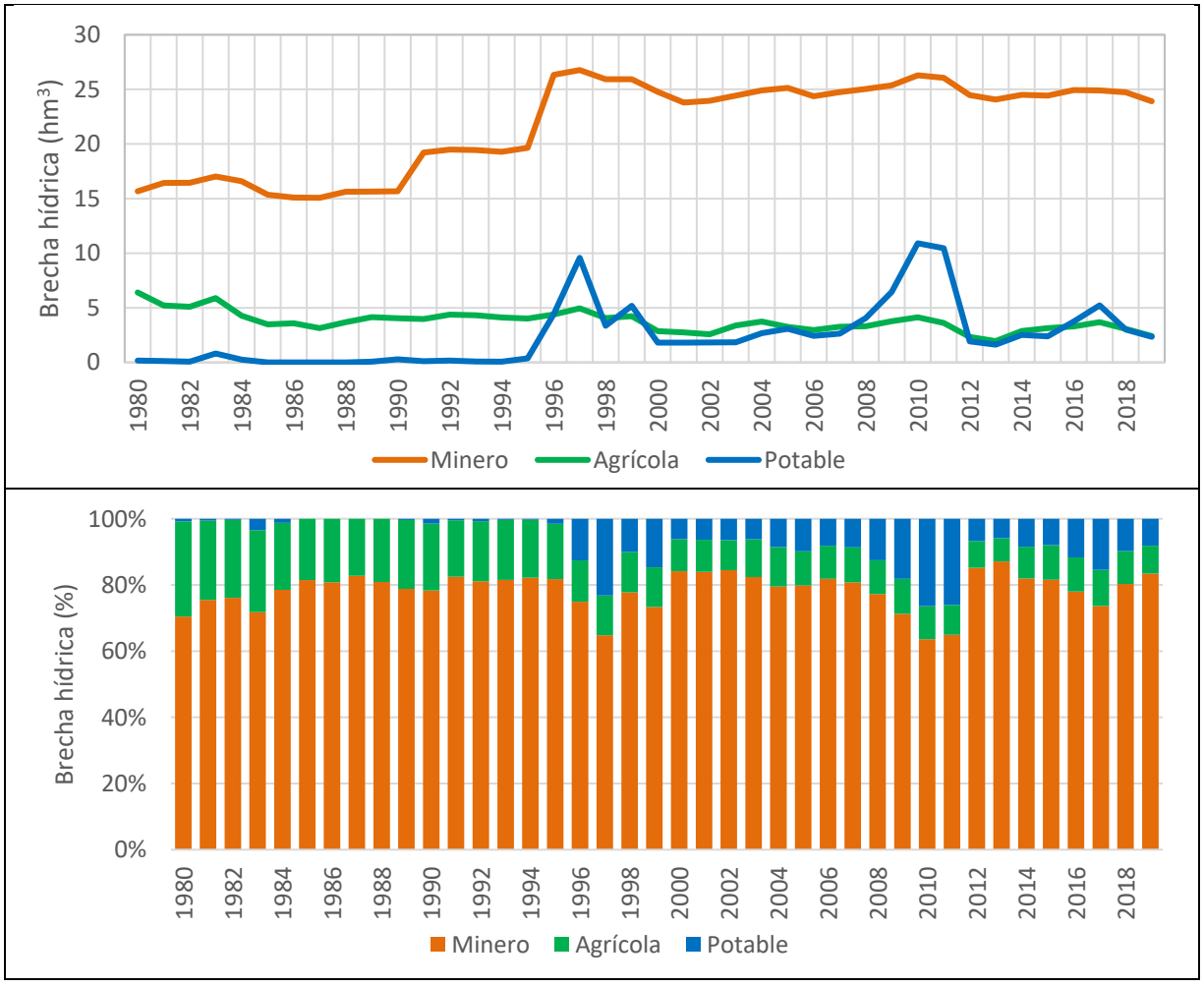


Fuente: Elaboración propia

Figura 5-17: Demanda de agua en cuenca del río Loa por tipo de demanda (panel superior) y como porcentaje del total (panel inferior)

Es claro que a partir de 1990 la demanda hídrica asociada a la minería es la predominante en la cuenca, llegando en 2019 a requerir 118,8 hm^3. Considerando que la demanda total en la cuenca para aquel año es de 192,2 hm^3, en la situación actual el sector minero abarca el 58,2% de la demanda bruta consuntiva en toda la cuenca.

A continuación, se presenta en la Figura 5-18 la brecha hídrica en la cuenca. Se aprecia que esta es mayoritariamente asociada al sector minero, obteniendo un 78% en promedio en todo el periodo de modelación (23,9 hm^3 al año 2019). Esto es esperable ya que es también este sector el que demanda más agua en la cuenca. Por otro lado, se encuentran brechas menores para la agricultura y el consumo humano, alcanzado un 13% y 9%, respectivamente (2,4 hm^3 y 2,3 hm^3 al año 2019).



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-18: Brecha hídrica en cuenca del río Loa por tipo de demanda (panel superior) y como porcentaje del total (panel inferior)

5.1.1.10 Análisis de Sensibilidad

Se realiza un análisis de sensibilidad de primer orden de forzantes meteorológicas para el modelo WEAP de la cuenca, donde se perturba la precipitación en un -10, -5, +5 y +10 % y la temperatura en -2, -1, +1 y +2 °C. La métrica objetivo de comparación corresponde a la variación porcentual con respecto del caudal medio anual histórico para el periodo de calibración 1981 – 2019 (Q_{MA}), los que se muestran en la Tabla 5-11 y Tabla 5-12.

Tabla 5-11: Variación porcentual del Q_{MA} para perturbaciones de precipitación

Punto de control	Q_{MA} (m^3/s)	Δ Precipitación (%)			
		-10	-5	+5	+10
Río Loa en represa Lequena	0,61	-6,2	-3,1	3,2	6,5
Río Loa en Vado Santa Bárbara	0,73	-7,1	-3,7	3,8	7,8
Río Toconce antes de represa Sendos	0,50	-7,1	-3,6	3,8	7,8
Río Salado antes río Curti	0,25	-21,3	-11,0	11,8	24,4
Río Salado en sifón Ayquina	0,25	-18,1	-9,5	10,9	22,2
Río Salado A.J. Loa	0,63	-11,9	-6,2	6,9	14,0
Río Loa en Yalquincha	1,35	-9,1	-4,7	5,2	10,7
Río Loa en Escorial	1,34	-9,2	-4,7	5,2	10,8
Río Loa en Finca	0,62	-19,9	-10,4	11,5	23,5
Río Loa D.J. San Salvador	0,72	-17,0	-8,9	9,8	20,2
Río Loa en Quillagua	0,58	-21,3	-11,1	12,3	25,2
Río Loa en Desembocadura	0,40	-31,0	-16,3	18,0	36,8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-12: Variación porcentual del Q_{MA} para perturbaciones de temperatura

Punto de control	Q_{MA} (m^3/s)	Δ Temperatura (°C)			
		-2	-1	+1	+2
Río Loa en represa Lequena	0,61	3,5	1,7	-1,6	-3,1
Río Loa en Vado Santa Bárbara	0,73	3,8	1,9	-1,7	-3,3
Río Toconce antes de represa Sendos	0,50	3,2	1,6	-1,5	-2,9
Río Salado antes río Curti	0,25	9,7	4,7	-4,4	-8,5
Río Salado en sifón Ayquina	0,25	7,1	3,5	-2,8	-5,4
Río Salado A.J. Loa	0,63	5,1	2,5	-2,2	-4,2
Río Loa en Yalquincha	1,35	4,9	2,4	-2,1	-4,0
Río Loa en Escorial	1,34	4,9	2,4	-2,1	-4,0
Río Loa en Finca	0,62	15,4	7,6	-6,8	-12,9
Río Loa D.J. San Salvador	0,72	13,2	6,5	-5,8	-11,1
Río Loa en Quillagua	0,58	16,5	8,2	-7,3	-13,9
Río Loa en Desembocadura	0,40	24,7	12,2	-10,9	-20,8

Fuente: Elaboración propia

5.1.2 Situación proyectada

La situación proyectada comprende la decisión del modelo de circulación general a adoptar para la cuenca como también el escenario base sobre el cual se implementarán los escenarios de gestión. A continuación, se presenta la toma de decisiones de estos aspectos para la cuenca.

5.1.2.1 Selección de Modelo de Circulación General disponibles

En el Anexo H, acápite 5.1.1.1 se presenta el detalle de la selección de los modelos de circulación general disponibles (MCG). Como resumen, la elección se enmarca en la metodología empleada en la Actualización del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2017a). 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; y IPSL-CMSA-LR. los modelos agrupan 4 condiciones de sensibilidad, desde una baja extrema hacia un alta extrema y son ejecutados por centros científicos de diversos lugares en el mundo (USA, Francia, Japón y Australia).

Cada modelo 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, los MCG seleccionados para forzar los escenarios futuros deben tener un comportamiento conservador, por tanto, como prioridad 1 y 2 para ser evaluados fueron escogidos los MCG CSIRO y MIROC, los cuales proyectan una disminución promedio en las precipitaciones de -37,7% y -3,1% para la ventana temporal 2020 – 2050, respectivamente. Para la temperatura ambos MCG proyectan un aumento de 1,9 °C.

Para evaluar y comparar los escenarios futuros base bajo las condiciones impuestas por las variaciones de los dos MCG seleccionados, se construyeron nuevas series de forzantes meteorológicas en base al método delta o "Delta Change" (Hawkings et al., 2013). El detalle de esta metodología se presenta en el Anexo F.

Los dos escenarios base toman por nombre ECC CSIRO y ECC MIROC, y tienen asociadas las forzantes que llevan el mismo nombre. Para mayor detalle de las características de los escenarios, como las demandas futuras, se puede consultar el Anexo H acápite 5.1.1.2.

i. E CC: MCG CSIRO

En el acápite 5.1.1.2 del Anexo H se presentan las figuras y el resumen de resultados del modelo CSIRO.

ii. E CC: MCG MIROC

En el acápite 5.1.1.2 del Anexo H se presentan las figuras y el resumen de resultados del modelo MIROC.

iii. Comparaciones de Resultados E1 CC y E2 CC

Para realizar el análisis comparativo en términos de almacenamientos en sectores acuíferos, flujos superficiales y volumen embalsado. Los dos modelos fueron comparados en con un tercer escenario futuro base referencial, el cual consiste en repetir las forzantes de calibración y es denominado "Reference".

En el acápite 5.1.1.2 del Anexo H se presenta el detalle de la comparación entre ambos escenarios de manera de poder decidir con qué escenario evaluar a futuro

5.1.2.2 Modelo de cambio global seleccionado para evaluar escenarios

En el Anexo H acápite 5.1.1.3 se detalla el modelo de circulación seleccionado. El modelo escogido para la cuenca fue el modelo MIROC. En este sentido, el escenario de cambio climático con MCG MIROC se denomina ECC 1.

5.1.2.3 ECC 1: Caso Base

En el Anexo H, acápite 5.1.1.2, se presenta el detalle de la conceptualización del Escenario 1, Caso Base. Como resumen, la simulación futura de la cuenca corresponde a la situación en la cual la oferta natural de la cuenca está dada por la implementación de las forzantes meteorológicas obtenidas del MCG MIROC, bajo las mismas condiciones de demanda futura establecidas en el acápite anterior.

La importancia de la elección del escenario base de cambio climático es que todos los demás escenarios de gestión de iniciativas a nivel de cuenca que se explican en el acápite 5.3 más adelante, tienen integradas las forzantes climáticas futuras del este escenario base (ECC 1).

El balance hidrogeológico proyectado por el ECC1 para toda la cuenca del río Loa se presenta en la Tabla 5-13. Se estima que existe una tasa de decaimiento del recurso almacenado de -1.220 l/s, equivalente a -38,5 hm^3/año en la ventana temporal futura 2021 – 2050.

Tabla 5-13: Balance hidrogeológico proyectado por SHAC, periodo 2021 – 2050

SHAC	01	02	03	04	05	06
Entradas (l/s)						
Flujo subterráneo	39	0	0	230	661	150
Recarga desde río	38	48	45	0	0	4
Recarga superficial	368	536	484	3	288	1
Total	445	584	529	233	950	154
Salidas (l/s)						
Flujo subterráneo	-270	-39	-489	-238	-150	-152
Afloramiento río	-194	0	-96	0	-774	0
Pozos de bombeo	0	-1.123	0	0	-239	-48
Total	-464	-1.161	-584	-238	-1.164	-200
Balance (l/s)						
Variación de almacenamiento	-20	-577	-56	-5	-214	-45
SHAC	**07**	**08**	**09**	**Puno**	**Chuqui**	**Total**
Entradas (l/s)						
Flujo subterráneo	0	152	147	0	0	1.379
Recarga desde río	0	3	33	0	0	170
Recarga superficial	0	1	15	44	0	1.741
Total	0	156	195	44	0	3.290
Salidas (l/s)						
Flujo subterráneo	-22	-125	-6	0	-14	-1.504
Afloramiento río	-68	0	-154	0	0	-1.286
Pozos de bombeo	-251	0	0	-59	0	-1.720
Total	-341	-125	-160	-59	-14	-4.510
Balance (l/s)						
Variación de almacenamiento	-341	31	35	-15	-14	-1.220

Fuente: Elaboración propia

5.2 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.

5.2.1 Oferta hídrica sustentable superficial

Para el cálculo de la oferta hídrica sustentable de tipo superficial se emplea la metodología expuesta en el Anexo F del presente informe, la cual define nueve sectores de interés y puntos de control mostrados en la Figura 5-19. Este análisis se sustenta en los resultados entregados por la misma configuración base del modelo WEAP-MODFLOW utilizado en la calibración (ver acápite 5.1.1 más atrás), pero ahora con la premisa de no existencia de intervención antrópica dentro de la cuenca, es decir, como cuenca en régimen natural.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-19: Puntos de control en la cuenca del río Loa para determinar la oferta natural de la fuente

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.

En caso del embalse Conchi, esta obra de regulación se considera como activa dentro del régimen natural, ya ejerce un control hidráulico fundamental y modifica la variabilidad interanual de los caudales en los sectores medios y bajos del río Loa desde antes del inicio de la modelación hidrológica, además de existir DAA de las zonas agrícolas de Lasana, Chiu Chiu, Yalquincha y Calama que presentan una distribución de uso mensual asociadas a las descargas del embalse.

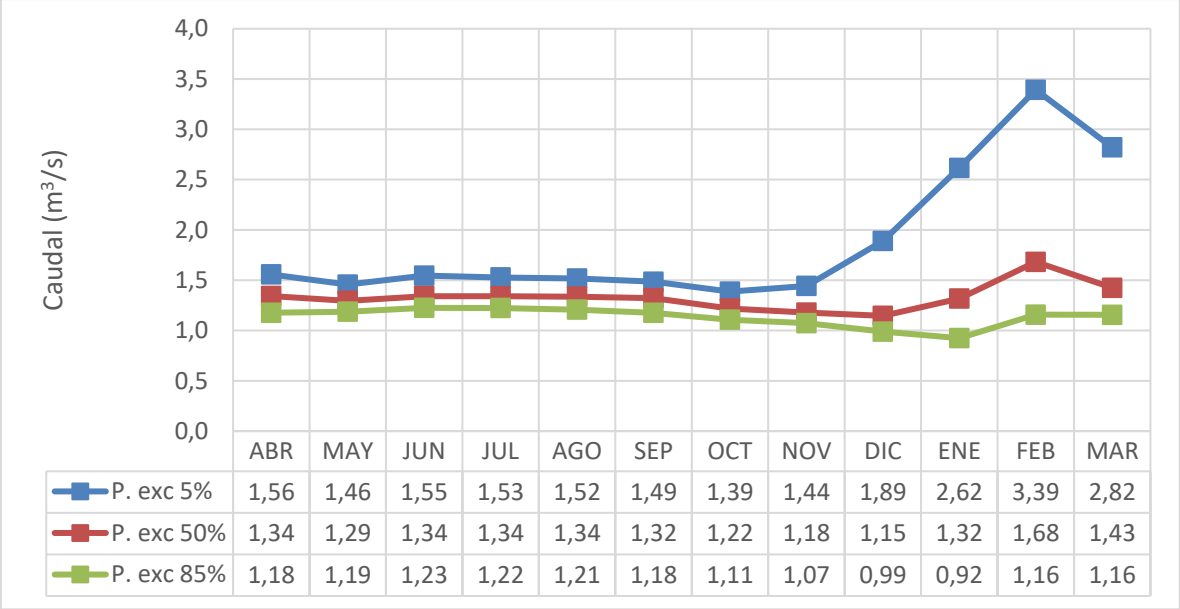
Finalmente, requerimientos naturales de agua como la evaporación desde los ríos, afloramientos o infiltraciones a acuíferos se mantienen vigentes, así como también el consumo de la vegetación nativa que se desarrolla en las riberas, que se considera satisfecho en base a las propias infiltraciones del río.

5.2.1.1 Curvas de variación estacional

Para cada punto de control mostrado en la Figura 5-19, se generan las curvas de variación estacional de caudales en régimen natural para una probabilidad de excedencia de un 5%, 50% y 85%. La Figura 5-20 muestra las curvas asociadas al sector Loa Alto, mientras que las ocho restantes se pueden consultar en el Anexo H acápite 5.2.1.1.

Las curvas de variación estacional muestran que, para sectores elevados y cercanos a la cordillera, existe un claro régimen dominante de precipitaciones de verano. Esto concuerda con la información recopilada de la zona, la cual se ve fuertemente afectada por lluvias orográficas causadas por masas de aire provenientes de la región del Amazonas durante la estación lluviosa, la que se da mayoritariamente en los meses de diciembre a marzo.

Para los sectores intermedios de la cuenca, también se registran curvas de variación estacional con máximos en los meses de verano, pero en este es por las descargas estacionales de caudal del embalse Conchi que libera para satisfacer los DAA o para liberar espacio en caso de crecidas importantes.



	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
P. exc 5%	1,56	1,46	1,55	1,53	1,52	1,49	1,39	1,44	1,89	2,62	3,39	2,82
P. exc 50%	1,34	1,29	1,34	1,34	1,34	1,32	1,22	1,18	1,15	1,32	1,68	1,43
P. exc 85%	1,18	1,19	1,23	1,22	1,21	1,18	1,11	1,07	0,99	0,92	1,16	1,16

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-20: Curva de variación estacional de caudales en régimen natural del sector Loa Alto. Periodo 1981 – 2019

Finalmente, para el río San Salvador y la Quebrada Amarga sus comportamientos escapan de lo típico de la cuenca, sin embargo, esto es debido a que sus aportes provienen mayoritariamente de los afloramientos de agua subterránea desde el acuífero.

5.2.1.2 Actualización de los DAA otorgados y en trámite de todo tipo

En este acápite se presenta la extracción y actualización de los DAA superficiales para la cuenca del río Loa. El detalle se presenta en el Anexo H acápite 5.2.1.2.

5.2.1.3 Oferta hídrica sustentable y caudal ecológico

La actualización de los caudales ecológicos en los tramos analizados, calculados como se especifica en la metodología expuesta en el Anexo H acápite 5.2.1 del presente informe, tienen como resultados lo indicado en la Tabla 5-14.

Tabla 5-14: Caudales ecológicos para los sectores analizados (m^3/s)

Sector	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Loa Alto	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
Lasana – Chiu Chiu	0,16	0,14	0,11	0,11	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
Salado	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Calama	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Calama bajo	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
San Salvador	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06

Sector	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Loa bajo	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Quebrada Amarga	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Desembocadura	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30

Fuente: Elaboración propia

En base a la información presentada en la Tabla 5-14 y las curvas de variación estacional de caudales presentadas en el Anexo H acápite 5.2.1.1, es posible realizar los balances localizados por sector, desde las cuencas de alta montaña hasta la desembocadura, para desplazar la oferta disponible de cada sección hasta llegar al punto más bajo.

Los resultados finales de la oferta hídrica sustentable superficial permanente y eventual de cada sector son mostrados en la Tabla 5-15 y Tabla 5-16, respectivamente. Valores en color rojo expresan la magnitud del sobre otorgamiento de DAA para cierto sector y mes, con respecto a un uso sustentable del recurso.

Tabla 5-15: Oferta hídrica sustentable superficial permanente (m^3/s)

Sector	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Loa Alto	-0,01	0,01	0,06	0,05	0,02	0,01	-0,06	-0,10	-0,19	-0,26	-0,01	-0,03
Lasana – Chiu Chiu	0,26	0,14	0,17	0,17	0,12	0,23	0,38	0,43	0,49	0,51	0,73	0,35
Salado	-0,91	-0,83	-0,84	-0,84	-0,84	-0,82	-0,88	-0,91	-0,93	-1,08	-0,93	-0,94
Calama	-0,16	-0,04	0,09	0,07	-0,21	-0,13	-0,61	-0,63	-0,76	-0,83	0,04	-0,44
Calama bajo	-0,36	-0,24	-0,09	-0,12	-0,40	-0,33	-0,82	-0,84	-0,98	-1,04	-0,16	-0,65
San Salvador	0,13	0,07	0,03	0,07	0,16	0,22	0,28	0,26	0,23	0,19	0,15	0,13
Loa bajo	-0,30	-0,24	-0,10	-0,06	-0,21	-0,06	-0,49	-0,58	-0,77	-0,94	-0,08	-0,61
Quebrada Amarga	0,00	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	0,00	-0,01
Desembocadura	-0,29	-0,23	-0,08	-0,03	-0,19	-0,07	-0,50	-0,59	-0,80	-0,93	-0,06	-0,64

Fuente: Elaboración propia

El detalle de los balances en todos los sectores se puede consultar en el Anexo H acápite 5.2.1.3. La oferta hídrica queda determinada por el resultado total en el punto de desembocadura de la cuenca. En este sector, al igual que en toda la cuenca, se mantiene una oferta hídrica eventual positiva, mientras que la oferta hídrica permanente es completamente negativa. Esto indica que existe un sobre otorgamiento de los DAA de carácter permanente en la cuenca, lo que la hace tener una oferta de recursos superficiales no sustentable en el tiempo.

Tabla 5-16: Oferta hídrica sustentable superficial eventual (m^3/s)

Sector	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Loa Alto	1,29	1,19	1,28	1,26	1,25	1,22	1,12	1,18	1,62	2,35	3,13	2,56
Lasana – Chiu Chiu	2,26	2,19	2,45	2,35	2,26	2,16	1,99	2,21	2,79	3,70	5,19	4,20

Sector	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Salado	0,98	0,97	1,03	1,09	0,92	0,96	0,89	0,88	1,33	2,60	3,24	2,20
Calama	3,90	3,73	4,19	3,98	3,77	3,72	3,44	3,69	4,95	8,78	12,11	8,99
Calama bajo	3,90	3,72	4,18	3,98	3,77	3,71	3,42	3,67	4,93	8,76	12,10	8,96
San Salvador	0,05	0,14	0,24	0,34	0,40	0,40	0,38	0,23	0,18	0,09	0,03	0,02
Loa bajo	4,12	4,04	4,60	4,55	4,44	4,38	4,08	4,11	5,28	8,98	12,30	9,10
Quebrada Amarga	0,06	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05
Desembocadura	4,16	4,07	4,63	4,59	4,48	4,43	4,07	4,15	5,30	9,05	12,33	9,11

Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Sustentabilidad de Sectores Acuíferos DGA

Se evalúan los criterios de sustentabilidad en el escenario base, escenarios futuros y de gestión. Los criterios se evalúan solo en el dominio del acople WEAP - MODFLOW, y se considerará el dominio activo como un SHAC. Para el resto de los nodos de agua subterránea, se verifica la variación del almacenamiento bajo la salvedad que existe incertidumbre aún con respecto a la infiltración y los afloramientos, como también con respecto a la evaporación subsuperficial. Esto último en particular en los sectores del salar de Miraje y Llamara, por lo tanto, los balances resultantes y por consecuencia las variaciones de los almacenamientos poseen una incertidumbre no despreciable.

5.2.3 Análisis Criterios de Sustentabilidad SHACs

5.2.3.1 Criterio 1: Volumen Sustentable

Se utiliza la herramienta zonebudget de la librería Flopý del lenguaje Python 3.7, se procesan los archivos cell by cell (de extensión CCF), para realizar el balance de la variación de volumen para cada paso de tiempo (840 pasos de tiempo, 12 meses, durante 70 años) obteniendo la evolución temporal del almacenamiento y el porcentaje del volumen inicial o de régimen natural que posee el acuífero.

Criterio DGA

Los descensos generales en el sector a evaluar deben estar estabilizados para una operación del sistema de 50 años, en caso contrario se considera que los descensos son sostenidos. 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. En caso contrario, el sistema acuífero será considerado con afección y se deberá cerrar el acuífero.

$$(V_0 - V_{50})/V_0 \ < 0{,}05$$

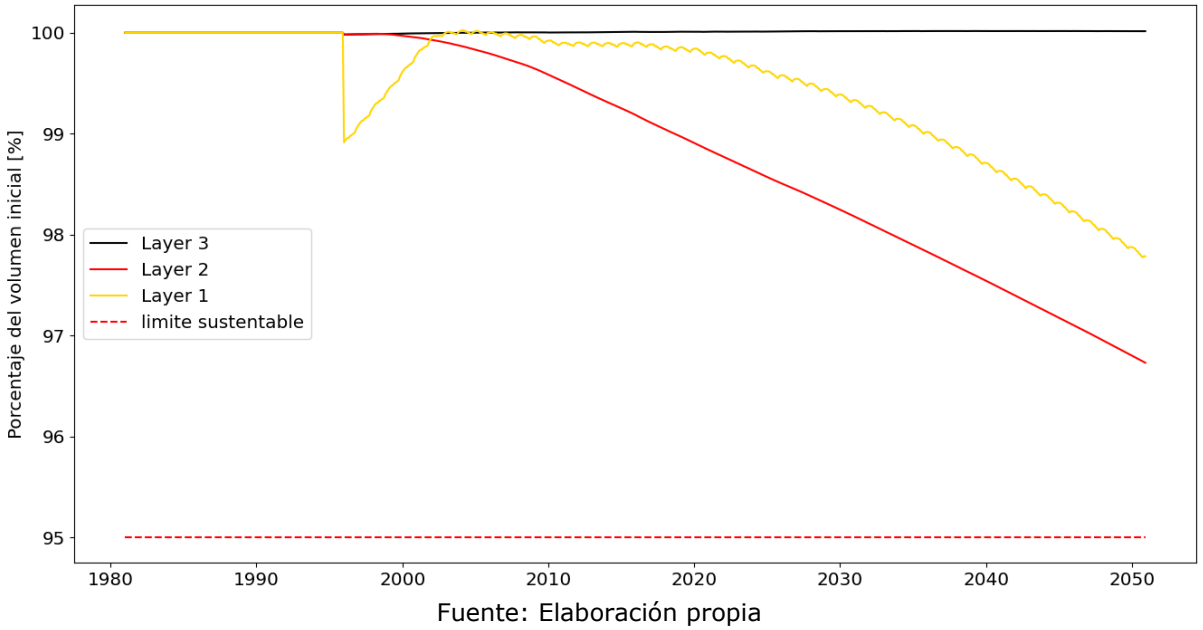
Donde:

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

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

Considerando que el volumen de explotación sustentable para un periodo de 50 años corresponde a una variación de 5%. En la Figura 5-21 se muestra el resultado de la variación porcentual del almacenamiento con respecto al tiempo en cada una de las capas del acuífero modelado, para el escenario de referencia, se utilizará esta misma metodología para analizar los escenarios proyectados. Los resultados de la variación de volumen, de todos y cada uno de los escenarios se presentan en el Anexo H. En todos los escenarios se cumple con el criterio de sustentabilidad, haciendo la salvedad y recordando que en ningún escenario se ejercen todos los DAA asignados a la fecha.

En la Figura 5-21 el layer 1 corresponde a la capa superficial, principalmente la formación Opache, el layer 2 corresponde a la segunda capa, en donde se encuentra la capa semiconfinante y el layer 3 corresponde al acuífero inferior, en donde se encuentra la formación Calama; la línea punteada roja corresponde al umbral del 95% del volumen inicial o en pseudo régimen natural. Se evalúa el estado del acuífero para cada uno de los pasos de tiempo de la modelación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-21: Porcentaje del volumen con respecto al volumen en régimen natural para cada paso de tiempo. Escenario de referencia

5.2.3.2 Criterio 2: Interferencia río acuífero

Este criterio implica inicialmente el cálculo del caudal medio anual con una probabilidad de excedencia del 85% (Q_{85}). Con aquel valor determinar el caudal máximo de interferencia río acuífero posible para cada SHAC, correspondiente al 10% del Q_{85}. El análisis del criterio se concluye mediante el cálculo de la diferencia en el afloramiento neto (ΔQ).

Criterio DGA

Este criterio busca no afectar los recursos superficiales ya comprometidos. La variación del grado de interacción debe ser menor que el 10% de los flujos superficiales pasantes en cada una de las zonas, evaluados como el caudal promedio anual de 85% de probabilidad de excedencia ($Q_{Anual,85\%}$). La afección sobre el cauce superficial se define como ΔQ, término compuesto por dos variables:

a) Aumento de infiltración en el sector acuífero debido al aumento de la explotación.
b) Disminución de los afloramientos del río.

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

Criterio a Evaluar

Previo a la obtención del Q85, con la herramienta de balance *"cell by cell"* de la librería flopy, se obtienen los flujos para cada paso de tiempo de los afloramientos desde la condición tipo Drain y tipo River, y las infiltraciones producto de la condición River.

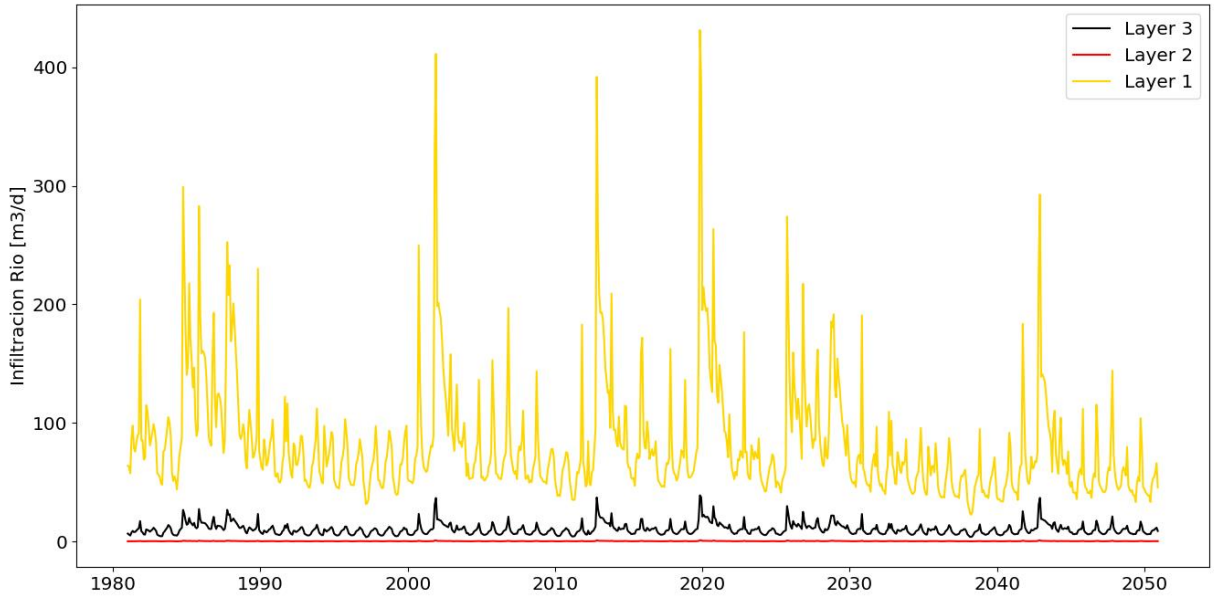
En la Figura 5-22 se presentan los valores de los caudales de infiltración para cada paso de tiempo, mientras que en la Figura 5-23 los caudales de afloramientos para cada paso temporal. De las figuras se desprende que los afloramientos son 2 órdenes de magnitud mayores que las infiltraciones. En consecuencia, para los escenarios de gestión, solo se analizará la variación porcentual de los afloramientos en función del tiempo. Se observa también que la principal magnitud de caudal, ya sea de infiltración o de afloramiento, ocurren en el Layer 1 o capa superficial del modelo.

Para verificar el criterio, se asume que este no se cumpliría en el caso que los afloramientos se redujeran en un 20% para la formación Opache o en la primera capa del modelo.

En la Figura 5-24 se presenta la variación porcentual de las infiltraciones, comparadas con el régimen natural (correspondiente al promedio de los afloramientos mensuales para un periodo de 15 años) el gráfico de la figura corresponde a valores de media móvil de tamaño 6 periodos (en este caso meses). Se aprecia la variación estacional de la recarga,

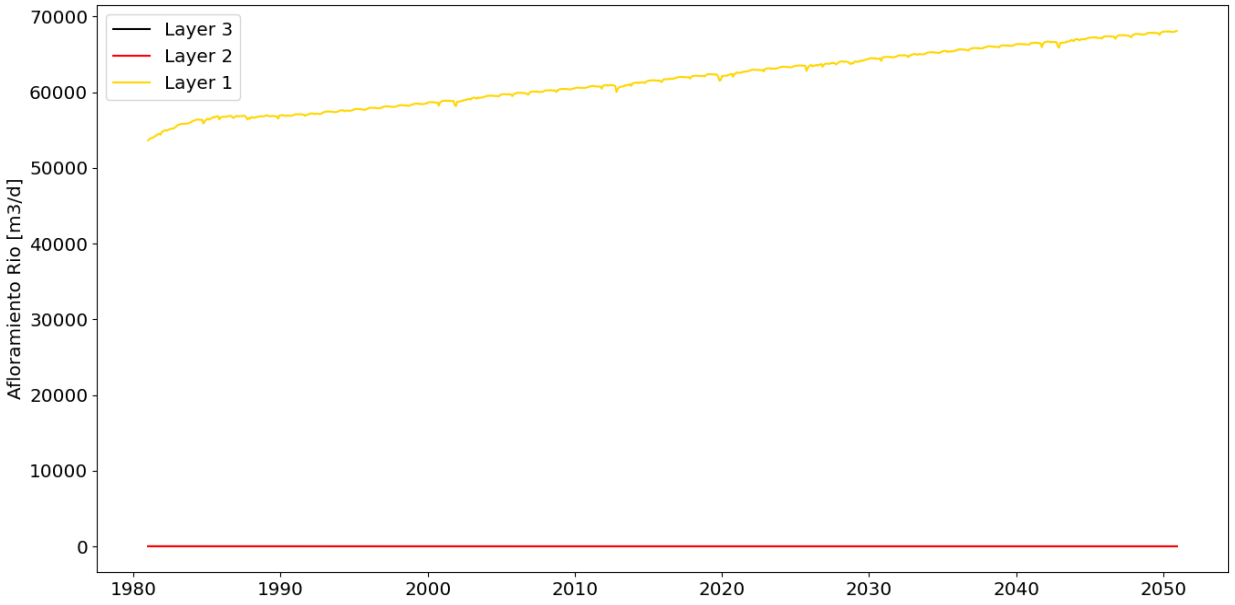
identificándose años y periodos con mayores recargas producto de la infiltración, se deduce que la infiltración está dominada por las variables superficiales. En color rojo punteado, se presenta la variación del 10% de aumento en la infiltración con respecto al régimen natural, se observa que es constantemente sobrepasada de forma estacional.

En la Figura 5-25, se presenta la variación porcentual de los afloramientos, comparadas con el régimen natural (correspondiente al promedio de los afloramientos mensuales para un periodo de 15 años) el gráfico de la figura corresponde a valores de media móvil de tamaño 6 periodos. Se aprecia, como después del 2005 comienza la disminución de los afloramientos para el Layer 2, producto del inicio de la extracción intensiva en el modelo, dado que previo a esta fecha los balances subterráneos son positivos, al no estar activado ninguno o muy pocos pozos de extracción. La línea punteada roja corresponde al umbral de un 10% de disminución en los afloramientos.



Fuente: Elaboración propia

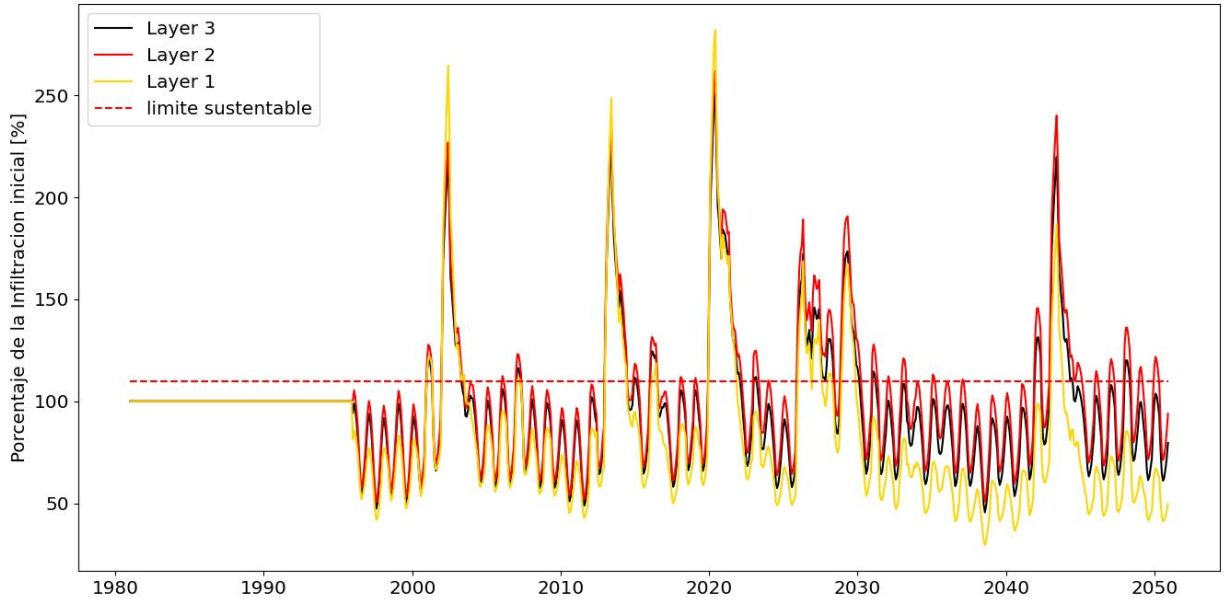
Figura 5-22: Caudal de infiltración para cada paso de tiempo. Escenario de referencia



Fuente: Elaboración propia

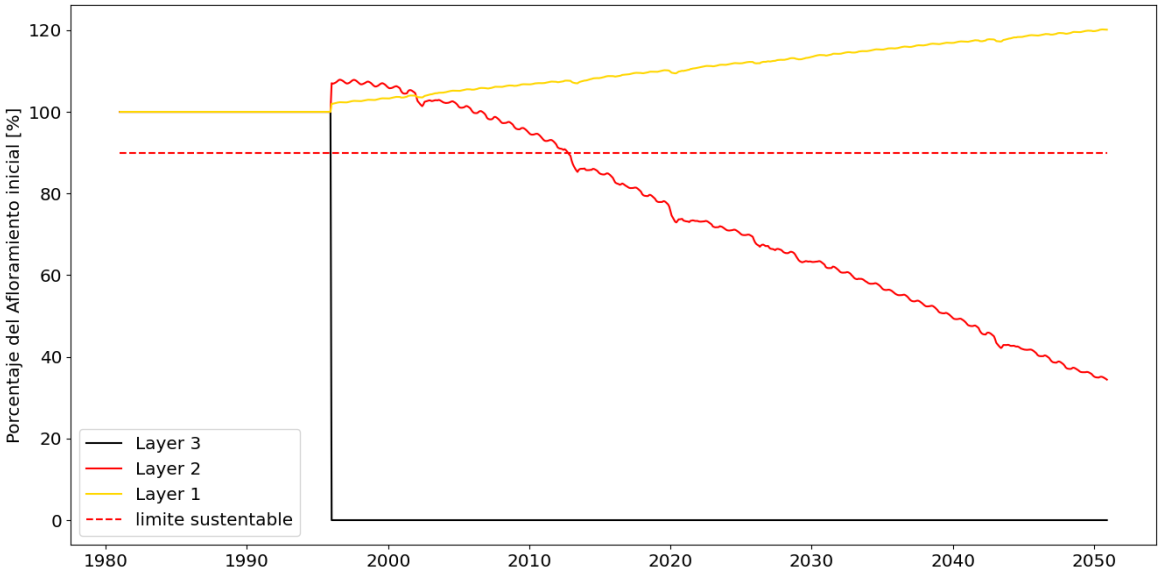
Figura 5-23: Caudal de afloramiento para cada paso de tiempo. Escenario de referencia

Se evalúa el criterio para todos los escenarios y en todos se cumple. Cabe recalcar que en ningún escenario se extraen todos los DAA otorgados en la cuenca.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-24: Porcentaje del caudal de infiltración con respecto al caudal inicial, para cada paso de tiempo. Escenario de referencia, Media Móvil = 6



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-25: Porcentaje del caudal de afloramiento con respecto al caudal inicial para cada paso de tiempo. Escenario de referencia, Media Móvil = 6

5.2.3.3 Criterio 3: Pozos Secos

Se tiene la información para cada paso de tiempo de la profundidad de la celda (con la herramienta cellheads de WEAP y desde los archivos binarios de extensión, HED que entrega el modelo y que son leídos con la biblioteca Flopy), a pesar de las limitaciones del modelo producto del tamaño de la celda y que la extracción es impuesta por el paquete WELL. No es factible evaluar este criterio, ya que no se tiene la profundidad de los pozos de extracción y al ser su mayoría de uso minero, no tienen dificultades para profundizarlos.

Criterio DGA

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 DAA de terceros sin importar la cantidad que extraiga cada pozo.

$$N_{Pozos\ Secos}/N_{Total\ Pozos} < 0{,}05$$

5.2.3.4 Criterio 4: Afección de otros sectores

Al estar solo un sector dentro del modelo integrado, tampoco es factible evaluar este criterio.

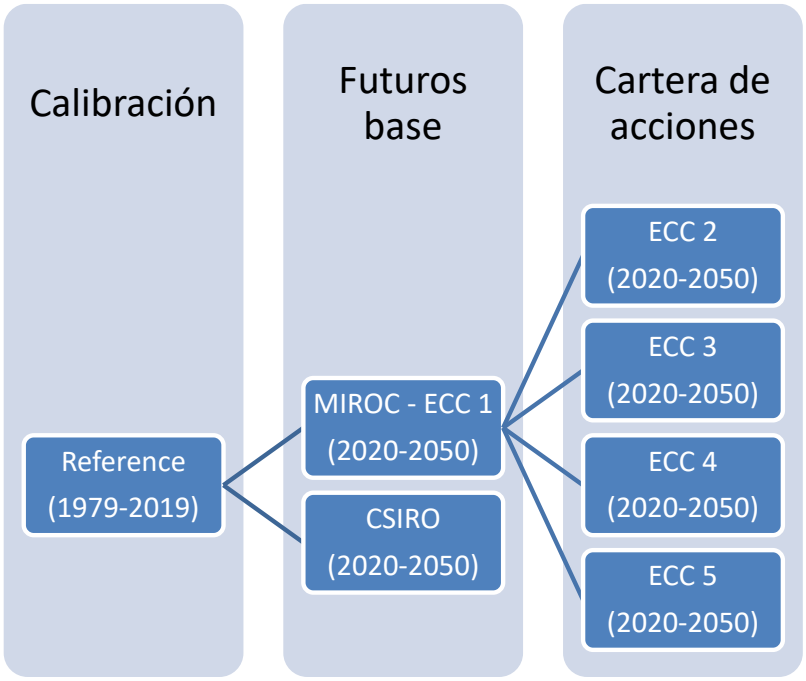
Criterio DGA

Verificar que el aumento de extracciones desde un sector no afecte la disponibilidad sustentable desde otro sector aguas abajo. El cumplimiento de este criterio estará dado porque ninguno de los sectores abiertos en que se aumente la demanda provoque el no cumplimiento de los criterios para los otros sectores abiertos. Para el caso de los sectores cerrados, se debe verificar que la afectación no cambie en 1 punto porcentual la situación del acuífero cerrado.

5.3 Escenarios de gestión específicos

En este acápite 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. 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 los unidades hidrológicas o cambios en las condiciones climáticas de la cuenca.

En la Figura 5-26 se muestran todos los escenarios construidos en el modelo WEAP. El escenario histórico o base es el llamado "Reference" en el cual se construye todo el sistema y es el escenario usado para la calibración (1979 – 2019).



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-26: Escenarios modelados en WEAP

Bajo este escenario de referencia se anidan los otros escenarios, mientras que los escenarios base de cambio climático, CSIRO y MIROC, se simulan desde 1979 hasta 2050 y son iguales a Reference hasta el año 2019, para luego usar las forzantes propias de estos escenarios en el periodo 2020 – 2050, el cual es el periodo en donde se analizan todos los efectos de la modelación futura. Todos los escenarios futuros se simulan en la misma ventana temporal (1979-2050), pero sólo se comparan entre ellos en el periodo 2020 – 2050. Los escenarios mostrados en la Figura 5-26 que no se han detallado en secciones anteriores, se explican a continuación. Es importante recordar que todas las carteras de acciones analizadas están anidadas sobre el escenario MIROC (ECC 1) y por tanto se sustentan en las forzantes meteorológicas creadas en base a la información del MCG MIROC.

5.3.1 ECC 2: Caudal mínimo para requerimientos ecológicos

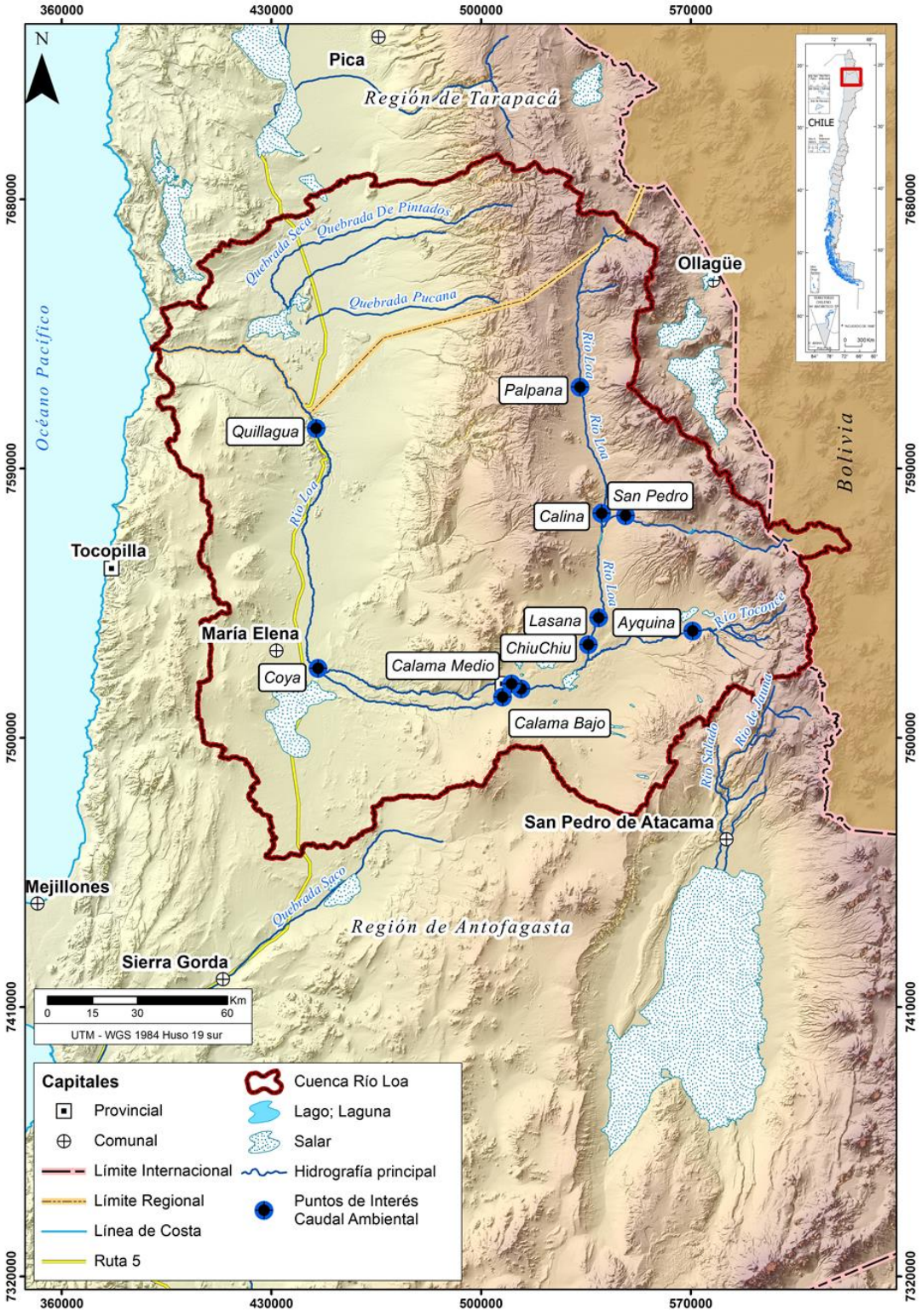
La primera cartera de acción corresponde a forzar al sistema a que transite por sectores de interés ambiental de la cuenca un flujo igual o mayor que los caudales de requerimientos ecológicos definidos por GORE Antofagasta (2020). Las coordenadas de los puntos de interés ambiental definidos en el estudio se listan en la Tabla 5-17.

Tabla 5-17: Coordenadas de puntos de interés ambiental

Punto de interés	WGS 84 UTM 19S	
	E (m)	N (m)
Palpana	533.092	7.617.230
Calina	540.297	7.575.031
Ayquina	570.703	7.535.726
Lasana	539.314	7.540.148
Chiu Chiu	535.913	7.531.169
Calama Alto	513.448	7.516.324
Calama Medio	510.217	7.518.003
Calama Bajo	507.279	7.513.651
Coya	445.638	7.523.186
Quillagua	445.000	7.603.406

Fuente: Elaboración propia con antecedentes GORE Antofagasta (2020)

Con propósito de incluir a todas las subcuencas en el análisis, se añade otro punto de interés ambiental en el lugar geográfico que define la salida de la cuenca de San Pedro, correspondiente a (UTM E: 548.336; UTM N: 7.574.230), al que se le asigna el mismo caudal requerido por el sector de Ayquina, ya que en términos de áreas aportantes y precipitaciones la cuenca del río Salado es la más similar a la de San Pedro que cualquier otra definida en el plan. Así, la ubicación espacial de todos los puntos de interés ambiental se muestra en la Figura 5-27.



Fuente: Elaboración propia

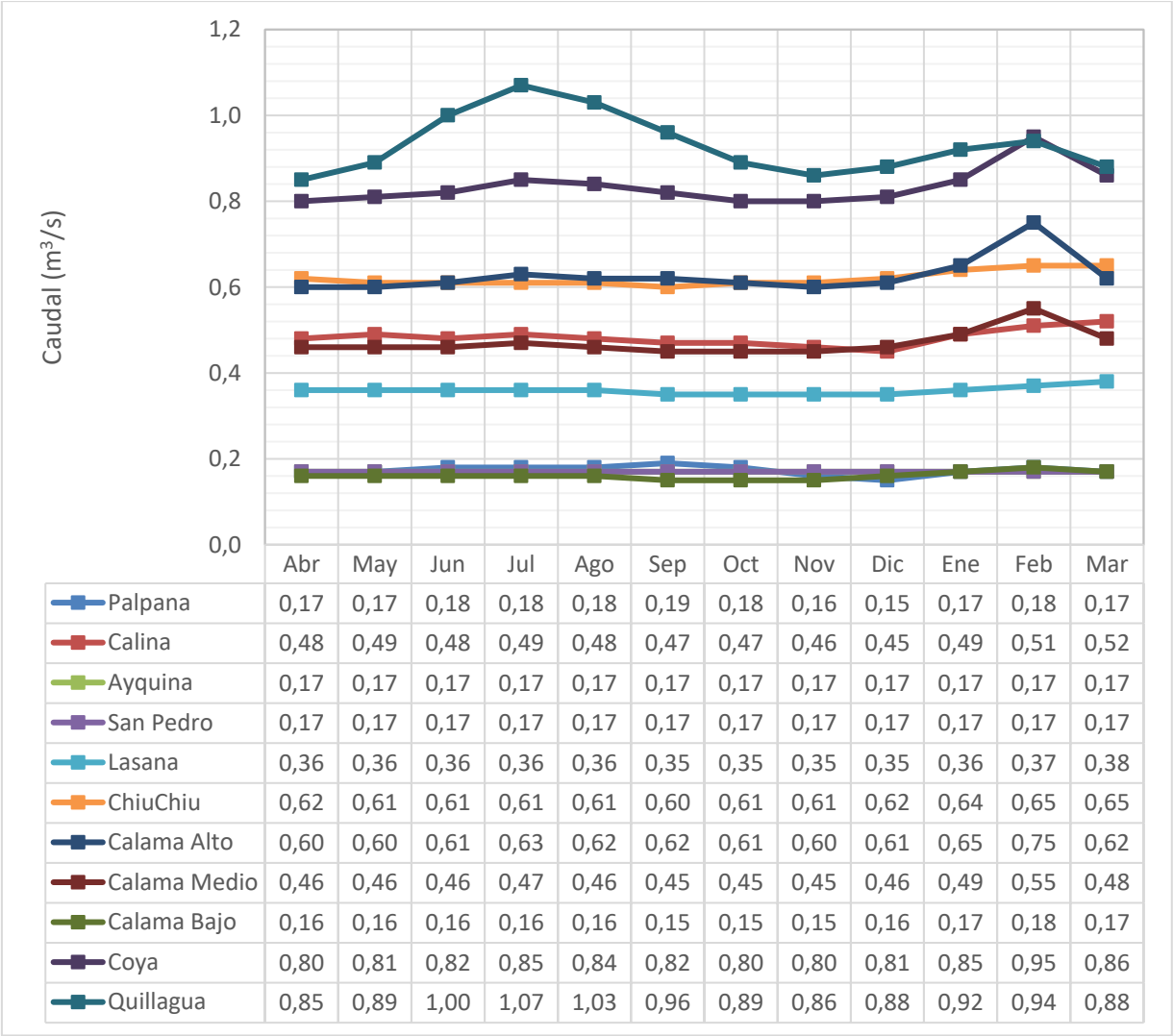
Figura 5-27: Ubicación espacial de puntos de interés de caudal ambiental en la cuenca río Loa

5.3.1.1 Caudal de requerimiento ecológico

GORE Antofagasta (2020) determina los caudales ambientales en la cuenca en base a la agrupación de cuatro caudales diferentes. Estos caudales responden a requerimientos sociales, ecológicos, estratégicos y de usuarios. En particular, para este plan se trabaja solamente con el caudal de requerimientos ecológicos, 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.

Para el cálculo de este caudal, se simularon condiciones de habitabilidad de especies como el *Oncorhynchus mykiss* y el *Basylichthys Microleptidus*, pero la determinación final del caudal ecológico se utilizaron solamente especies avistadas según bibliografía o experiencias de terreno. Los requerimientos ecológicos responden a la probabilidad de avistamiento de una especie en un punto específico del río, aunque es posible que aún en régimen natural alguna especie no presente una habitabilidad óptima, por lo que podría no encontrarse a pesar de cumplir con los requerimientos. Cabe destacar que la metodología que se emplea en el cálculo de estos caudales ecológicos es totalmente diferente a los lineamientos de los criterios del DARH. Los valores de los caudales de requerimiento ecológico a nivel mensual para cada punto de interés se muestran en la Figura 5-28.

En WEAP, la forma de conceptualizar esta nueva gestión del recurso es agregar en los puntos de interés ambiental (Figura 5-27) el elemento "Requerimiento de Caudal" con la serie definida en la Figura 5-28, para cada punto. Este elemento posee una prioridad de satisfacción mayor que cualquier otra demanda legal de usuarios en la cuenca, por lo que el río se transforma en un "usuario" prioritario del agua. Las consecuencias conceptualizaciones de este tipo es que para satisfacer el requerimiento se utiliza agua que originalmente estaba destinada a otros usos, como por ejemplo a otras demandas de todo tipo o a almacenarse en el embalse Conchi, por lo que se esperan disminuciones en la confiabilidad y en el volumen embalsado.



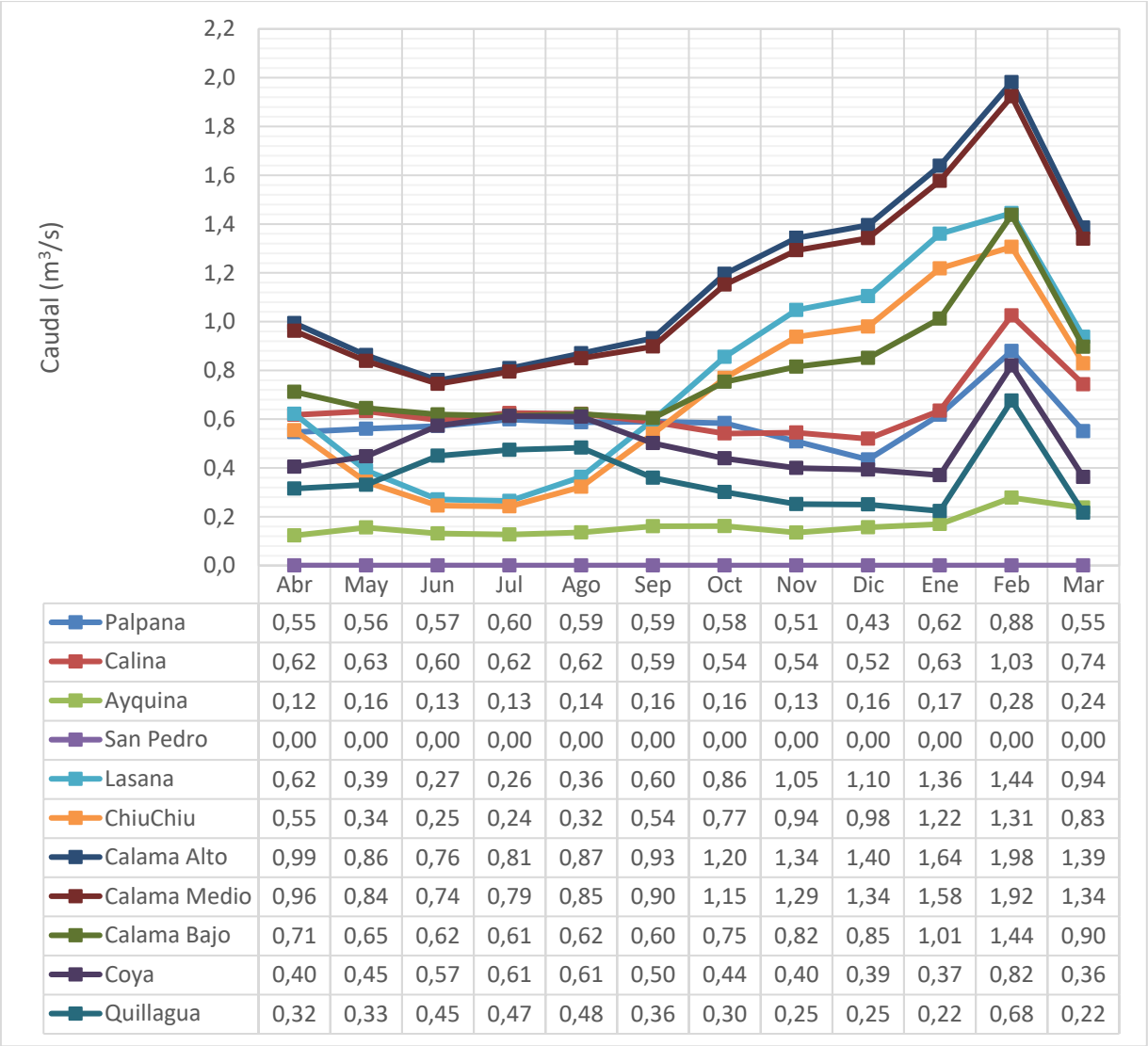
	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Palpana	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,19	0,18	0,16	0,15	0,17	0,18	0,17
Calina	0,48	0,49	0,48	0,49	0,48	0,47	0,47	0,46	0,45	0,49	0,51	0,52
Ayquina	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
San Pedro	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
Lasana	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,35	0,35	0,35	0,35	0,36	0,37	0,38
ChiuChiu	0,62	0,61	0,61	0,61	0,61	0,60	0,61	0,61	0,62	0,64	0,65	0,65
Calama Alto	0,60	0,60	0,61	0,63	0,62	0,62	0,61	0,60	0,61	0,65	0,75	0,62
Calama Medio	0,46	0,46	0,46	0,47	0,46	0,45	0,45	0,45	0,46	0,49	0,55	0,48
Calama Bajo	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,16	0,17	0,18	0,17
Coya	0,80	0,81	0,82	0,85	0,84	0,82	0,80	0,80	0,81	0,85	0,95	0,86
Quillagua	0,85	0,89	1,00	1,07	1,03	0,96	0,89	0,86	0,88	0,92	0,94	0,88

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-28: Caudales de requerimientos ecológicos definidos en ECC 2

5.3.1.2 Brecha hídrica ecológica actual

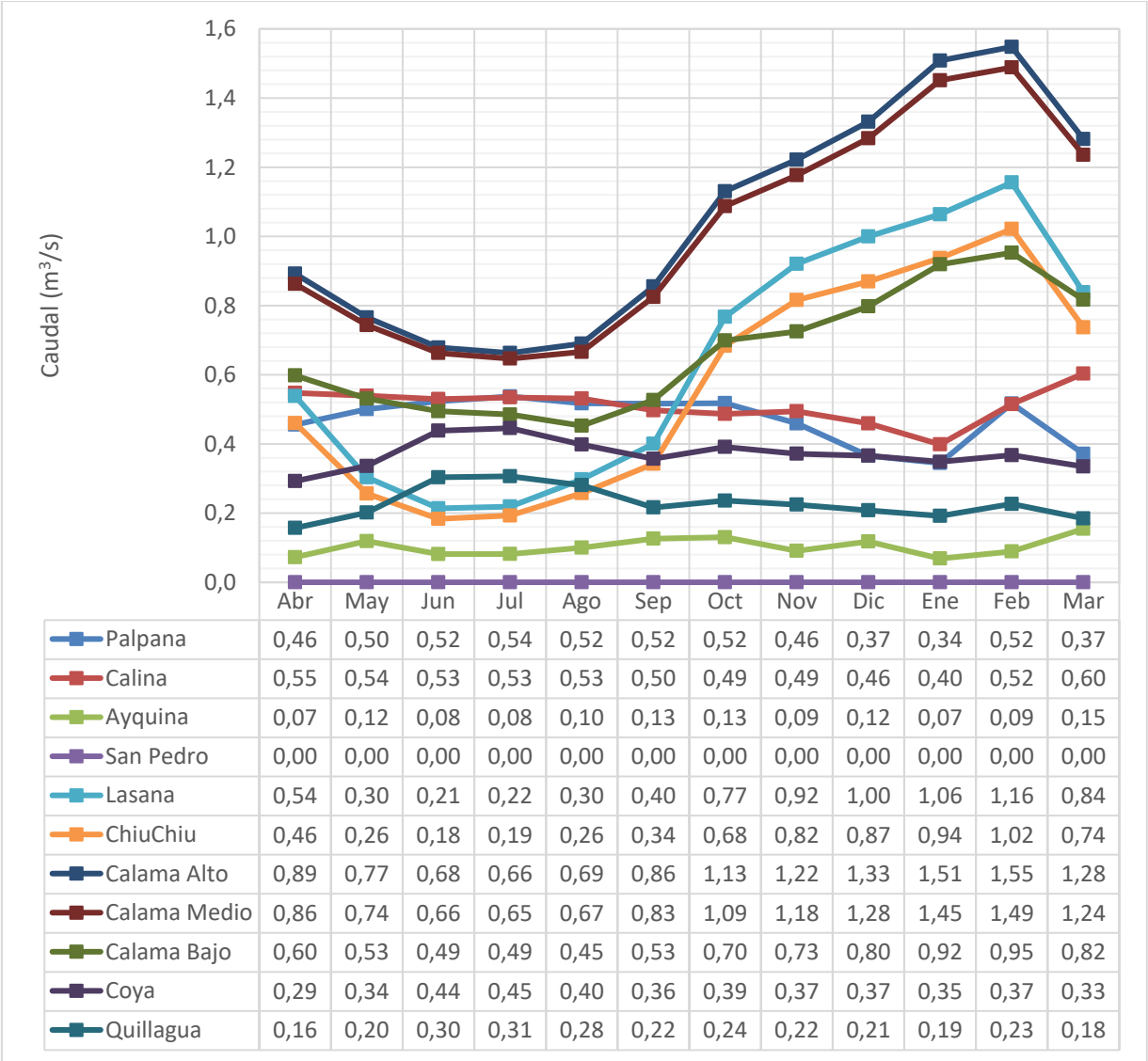
La brecha hídrica asociada a los caudales de requerimiento ecológico (Figura 5-28) se define como la cantidad del recurso hídrico faltante para satisfacer la demanda hídrica impuesta por el caudal de requerimiento ecológico. Esta brecha se calcula para realizar un diagnóstico de la situación actual, es decir, para el periodo de calibración del modelo (1981 – 2019). La Figura 5-29 y Figura 5-30 especifican el caudal mensual que transita por los puntos de interés para el periodo histórico con probabilidad de excedencia 50% (Q_{50}) y 85% (Q_{85}), respectivamente.



	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Palpana	0,55	0,56	0,57	0,60	0,59	0,59	0,58	0,51	0,43	0,62	0,88	0,55
Calina	0,62	0,63	0,60	0,62	0,62	0,59	0,54	0,54	0,52	0,63	1,03	0,74
Ayquina	0,12	0,16	0,13	0,13	0,14	0,16	0,16	0,13	0,16	0,17	0,28	0,24
San Pedro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lasana	0,62	0,39	0,27	0,26	0,36	0,60	0,86	1,05	1,10	1,36	1,44	0,94
ChiuChiu	0,55	0,34	0,25	0,24	0,32	0,54	0,77	0,94	0,98	1,22	1,31	0,83
Calama Alto	0,99	0,86	0,76	0,81	0,87	0,93	1,20	1,34	1,40	1,64	1,98	1,39
Calama Medio	0,96	0,84	0,74	0,79	0,85	0,90	1,15	1,29	1,34	1,58	1,92	1,34
Calama Bajo	0,71	0,65	0,62	0,61	0,62	0,60	0,75	0,82	0,85	1,01	1,44	0,90
Coya	0,40	0,45	0,57	0,61	0,61	0,50	0,44	0,40	0,39	0,37	0,82	0,36
Quillagua	0,32	0,33	0,45	0,47	0,48	0,36	0,30	0,25	0,25	0,22	0,68	0,22

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-29: Caudal con probabilidad excedencia 50% (Q_{50}) pasante por los puntos de interés ambiental. Periodo de calibración (1981 – 2019)



	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Palpana	0,46	0,50	0,52	0,54	0,52	0,52	0,52	0,46	0,37	0,34	0,52	0,37
Calina	0,55	0,54	0,53	0,53	0,53	0,50	0,49	0,49	0,46	0,40	0,52	0,60
Ayquina	0,07	0,12	0,08	0,08	0,10	0,13	0,13	0,09	0,12	0,07	0,09	0,15
San Pedro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lasana	0,54	0,30	0,21	0,22	0,30	0,40	0,77	0,92	1,00	1,06	1,16	0,84
ChiuChiu	0,46	0,26	0,18	0,19	0,26	0,34	0,68	0,82	0,87	0,94	1,02	0,74
Calama Alto	0,89	0,77	0,68	0,66	0,69	0,86	1,13	1,22	1,33	1,51	1,55	1,28
Calama Medio	0,86	0,74	0,66	0,65	0,67	0,83	1,09	1,18	1,28	1,45	1,49	1,24
Calama Bajo	0,60	0,53	0,49	0,49	0,45	0,53	0,70	0,73	0,80	0,92	0,95	0,82
Coya	0,29	0,34	0,44	0,45	0,40	0,36	0,39	0,37	0,37	0,35	0,37	0,33
Quillagua	0,16	0,20	0,30	0,31	0,28	0,22	0,24	0,22	0,21	0,19	0,23	0,18

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-30: Caudal con probabilidad excedencia 85% (Q_{85}) pasante por los puntos de interés ambiental. Periodo de calibración (1981 – 2019)

La magnitud de la brecha hídrica actual se establece en base a la información presentada en la Figura 5-28, Figura 5-29 y Figura 5-30 y es detallada para el Q50 y Q85 en la Tabla 5-18 y Tabla 5-19, respectivamente. Si el caudal pasante histórico es mayor al de requerimiento ecológico para un mismo sector y mes, este no presenta una brecha hídrica ecológica que subsanar y es representado como un " - ", en caso contrario, se muestra la magnitud de la brecha.

Tabla 5-18: Brecha hídrica actual del Q_{50} para satisfacer el caudal de requerimiento ambiental en puntos de interés (m^3/s)

Punto de interés	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Palpana	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ayquina	0,05	0,01	0,04	0,04	0,03	0,01	0,01	0,04	0,01	0,00	-	-
San Pedro	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
Lasana	-	-	0,09	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-
Chiu Chiu	0,07	0,27	0,36	0,37	0,29	0,06	-	-	-	-	-	-
Calama Alto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calama Medio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calama Bajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coya	0,40	0,36	0,25	0,24	0,23	0,32	0,36	0,40	0,42	0,48	0,13	0,50
Quillagua	0,53	0,56	0,55	0,60	0,55	0,60	0,59	0,61	0,63	0,70	0,26	0,66

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-19: Brecha hídrica actual del Q_{85} para satisfacer el caudal de requerimiento ambiental en puntos de interés (m^3/s)

Punto de interés	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Palpana	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,09	-	-
Ayquina	0,10	0,05	0,09	0,09	0,07	0,04	0,04	0,08	0,05	0,10	0,08	0,02
San Pedro	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
Lasana	-	0,06	0,15	0,14	0,06	-	-	-	-	-	-	-
Chiu Chiu	0,16	0,35	0,43	0,42	0,35	0,26	-	-	-	-	-	-
Calama Alto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calama Medio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calama Bajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coya	0,51	0,47	0,38	0,40	0,44	0,46	0,41	0,43	0,44	0,50	0,58	0,53
Quillagua	0,69	0,69	0,70	0,76	0,75	0,74	0,65	0,64	0,67	0,73	0,71	0,70

Fuente: Elaboración propia

Desde la Tabla 5-18 y Tabla 5-19, se concluye que los sectores más estresados hídricamente y con mayores dificultades para satisfacer el caudal de requerimiento ecológico corresponden a: Ayquina; Coya; Quillagua y San Pedro, donde este último alcanza una brecha total del 100%, ya que aguas arriba del punto de interés se emplaza la represa San Pedro, que recibe todas la líneas de agua que bajan desde la cordillera, más

la del campo de pozos, que luego son conducidas por cañerías hacia CODELCO Norte. Brechas hídricas ecológicas menores se asignan a Lasana y Chiu Chiu. Para los sectores de Palpana, Calina, Calama Alto, Calama Medio y Calama Bajo el flujo pasante es igual o mayor que el umbral.

Finalmente, esta cartera de acción restituye al río un caudal equivalente a la máxima brecha hídrica ecológica mensual en Quillagua para el Q_{85} (0,76 m^3/s), ya que, supliendo aquel caudal, se cumple con los flujos pasantes mínimos en los otros puntos de interés ambiental. La distribución de reducción implementada se ajusta a la magnitud total de DAA otorgados a los usuarios del agua en la cuenca: 23% el uso-consumo humano, 47% el uso minero/industrial y un 30% el uso agrícola, además de la disposición del agua embalsada en Conchi.

5.3.2 ECC 3: Seguridad de embalse

La segunda cartera de acción implica un cambio en la operación regular del embalse Conchi. Actualmente este reservorio almacena volúmenes de hasta 21 hm^3 entre los meses de agosto hasta octubre (Figura 5-8). Para llegar a ese nivel de embalsamiento, es necesario operar con el vertedero evacuador de crecidas cerrado, lo que implica un alto riesgo de afectación en caso de recibir una crecida extrema o algún sismo de magnitud considerable.

Hay evidencia de la necesidad de generar evacuaciones de emergencia, que se han traducido en inundaciones relevantes en los sectores aguas abajo del embalse. Respecto de la seguridad, esta forma de operación no está permitida para obras de esta magnitud (Reglamento DGA Obras Hidráulicas - Obras Mayores DGA Categoría C) que requieren cumplir las mayores exigencias en términos de revancha operacional y capacidad de evacuar crecidas milenarias, situación que no se cumple para el embalse Conchi.

El vertedero evacuador solo es capaz de vaciar un máximo de 140 m^3/s, lo que es inferior a la crecida milenaria (414,6 m^3/s) que debe ser vaciada por criterio de seguridad según la actual normativa vigente para este tipo de obras hidráulicas. Por otra parte, se debe mantener a todo evento una revancha operacional de al menos un metro, lo que no se cumple en la actual operación con la compuerta del vertedero evacuador cerrada, por tanto, para evitar potenciales fallas en la estructura producto de sobrepaso por crecidas excepcionales que ingresen a la cubeta, o afectación por empujes hidrostáticos amplificados sísmicamente sobre el muro, en la condición de capacidad por sobre el diseño, se debe considerar operar el embalse solo hasta la cota de vertedero libre, esto equivale a

aproximadamente 14 hm^3, según las curvas de embalse originales presentadas en capítulo 2.4.3.2 del presente informe.

Considerando la población ubicada aguas abajo de esta obra, el embalse debe ser operado en forma segura. Una operación segura implica mantener el vertedero de evacuación libre a todo evento, por tanto, con una capacidad máxima de almacenamiento de 14 hm^3. De esta forma se garantiza un menor riesgo de falla por sobrepaso ante eventos extremos. Para más información y antecedentes ver "Estudio de la inundación producida por caudales extremos vertidos desde el embalse Conchi, Región de Antofagasta" (INH, 2015).

La implementación de este escenario involucra que el volumen sobrante a al límite de 14 hm^3, es vaciado a una tasa constante el año inicial de la operación futura del embalse, correspondiente a 2020. Se destaca que parte importante de este volumen residual es consumido por la evaporación de la superficie del espejo de agua, estimada en un valor promedio de 0,09 m^3/s (DGA, 2014a). Adicionalmente, para amortizar esta nueva condición restrictiva, se transforma la regla operacional actual del embalse Conchi por una nueva regla de descargas optimizada por el modelo hidrológico.

5.3.3 ECC 4: Prorrateo de DAA

El cuarto escenario mantiene la operación segura del embalse Conchi, una nueva regla optimizada por el modelo y considera una disminución porcentual en el uso de los DAA para todos los actores de la cuenca.

Acciones de este tipo presentan una alta complejidad por el posible grado de oposición de los actores a liberar sus DAA de agua legalmente establecidos, por lo que es necesario justificar los supuestos que permitan llevar a cabo este escenario. Una eficaz herramienta para realizar este análisis corresponde a la evaluación social de proyectos (Candia et al., 2015; Cohen y Franco, 1988; Fontaine, 2008), la que se define como el proceso de identificación, medición, y valorización de los beneficios y costos de un proyecto, desde el punto de vista del Bienestar Social.

El estudio "Diagnóstico del caudal ambiental del río Loa, región de Antofagasta" (GORE Antofagasta, 2020, capítulo 5), realiza un completo análisis de economía social en la cuenca, incluyendo una selección, valoración y evaluación costo-beneficio de servicios ecosistémicos y la correspondiente evaluación macroeconómica. En particular, la estimación del flujo de ingresos sociales, que cuantifica el incremento del bienestar de la sociedad por la realización de un proyecto o por los ahorros de recursos que posibilita, determina que se podría reducir en promedio un 30% el uso agrícola, un 27,5% el uso

minero y un 25% el uso-consumo humano. Esto representaría un ingreso social anual total de US$ 175,15 millones por año.

El costo social de esta restitución de caudal al río Loa se propone mitigar mediante las siguientes acciones de reparación propuestas en el mismo informe GORE Antofagasta (2020):

1. "En el caso de la agricultura, se plantea la tecnificación del riego a nivel intrapredial, implementando sistemas de riego tecnificados -Goteo, Aspersión o Microaspersión- en una superficie agrícola de 3500 hectáreas, con una inversión por hectárea del orden de US$ 2,600.-. Se estima que la consecuente mejora de eficiencia derivada de esta medida permitiría el no uso ya indicado del 30% del caudal ambiental calculado. Esta inversión, representaría un valor global del orden de US$ 9,1 millones, a ser desembolsados una sola vez, al inicio de la ejecución del marco de acción. En este caso no se plantea un flujo asociado de costos anuales, debido a su diversidad y no considerarse significativos para esta evaluación. En tanto, respecto de los ingresos sociales por este concepto se indexan a una tasa perpetua regular de crecimiento del 2% anual."
2. "En el caso de la minería, se plantea la sustitución de un 27,5% del uso del caudal ambiental, por medio de la utilización de agua desalada. En un escenario medio base se estima un nivel de inversiones por un valor de US$ 76,1 millones, asociado a un flujo de costos anuales de US$ 125 millones/año, previendo un precio de US$ 4,5 por m^3, En este caso se plantea como supuesto un crecimiento anual del 2% anual en el flujo neto (ingresos menos costos anuales)."
3. "En el caso del uso-consumo de agua potable por parte de la población regional, se plantea la sustitución de un 25% del uso del caudal ambiental, por medio de la utilización de agua desalada. En un escenario medio base se estima un nivel de inversiones por un valor de US$ 27,3 millones, asociado a un flujo de costos anuales de US$ 32,9 millones por año, presumiendo un precio por m^3 de agua desalada puesta en centros urbanos de US$ 3,3/m^3. Se plantea como supuesto un crecimiento anual del 2% en el flujo de ingresos menos costos anuales."

5.3.4 ECC 5: Liberación de DAA industriales

El último escenario es creado en base a la opinión de comunidades de la cuenca. Esta cartera de acción consiste en que el uso actual de los DAA subterráneos y superficiales de cualquier empresa relacionada a grandes actividades industriales mineras se suplirá

mediante otras fuentes de agua externas a la cuenca, como la utilización de agua desalada, restituyendo así el recurso al río y no explotando los acuíferos.

Dentro de los actores afectados en esta iniciativa se encuentran todas las divisiones de CODELCO, Soquimich, Compañía contractual minera Leonor, Minera el Tesoro y Antofagasta Minerals. El retorno estimado, en términos de DAA otorgados corresponde a: 1,45 m^3/s en DAA superficiales permanentes y consuntivos; 0,092 m^3/s en DAA superficiales eventuales y consuntivos, y 3,09 m^3/s en DAA subterráneos permanentes. Es relevante destacar que parte de estos DAA están sujetos a dar cumplimiento a compromisos y obligaciones ambientales mencionados en el acápite 4.2.6 más atrás, por lo que el retorno efectivo de agua a la cuenca está ligado a estos criterios de control.

5.4 Comparación entre acciones

5.4.1 Indicadores de comparación

Para comparar los cambios consecuentes de la implementación de las carteras de acciones asociadas a cada escenario de modelación futura, es necesario crear algunos indicadores enfocados los aspectos más importantes de la cuenca. Así, se definen a continuación cinco métricas de evaluación de los escenarios futuros y además se presenta la información necesaria para su determinación.

5.4.1.1 Brecha hídrica del caudal de requerimiento ecológico en Quillagua

Este indicador compara los caudales medios mensuales futuros de los once puntos de interés ambiental mostrados en la Figura 5-27 contra un valor umbral. Considerando la tendencia de reducción general de precipitaciones en toda la cuenca y su consecuente impacto en el flujo superficial (acápite 5.1.2.1), se define que el valor umbral corresponde al 90% de los caudales de requerimiento ecológico presentados en la Figura 5-28, para cada punto de interés ambiental en la ventana temporal 2020 – 2050.

El valor del indicador de brecha hídrica ecológica se determina como el máximo valor mensual en el sector de Quillagua reportado en la Tabla 5-20, el que ocurre en todos los casos en el mes de enero. La Tabla 5-21 muestra el valor del este indicador para todos los escenarios futuros y gestiones.

Tabla 5-20: Brecha hídrica ecológica media mensual de los puntos de interés ambiental (m^3/s)

ECC	PUNTO DE INTERÉS	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
ECC 1: MIROC	Palpana	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	-	-
	Calina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-
	Ayquina	0,05	0,02	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,05	0,03	0,04	0,02	0,01
	San Pedro	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	Lasana	-	0,00	0,04	0,05	0,00	-	-	-	-	-	-	-
	Chiu Chiu	0,03	0,19	0,26	0,25	0,17	0,10	-	-	-	-	-	0,00
	Calama Alto	-	-	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
	Calama Medio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Calama Bajo	-	-	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-
	Coya	0,14	0,12	0,06	0,05	0,05	0,12	0,08	0,12	0,16	0,26	0,11	0,25
	Quillagua	0,29	0,29	0,29	0,30	0,25	0,32	0,27	0,30	0,36	0,43	0,18	0,39
ECC 2	Palpana	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Calina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ayquina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	San Pedro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Lasana	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Chiu Chiu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Calama Alto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Calama Medio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Calama Bajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Coya	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Quillagua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ECC 3	Palpana	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	-	-
	Calina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-
	Ayquina	0,03	0,01	0,04	0,04	0,03	0,04	0,01	0,02	0,01	0,04	0,01	0,01
	San Pedro	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	Lasana	-	0,05	0,04	0,03	0,01	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00
	Chiu Chiu	0,11	0,16	0,10	0,06	0,04	0,01	-	-	-	0,03	0,04	0,03
	Calama Alto	-	-	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
	Calama Medio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Calama Bajo	-	-	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-
	Coya	0,22	0,14	0,06	0,04	0,03	0,04	0,16	0,25	0,25	0,32	0,35	0,31
	Quillagua	0,36	0,24	0,14	0,09	0,08	0,22	0,36	0,45	0,46	0,52	0,46	0,45
ECC 4	Palpana	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	-	-
	Calina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-
	Ayquina	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
	San Pedro	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,15
	Lasana	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Chiu Chiu	0,01	0,01	-	-	-	-	-	0,00	0,02	-	0,02	0,01
	Calama Alto	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Calama Medio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Calama Bajo	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Coya	0,01	0,01	-	-	-	0,00	0,00	0,03	0,10	0,20	0,11	0,05
	Quillagua	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,13	0,26	0,32	0,16	0,10

ECC	PUNTO DE INTERÉS	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
ECC 5	Palpana	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	-	-
	Calina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-
	Ayquina	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00
	San Pedro	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,13	0,13	0,15
	Lasana	-	0,01	0,03	0,02	0,00	-	-	-	-	-	-	-
	Chiu Chiu	0,08	0,16	0,12	0,05	0,02	0,00	0,00	-	-	-	0,00	0,03
	Calama Alto	-	-	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-
	Calama Medio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Calama Bajo	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-
	Coya	0,01	0,00	0,00	-	-	-	-	-	0,00	0,06	0,06	0,08
	Quillagua	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	-	0,05	0,10	0,17	0,09	0,16

Fuente: Elaboración propia

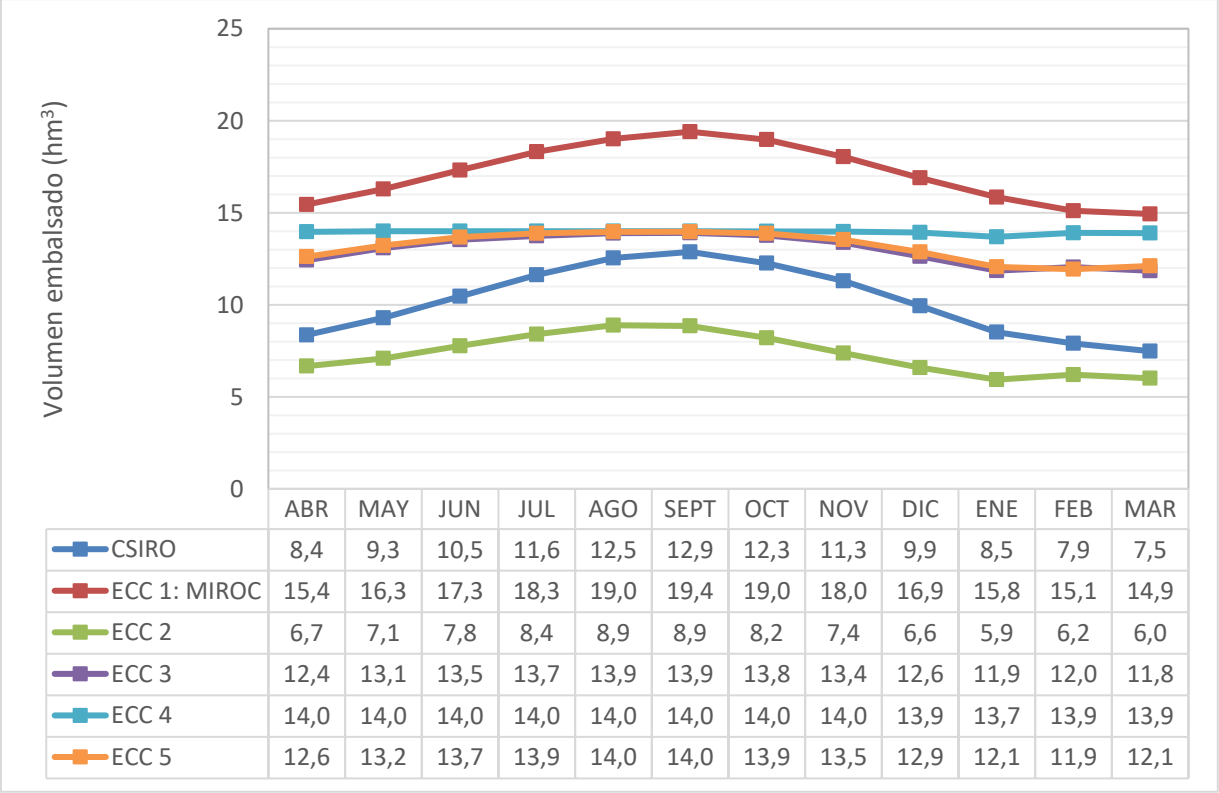
Tabla 5-21: Indicador comparativo de Brecha hídrica ecológica

Escenario	Valor (m^3/s)
ECC 1: MIROC	-0,43
ECC 2	0,00
ECC 3	-0,52
ECC 4	-0,32
ECC 5	-0,17

Fuente: Elaboración propia

5.4.1.2 Volumen embalsado promedio

Este indicador compara el valor promedio de las series de volumen de agua almacenado en el embalse Conchi, en la ventana temporal futura 2020 – 2050. La curva de variación estacional creada a partir de la serie de volumen embalsado se muestra en la Figura 5-31.



	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
CSIRO	8,4	9,3	10,5	11,6	12,5	12,9	12,3	11,3	9,9	8,5	7,9	7,5
ECC 1: MIROC	15,4	16,3	17,3	18,3	19,0	19,4	19,0	18,0	16,9	15,8	15,1	14,9
ECC 2	6,7	7,1	7,8	8,4	8,9	8,9	8,2	7,4	6,6	5,9	6,2	6,0
ECC 3	12,4	13,1	13,5	13,7	13,9	13,9	13,8	13,4	12,6	11,9	12,0	11,8
ECC 4	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	13,9	13,7	13,9	13,9
ECC 5	12,6	13,2	13,7	13,9	14,0	14,0	13,9	13,5	12,9	12,1	11,9	12,1

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-31: Curva de variación estacional de volúmenes embalsados – Escenarios futuros

En la modelación se consideró un volumen muerto de 2 hm^3, por lo que el cálculo del volumen embalsado promedio futuro resta este valor. Los resultados de este indicador para cada escenario se reportan en la Tabla 5-22.

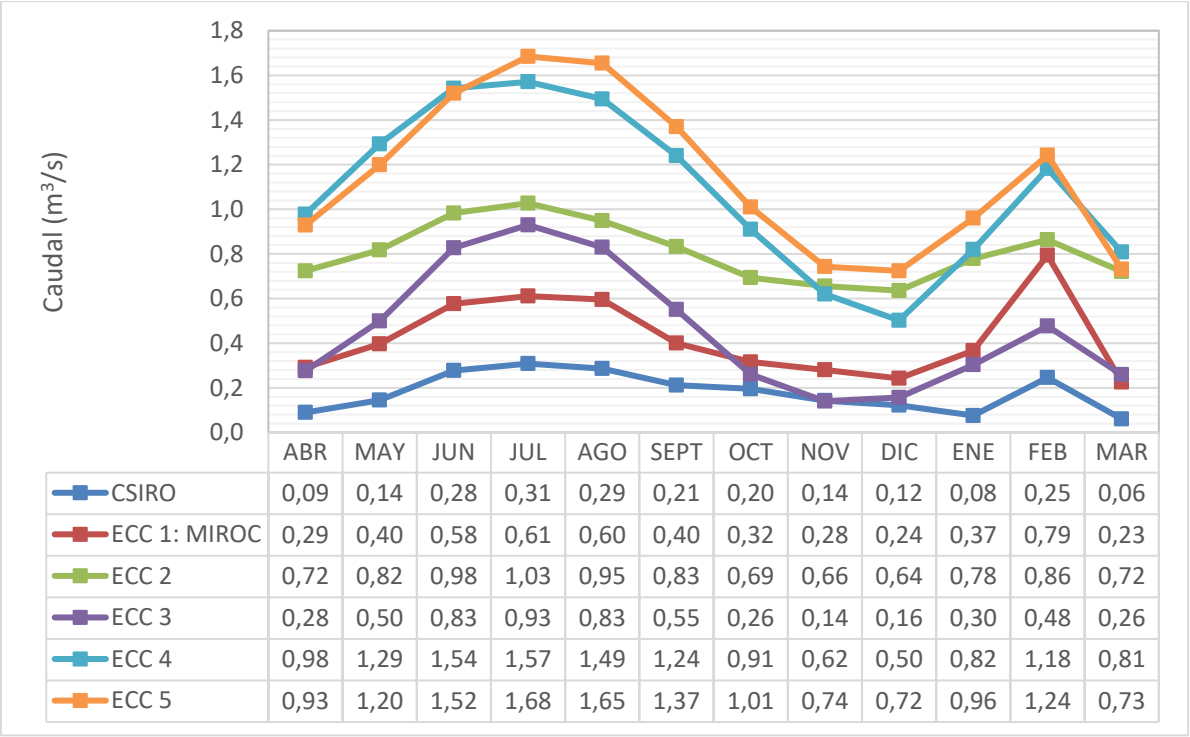
Tabla 5-22: Indicador comparativo de Volumen embalsado

Escenario	Valor (hm^3)
ECC 1: MIROC	15,1
ECC 2	5,3
ECC 3	11,0
ECC 4	11,9
ECC 5	11,1

Fuente: Elaboración propia

5.4.1.3 Escorrentía media en la desembocadura de la cuenca

Este indicador compara el valor promedio de la escorrentía superficial simulada en la desembocadura de la cuenca para la ventana temporal futura 2020 – 2050. La curva de variación estacional de caudales se muestra en la Figura 5-32.



	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
CSIRO	0,09	0,14	0,28	0,31	0,29	0,21	0,20	0,14	0,12	0,08	0,25	0,06
ECC 1: MIROC	0,29	0,40	0,58	0,61	0,60	0,40	0,32	0,28	0,24	0,37	0,79	0,23
ECC 2	0,72	0,82	0,98	1,03	0,95	0,83	0,69	0,66	0,64	0,78	0,86	0,72
ECC 3	0,28	0,50	0,83	0,93	0,83	0,55	0,26	0,14	0,16	0,30	0,48	0,26
ECC 4	0,98	1,29	1,54	1,57	1,49	1,24	0,91	0,62	0,50	0,82	1,18	0,81
ECC 5	0,93	1,20	1,52	1,68	1,65	1,37	1,01	0,74	0,72	0,96	1,24	0,73

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-32: Curvas de variación estacional de caudales en desembocadura de la cuenca del río Loa – Escenarios futuros

Los resultados de este indicador para cada escenario se reportan en la Tabla 5-23.

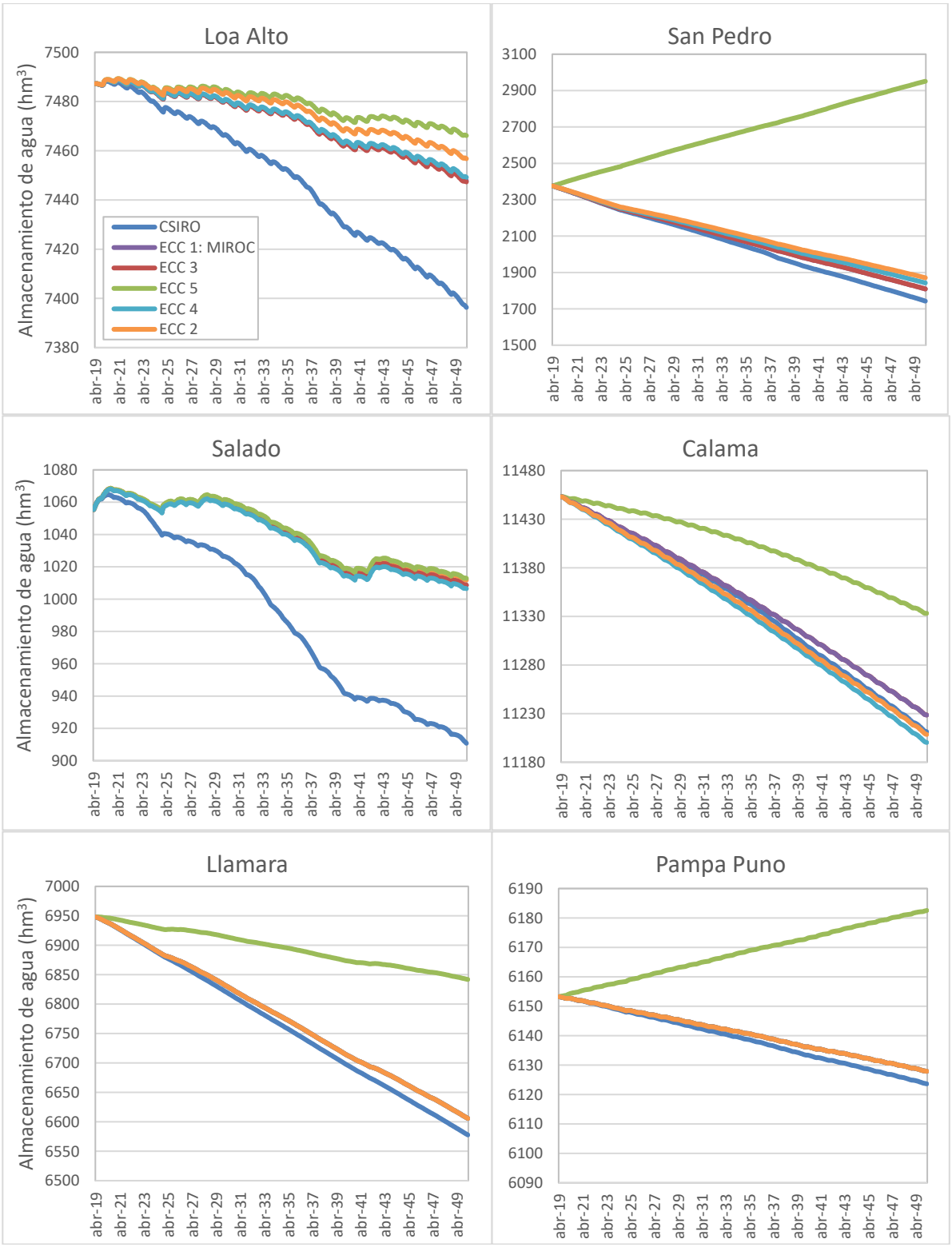
Tabla 5-23: Indicador comparativo de Escorrentía media en Desembocadura

Escenario	Valor (m^3/s)
ECC 1: MIROC	0,41
ECC 2	0,80
ECC 3	0,45
ECC 4	1,07
ECC 5	1,14

Fuente: Elaboración propia

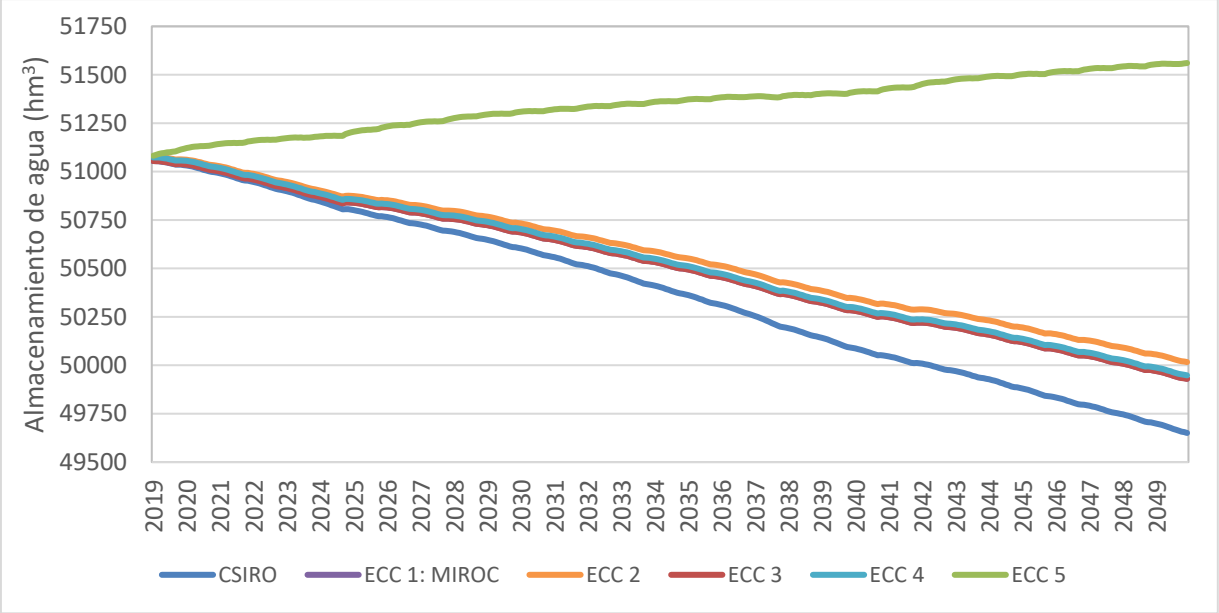
5.4.1.4 Balance hidrogeológico media en los acuíferos

Este indicador compara el valor promedio de la serie de volumen de agua total de la cuenca, es decir, el promedio del almacenamiento de agua todos los SHACs agregados. La serie de almacenamiento para todos escenarios futuros y SHACs de interés es mostrada en la Figura 5-33, mientras que el volumen subterráneo en toda la ceunca se muestra en la Figura 5-34.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-33: Series modeladas futuras (2020 – 2050) del almacenamiento de agua subterránea de algunos SHACs de la cuenca del río Loa



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-34: Serie futura modelada del almacenamiento de agua total en la cuenca del río Loa

Los resultados de este indicador para cada escenario se reportan en la Tabla 5-24.

Tabla 5-24: Indicador comparativo de Balance hidrogeológico medio

Escenario	Valor (hm³/año)
ECC 1: MIROC	-38,5
ECC 2	-36,7
ECC 3	-38,5
ECC 4	-39,2
ECC 5	12,9

Fuente: Elaboración propia

La Figura 5-33 confirma que el ECC 5 es la cartera de acción con la cual se recuperan los niveles de agua en la mayoría de los acuíferos, destacando el de San Pedro y Pampa Puno, además de ser en los demás acuíferos el que presenta las tasas menores de disminución. Caso contrario al escenario CSIRO, que es donde hay menos almacenamiento de agua producto de las pesimistas proyecciones en las tendencias de precipitación que conllevan a menores recargas.

Para el caso del almacenamiento de agua en el acuífero de Calama, a pesar de que el ECC 5 recuperara los niveles subterráneos del acuífero, esto no es suficiente para lograr una tendencia positiva. Esto se puede explicar por varias razones: i) No todos los pozos dejan

de extraer agua (sólo los actores especificados en el acápite 5.3.4), manteniéndose una demanda aproximada de 100 l/s, ii) Producto del aumento en el nivel freático, existe un aumento en los afloramientos del sector de Calama, cercano a 30 l/s, y en la carga hidráulica para la conexión al salar de Miraje, generando un flujo mayor hacia el acuífero de descarga y, iii) Propio de los efectos en la precipitación del cambio climático existe una menor recarga de la lluvia y de los flujos subterráneas de los otros SHACs aguas arriba.

5.4.1.5 Confiabilidad de satisfacción de las demandas

El último indicador corresponde a la confiabilidad de satisfacción de las demandas de consumo humano, agrícolas e industriales. El detalle de la metodología se puede revisar en el Anexo F.

Para el caso del indicador relacionado al consumo humano (agua potable), este es calculado en base al promedio de las extracciones efectivas actuales que reporta la empresa sanitaria, los cuales son menores a los DAA registrados en la base de datos de DGA.

Para el ECC 4 "Prorrateo de DAA", se aplica el cálculo del indicador según el nuevo valor que toman los DAA al disminuirse y no según el DAA original. Asimismo, para el escenario 5 "Liberación de DAA industriales" la confiabilidad de la demanda minera aumenta a un 100% debido a las nuevas fuentes de abastecimiento externas a la cuenca.

Los resultados del indicador para el consumo humano, uso agrícola y minero para cada escenario se reportan en la Tabla 5-25.

Tabla 5-25: Indicador comparativo de Satisfacción de demandas

Escenario	Confiabilidad (%)		
	Potable	Agrícola	Minero
ECC 1: MIROC	91	92	77
ECC 2	86	87	69
ECC 3	91	92	76
ECC 4	96	93	83
ECC 5	95	92	100

Fuente: Elaboración propia

5.4.2 Resumen de indicadores de comparación de escenarios futuros y gestiones

Finalmente, se presenta en la Tabla 5-26 una comparación entre los escenarios de modelación futura y sus carteras de acciones en base a todos los indicadores mencionados en el acápite 5.4.1 más atrás. Se destaca para los escenarios que presentan gestiones (ECC

2, 3, 4 y 5) en verde y rojo los mejores y peores valores de indicadores, respectivamente. Cada cartera de acción propuesta tiene sus propias virtudes y contras, por lo que no existe una en particular que sea notablemente superior y/o posea los mejores indicadores de cada categoría, sin embargo, la tendencia muestra que una cartera de acciones enfocada sólo en la seguridad de la población (ECC 3) afecta claramente a la salud hídrica de la cuenca.

Tabla 5-26: Resumen de indicadores para escenarios futuros

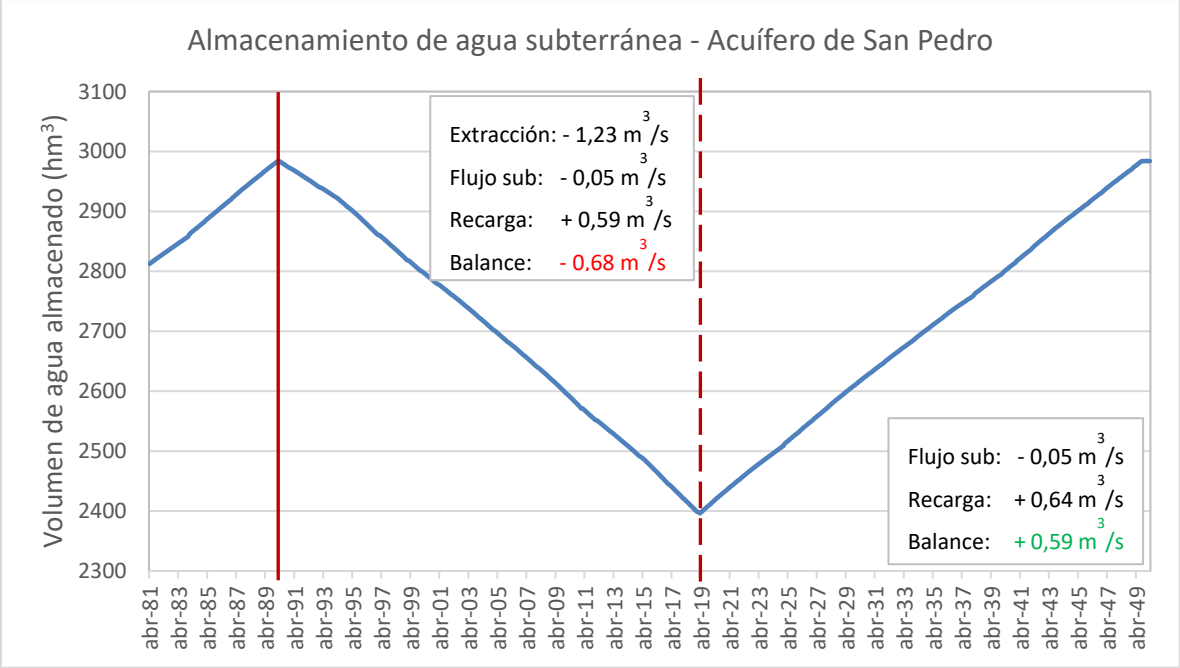
Escenario	Indicador						
	Brecha Q ambiental (m^3/s)	Volumen embalsado (hm^3)	Escorrentía Desembocadura (m^3/s)	Volumen subterráneo (hm^3/año)	Confiabilidad (%)		
					Consumo humano	Agrícola	Industrial
ECC 1	-0,43	15,1	0,41	-38,5	91	92	77
ECC 2	**0,00**	**5,3**	0,80	-36,7	**86**	**87**	**69**
ECC 3	**-0,52**	11,0	**0,45**	-38,5	91	92	76
ECC 4	-0,32	**11,9**	1,07	**-39,2**	**96**	**93**	**83**
ECC 5	-0,17	11,1	**1,14**	**12,9**	95	92	100

Fuente: Elaboración propia

Ya que en el ECC 5 se restringen las extracciones subterráneas de la gran minería en toda la cuenca, se muestra en la Figura 5-35 como podría ser la recuperación del acuífero de San Pedro. El efecto de quitar los cerca de 1,2 m^3/s de extracciones subterráneas genera efectos inmediatos en el almacenamiento de agua, el acuífero podría recuperarse en una ventana temporal de 30 años, destacando que podrían ocurrir afloramientos en 2049.

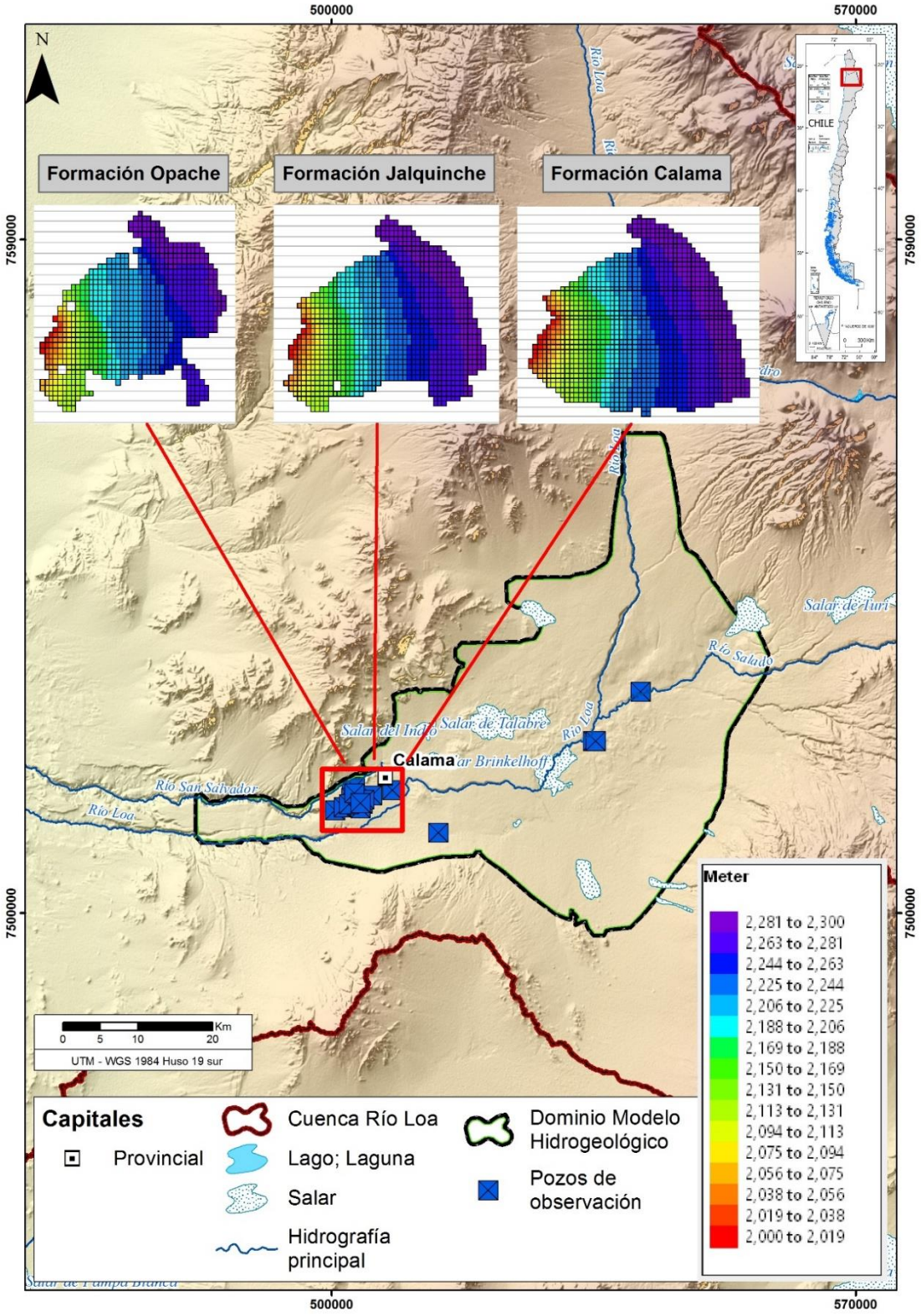
Finalmente, para el área con más intervención antrópica del acuífero modelado mediante el acople WEAP – MODFLOW (SHAC 05), correspondiente al sector bajo de la ciudad de Calama, se muestran en la Figura 5-36 los niveles de agua subterránea en las tres unidades hidrogeológicas para el último paso de tiempo de la modelación futura.

Se ilustra también en la Figura 5-37 una proyección puntual de la altura hidráulica para las unidades hidrogeológicas Opache, Jalquinche y Calama, asociados a la celda donde se encuentra el pozo 8Li (Figura 4-17 - E: 7.514.274,7; N: 503.414,7), ya que se obtuvieron ajustes adecuados en el periodo de calibración en este pozo. Para el caso del estrato superior (Opache), la altura hidráulica es igual al nivel freático de las aguas subterráneas y muestra que para el último paso de la modelación futura el nivel se eleva aproximadamente 7 m, mientras que para el estrato intermedio (Jalquinche) la altura hidráulica aumenta 13 m. Finalmente, para el estrato inferior (Calama) la altura hidráulica aumenta 19 m.



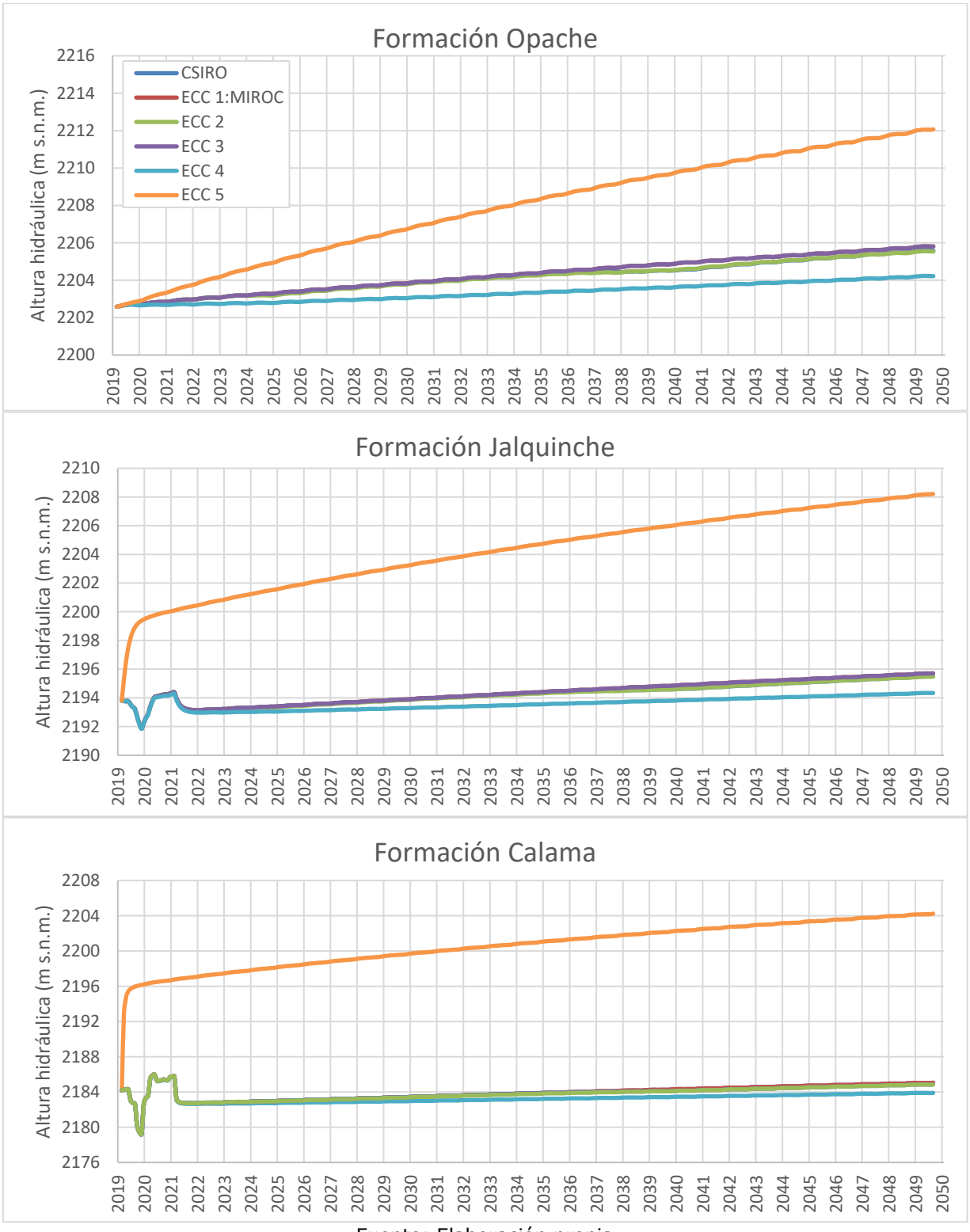
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-35: Serie futura modelada para el almacenamiento del acuífero San Pedro bajo ECC 5



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-36: Altura hidráulica (*Cellheads*) en el sector de Calama simulados bajo ECC 5 para marzo de 2050



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-37: Altura hidráulica (*Cellheads*) en el sector de Calama, bajo escenarios de gestión

6 ACCIONES

En este capítulo se presentan en primer lugar una síntesis de todos los problemas identificados en la cuenca por área temática. Para luego presentar las carteras de acciones que se han identificadas en estudios anteriores, además de los problemas identificados en este estudio. Se completa el capítulo presentando la cartera de acciones propuestas para solucionar los problemas identificados por área temática.

6.1 Síntesis de problemas identificados en PAC

En este acápite se presenta en primer lugar un resumen de los problemas identificados en las actividades de PAC, para luego analizar en mayor detalle los problemas que se detectaron a través de las herramientas de modelación, y finalmente indicar los problemas que se detectaron por parte de la revisión de estudios anteriores, y que si bien es cierto no necesariamente fueron identificados en PAC, continúan siendo relevantes para el área de estudio.

6.1.1 Problemas identificados desde la PAC

Los problemas identificados en la cuenca se dividieron en 7 grandes categorías, según se mostró anteriormente en la Figura 2-68.

En el acápite 2.6.2.2 se presentó una síntesis de los problemas detectados en la cuenca y su relación con los requerimientos de soluciones emanados en la participación ciudadana. Las categorías de problemas identificados son las siguientes:

- Disponibilidad / Seguridad Hídrica
- Calidad y Ecosistemas
- Información hídrica
- Riesgo Afectación Hídrica Por Crecidas y Eventos Extremos
- Marco Legal
- Gobernanza
- Infraestructura

6.1.2 Problemas que se identifican, ratifican como resultado del uso del modelo, o pueden analizarse con el modelo

En primer lugar, debe dejarse en claro que no todos los problemas identificados en la PAC pueden ser analizados o identificados por la aplicación del modelo, de hecho, se identifica

un total de 10 problemas en los que la modelación permite realizar un análisis más profundo o completo. Los problemas a considerar se muestran en la Tabla 6-1.

Tabla 6-1: Problemas analizables con la modelación

Categoría	Problema
Disponibilidad / Seguridad Hídrica	• Afectación Disponibilidad / Seguridad hídrica por efectos Cambio Climático
	• Déficit hídrico relevante en la cuenca / mayor afectación a sector bajo
	• Falta de visión estratégica del uso del agua (priorizar consumo humano / Comunidades / Industria)
	• Baja disponibilidad de agua para riego (en forma segura)
	• Acuíferos en vías de agotamiento (Como por Ej. sector de San Pedro, Calama, Llamara)
	• Uso poco eficiente del agua y falta de mayor reúso
Calidad y Ecosistemas	• Urgencia de aplicar Caudales Ambientales al río Loa
Marco Legal	• Sobre otorgamiento de Derechos de aguas afecta la disponibilidad y el ejercicio
Infraestructura	• Escasas Obras de regulación y almacenamiento de agua (por ejemplo, embalses de regadío) – Respaldo Hídrico insuficiente • Operación insegura de obras de almacenamiento de agua

Fuente: Elaboración propia

En lo que sigue se presenta un breve análisis de los diferentes problemas, y su cuantificación, o explicación usando los resultados de la modelación:

- **Afectación Disponibilidad/Seguridad hídrica por Efectos del Cambio Climático:** Este problema está definido por una parte por falta de recursos en las condiciones actuales, problemas que la modelación hidrológica muestra que se acrecientan para los escenarios de cambio climático. Por ejemplo, en las cuencas de cabecera, la oferta superficial disminuye de 70,2 hm³/año a 68,9 hm³/año, lo que contribuye a que la brecha hídrica total en la cuenca aumente de -28,2 hm³/año a -31,8 hm³/año. En todo caso se debe hacer notar que los problemas de disponibilidad hídrica no son homogéneos en toda la cuenca, sino que hay sectores con mayor o menor disponibilidad. Por ejemplo, del orden de un 23% de disminución en la parte alta de la cuenca, hasta valores del orden de un 50% de disminución en la parte baja. Los resultados más detallados de estos cambios se presentan en el Anexo H, principalmente en el Capítulo 5.
- **Déficit hídrico relevante en la cuenca/mayor afectación a sector bajo:** Este problema es equivalente al anterior, pero ve el problema desde una perspectiva

territorial en situación actual, ya que se centra en la distribución del recurso en sectores específicos. Por ejemplo, la agricultura ha visto reducida su actividad en forma sistemática, tal como se mostró en el Capítulo 3, desde un máximo cercano a 1.500 ha hasta cerca de 800 ha en la actualidad. Es más, aguas debajo de Calama, la disponibilidad de agua a nivel del río para Quillagua es nula, aun cuando hay derechos comprometidos, los que producto de la falta de agua, no alcanzan a llegar hasta la zona de interés. Se hace notar en todo caso, que para la modelación esto es difícil detección, ya que la escala de trabajo no permite identificar bien lo que ocurre, sino que solo determinar las grandes tendencias.

- **Falta de visión estratégica del uso del agua:** En la condición legal imperante en la cuenca durante el periodo histórico, que queda claramente plasmada en el modelo, la distribución del agua funciona de la siguiente manera:

  1. Se determina la demanda total de agua en un sector (riego, potable, minería, etc.)
  2. Se compara con las necesidades totales de cada tipo
  3. Si el agua disponible es mayor a la demanda se satisfacen todas las demandas
  4. Si el agua disponible es menor a la demanda se satisfacen todas las demandas en forma alícuota hasta completar la disponibilidad, sin hacer distinción entre tipos de uso

  Lo anteriormente expuesto es no manejar el agua en forma estratégica, que es lo que la comunidad preferiría, es decir, asignar el agua en forma preferente al uso humano, agrícola y/o ambiental, y en menor medida, si alguna, a la minería o industria.

  Se hace notar que se analizaron 2 escenarios en los que se analiza esta condición: Prorrateo de derechos, y liberación de derechos de agua de la minería. En el primer escenario se aplicó una disminución pareja de las asignaciones, es decir, se siguió aplicando el paradigma anterior, solo disminuyendo la demanda. Para este primer escenario, la brecha hídrica total, mejora desde -31,8 hm³/año a -19,4 hm³/año, lo que es igual a un mejoramiento de 12,4 hm³/año. En el segundo escenario, efectivamente se aplica una priorización de las demandas, donde la brecha hídrica disminuye a -5,5 hm³/año, o sea mejora en 26,3 hm³/año. El resultado más interesante es que a nivel subterráneo se tiene una mejora del almacenamiento total de 12,9 hm³/año. En este escenario, se tiene que toda la demanda minera es

satisfecha con recursos provenientes de fuera de la cuenca, que en este caso corresponden a recursos provenientes de desalación, ya que se determinó que es la única fuente factible de entregar el agua necesaria.

- **Baja disponibilidad de agua para riego (en forma segura):** La aplicación del modelo muestra claramente que esto es así, mostrando que la satisfacción de la demanda es menor al 100%, lo que se traduce en baja seguridad de riego. Tal como ocurre en los escenarios de cambio climático, la disminución en la satisfacción de la demanda es aún más drástica para el riego. Esto es ya que cuando las necesidades hídricas de las plantas no son satisfechas en ciertos momentos clave del ciclo productivo, la planta muere, aunque haya agua en abundancia en forma posterior. Esto queda claramente modelado, ya que el ciclo de crecimiento está incluido, en la forma de coeficientes de cultivo. Ahora bien, dada baja la magnitud de la superficie regada en la cuenca, menos del 0,02 % de la superficie de la cuenca, el efecto es muy marginal para ser detectado por el modelo. A eso debe agregarse que, por condiciones de calidad de aguas, la tecnificación del riego, si bien es técnicamente factible, no lo es económicamente, ya que los sistemas tienen una vida útil muy baja con respecto a lo que se observa en otros territorios.
- **Acuíferos en vías de agotamiento (Ej. sector de San Pedro, Calama, Llamara):** Este es un problema claramente mostrado por la modelación, donde los niveles o volúmenes de agua almacenadas están a la baja, la única diferencia es que cuando se consideran alternativas de distribución del agua, el proceso de desacelera, pero no detiene. A nivel global, la variación del almacenamiento en los SHAC aumenta desde -34,0 hm³/año a -38,5 hm³/año, por efectos del cambio climático.
- **Uso poco eficiente del agua y falta de mayor reúso:** Esto no queda del todo demostrado por la modelación, ya que su alcance no lo permite, tanto por la escala temporal de la modelación, como por la escala espacial de la misma. No obstante, lo anterior, una actualización del modelo podría permitir este análisis ya que es relevante, especialmente en una cuenca en que por la calidad base de las aguas y del suelo, la práctica agrícola es principalmente riego por tendido, altamente ineficiente. Tal como se indicó anteriormente, es técnicamente factible de modelar, pero su efecto es probablemente no detectable en la cuenca en su totalidad.
- **Urgencia de aplicar Caudales Ambientales al río Loa:** El modelo permite analizar esta condición, de hecho, en una de las modelaciones se analizó el efecto

de incluir los caudales ambientales determinados en el estudio GORE Antofagasta (2020), mostrándose un efecto drástico en la distribución de agua disponible en la cuenca. Lo anterior muestra que el uso del agua ha ido en contra de las necesidades de los ecosistemas naturales, ya que con el fin de cumplir con los requerimientos legales de agua se sacrificó el requerimiento de los ecosistemas. La modelación aplicada muestra que, para cumplir los requerimientos ambientales, la brecha hídrica total se incrementa a -44,4 hm³/año, aunque a nivel subterráneo se observa un mejoramiento desde -38,5 hm³/año a -36,7 hm³/año.

- **Sobre otorgamiento de derechos de aguas afecta la disponibilidad y el ejercicio:** El sobre otorgamiento se manifiesta de 2 maneras, por una parte, en el sistema subterráneo se observa una disminución de niveles y volúmenes almacenados, y en a nivel superficial y subterráneo en que el agua no alcanza para todos los usuarios.
- **Escasas Obras de regulación y almacenamiento de agua (por ejemplo, embalses de regadío) – Respaldo Hídrico insuficiente:** El modelo permite analizar este efecto, en todo caso, en solo lo puede hacer para las obras mayores, como es el embalse Conchi. En esta oportunidad no se analizaron otras alternativas de embalse, pero la herramienta permite hacerlo. Para el caso de este embalse se consideró un análisis de seguridad de la obra, que se presenta en el caso siguiente.
- **Operación insegura de obra de almacenamiento de agua:** Históricamente, el embalse Conchi acumula volúmenes de agua superiores de hasta 21 hm^3 entre los meses de agosto a septiembre, para así lograr satisfacer las demandas legales de agua de los actores ubicados en el sector de Loa medio. Sin embargo, operar sobre 14 hm^3 involucra que el vertedero evacuador de crecidas se mantiene cerrado, lo cual no es permitido como criterio de operación normal de un embalse, según Reglamento DGA Oficial Obras Hidráulicas, ya que establece un alto riego de afectación para la población aguas abajo del embalse (Lasana, Chiu Chiu. Calama) en caso de existir una crecida extrema o un sismo de magnitud considerable. El modelo permite realizar un análisis preliminar, ya que, para un análisis detallado, se requiere un modelo de simulación, idealmente de tipo horario, es decir que pueda analizar todo lo que ocurre. Es interesante mostrar que la disminución del volumen máximo almacenado en el embalse desde 21 hm³ a 14 hm³, solo hace que la brecha se incremente desde -31,8 hm³/año a -32,3 hm³/año, es decir, -0,5 hm³/año. Esto ocurre porque la disponibilidad de agua es más cerca en promedio a 14 hm³/año que a la capacidad máxima considerada.

6.1.3 Problemas identificados desde estudios anteriores

En último lugar se tienen identificados otros problemas que en estudios anteriores se identificaron como relevantes, y por lo tanto pueden ser importantes para la cuenca. Estos problemas se muestran en la Tabla 6-2.

Tabla 6-2: Problemas Identificados en Estudios Anteriores

#	Problema	Estudio
1	Múltiples pasivos ambientales mineros (desechos, relaves o acumulación de material estéril) que quedan abandonados al finalizar las faenas, algunos podrían afectar el recurso hídrico	DGA (2016b)
2	Los SSR de la región, general, tienen un déficit de saneamiento rural (sistemas de alcantarillado) y problemas con la calidad del agua, mostrando índices que sobrepasan la norma en gran parte de las localidades semiconcentradas y dispersas.	DGA (2016b)
3	Falta de visión común de mediano y largo plazo, falta de gestión local adecuada de los actores de una misma unidad geográfica e inadecuada coordinación de funciones entre organismos de la gestión del agua.	DGA (2016b)
4	Contaminación de recursos hídricos por aguas residuales y faenas mineras (aguas servidas domésticas y residuos líquidos industriales)	DGA (2012b)
5	Contaminación de suelos provocada por percolados de relaves, por contaminantes minerales transportados por el viento y por la erosión derivada de faenas mineras y tránsito de vehículos pesados.	DGA (2012b)
6	Problemas de infraestructura: Tranques, SSR, Infraestructura de riego y manejo de cauces.	DGA (2012b)
7	Deficiencias organizacionales entre los usuarios y la inexistencia de una Junta de Vigilancia del río Loa.	DGA (2012b)
8	Problemas legales e institucionales: regularización, venta y traslado de DDA.	DGA (2012b)
9	Sobreexplotación de recursos hídricos: extracción excesiva (legal e ilegal) desde los cauces y acuíferos que provoca escasez de recursos hídricos y disminución de caudales.	DGA (2012b)

Fuente: Elaboración propia con antecedentes DGA (2012b) y DGA (2016b)

6.2 Cartera de Acciones Existentes

En este acápite se presenta la cartera de acciones identificadas en estudios anteriores, el Banco Integrado de Proyectos, y una iniciativa privada que se consideran válidas para la realidad actual de la cuenca, y que son interesantes para el desarrollo del estudio.

6.2.1 Identificación y propuesta de iniciativas para la Región de Antofagasta (PEGRH). DGA (2016b)

El PEGRH para la Región de Antofagasta contempla un total de 63 iniciativas que incluyen proyectos y programas en ejecución, aprobados y en estudio, de origen público y privado, así como proyectos e iniciativas propuestas. El listado final de las iniciativas se obtuvo después de haber realizado un proceso de levantamiento de información y posterior depuración en base a distintos criterios. En líneas generales las iniciativas catastradas son el resultado de una exhaustiva búsqueda de proyectos e iniciativas en gabinete (vía web), y en las entrevistas con gran parte de los organismos públicos relacionados con los recursos hídricos. Para la definición de las iniciativas propuestas, como criterio general se consideró la proposición de iniciativas concretas globales en aquellas líneas de acción sin iniciativas catastradas, o que las iniciativas existentes fueran demasiado locales para tener un efecto sobre la brecha. Finalmente, se realizó un análisis de consistencia entre las iniciativas, enfocado en evitar solapamientos entre ellas, ya sea en sus alcances o que estuvieran abarcando los mismos territorios. El análisis incluyó también determinar las iniciativas que son complementarias, es decir, que el desarrollo de una depende del desarrollo de otra. Se debe señalar que la DGA solicitó la incorporación de 3 nuevas iniciativas, relacionadas al tema de la Consulta Indígena, y una iniciativa que apunta a estimar la disponibilidad hídrica, para poder regularizar derechos de las comunidades indígenas, y con ello facilitar la actividad agrícola.

Del plan, se presentan a continuación las acciones que se ubican en la cuenca del río Loa, o tienen aplicación en esta zona. Finalmente, se obtuvo un listado de 29 iniciativas propuestas, las que se muestran en la Tabla 6-3 con su respectivo objetivo.

Tabla 6-3: Iniciativas Identificadas PEGHR

#	Iniciativa	Objetivo
P1	Planificación de proyectos y mejora de los sistemas de agua potable en localidades rurales dispersas	Dar solución de agua potable a localidades rurales dispersas de la región.
P2	Programa de mejoramiento en la administración y funcionamiento de los sistemas SSR	Mejorar la administración de los sistemas APR, incluyendo la calidad química del agua.
P3	Fortalecer labor de fiscalización y seguimiento ambiental DGA	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.

#	Iniciativa	Objetivo
P4	Plan de Fiscalizaciones ciudadanas	Implementar un programa de fiscalizaciones con la comunidad donde los ciudadanos puedan acompañar a la DGA regional en las labores de fiscalización y seguimiento ambiental y monitorear en forma efectiva y en conjunto.
P5	Agenda de Trabajo regional sobre Código de Aguas	Dar continuidad al trabajo ya Iniciado por DGA regional sobre el Código de Aguas con la comunidad con miras a generar un aporte de ideas y postura regional en la modificación al Código de Aguas
P6	Guía operativa de puesta en valor de actividades ancestrales asociadas al recurso hídrico	Desarrollar una guía que dé a conocer y que difunda los usos y costumbres ancestrales de los recursos hídricos en la región.
P7	Dotar de agua para riego a Quillagua	Identificar y ejecutar el mecanismo adecuado para que la localidad de Qulliagua cuente con agua para riego.
P8	Programa de subsidios a cultivos con denominación de origen	Generar apoyo para fomentar la actividad agrícola tradicional a través del Incentivo a cultivos nativos de la región con alto valor agregado en el mercado.
P9	Oficina provincial DGA	Contar con una oficina provincial de la DGA, que permita acercar el organismo a la ciudadanía y a las principales fuentes de recursos hídricos.
P10	Programa de fortalecimiento de las relaciones entre privados y comunidades	Apoyar y fomentar un cambio cultural que mejore las relaciones entre la Industria minera y las comunidades (Incluidas las comunidades indígenas), promoviendo en el largo plazo asociaciones eficaces que beneficien a todas las partes interesadas.
P11	Reforzar institucionalidad de acción ante emergencias relacionadas a temas hidrológicos	Proponer un mejoramiento al sistema de funcionamiento institucional en situaciones de emergencia relacionadas a los recursos hídricos.
P12	Caracterización del funcionamiento hídrico e hidrogeológico de sectores acuíferos que alimentan vegas y bofedales protegidos	Redefinir y delimitar sectores acuíferos que alimentan vegas y bofedales y estudiar su funcionamiento hidrogeológico.
P13	Caracterización de la calidad química de los cuerpos de agua (superficiales y subterráneos) no estudiados de la región	Realizar un estudio de la calidad química en acuíferos y fuentes superficiales poco estudiadas

#	Iniciativa	Objetivo
P14	Participación ciudadana sobre el futuro del río Loa	Determinar una imagen objetivo sobre el futuro del río Loa, que permita a las autoridades definir una alternativa de gestión sobre esta fuente, con una participación real de la comunidad y usuarios de la cuenca.
P15	Promover el uso de fuentes alternativas de abastecimiento para pequeños usuarios	Estimular el uso de distintas alternativas de abastecimiento de agua con el propósito de dar mayor seguridad del recurso a pequeños usuarios.
P16	Impulsar reúso de aguas servidas tratadas	Impulsar la utilización de las aguas de las plantas de tratamiento de aguas servidas para riego de áreas verdes o uso Industrial.
P17	Campaña sobre uso eficiente de agua potable en colegios	Establecer un programa de educación y concientización del uso eficiente del agua, específicamente apuntando colegios de la región.
P18	Fortalecimiento de la Mesa de Recursos Hídricos	Establecer una mesa de diálogo operativa entre los distintos actores relacionados al recurso hídrico a la región.
P19	Secretaría Técnica DGA	Fortalecer las capacidades técnicas disponibles para la Mesa del Agua, para que tenga un funcionamiento eficiente y su toma de decisiones sea adecuadamente Informado y con un alto respaldo técnico.
P20	Observatorio de Recursos Hídricos	Crear un Observatorio de Recursos Hídricos Regional que integre y sistematice la Información hídrica regional, e Implemente una plataforma en línea con Información relevante para Informar a la población en materia de recursos hídricos.
P21	Plan de mejoramiento de estaciones fluviométricas	Desarrollar un plan de mejoramiento de las estaciones fluviométricas en la región, incluyendo modernización del sistema de trasmisión de datos e instalación de nuevas estaciones.
P22	Ampliar red de medición de niveles de agua subterráneas y de calidad química DGA	Implementar nuevas estaciones de medición de niveles de agua subterránea y calidad química que permita proponer nuevas estaciones, principalmente en acuíferos y cuencas sin Información.
P23	Estudio Balance Hídrico en cuencas no estudiadas	Determinar un balance hídrico actualizado de aquellas cuencas poco estudiadas en la Región de Antofagasta.
P24	Mejora continua en la aplicación de procesos de participación ciudadana del MOP en actividades referentes al recurso hídrico	Fortalecer los Procesos de participación ciudadana del MOP regional, favoreciendo procesos informados y comunicativos en actividades referentes al recurso hídrico.

#	Iniciativa	Objetivo
P25	Información accesible al proceso tarifario de la empresa sanitaria	Generar mayor transparencia en el proceso de cálculo de tarifas, que permita a la comunidad comprender porque el agua de la región es una de las más caras del país, junto a los esfuerzos que se realizan para disminuir sus costos.
P26	Estudio del sistema de subsidios para el agua potable en la región de Antofagasta	Evaluar la suficiencia del programa de subsidios al agua potable.
P27	Estudio disponibilidad hídrica para regularización de derechos de comunidades indígenas	Estimar la disponibilidad del recurso hídrico para poder regularizar los derechos de las comunidades indígenas.
P28	Capacitación a profesionales DGA·MOP en proceso de Consulta indígena, de acuerdo a directrices Convenio 169 de la OIT	Instruir en la Implementación del DS 66, que regula el Procedimiento de Consulta indígena, a los funcionarios de la DGA·MOP en la Región.
P29	Capacitación a representantes de comunidades indígenas d en proceso de Consulta indígena, de acuerdo a directrices Convenio 169 de la OIT	Instruir en la implementación del DS 66. que regula el Procedimiento de Consulta indígena, a los representantes de las comunidades indígenas de la región.

Fuente: DGA (2016b)

6.2.2 Diagnóstico para Desarrollar Plan de Gestión de Riego en la Región de Antofagasta. CNR, 2017b

Con el fin de levantar una cartera de proyectos futuros, la CNR desarrolló el estudio indicado, donde se identificaron 5 estudios, proyectos o planes que se ubican en la zona de estudio. En la Tabla 6-4 se muestra un resumen de las iniciativas identificadas que corresponden al área de estudio.

Tabla 6-4: Iniciativas identificadas Plan Gestión de Riego Antofagasta

#	Iniciativa	Objetivo
PGR1	Transferencia para el Levantamiento de Tranques de Regulación Corta para Pequeños Agricultores	El objetivo de este programa es capacitar e implementar 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.

#	Iniciativa	Objetivo
PGR2	Transferencia Tecnológica para la Validación de Sistemas de Abatimiento y levantamiento de Demanda de Proyectos de Abatimiento de Contaminantes del Agua de Riego	El programa tiene como objetivo investigar y validar tecnologías de abatimiento, evaluar las más eficientes y de menor costo, para determinar la mejor alternativa de tratamiento de aguas para riego. Además, pretende transferir la tecnología a los usuarios y levantar perfiles de proyectos para ser presentados a la Ley de Fomento.
PGR3	Transferencia Tecnológica en el Manejo de Obras Extra Prediales y Técnicas de Riego	El programa tiene como objetivo contribuir a mejorar la eficiencia en técnicas de riego, buscando mejorar las capacidades técnicas de los usuarios.
PGR4	Validación y Transferencia Tecnológica de Sistemas de Riego en las Comunidades Indígenas	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.
PGR5	Fortalecimiento Organizacional y Transferencia Tecnológica para la Gestión Eficiente de Recursos Hídricos	Este programa tiene como objetivo contribuir a la capacitación técnica de los agricultores de los Ayllu de San Pedro de Atacama para la gestión eficiente de los recursos hídricos.

Fuente: CNR (2017b)

6.2.3 Identificación y propuesta de iniciativas para propuestas en el estudio Riego Sustentable Cuencas Loa y Salado. CNR (2017a)

Este proyecto se centró en buscar soluciones a la calidad de las aguas con el fin de determinar las mejores soluciones relacionadas con el riego. En la Tabla 6-5 se presentan las acciones relacionadas con el manejo de los recursos hídricos identificados en el estudio.

Tabla 6-5: Iniciativas identificadas estudio Riego Sustentable Cuencas Loa y Salado

#	Iniciativa	Objetivo
PRSLS1	Tecnificación del Riego	Considera incremento de la superficie tecnificada en la cuenca
PRSLS2	Mejoramiento Infraestructura de Bocatomas y Canales	Construcción de bocatomas definitivas y canales revestidos
PRSLS3	Construcción Embalse Turi	Embalse de riego en la zona de las Vegas de Turi

PRSLS4	Trasvases y Desvíos	Trasvases y desvío del río Salado en la zona donde la mayor cantidad de contaminantes ingresan al río
PRSLS5	Operación Conjunta Embalses Conchi y Turi	Análisis operacional del funcionamiento del embalse Conchi en conjunto con el embalse propuesto
PRSLS6	Reúso de Aguas Grises y/o Servidas Tratadas	Incremento del uso de aguas servidas tratadas

Fuente: CNR (2017a)

6.2.4 Acciones identificadas en el Banco Integrado de Proyectos

En el Banco Integrado de Proyectos del MDSF[12] se investigó la existencia de acciones relacionadas con los recursos hídricos en la región, identificándose 2 estudios o proyectos:

- Construcción Sistema Agua Potable Rural Verdes Campiñas. Calama.
- Conservación, Mantención y Ampliación SSR Región de Antofagasta (aparece APR en el BIP)

El primer proyecto se inserta en el área de estudio, y de hecho está mencionado como uno de los ahora SSR en espera de solución. Se presentan costos para la elaboración de estudios y construcción para los años 2021 y 2022. El segundo proyecto no entrega localización exacta.

La información presentada se utilizará para modificar el alcance del estudio propuesto como parte integrante del plan, que se presenta en el Acápite 6.3.

6.2.5 Acciones de privados que podrían condicionar o afectar el PEGH Loa

En forma adicional, se dispone de información relacionada con un proyecto de interconexión hídrica entre los sistemas existentes de desalación de agua para uso mineros (Escondida, Spence y Radomiro Tomic, y otros actores), como son los proyectos APORTAA y CRAMSA. Dado que en estos proyectos el agua usada viene de fuera de la cuenca, no van a ser incluidos explícitamente en la forma de obras, sino que en las acciones que el PEGH Loa pueda desarrollar para facilitar y gestionar el desarrollo del estudio. A modo de ejemplo, De hecho, en el acápite 2.5.1.2 se presentaron algunos antecedentes de los proyectos, con la ubicación de las tuberías, puntos de interconexión y bombeos considerados.

[12] Revisado en mayo 2021

Se hace notar mayores detalles tendientes a facilitar el desarrollo del PEGH Loa se presentan en el Capítulo 8, donde se deja claro que la participación de privados es fundamental para el desarrollo del plan.

6.3 Acciones propuestas para actividades PAC

Usando como insumos las iniciativas propuestas en los estudios anteriores, y que además se consideran válidas para la realidad actual de la cuenca, se preparó un listado preliminar de acciones para resolver los problemas anteriormente identificados, las que se presentan en la Tabla 6-6. En la tabla también se incluyen acciones no identificadas previamente, diseñadas para resolver los problemas no considerados anteriormente. La tabla presentada tiene 7 columnas cuyas características se presentan brevemente:

- **Categorías Problemas Identificados:** Corresponde a una reordenación de las categorías de problemas presentados en el Acápite 6.1, donde ahora en vez de 7 lineamientos de problemas se presentan 6 categorías de soluciones propuestas. Las 6 categorías consideradas fueron las siguientes:

    1. Disponibilidad/Seguridad Hídrica/Infraestructura (D)
    2. Calidad y Ecosistemas (C)
    3. Información Hídrica (I)
    4. Riesgo Afectación Hídrica Crecidas/Fallas Obras (R)
    5. Gobernanza (G)
    6. Normativas Legales (N)

- **Origen:** Se presenta el origen de la acción propuesta, presentándose el código de acción indicado en los Acápites 6.2.2, 6.2.3 o 6.2.4, además de indicar cuando se trata de acciones modificadas, fusionadas, o definitivamente nuevas, entendiéndose por esto, como acciones propuestas como resultado del PEGH Loa, al determinarse que se requiere el tipo de acción propuesto.
- **Iniciativa:** Presenta el nombre de la iniciativa
- **Descripción:** Presenta una breve descripción de la misma
- **Categoría:** Se indica si corresponde a un estudio o programa
- **Tipo:** Indica si se trata de una acción estructural o no estructural

- **Institución Pública Participante:** Se presentan las instituciones públicas que al momento de formular este PEGH Loa se estima deberían estar consideradas. En caso de indicarse múltiples instituciones, la primera es referida como la entidad ejecutora.

  Se hace notar que en esta tabla no se incluyen privados, lo que no significa que estén excluidos del PEGH, sino que no están considerados a priori como ejecutores de las acciones. Perfectamente como resultado de la ejecución del PEGH se puede decidir transferir la ejecución de una acción específica a un privado. Eso en todo caso será considerado en el Capítulo 8.

Se debe hacer notar que los problemas e iniciativas fueron puestos a disposición de la comunidad con el fin de tener validación o identificación de otros problemas y acciones. El resultado de este trabajo se presentó anteriormente en el Acápite 2.5, desde la dimensión social, y posteriormente en el Capítulo 7, en la evaluación de la cartera de acciones propuestas, y posterior proposición del PEGH Loa.

Se hace notar que con posterioridad al proceso PAC, se determinó que algunas acciones escapan al alcance del PEGH Loa, ya que corresponden a acciones regionales o nacionales, y otros proyectos que se determinaron inviables, por lo que se eliminaron del análisis que se presenta en lo que sigue.

En el Anexo K (Anexo K-01 a K-09) se presentan fichas con mayores detalles para cada proyecto, donde se indica el presupuesto detallado de cada iniciativa.

Tabla 6-6: Iniciativas Propuestas

Categorías Problemas Identificados	Origen Iniciativa	Iniciativa	Brecha que Resuelve	Descripción	Categoría	Tipo	Institución Pública		Código
							Encargada Financiamiento y Ejecución	Participantes	
Disponibilidad/ Seguridad Hídrica e Infraestructura: En esta categoría se incluyen acciones tendientes a mejorar la disponibilidad o la seguridad hídrica y al mejoramiento o creación de infraestructura	P1 modificado con información BIP	Mejora de los Servicios Sanitarios Rurales en localidades rurales	Permite resolver los problemas de falta de seguridad ya sea en el abastecimiento de agua o en el tratamiento de las aguas negras	Dar solución de agua potable y saneamiento a localidades rurales en la cuenca. En particular considera el caso del SSR Verdes Campiñas. Se considera para los sistemas existentes el análisis de la instalación de saneamiento, y para sistema no considerados, tanto el agua potable como el tratamiento	Estudio	Estructural	DOH	Municipalidades	D1
	PGR1	Transferencia para el Levantamiento de Tranques de Regulación Corta para Pequeños Agricultores	Permite disminuir la brecha de regulación que facilite el uso de las aguas disponibles	El objetivo de este programa es capacitar e implementar 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	Programa	Estructural	CNR	INDAP	D2
	PGR3	Transferencia Tecnológica en el Manejo de Obras Extra Prediales y Técnicas de Riego	Permite disminuir la brecha asociada al uso de técnicas apropiadas para el riego, aun cuando las condiciones de calidad y del suelo no sean las mejores	El programa tiene como objetivo contribuir a mejorar la eficiencia en técnicas de riego, buscando mejorar las capacidades técnicas de los usuarios. Es un complemento al estudio anterior, y considera entre otros elementos preparación de material impreso, capacitaciones en riego tecnificado, manejo de salinidad de suelos, calidad de aguas y otros temas relevantes a ser determinados. 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.	Programa	No Estructural	CNR	INDAP	D3
	PEGH Loa (incluye PRSLS5)	Gestión Integral del Embalse Conchi, Incluye:							D5
		Dotar de Sistema Telemétrico de niveles y de control descargas	Permite disminuir la brecha de control sobre la obra	Diseñar sistema de control remoto del nivel del embalse y control de las compuestas, con el fin de operar remotamente el sistema, especialmente en las condiciones actuales en que producto del cambio climático los eventos hidrometeorológicos extremos son más extremos que lo ocurrido históricamente	Estudio	Estructural	DOH		
		Determinar Volumen Real Almacenamiento Embalse Conchi	Conocimiento de la disponibilidad real del embalse	Se requiere realizar un estudio batimétrico de detalle con el fin de determinar la capacidad actual del embalse, de modo de disponer de la real capacidad del embalse. Esto es vital ya que otro de los estudios apunta a disminuir la capacidad de almacenamiento por seguridad de la población aguas abajo, por lo que optimizar su capacidad es requerido		Estructural	DOH		
		Mejorar Capacidad Almacenamiento y Operación del embalse	Mejoramiento de la operación del sistema	Evaluar formas para mejorar la capacidad de almacenamiento del embalse (por ejemplo, dragado) y mejoras a la operación del embalse, con el fin de servir en mejor forma a suplir agua de riego segura o mantener el abastecimiento de agua potable durante eventos extremos. Este es un complemento a lo anterior, ya que usa los resultados obtenidos con el fin de proponer alternativas de solución al problema.		No Estructural	DOH		
		Evaluar modificación de la regla operacional del embalse Conchi para mejorar oferta hídrica para riego, incluye análisis para evaluar posibilidades de entregar agua de riego a Quillagua	Mejoramiento de la operación del sistema	Estudio para analizar cambios a la regla de operación del embalse, incluyendo formas de dotar de agua de riego a Quillagua		No Estructural	DOH	CNR	
	P26	Sistema de subsidios para el agua potable	Transferencia de información a la comunidad	Evaluar la suficiencia del programa de subsidios al agua potable. La iniciativa apunta a resolver la brecha de falta de conocimiento del proceso de tarificación y sistema de subsidios al agua potable en la región detectada en el diagnóstico, a su vez esta brecha se enfoca en el objetivo de propiciar una participación informada de los distintos actores en torno al recurso hídrico.	Estudio	No Estructural	Municipalidades	DOH-GORE	D6
	PGR4	Transferencia Tecnológica de Sistemas de Riego en las Comunidades Indígenas	Transferencia de conocimiento de técnicas de riego dirigido a comunidades indígenas	Los objetivos de este programa son 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. La escasez hídrica corresponde a uno de los factores limitantes para la productividad agrícola, los turnos se han distanciado, disminuyendo 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.	Programa	No Estructural	CONADI	CNR-INDAP	D7

Categorías Problemas Identificados	Origen Iniciativa	Iniciativa	Brecha que Resuelve	Descripción	Categoría	Tipo	Institución Pública		Código
							Encargada Financiamiento y Ejecución	Participantes	
Calidad y Ecosistemas: Apunta a acciones que se relacionan con afectar la calidad de aguas y los ecosistemas existentes en el territorio	PEGH Loa	Establecer un requerimiento de caudal mínimo para asegurar demanda hídrica ambiental del Río Loa	Permite actualizar el conocimiento del territorio en lo que respecta incluir el efecto del sistema subterráneo en la evaluación de caudales ambientales, evaluados en la actualidad solo en base a un modelo de tipo superficial	Mediante modelación determinar los caudales máximos a consumir, de modo que se asegure la demanda hídrica ambiental definida para la cuenca. Se considera extender los resultados del estudio GORE (2020), usando ahora una herramienta WEAP de mejor calidad, extendiendo la modelación subterránea a la totalidad del sistema acuífero, y por ende mejorando la representatividad de los resultados. Se consideran los siguientes aspectos: prospecciones geofísicas, TEM, perforación de piezómetros, monitoreos de calidad de aguas, modelación de aguas subterráneas y actualización del modelo existente. Las actividades deberían comenzar mejorando el conocimiento de los sectores aguas arriba de Calama, para luego continuar aguas abajo	Estudio	No Estructural	MMA	DGA	C1
	P15	Promover el uso de fuentes alternativas de abastecimiento para pequeños usuarios	Buscar nuevas fuentes de abastecimiento para los territorios	Estimular el uso de distintas alternativas de abastecimiento de agua con el propósito de dar mayor seguridad del recurso a pequeños usuarios. La iniciativa apunta promover proyectos a pequeña escala destinadas a utilizar fuentes no convencionales de agua en los distintos municipios de la región según las consideraciones geográficas y climáticas. Para esto se considera la cosecha de aguas de lluvias durante el invierno altiplánico, situación que debería implementarse en piscinas dispuestas para ello con la infraestructura adecuada capaz de resistir las intensas lluvias y acumular el agua.	Estudio	Estructural	CNR	CONADI-INDAP	C3
	PEGH Loa	Implementar Recarga artificial de acuíferos	Buscar nuevas fuentes de abastecimiento para los territorios	Evaluar recarga artificial de los acuíferos, ya sea mediante reuso de aguas grises o negras, aguas de crecidas o desalación de aguas salobres naturales. El objetivo es evaluar e implementar una iniciativa de recarga artificial de acuíferos en la cuenca. Para lo cual se debe identificar en primer lugar un sector factible para esto, para luego proceder a instalar el sistema de recarga, instrumentarlo y operarlo por al menos 6 meses.	Estudio	Estructural	CNR	DGA-DOH-MMA	C4
	P16-PRSLS6	Impulsar reúso de aguas servidas tratadas	Buscar nuevas fuentes de abastecimiento para los territorios	Impulsar la utilización de las aguas de las plantas de tratamiento de aguas servidas para riego de áreas verdes o uso industrial. Esta iniciativa propone impulsar el reúso de aguas servidas tratadas en la cuenca. Cabe mencionar al respecto que Chile no posee legislación aplicable al reúso como otros países, de esta forma la venta de aguas servidas es un procedimiento que está autorizado, de acuerdo a la ORD. N° 677/93, en la que se especifica que: "el gestor podrá negociar libremente la venta de las aguas servidas, sin que los eventuales ingresos afecten las tarifas y cobros pactados", por lo tanto debe tenerse presente este contexto normativo mientras se avanza hacia una política pública para el reúso de las aguas servidas tratadas y la reutilización de las aguas grises, que actualmente no existe en el país. Considerando la carencia de este marco regulatorio y para que la iniciativa sea conveniente para las municipalidades se propone la firma de un convenio entre la municipalidad y empresa con el objetivo de que la venta de agua se realice a un costo mínimo para el municipio. Esto es una extensión de lo que ya se encuentra operativo en Calama, y busca extenderlo a los SSR en caso que la cantidad de agua producida lo permita.	Programa	No Estructural	MMA	DGA-DOH-CNR	C5
	PEGH Loa	Impulsar Mesa de Trabajo Público-Privada para incentivar el uso de aguas No continentales por parte de la Minería e Industria	Buscar nuevas fuentes de abastecimiento para los territorios	Considera analizar la desalación de agua de mar para uso en industria y minería, de modo de liberar agua continental para otros usos. Se considera también evaluación de mejoras en los sistemas productivos. Se hace notar que como la fuente de agua está fuera de la cuenca, la acción no puede considerar la evaluación de la fuente, sino que solo los elementos de gestión que permitan que este tipo de solución, que debe abordarse a nivel regional y no de cuenca pueda realizarse. En primer lugar, se puede indicar que de cierta manera este programa va de la mano de la iniciativa APORTAA de ADASA y empresas mineras, las que apuntan a una integración hídrica regional, o también del proyecto CRAMSA. El proyecto APORTAA tal como está definido solo está dimensionado para entregar agua a procesos mineros e industriales, pero sería interesante analizar otros tipos de aplicaciones, tales como aportar agua de buena calidad para el riego. Este tipo de acción también está considerado en el proyecto CRAMSA. En específico, este estudio analiza el paradigma no desde el punto de vista del diseño de ingeniería, sino que, desde la percepción de los usuarios, para lo cual se considera la realización de actividades de participación ciudadana, focus groups u otro tipo de actividades que permitan analizar el sentir de la comunidad con un tipo de proyecto como este. También busca incentivar la interacción público-privada para lograr este tipo de solución ojalá en un mediano plazo.	Programa	No Estructural	GORE	DGA-DOH-MMA	C6

Categorías Problemas Identificados	Origen Iniciativa	Iniciativa	Brecha que Resuelve	Descripción	Categoría	Tipo	Institución Pública		Código
							Encargada Financiamiento y Ejecución	Participantes	
Calidad y Ecosistemas: Apunta a acciones que se relacionan con afectar la calidad de aguas y los ecosistemas existentes en el territorio	PEGH Loa	Evaluación de los riesgos ambientales y físicos expansión Tranque Talabre. Análisis de efectos rotura Tranque. Análisis Sistema Alerta Temprana	Mejorar el conocimiento del sistema medioambiental	El estudio pretende estudiar en forma autónoma (por falta deconfianza de la comunidad) a CODELCO los potenciales efectos de la expansión del Tranque Talabre, ya sea en lo que corresponda a contaminación de las aguas subterráneas, rotura súbita del tranque y la posible instalación y operación de un sistema de alerta temprana.	Estudio	No Estructural	MMA	DOH	C7
	P12	Caracterización del funcionamiento hídrico e hidrogeológico de sectores acuíferos que alimentan vegas y bofedales protegidos	Mejorar el conocimiento del sistema medioambiental	Redefinir y delimitar sectores acuíferos que alimentan vegas y bofedales y estudiar su funcionamiento hidrogeológico. En la cuenca del río Loa se ubican 12 de estos sistemas, siendo 7 de ellos acuíferos protegidos. Definir una nueva delimitación del área de protección, ya que esta no se hizo con un sentido hidrogeológico, por lo tanto, podría, en algunos casos, no estar cumpliéndose la función de proteger el área de recarga al acuífero. Este trabajo requiere de un levantamiento de información hidrogeológica cercana a estas unidades. También considera proponer una red de pozos de monitoreo para realizar seguimiento del acuífero protegido ya que actualmente no se conoce su evolución. Esta red de monitoreo idealmente debiese considerar pozos ya construidos, si es que existen y pozos de observación en caso de requerirse.	Estudio	No Estructural	MMA	DGA	C8
	P13	Caracterización de la calidad química de los cuerpos de agua (superficiales y subterráneos) no estudiados de la cuenca	Mejorar el conocimiento del sistema medioambiental	Realizar un estudio de la calidad química en acuíferos y fuentes superficiales poco estudiadas. En el desarrollo del diagnóstico de la calidad química de las fuentes, se constató la escasa o nula información existente en algunas zonas de la cuenca ubicadas en la zona alta y baja, donde no hay control regular de la calidad del agua subterránea por parte de la DGA. Si bien es cierto en otros sectores de la cuenca existe información de calidad de aguas, tanto superficial como subterránea, al ser el origen de esta los privados, las comunidades especialmente no sienten que la información es de calidad. Por lo mismo se debe incrementar el conocimiento de la calidad de las aguas, tanto a nivel superficial como subterráneo.	Estudio	No Estructural	MMA	DGA	C9
	PGR2	Transferencia Tecnológica para la Validación de Sistemas de Abatimiento y levantamiento de Demanda de Proyectos de Abatimiento de Contaminantes del Agua de Riego	Permite enseñar a los agricultores técnicas para el manejo de la calidad del agua en el territorio	El programa tiene como objetivo investigar y validar tecnologías de abatimiento, evaluar las más eficientes y de menor costo, para determinar la mejor alternativa de tratamiento de aguas para riego. Además, pretende transferir la tecnología a los usuarios y levantar perfiles de proyectos para ser presentados a la Ley de Fomento. Según los análisis de calidad química de agua, se han detectado niveles elevados de arsénico, boro y cloruro. Asimismo, la conductividad eléctrica presenta altos valores lo que podría provocar efectos en cultivos sensibles, obstrucción en los sistemas de goteo y salinización del suelo. Lo anterior limita la diversificación productiva como en la ciudad de Calama que está limitada principalmente a cultivos de maíz, y alfalfa. El programa tiene como objetivo investigar y validar tecnologías de abatimiento, evaluar las más eficientes y de menor costo, para determinar la mejor alternativa de tratamiento de aguas para riego. Además, pretende transferir la tecnología a los usuarios y levantar perfiles de proyectos para ser presentados a la Ley de Fomento. El programa incluye un estudio piloto a implementar en Calama, donde se analicen diferentes tecnologías de abatimiento de contaminantes, se analicen sus costos y se transfiera la tecnología a los usuarios y se levante la demanda de perfiles para ser presentados a la Ley de Fomento al riego.	Estudio	No Estructural	CNR	CONADI-INDAP	C10
Información Hídrica: Se relaciona con iniciativas que apuntan a mejorar la disponibilidad de información o su acceso	P3	Fortalecer labor de Fiscalización DGA	Permite mejorar la brecha de fiscalización que los usuarios perciben en el territorio	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. En forma reiterada en las reuniones de PAC la comunidad dió a conocer que una de sus mayores preocupaciones es el uso indebido que pudiera estar dándole al agua en algunos sectores, principalmente asociado a las extracciones no permitidas, ya sea de empresas mineras, turísticas como de usuarios agrícolas que no han regularizado sus derechos, lo que podría estar generando, por ejemplo, la falta de agua para ejercer los derechos en la localidad de Quillagua. A esto se suma que, en la cuenca no existen OUAs, y por lo tanto, se hace indispensable que la DGA regional asuma un papel relevante en la fiscalización del uso del recurso. En conformidad, está iniciativa contempla los fondos para aumentar y mejorar la labor de fiscalización y seguimiento ambiental que realiza la DGA, a través de: Programa de fiscalización y control de extracciones 1. Aumento de periodicidad de fiscalización. 2. Implementar en su totalidad el programa de control de extracciones de aguas superficiales (principalmente en el río Loa) en un plazo de 1 año. 3. Aumento de personal para fiscalización. Seguimiento ambiental 1. Aumento de personal y recursos económicos (viáticos) para retomar la labor de seguimiento ambiental de los proyectos con RCA según indicaciones de la Superintendencia de Medio Ambiente, que hasta ahora no se hace por falta de personal. Se considera un equipo completo de 1 profesional DGA dedicado exclusivamente a la labor de seguimiento ambiental, 1 chofer y una camioneta adicional. 2. Como meta se establece realizar, al menos, una visita al mes de 2-3 días.	Programa	No Estructural	DGA		I1

Categorías Problemas Identificados	Origen Iniciativa	Iniciativa	Brecha que Resuelve	Descripción	Categoría	Tipo	Institución Pública		Código
							Encargada Financiamiento y Ejecución	Participantes	
	P4	Formulación e Implementación Plan de Fiscalización ciudadana	Complementa la iniciativa anterior en lo que respecta a la disminución de las brechas de fiscalización	Implementar un programa de fiscalizaciones con la comunidad donde los ciudadanos puedan acompañar a la DGA regional en las labores de fiscalización y seguimiento ambiental y monitorear en forma efectiva y en conjunto. La iniciativa está ligada a disminuir la brecha del déficit de interacción entre comunidades, organismos públicos y privados, que genera la falta de confianza existente hoy en día. Además, la iniciativa apunta a la brecha sobre la falta de protección de los usos históricos del recurso, protegiendo el ejercicio de los derechos constituidos, así como también a disminuir la brecha de falta de una mejor gestión de los recursos hídricos en temas de fiscalización ambiental que permita el adecuado cumplimiento de la función pública. Descripción: La iniciativa propone la siguiente metodología para llevar a cabo el Plan de fiscalizaciones ciudadanas. - Generación de un calendario de fiscalizaciones ciudadanas DGA (interno de la Dirección), donde se indique el nombre del ciudadano que se invitará a participar. Se considera al menos 2 fiscalizaciones ciudadanas al mes. El calendario debe considerar al menos un 30% de salidas para temas de seguimiento ambiental, lo cual deberá ser coordinado, cuando sea necesario con MMA. - Envío de invitación a un representante de la comunidad del sector donde se realizará fiscalización. - Respuesta o confirmación y coordinación logística para realizar fiscalización. En caso de requerirse, la Dirección debe entregar los medios económicos para el traslado del ciudadano al lugar de fiscalización o a la oficina DGA. - Generación de algún respaldo físico (fotografía, firma de acta de asistencia, etc.), que dé cuenta de la asistencia del ciudadano a la labor de fiscalización.	Estudio	No Estructural	DGA	Seremía OP	I2
Información Hídrica: Se relaciona con iniciativas que apuntan a mejorar la disponibilidad de información o su acceso	P21-P22, actualizado con información PEGH Loa	Plan de mejoramiento red de Control Hidrométrico	Permite mejorar la calidad de la información disponible en el territorio. Para eso en el trabajo de diagnóstico se identificó preliminarmente los sectores donde es conveniente ubicar una nueva estación de monitoreo. La ubicación exacta es parte del estudio a desarrollar.	Desarrollar un plan de mejoramiento de las estaciones de control en la cuenca, incluyendo modernización del sistema de trasmisión de datos e instalación de nuevas estaciones. Considera una fase de diagnóstico y una fase de implementación inmediata. Del análisis de infraestructura se determinó que las redes en general requieren incrementar su cobertura, especialmente en la zona baja de la cuenca, y a nivel de aguas subterráneas. Se recomienda instalar siete estaciones meteorológicas Específicamente, para Loa Medio, se sugiere instalar una estación aguas debajo de la confluencia del río Loa con el río Salado; dos próximas al pueblo de María Elena y Salar de Miraje; una en el oasis de Quillagua y dos cercanas al Salar de Llamara y Quebrada Amarga. En Loa Bajo se propone emplazar una estación en la desembocadura de la cuenca. Los resultados indican que al particularizar el análisis por subcuenca no se cumple la densidad mínima sugerida por la OMM para la subcuenca del Río Loa Medio para estaciones fluviométricas. En consecuencia, se recomienda instalar al menos seis estaciones fluviométricas en los siguientes sectores de interés donde actualmente no existe ninguna estación emplazada o las existentes se encuentran suspendidas: • En el río Loa: i) aguas debajo de la confluencia con el río Salado, ii) en el tramo entre la ciudad de Calama y el pueblo de María Elena, iii) aguas arriba de la confluencia con el río San Salvador, iv) en el tramo entre el pueblo de María Elena y el oasis de Quillagua, v) aguas arriba de la confluencia con Quebrada Amarga. • En Quebrada Amarga: aguas arriba de la confluencia con el río Loa. Para las aguas subterráneas, no se propone una ubicación de las estaciones, sino que una cantidad de estaciones por SHAC Los resultados indican que al particularizar el análisis por subcuenca no se cumple la densidad mínima sugerida para todas las subcuencas. En consecuencia, se recomienda instalar al menos 36 pozos en los siguientes sectores de interés: • Loa Alto (7): cuatro en el SHAC de San Pedro de Incaliri y dos en el SHAC Pampa Puno y una es SHAC Loa Alto. • Loa Medio (28): diez en el SHAC de Calama, cuatro en SHAC Llalqui, cuatro en SHAC Salar de Miraje, ocho en SHAC Salar de Llamara y 2 en SHAC María Elena a Quillagua. • Los Bajo (1): En el SHAC de Quillagua a Desembocadura.	Estudio	Estructural	DGA		I4

Categorías Problemas Identificados	Origen Iniciativa	Iniciativa	Brecha que Resuelve	Descripción	Categoría	Tipo	Institución Pública		Código
							Encargada Financiamiento y Ejecución	Participantes	
Riesgo Afectación Hídrica Crecidas/Fallas Obras: Apunta a acciones que busquen mejorar la problemática del riesgo hídrico frente a eventos extremos o al efecto sobre las obras	PEGH Loa	Soluciones de infraestructura para el control de crecidas (defensas fluviales, otras)	Permite identificar o ratificar los sectores donde se deben construir defensas fluviales o controles de algún tipo	Evaluar requerimientos de defensas fluviales. Considera la realización de un catastro actualizado de sectores que requieran obras de protección. Se considera además la realización de levantamientos topográficos, mecánica de suelos, y otras actividades que se estimen necesarias	Estudio	Estructural	DOH		R1
	PEGH Loa	Gestión Integral del Embalse Conchi. Incluye:							R2
		Dotar de Sistema Telemétrico de niveles y de control descargas	Permite mejorar la seguridad de operación del embalse frente a condiciones extremas	Diseñar sistema de control remoto del nivel del embalse y control de las compuestas. La primera componente de este estudio considera el diseño de los sistemas de control remoto de niveles y compuertas, de modo de poder operarlas en forma remota, especialmente en condiciones de riesgo. En esta etapa no se considera la implementación de los sistemas	Estudio	Estructural	DOH		
		Instrumentación geotécnica Muro Embalse Conchi y revisión Riesgos Obra periódica	Permite proteger a la comunidad frente a potenciales problemas del embalse	Diseñar sistema de monitoreo geotécnico del embalse. El objetivo del estudio es identificar el tipo de instrumentación necesaria y su ubicación en el embalse, de modo que se pueda disponer del mejor tipo de antecedentes para controlar el comportamiento del embalse	Estudio	Estructural	DOH		
	PEGH Loa	Sistema Alerta Temprana, Plan de acción de emergencia ante riesgos, Difusión del Plan de Emergencias, Simulacros, Informar a comunidades	Permite mejorar la relación entre las instituciones y el público objetivo	Programa para establecer mecanismos de coordinación y aviso ante eventos extremos relacionados con el agua. Este es un programa principalmente de difusión destinado a por una parte identificar cuellos de botella en la comunicación entre entidades públicas y la ciudadanía, y por otra, enseñarle a la comunidad como actuar y que señales esperar en condiciones de peligro	Programa	No Estructural	GORE	Municipalidades-GORE-DGOP	R3
	P11	Reforzar institucionalidad de acción ante emergencias relacionadas a temas hidrológicos	Permite mejorar la relación entre las instituciones y el público objetivo	Proponer un mejoramiento al sistema de funcionamiento institucional en situaciones de emergencia relacionadas a los recursos hídricos. La iniciativa propone desarrollar una capacidad de respuesta local eficiente ante eventos de emergencia, mejorando la comunicación entre los organismos técnicos de alerta temprana y los organismos de coordinación, ejecución y respuesta. Para lograr esto se proponen dos labores que apuntan a fortalecer ambas partes: -Conformación permanente de un Comité Científico Técnico Regional, que reciba la información de las instituciones y planifique las medidas para paliar los efectos de las emergencias. Este servicio técnico debe estar conformado por especialistas en cada ámbito (geología, geomorfología, hidrogeología, hidrología, etc.); debe tener estrecha relación (comunicación diaria) y directa con cada institución encargada de levantar las alertas (DGA, SERNAGEOMIN, Dirección Meteorológica, SHOA); el contacto del comité con las instituciones, ante situaciones de emergencia debe ser vía satelital; conformar parte permanente de la ONEMI regional y con autonomía presupuestaria, proveniente del Gobierno Regional; capaz de manejar un lenguaje de emergencia simple, no una mezcla de códigos de diversas instituciones como existe actualmente, capaz de recibir e interpretar información de fuentes extraoficiales como las de la propia ciudadanía (redes sociales); capaz de desarrollar a nivel comunal un sistema de procedimientos de actuar eficiente, creando una cultura de autoeficacia y cooperación mediante trabajo con las municipalidades. Se considera un comité técnico que opere a nivel de la cuenca, conformado por al menos un hidrólogo (o afín), geólogo y meteorólogo. Se esperan reuniones bimensuales e informes de trabajo semestrales a lo menos	Programa	No Estructural	GORE	DGA-Municipalidades	R4
Gobernanza: Apuntan a acciones que permitan mejorar o ayudar en el tema de la gobernanza de los recursos hídricos	P14	Participación ciudadana sobre el futuro del río Loa	Permite involucrar a la comunidad en la solución de los problemas del río	Determinar una imagen objetivo sobre el futuro del Río Loa, que permita a las autoridades definir una alternativa de gestión sobre esta fuente, con una participación real de la comunidad y usuarios de la cuenca. Se propone esta iniciativa, que se enfoca en definir las acciones en torno al futuro del Río Loa con una participación real de la ciudadanía, mediante una serie de actividades de difusión de los resultados de este estudio, que permita a la población/usuarios de la cuenca conocer cuáles son los costos y beneficios de implementar distintas acciones/gestiones sobre el río. Por ejemplo, dar a conocer a la comunidad cual sería el costo/beneficio en la producción de la minería y la agricultura si se impone una disminución en el uso del agua, o si se opta por declarar área de restricción al acuífero de Calama, o la creación de una Comunidad de Agua Subterránea o Junta de Vigilancia, o la aplicación de caudales ecológicos a ciertos tramos del río. Así también cuales serían los beneficios y costos en el caso de priorizar el uso de la cuenca para agua potable o la opción de no hacer nada, equivalente a que se mantengan las actuales condiciones de extracción y funcionamiento del río. Específicamente las actividades de participación propuestas consideran 2 cabildos ciudadanos vinculantes, organizados por ambas municipalidades involucradas en la cuenca del río Loa (María Elena y Calama), organizadas por sus respectivos alcaldes con el apoyo de una consultora que se encargue de la elaboración del documento final, donde se presenten los resultados y diversas alternativas de gestión sobre el futuro del Loa y se recojan en forma preliminar los principales acuerdos. Se considera un trabajo final para unir las visiones, y generar una visión única.	Programa	No Estructural	GORE	DGA-DOH-CNR-MUNICIAILIDAD-CONADI-INDAP	G1

Categorías Problemas Identificados	Origen Iniciativa	Iniciativa	Brecha que Resuelve	Descripción	Categoría	Tipo	Institución Pública		Código
							Encargada Financiamiento y Ejecución	Participantes	
Gobernanza: Apuntan a acciones que permitan mejorar o ayudar en el tema de la gobernanza de los recursos hídricos	PEGH Loa	Fomentar y Apoyar Creación Organización de Usuarios (JV) Río LOA	Permite mejorar la falta de instituciones de gestión	Considera generar las acciones, tales como reuniones, capacitaciones a dirigentes y otras que permitan avanzar en la creación de una organización de usuarios en la cuenca. El programa de difusión propuesto consta al menos de la realización de actividades de difusión, focus groups, asambleas, visitas a las comunidades, trabajos grupales, diálogo participativo, y otras técnicas que se consideren apropiadas. Lo mas importante es que no se busca imponer visiones, sino que compartirlas, analizarlas y discutirlas. Se considera al menos 2 reuniones de diferente tipo mensualmente	Programa	No Estructural	CNR	DGA-DOH-MUNICIAILIDAD-CONADI-INDAP-GORE	G2
	P10	Fortalecimiento de las relaciones entre privados y comunidades	Permite mejorar las relaciones entre actores privados y comunitarios con el fin de mejorar la gestión integral del manejo del recurso hídrico	Apoyar y fomentar un cambio cultural que mejore las relaciones entre la industria minera y las comunidades (incluidas las comunidades indígenas), promoviendo en el largo plazo asociaciones eficaces que beneficien a todas las partes interesadas. Se propone la creación de un Programa de Fortalecimiento de Relaciones de Empresas Mineras y Comunidades en el siguiente tenor: -Firma de un acuerdo por parte de todas las empresas mineras e industrias de servicios asociados en la cuenca para definir un compromiso a fortalecer las relaciones con la comunidad. Este acuerdo deberá ser publicado y dado a conocer a las comunidades. Este acuerdo deberá ser impulsado por la Mesa del Agua -Definir un calendario de talleres en distintas localidades de la cuenca que reunirá a representantes de mineras, proveedores y la comunidad para desarrollar estrategias para una mejor integración de la comunidad al sector de la minería y otras industrias locales con el enfoque de discutir temas locales y aumentar las oportunidades de empleo de la comunidad particularmente indígena. Los talleres debieran ser convocados y organizados por el Gobierno Regional, por ejemplo, mediante grupos de trabajo para abordar un tema específico y proponer una solución en el tiempo de trabajo que dure la sesión. -Establecer una entidad independiente, técnica y transversal (por ejemplo perteneciente al gobierno regional) con el fin de facilitar el relacionamiento entre las empresas y sus grupos de interés externos, para promover la obtención y mantención de la aprobación social de los proyectos y buena relación con las comunidades.	Programa	No Estructural	GORE	DGA-DOH-CNR-MUNICIAILIDAD-CONADI-MMA-INDAP-Seremía OP	G3
	P24	Mejora continua en la aplicación de procesos de participación ciudadana del MOP en actividades referentes al recurso hídrico	Permite mejorar la relación entre DGA y sus usuarios	Fortalecer los Procesos de Participación Ciudadana del MOP regional, favoreciendo procesos informados y comunicativos en actividades referentes al recurso hídrico. Se propone que el encargado Participación Ciudadana del SEREMI de la región sea el encargado de llevar a cabo un programa de mejoramiento continuo de los actuales procesos de participación ciudadana en la región, relacionados a políticas, planes programas y proyectos del Ministerio. Se proponen específicamente las siguientes acciones: - Identificar las capacidades actuales de las distintas direcciones regionales para generar condiciones óptimas y procesos eficientes de participación - Generar más contacto de los funcionarios públicos en terreno con las comunidades, que permita mayor reconocimiento de la realidad local, descentralizando las actividades de la capital regional, para lo cual se propone visitas a terreno de 2 profesionales de las direcciones operativas del ministerio relacionadas directamente a la ejecución de los distintos planes, programas y proyectos (DGA, DOH). - Sensibilizar a las autoridades y capacitar a los funcionarios públicos en prácticas de gestión participativa, con el objetivo de generar un cambio cultural al respecto - Evaluar acciones de mejora en un proceso de mejora continua.	Programa	No Estructural	SEREMI OP		G4

Categorías Problemas Identificados	Origen Iniciativa	Iniciativa	Brecha que Resuelve	Descripción	Categoría	Tipo	Institución Pública		Código
							Encargada Financiamiento y Ejecución	Participantes	
Gobernanza: Apuntan a acciones que permitan mejorar o ayudar en el tema de la gobernanza de los recursos hídricos	P6	Guía operativa de puesta en valor de actividades ancestrales asociadas al recurso hídrico	Permite mejorar la calidad de la información disponible por los usuarios	Desarrollar una guía que dé a conocer y que difunda los usos y costumbres ancestrales de los recursos hídricos en la Región. Se propone el desarrollo de una guía operativa, como un documento que dé a conocer a la comunidad en general, cuales son este tipo de actividades, donde se desarrollan, en que fechas, entre otros temas. Se plantea que, para que la guía sea representativa, las mismas comunidades deben desarrollarla. Se propone que la guía presente en sus contenidos, por ejemplo: - Información acerca de la Ley indígena y Convenio 169 de la OIT (Organización Internacional del Trabajo) sobre Pueblos Indígenas y Tribales en Países Independientes. Los tipos de sitios que se deben respetar, por los usos materiales dados por las comunidades indígenas de la región: sitios de uso ganadero, áreas de cultivo, sitios ceremoniales o rituales, entre otros. - Las festividades indígenas regionales como fiestas patronales o ceremonias locales con su respectivo calendario. Una vez desarrollada la guía, esta se debe difundir, otorgando los recursos necesarios para ello a través de CONADI y el Gobierno Regional, quienes deben también coordinar el desarrollo de la guía.	Estudio	No Estructural	CONADI	DGA	G6
Normativas Legales: Apuntan a iniciativas que tiendan a mejorar el marco legal vigente	P28	Capacitación a profesionales DGA-MOP Región de Antofagasta en proceso de Consulta Indígena, de acuerdo a directrices Convenio 169 de la OIT	Permite mejorar la relación entre DGA y sus usuarios	Instruir en la implementación del DS 66, que regula el Procedimiento de Consulta Indígena, a los funcionarios de la DGA-MOP en la Región. Esta iniciativa considera el desarrollo de las siguientes tareas o etapas: - Elaboración de una primera versión de contenidos para el curso, de acuerdo a temas que establece el DS 66, como son: Principios de la Consulta y el Procedimiento de Consulta. - Reunión DGA-CONADI para identificar contenidos específicos a incluir, idealmente recabando información sobre la experiencia de otros servicios en la implementación del DS 66, para ejemplificar el procedimiento y mostrar buenas prácticas. - Coordinar profesional/servicio a cargo de la relatoría, quien será responsable de la logística del curso (detallada más abajo). - Organizar la logística del curso: reservar un lugar para impartir el curso, elaboración de la PPT de apoyo, realizar convocatoria (identificando actores a convocar y convocando), organizar materiales y gestionar un café. Emitir informe del curso, que incluya evaluación por parte de los participantes.	Programa	No Estructural	CONADI	DGA	N1
	P29	Capacitación a representantes de comunidades indígenas en proceso de Consulta Indígena, de acuerdo a directrices Convenio 169 de la OIT	Permite mejorar la relación entre DGA y sus usuarios	Instruir en la implementación del DS 66, que regula el Procedimiento de Consulta Indígena, a los representantes de las comunidades indígenas de la Región. Esta iniciativa considera el desarrollo de las siguientes tareas o etapas: - Elaboración de una primera versión de contenidos para el curso, de acuerdo a temas que establece el DS 66, como son: Principios de la Consulta y el Procedimiento de Consulta. - Reunión DGA-CONADI para identificar contenidos específicos a incluir, idealmente recabando información sobre la experiencia de otros servicios en la implementación del DS 66, para ejemplificar el procedimiento y mostrar buenas prácticas. - Coordinar profesional/servicio a cargo de la relatoría, quien será responsable de la logística del curso (detallada más abajo). - Organizar la logística del curso: reservar un lugar para impartir el curso, elaboración de la PPT de apoyo, realizar convocatoria (identificando actores a convocar y convocando), organizar materiales y gestionar un café. Emitir informe del curso, que incluya evaluación por parte de los participantes.	Programa	No Estructural	CONADI		N2

Fuente: Elaboración propia usando información de estudios anteriores e información propia

Con el fin de clarificar el alcance de las acciones propuestas en la Tabla 6-6, se presenta en la Tabla 6-7 su relación con las actividades de PAC y el trabajo desarrollado.

Tabla 6-7: Origen y Alcances de las Acciones

Código	Iniciativa	Detalles Origen y Alcance de la Acción Propuesta
D1	Mejora de los Servicios Sanitarios Rurales en localidades rurales	Este es un tipo de proyecto recurrente en la zona, dado que aún hay sectores rurales con problemas de abastecimiento. En la versión actual tiene 2 componentes: construcción del SSR Verdes Campiñas, pero también debe considerarse la mantención de otros servicios además de incorporar la componente saneamiento, lo que debiese ocurrir en el corto plazo.
D2	Transferencia para el Levantamiento de Tranques de Regulación Corta para Pequeños Agricultores	Este también es un proyecto recurrente, de hecho, a lo largo del país se ha ejecutado en muchas ocasiones, y siempre se identifica este tipo de necesidades.
D3	Transferencia Tecnológica en el Manejo de Obras Extra Prediales y Técnicas de Riego	Para esta acción también aplica lo anteriormente expuesto.
D4	Gestión Integral del Embalse Conchi, Incluye:	
	Dotar de Sistema Telemétrico de niveles y de control descargas	Esta es una acción que surge en parte de la comunidad, no con el mismo énfasis, pero con el mismo resultado, esto es poder controlar lo que ocurre con el agua almacenada, y no que solo sea resultado de las decisiones del operador.
	Determinar Volumen Real Almacenamiento Embalse Conchi Mejorar Capacidad Almacenamiento y Operación del embalse Evaluar modificación de la regla operacional del embalse Conchi para mejorar oferta hídrica para riego, incluye análisis para evaluar posibilidades de entregar agua de riego a Quillagua	Este proyecto nace de la necesidad identificada por este Consultor de disponer de la mejor información posible, además de conocer la real capacidad del embalse para poder realizar las planificaciones apropiadas Esta es otra componente que se identificó en los trabajos de gabinete conjuntamente con hacer llegar el agua a sectores remotos, como Quillagüa. Este proyecto es una extensión de la modelación, específicamente el Escenario #3. Se esperaría hacer un análisis luego de tener un modelo más robusto, producto de disponer modelación de aguas subterráneas en otros sectores del sistema, y no solo en el acuífero de Calama.

Código	Iniciativa	Detalles Origen y Alcance de la Acción Propuesta
D6	Sistema de subsidios para el agua potable	Este es un estudio de gabinete que apunta a ayudar a la comunidad en forma regular, y no solo eventual
D7	Transferencia Tecnológica de Sistemas de Riego en las Comunidades Indígenas	Este también es un proyecto recurrente, de hecho a lo largo del país se ha ejecutado en muchas ocasiones, y siempre se identifica este tipo de necesidades.
C1	Establecer un requerimiento de caudal mínimo para asegurar demanda hídrica ambiental del río Loa	Este proyecto es una extensión del trabajo realizado por el CEA para el GORE, y el trabajo de modelación, específicamente el Escenario #2, donde
C3	Promover el uso de fuentes alternativas de abastecimiento para pequeños usuarios	Este proyecto está de la mano del anterior, ya que busca fuentes alternativas, la única diferencia es la escala del proyecto.
C4	Implementar Recarga artificial de acuíferos	Este estudio es una extensión de estudios anteriores, pero ahora aplicado en esta cuenca con mayor profundidad.
C5	Impulsar reúso de aguas servidas tratadas	Similar a C3, pero más específico, ya que solo se centra en un tipo de agua, y por lo tanto deben ser usuarios localizados aguas debajo de centros poblados, donde se produce un suficiente volumen de agua
C6	Incentivar el uso de aguas No continentales por parte de la Minería e Industria / Reconversión / Uso de agua desalada / Disminución de consumo Agua en procesos productivos	Este programa apunta a una escala más territorial, e incluye todo tipo de usuarios, especialmente grandes usuarios. Incluye no solo buscar nuevas fuentes, sino que también disminuir la demanda. De hecho, el proyecto de interconexión hídrica presentado en los Acápites 2.4.3 y 6.2.5 va a ser parte de la iniciativa
C7	Evaluar riesgos ambientales y físicos expansión Tranque Talabre. Análisis de efectos rotura Tranque. Análisis Sistema Alerta Temprana	Es un proyecto que surge en parte de la visión negativa de los usuarios sobre los pasivos mineros, además de la identificación en gabinete de posibles problemas que se deben analizar
C8	Caracterización del funcionamiento hídrico e hidrogeológico de sectores acuíferos que alimentan vegas y bofedales protegidos	Esta es una actualización de un estudio anteriormente propuesto, y que se estima debería ser analizado en las nuevas condiciones. También puede utilizarse para generar nueva información que permita mejorar la modelación de aguas subterráneas
C9	Caracterización de la calidad química de los cuerpos de agua (superficiales y subterráneos) no estudiados de la cuenca	Este es un estudio que permite completar y complementar el conocimiento de la calidad de aguas en la cuenca
C10	Transferencia Tecnológica para la Validación de Sistemas de Abatimiento y levantamiento de Demanda de Proyectos de Abatimiento de Contaminantes del Agua de Riego	Para este permite atacar el problema de calidad, tanto en forma conceptual como práctica

Código	Iniciativa	Detalles Origen y Alcance de la Acción Propuesta
I1	Fortalecer labor de Fiscalización DGA	Esto es algo que los usuarios dejaron claro que era muy necesario, especialmente para devolver confianzas
I2	Formulación e Implementación Plan de Fiscalización ciudadana	Este estudio es similar al anterior, pero poniendo el énfasis en los ciudadanos. También fue identificado como una necesidad por parte de los usuarios
I4	Plan de mejoramiento red de Control Hidrométrico	Este es una necesidad que DGA ha detectado con anterioridad, además de determinarse que se requiere mejorar la cantidad de información disponible en forma con una mayor densidad espacial
R1	Soluciones de infraestructura para el control de crecidas (defensas fluviales, otras)	Este es un tipo de proyecto recurrente, especialmente en una zona sujeta a los embates del invierno altiplánico.
R2	Gestión Integral del Embalse Conchi. Incluye:	
	Dotar de Sistema Telemétrico de niveles y de control descargas	Esta es una componente que también se identificó como una componente de la acción D5
	Instrumentación geotécnica Muro Embalse Conchi y revisión Riesgos Obra periódica	Esta es una necesidad detectada en el trabajo de gabinete
R3	Sistema Alerta Temprana, Plan de acción de emergencia ante riesgos, Difusión del Plan de Emergencias, Simulacros, e Información a comunidades	Es una necesidad identificada parcialmente por los usuarios que obedece a disponer de herramientas de alerta a la comunidad. También fue identificado a nivel de gabinete
R4	Reforzar institucionalidad de acción ante emergencias relacionadas a temas hidrológicos	Es una acción similar a la anterior, pero que apunta al aspecto interinstitucional
G1	Participación ciudadana sobre el futuro del río Loa	Este es una acción muy relevante, levantada en el Plan de Gestión anterior, pero que continúa vigente, y más necesario que nunca, sobre todo frente a la problemática existente, y más aún, frente a los resultados identificados en la modelación del cambio climático, especialmente en lo que respecta a la reducción en la disponibilidad hídrica detectada
G2	Fomentar y Apoyar Creación Organización de Usuarios (JV) río Loa	Al igual que lo anterior, es una acción muy relevante para la cuenca, y aunque no fue identificada específicamente por la comunidad, se hace necesaria ya que se requiere algún tipo de organización para enfrentar los problemas de escases de agua
G3	Fortalecimiento de las relaciones entre privados y comunidades	Programa identificado anteriormente, y por las razones expuestas en las acciones anteriores, sigue vigente y necesario
G4	Mejora continua en la aplicación de procesos de participación ciudadana del MOP en actividades referentes al recurso hídrico	Aplica lo mismo de la acción anterior

Código	Iniciativa	Detalles Origen y Alcance de la Acción Propuesta
G6	Guía operativa de puesta en valor de actividades ancestrales asociadas al recurso hídrico	Programa identificado anteriormente y plenamente vigente
N1	Capacitación profesionales DGA-MOP Región de Antofagasta en proceso de Consulta Indígena, de acuerdo a directrices Convenio 169 de la OIT	
N2	Capacitación a representantes de comunidades indígenas en proceso de Consulta Indígena, de acuerdo a directrices Convenio 169 de la OIT	

Fuente: Elaboración propia

6.4 Líneas de trabajo adoptadas para el PEGH Loa

Con el fin de simplificar el PEGH Loa, las líneas de trabajo PAC y tipos de iniciativas, se agruparon en 4 líneas de trabajo, según se muestra en la Tabla 6-8, donde se observan 4 ejes temáticos. En la Tabla 6-9 se muestra como se relacionan las categorías PAC, con los ejes temáticos seleccionados. Se observa que en algunos casos, una categoría PAC puede tener participación en varios ejes temáticos. En forma adicional, las acciones se catalogan en 4 tipologías de obras, según se muestra en la Tabla 6-10. De esta forma las iniciativas finalmente adoptadas y presentadas anteriormente en la Tabla 6-6 se reclasifican y presentan en la Tabla 6-11, siguiendo la nueva forma de ordenamiento. En la Tabla 6-11, el código antiguo corresponde al de la Tabla 6-6. Finalmente, en la Tabla 6-12 se muestra la clasificación de las 29 acciones propuestas en sus ejes y tipologías, donde se observan categorías de acción más definidas y simples de entender, ya que esa fue una crítica de los usuarios, según se puede observar en algunas de las encuestas.

Tabla 6-8: Ejes Temáticos Adoptados PEGH Loa

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

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-9: Reclasificación de Categorías PAC a Ejes Temático

		Eje Temático			
		Uso estratégico RRHH	**Protección Ambiental RRHH**	**Gobernanza y Gestión**	**Monitoreo**
Categoría PAC	**Disponibilidad / Seguridad Hídrica**	X			
	Calidad y Ecosistemas		X	X	X
	Información hídrica			X	X
	Riesgo Afectación Hídrica Por Crecidas y Eventos Extremos			X	
	Marco Legal			X	
	Gobernanza			X	
	Infraestructura	X			X

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-10: Tipologías de Obras PEGH Loa

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

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-11: Reclasificación de Acciones Propuestas en Ejes y asignación de Tipología

Eje	Tipología	Iniciativa	Código	
			Antiguo	**Nuevo**
Uso estratégico RRHH	OH	Mejora de los Servicios Sanitarios Rurales en localidades rurales	D1	OH-1
Uso estratégico RRHH	OH	Transferencia para el Levantamiento de Tranques de Regulación Corta para Pequeños Agricultores	D2	OH-2
Uso estratégico RRHH	MG	Transferencia Tecnológica en el Manejo de Obras Extra Prediales y Técnicas de Riego	D3	MG-1
Uso estratégico RRHH	OM	Gestión Integral del Embalse Conchi (Disponibilidad)	D5	OM-1

Eje	Tipología	Iniciativa	Código	
			Antiguo	Nuevo
Gobernanza y Gestión	OM	Sistema de subsidios para el agua potable	D6	OM-2
Uso estratégico RRHH	MG	Transferencia Tecnológica de Sistemas de Riego en las Comunidades Indígenas	D7	MG-2
Protección Ambiental RRHH	OM	Establecer un requerimiento de caudal mínimo para asegurar demanda hídrica ambiental del río Loa	c1	OM-3
Uso estratégico RRHH	NF	Promover el uso de fuentes alternativas de abastecimiento para pequeños usuarios	C3	NF-1
Uso estratégico RRHH	NF	Implementar Recarga artificial de acuíferos	C4	NF-2
Uso estratégico RRHH	NF	Impulsar reúso de aguas servidas tratadas	C5	NF-3
Uso estratégico RRHH	NF	Impulsar Mesa de Trabajo Público-Privada para incentivar el uso de aguas No continentales por parte de la Minería e Industria	C6	NF-4
Protección Ambiental RRHH	OM	Evaluar riesgos ambientales y físicos expansión Tranque Talabre. Análisis de efectos rotura Tranque. Análisis Sistema Alerta Temprana	C7	OM-4
Protección Ambiental RRHH	OM	Caracterización del funcionamiento hídrico e hidrogeológico de sectores acuíferos que alimentan vegas y bofedales protegidos	C8	OM-5
Protección Ambiental RRHH	OM	Caracterización de la calidad química de los cuerpos de agua (superficiales y subterráneos) no estudiados de la cuenca	C9	OM-6
Uso estratégico RRHH	MG	Transferencia Tecnológica para la Validación de Sistemas de Abatimiento y levantamiento de Demanda de Proyectos de Abatimiento de Contaminantes del Agua de Riego	C10	MG-3
Gobernanza y Gestión	MG	Fortalecer labor de Fiscalización DGA	I1	MG-4

Eje	Tipología	Iniciativa	Código	
			Antiguo	Nuevo
Gobernanza y Gestión	MG	Formulación e Implementación Plan de Fiscalización ciudadana	I2	MG-5
Monitoreo	OH	Plan de mejoramiento red de Control Hidrométrico	I4	OH-3
Uso estratégico RRHH	OH	Soluciones de infraestructura para el control de crecidas (defensas fluviales, otras)	R1	OH-4
Gobernanza y Gestión	OM	Gestión Integral del Embalse Conchi (Riesgo)	R2	OM-7
Gobernanza y Gestión	OM	Sistema Alerta Temprana, Plan de acción de emergencia ante riesgos, Difusión del Plan de Emergencias, Simulacros, Informar a comunidades	R3	OM-8
Gobernanza y Gestión	MG	Reforzar institucionalidad de acción ante emergencias relacionadas a temas hidrológicos	R4	MG-6
Gobernanza y Gestión	MG	Participación ciudadana sobre el futuro del río Loa	G1	MG-7
Gobernanza y Gestión	MG	Fomentar y Apoyar Creación Organización de Usuarios (JV) río Loa	G2	MG-8
Gobernanza y Gestión	MG	Fortalecimiento de las relaciones entre privados y comunidades	G3	MG-9
Gobernanza y Gestión	MG	Mejora continua en la aplicación de procesos de participación ciudadana del MOP en actividades referentes al recurso hídrico	G4	MG-10
Gobernanza y Gestión	OM	Guía operativa de puesta en valor de actividades ancestrales asociadas al recurso hídrico	G6	OM-9
Gobernanza y Gestión	MG	Capacitación a profesionales DGA-MOP Región de Antofagasta en proceso de Consulta Indígena, de acuerdo a directrices Convenio 169 de la OIT	N1	MG-11
Gobernanza y Gestión	MG	Capacitación a representantes de comunidades indígenas en proceso de Consulta Indígena, de acuerdo a directrices Convenio 169 de la OIT	N2	MG-12

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-12: Clasificación Final de Acciones en Ejes y Tipologías

Eje	Tipología				Total
	OH	NF	MG	OM	
1	3	4	3	1	11
2				4	4
3			9	4	13
4	1				1
Total	4	4	12	9	29

Fuente: Elaboración propia

7 EVALUACIÓN DE LA CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTAS

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

7.1 Metodología General de Evaluación adoptada

Con el fin de presentar un PEGH más compacto, en términos de líneas de acción y tipologías de proyectos, se presenta en primer lugar un reordenamiento de las acciones previamente presentadas en el Capítulo 6. Luego se presenta el resumen de la actividad PAC de clasificación de las iniciativas, donde se presentan los resultados obtenidos por acción y línea de trabajo, actividad que permite determinar puntajes para las acciones en 2 dimensiones: Tipo de Problemas e Iniciativas. Luego se aplica la metodología de evaluación descrita en el acápite 7.3 a las acciones de a Tabla 6-12, para finalmente obtener una cartera de acciones ordenada.

7.2 Síntesis y Análisis de las Acciones Propuestas PAC

La identificación y la priorización de las iniciativas y acciones que componen el PEGH Loa se definió en base a: el diagnóstico de la cuenca; los aportes del proceso de PAC; y, la opinión experta del equipo consultor.

El diagnóstico tuvo una amplia caracterización técnica, mientras que el proceso de PAC tuvo un carácter cualitativo con los aportes que han realizado los distintos actores relevantes del territorio, recogidos a través de reuniones. La síntesis del diagnóstico, junto con la revisión de la cartera actual de acciones, se presentó anteriormente en el Capítulo 6, derivando de ello las iniciativas estratégicas correspondientes, las que fueron sometidas a un trabajo de evaluación remota por parte de los usuarios. El detalle del trabajo PAC se presentó anteriormente en el acápite 2.6.2.2 y en mayor detalle en el Anexo I.

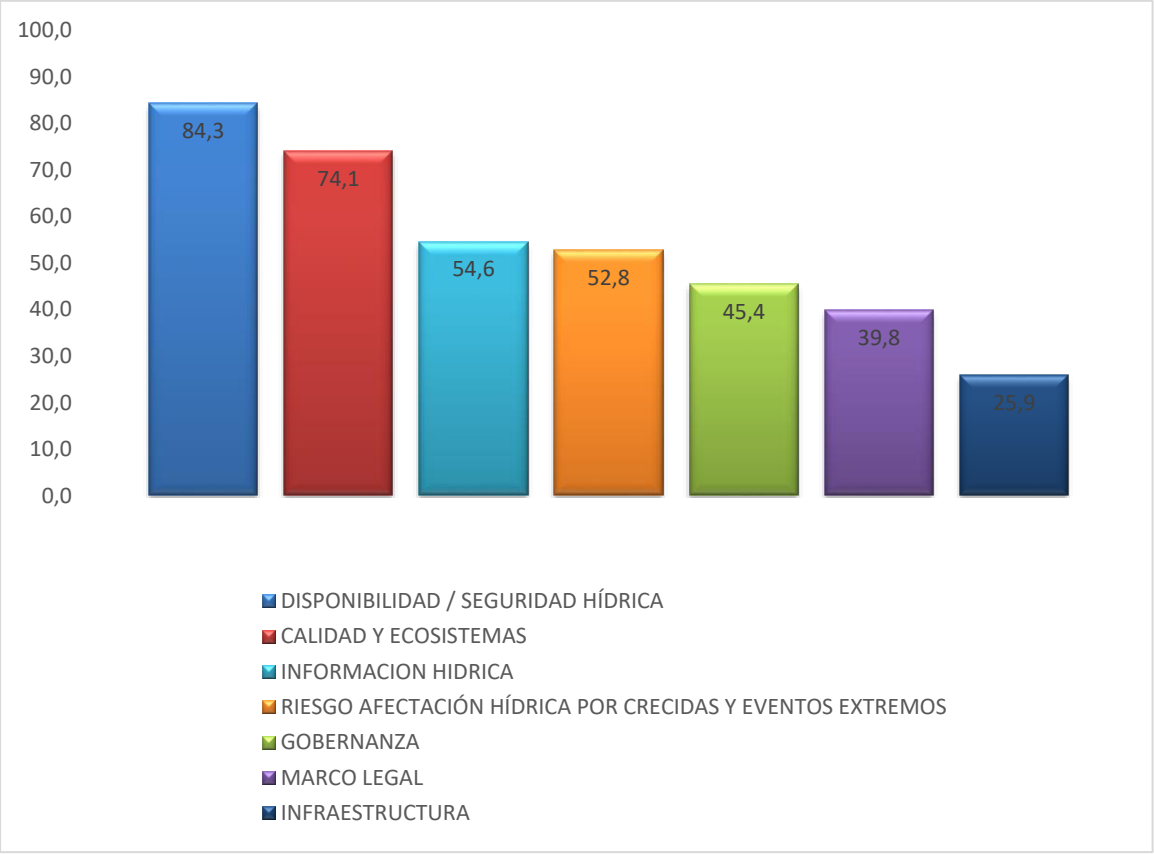
En primer lugar, se les solicitó a los usuarios que clasificaran la importancia de los ejes temáticos identificados y presentados anteriormente en el Capítulo 6. Se clasificó con nota 1 al eje temático más relevante y con nota 7 al menos relevante. Luego se determinó el promedio de los puntajes, para por último asignar puntajes (para fines del ranking posterior), 100 para el problema más relevante y 0 al menos relevante. De esta forma se generó la Figura 7-1 donde se muestra el ranking obtenido.

Se hace notar que los resultados muestran que las temáticas más relevantes para los usuarios son las relacionadas con seguridad hídrica y calidad de aguas, en los 2 primeros

lugares del ranking, temáticas que en términos generales son iguales a los ejes finalmente adoptados.

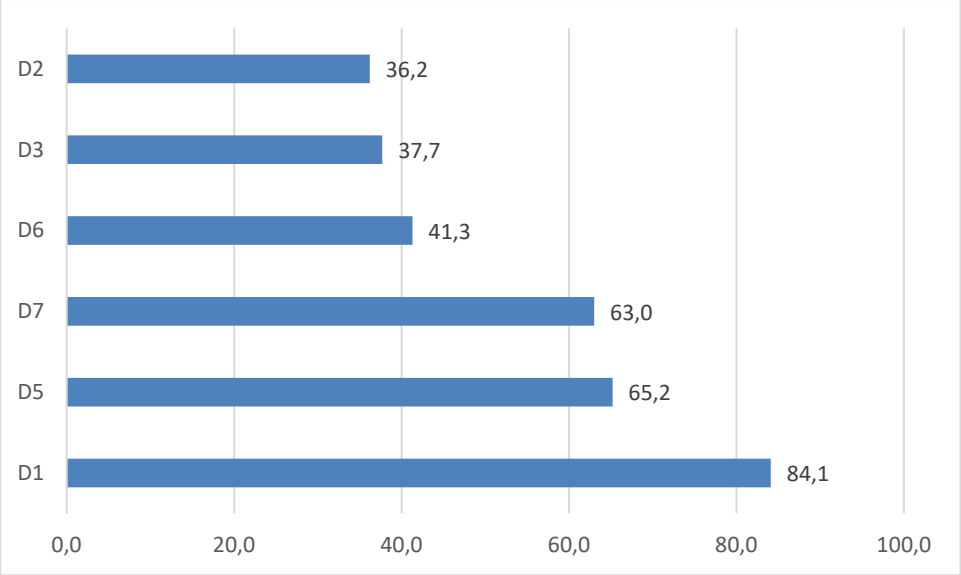
En segundo lugar, se procedió a un análisis similar para las acciones, aplicando el mismo criterio de asignación de puntajes anterior. Se muestra en la Figura 7-2 a Figura 7-7 los resultados del ranking para las acciones para los diferentes Ejes temáticos analizados. Se hace notar que, para efectos de las acciones, no se incorporó una línea propia de iniciativas en el área infraestructura, sino que se fusionaron con la disponibilidad, ya que en muchos casos es la forma de resolver el problema.

Los resultados se presentan en detalle en el Anexo K-03.



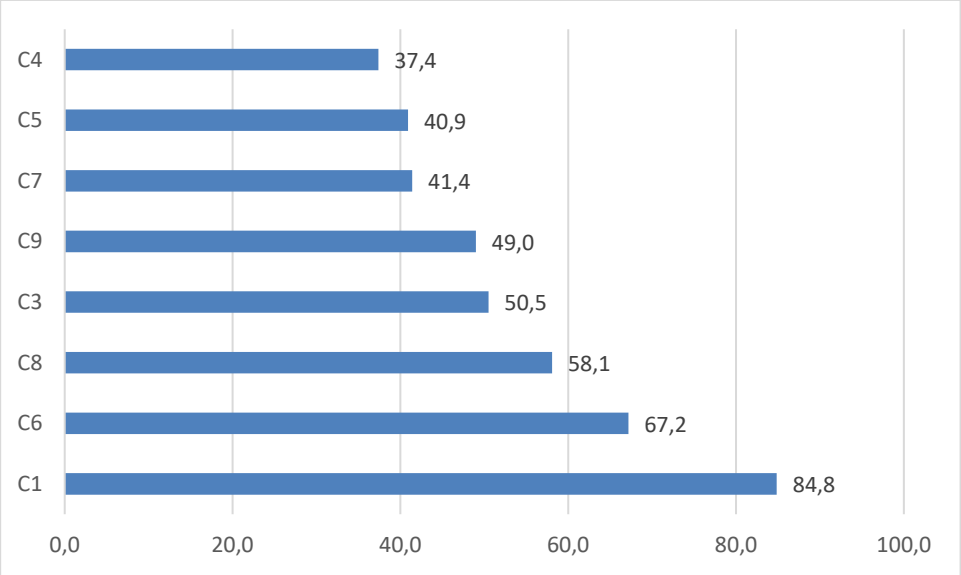
Fuente: Elaboración propia

Figura 7-1: Ranking Categorías de Tipos de Problemas Identificados en PAC



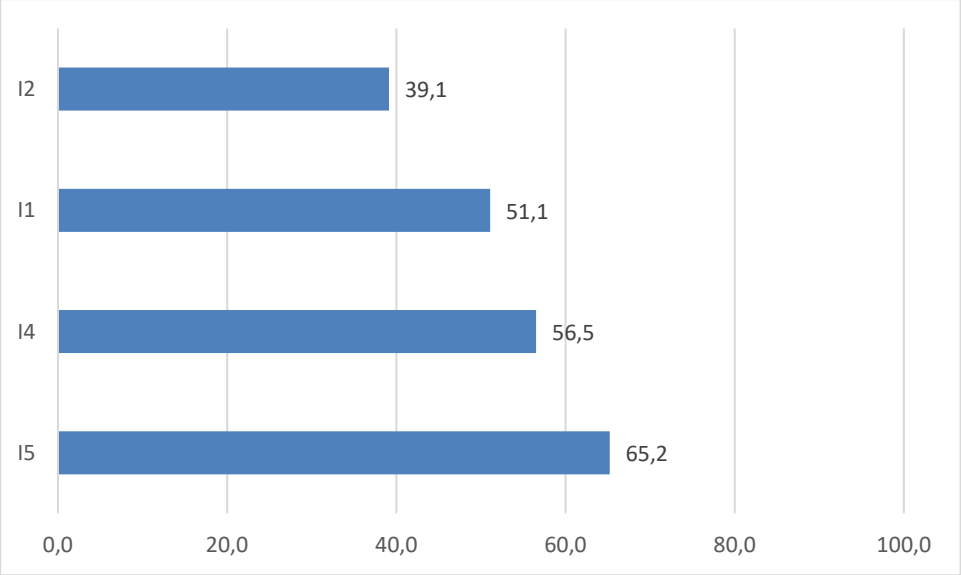
Fuente: Elaboración propia

Figura 7-2: Ranking Iniciativas Disponibilidad/Seguridad Hídrica/Infraestructura



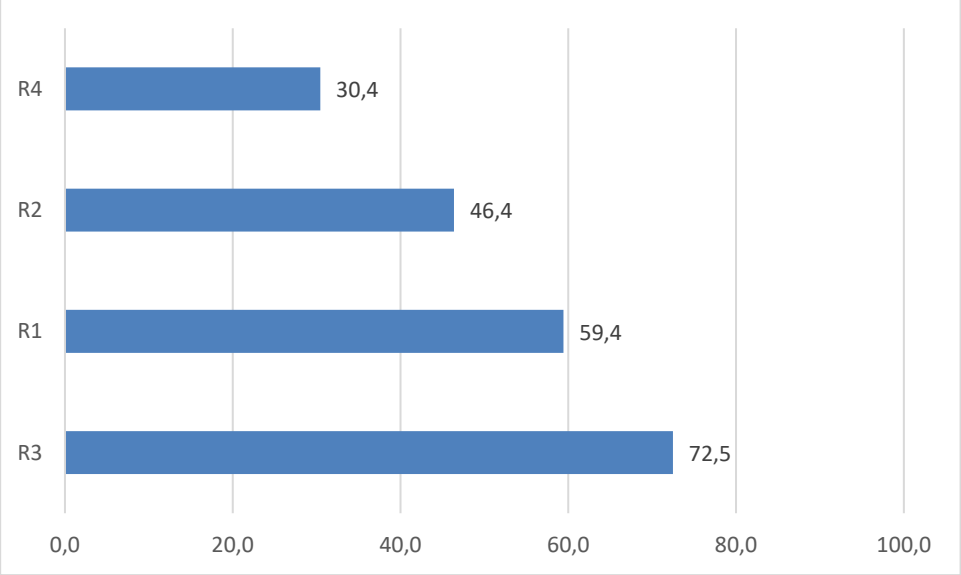
Fuente: Elaboración propia

Figura 7-3: Ranking Iniciativas Calidad y Ecosistemas



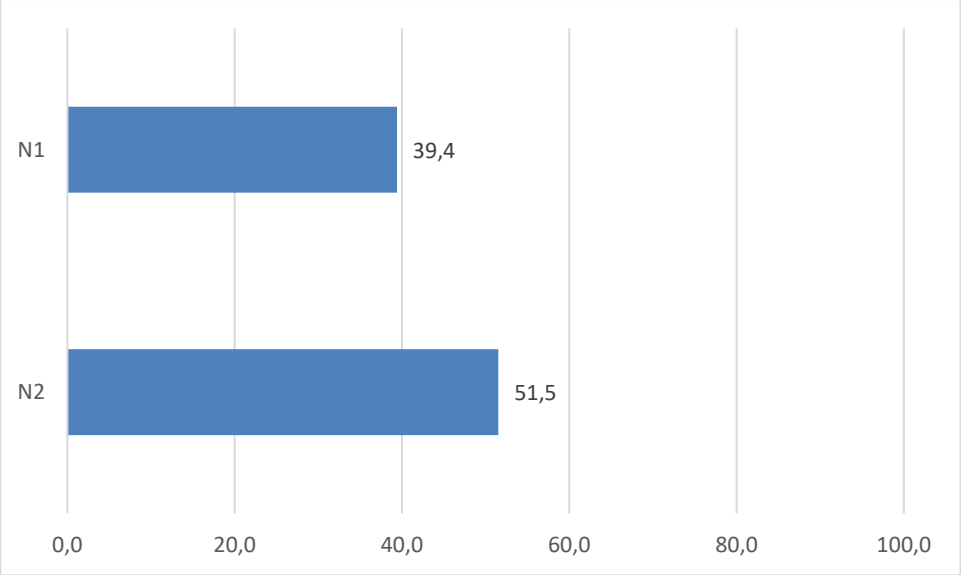
Fuente: Elaboración propia

Figura 7-4: Ranking Iniciativas Información Hídrica



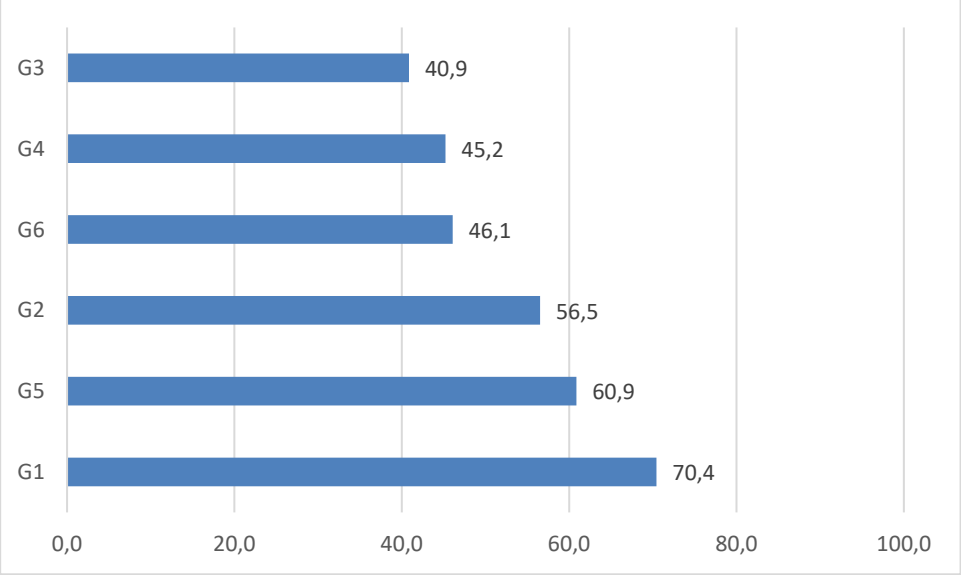
Fuente: Elaboración propia

Figura 7-5: Ranking Iniciativas Riesgo Afectación Hídrica Crecidas / Fallas Obras



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-6: Ranking Iniciativas Normativas Legales



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-7: Ranking Iniciativas Gobernanza

7.3 Evaluación y Ranking de las Acciones Propuestas

7.3.1 Evaluación Global de las Acciones

Para efectos de determinar el ranking de las acciones propuestas, se consideraron los siguientes 5 indicadores: Tipo problema PAC (dado por la Figura 7-1), importancia relativa

de acciones (presentado en la Figura 7-2 a Figura 7-7), impacto financiero, social y ambiental, según se presenta posteriormente en los acápites 7.3.2 a 7.3.4. Para efectos de cálculo, se estima que los 2 primeros son los más relevantes, adoptándose al primero un 20%, a las acciones un 35% y a los impactos 15% cada uno. De esta forma, para la clasificación de las acciones, un 55% corresponde al resultado del trabajo PAC y un 45% al análisis experto. Este proceso, se muestra gráficamente en la Figura 7-8, y matemáticamente en la ecuación siguiente:

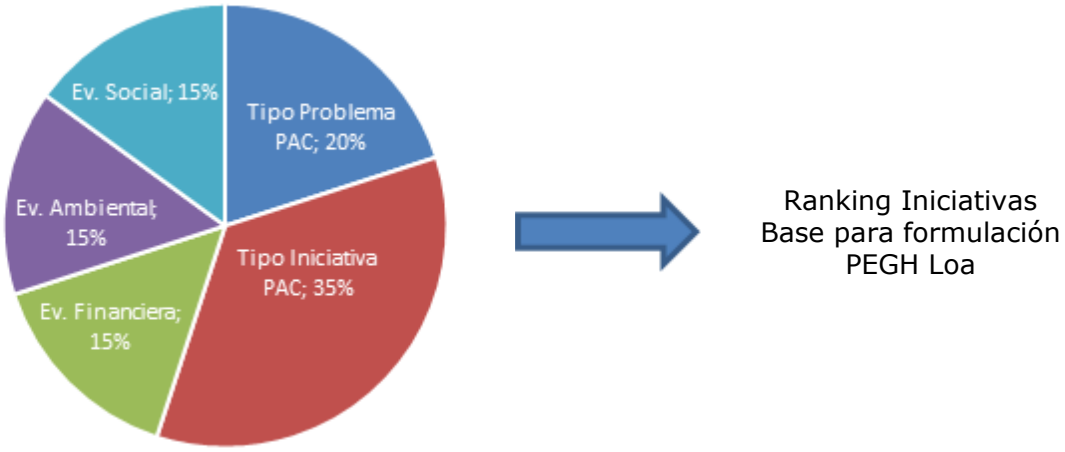
$$Puntaje = \sum_{i} \alpha_i \, C_i$$

Donde:

Puntaje: Puntaje total de la acción

α_i : Corresponde al peso dado a la calificación considerada (ver Figura 7-8)

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



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-8: Esquema Asignación Puntajes Evaluación de Acciones

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

7.3.2 Evaluación PAC

Los resultados mostrados gráficamente en el acápite 7.3 ilustran los puntajes asignados a las iniciativas evaluadas en el trabajo PAC. Se hace notar que, aunque en el PEGH se consideran menos iniciativas que las evaluadas en el trabajo PAC, no se ajustaron los puntajes obtenidos, ya que lo que realmente es más importante es el orden subyacente y no los puntajes propiamente tales. Tal como se indicó anteriormente, los resultados de esta actividad se presentan en el Anexo K-03.

7.3.3 Evaluación Financiera

Tal como se presentó en el anexo metodológico, la evaluación económica que se presenta es una evaluación simplificada y apunta más bien a evaluar financieramente las acciones, dado que la evaluación económica tradicional requiere la evaluación de beneficios, los que por el tipo de acciones presentadas no son evaluables. Por lo mismo la evaluación de costo-eficiencia que se presenta apunta a obtener le mejor retorno por la inversión. Por lo mismo, para esta evaluación, las alternativas se evalúan por su impacto en el desembolso anual equivalente. El detalle metodológico se presenta en el Anexo F, acápite 2.5.2.1. Los resultados se presentan en el Anexo K-04.

7.3.4 Evaluación Social

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

Se decidió aplicar esta metodología simplificada, ya que del trabajo PAC ya se dispone de una opinión de las acciones por parte de los usuarios, por lo que lo único que se persigue es identificar aquellas la importancia relativa entre las acciones propuestas. Para esto se consideran 3 categorías generales de evaluación:

- **Impacto social alto:** Acciones cuya aplicación tiene un alto efecto en la comunidad ya sea por el número de personas afectadas o por la superficie afectada, además de la inmediatez del efecto
- **Impacto social medio:** Acciones cuya aplicación tiene un alto efecto en la comunidad ya sea por el número de personas afectadas o por la superficie afectada, pero su efecto es más lento de obtener o percibir

- **Impacto social bajo:** En esta última categoría se clasifican aquellos proyectos que son más de planificación de muy largo plazo que se deben realizar al principio de una evaluación donde se analizan alternativas antes de socializarlas.

El detalle metodológico se presenta en el Anexo F, acápite 2.5.2.2.

Los resultados de la evaluación se presentan en el Anexo K-05.

7.3.5 Evaluación Ambiental

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

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

En general ya que las acciones consideradas son más bien a nivel de planeamiento, no se requiere ingreso al SEA, siendo esperable su aplicación solo a las acciones que consideren la integración hídrica.

La metodología se presenta con mayor detalle en el Anexo F, acápite 2.5.2.3.

Los resultados de la evaluación se presentan en el Anexo K-06.

7.3.6 Resultado de la evaluación global de las Acciones

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-07. En la tabla también se presenta la categorización usada en PAC y la usada en el PEGH, cuyos resultados se resumen en el Anexo K-08.

Las fichas de las acciones propuestas se presentan en el Anexo K-09.

Tabla 7-1: Resultados Evaluación de Iniciativas

PAC		PEGH			Iniciativa	Tipo Problema	Iniciativa	Social	Ambiental	Financiero	Global
Categoría	Código	Eje	Tipología	Código							
D	D1	1	OH	OH-1	Mejora de los Servicios Sanitarios Rurales en localidades rurales	82,6	84,1	100,0	100,0	50,0	83,5
D	D2	1	OH	OH-2	Transferencia para el Levantamiento de Tranques de Regulación Corta para Pequeños Agricultores	82,6	36,2	75,0	100,0	75,0	66,7
R	R1	1	OH	OH-4	Soluciones de infraestructura para el control de crecidas (defensas fluviales, otras)	39,9	59,4	75,0	100,0	75,0	66,3
C	C3	1	NF	NF-1	Promover el uso de fuentes alternativas de abastecimiento para pequeños usuarios	72,5	50,5	100,0	100,0	100,0	77,2
C	C5	1	NF	NF-3	Impulsar reúso de aguas servidas tratadas	72,5	40,9	75,0	100,0	100,0	70,1
C	C6	1	NF	NF-4	Incentivar el uso de aguas No continentales por parte de la Minería e Industria / Reconversión / Uso de agua desalada / Disminución de consumo Agua en procesos productivos	72,5	67,2	100,0	0,0	100,0	68,0
C	C4	1	NF	NF-2	Implementar Recarga artificial de acuíferos	72,5	37,4	75,0	100,0	75,0	65,1
D	D7	1	MG	MG-2	Transferencia Tecnológica de Sistemas de Riego en las Comunidades Indígenas	82,6	63,0	100,0	100,0	75,0	79,8
D	D3	1	MG	MG-1	Transferencia Tecnológica en el Manejo de Obras Extra Prediales y Técnicas de Riego	82,6	37,7	75,0	100,0	75,0	67,2
C	C10	1	MG	MG-3	Transferencia Tecnológica para la Validación de Sistemas de Abatimiento y levantamiento de Demanda de Proyectos de Abatimiento de Contaminantes del Agua de Riego	72,5	33,3	75,0	100,0	50,0	59,9
D	D5	1	OM	OM-1	Gestión Integral del Embalse Conchi (Disponibilidad)	82,6	65,2	75,0	100,0	75,0	76,8
C	C1	2	OM	OM-3	Establecer un requerimiento de caudal mínimo para asegurar demanda hídrica ambiental del río Loa	72,5	84,8	75,0	100,0	75,0	81,7
C	C8	2	OM	OM-5	Caracterización del funcionamiento hídrico e hidrogeológico de sectores acuíferos que alimentan vegas y bofedales protegidos	72,5	58,1	75,0	100,0	75,0	72,3
C	C9	2	OM	OM-6	Caracterización de la calidad química de los cuerpos de agua (superficiales y subterráneos) no estudiados de la cuenca	72,5	49,0	75,0	100,0	75,0	69,2
C	C7	2	OM	OM-4	Evaluar riesgos ambientales y físicos expansión Tranque Talabre. Análisis de efectos rotura Tranque. Análisis Sistema Alerta Temprana	72,5	41,4	75,0	100,0	75,0	66,5
G	G1	3	MG	MG-7	Participación ciudadana sobre el futuro del río Loa	58,7	70,4	100,0	100,0	100,0	81,4
N	N1	3	MG	MG-11	Capacitación a profesionales DGA-MOP Región de Antofagasta en proceso de Consulta Indígena, de acuerdo a directrices Convenio 169 de la OIT	53,6	39,4	75,0	100,0	100,0	65,8
N	N2	3	MG	MG-12	Capacitación a representantes de comunidades indígenas en proceso de Consulta Indígena, de acuerdo a directrices Convenio 169 de la OIT	53,6	51,5	100,0	100,0	100,0	73,7
G	G2	3	MG	MG-8	Fomentar y Apoyar Creación Organización de Usuarios (JV) río Loa	58,7	56,5	75,0	100,0	100,0	72,8

PAC		PEGH			Iniciativa	Tipo Problema	Iniciativa	Social	Ambiental	Financiero	Global
Categoría	Código	Eje	Tipología	Código							
I	I2	3	MG	MG-5	Formulación e Implementación Plan de Fiscalización ciudadana	50,7	39,1	100,0	100,0	100,0	68,8
G	G4	3	MG	MG-10	Mejora continua en la aplicación de procesos de participación ciudadana del MOP en actividades referentes al recurso hídrico	58,7	45,2	75,0	100,0	100,0	68,8
G	G3	3	MG	MG-9	Fortalecimiento de las relaciones entre privados y comunidades	58,7	40,9	75,0	100,0	100,0	67,3
I	I1	3	MG	MG-4	Fortalecer labor de Fiscalización DGA	50,7	51,1	100,0	100,0	50,0	65,5
R	R4	3	MG	MG-6	Reforzar institucionalidad de acción ante emergencias relacionadas a temas hidrológicos	39,9	30,4	75,0	100,0	75,0	56,1
R	R3	3	OM	OM-8	Sistema Alerta Temprana, Plan de acción de emergencia ante riesgos, Difusión del Plan de Emergencias, Simulacros, Informar a comunidades	39,9	72,5	75,0	100,0	100,0	74,6
G	G6	3	OM	OM-9	Guía operativa de puesta en valor de actividades ancestrales asociadas al recurso hídrico	58,7	46,1	100,0	100,0	100,0	72,9
D	D6	3	OM	OM-2	Sistema de subsidios para el agua potable	82,6	41,3	75,0	100,0	100,0	72,2
R	R2	3	OM	OM-7	Gestión Integral del Embalse Conchi (Riesgo)	39,9	46,4	75,0	100,0	100,0	65,5
I	I4	4	OH	OH-3	Plan de mejoramiento red de Control Hidrométrico	50,7	56,5	100,0	100,0	75,0	71,2

Fuente: Elaboración propia

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

Posteriormente se presenta en la Tabla 7-2 el ranking ordenado, siguiendo el ranking modificado, que corresponde al primer insumo para la confección del PEGH Loa. Se presenta el proyecto con mayor puntaje con ranking 1 y de ahí, descendiendo hasta 29. Se debe hacer nota 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 Loa. En la misma tabla se agregó una última columna que indica que 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).

Tabla 7-2: Ranking Evaluación Iniciativas

Código PEGH	Iniciativa	Ranking Original	Puntaje	Comentario	Ranking Modificado	Plazo
OH-1	Proyectos y mejora de los Servicios Sanitarios Rurales en localidades rurales	1	83,5	Se mantiene el orden relativo	1	Corto
OH-3	Estudio Plan de mejoramiento red de Control Hidrométrico	13	71,2	Se debe adelantar ya que se debe disponer de la información a la brevedad	2	Corto
MG-5	Estudio para Formulación e Implementación Plan de Fiscalización ciudadana	16	68,8	Se sugiere adelantar como una forma de mejorar las confianzas al transparentar la información	3	Corto
MG-9	Programa de fortalecimiento de las relaciones entre privados y comunidades	19	67,3	Se sugiere adelantar como una forma de mejorar las confianzas al transparentar la información	4	Corto
MG-1	Programa Transferencia Tecnológica en el Manejo de Obras Extra Prediales y Técnicas de Riego	20	67,2	Se sugiere adelantar ya que puede tener un efecto importante en la economía de los usuarios	5	Corto
OH-2	Programa Transferencia para el Levantamiento de Tranques de Regulación Corta para Pequeños Agricultores	21	66,7	Se sugiere adelantar ya que puede tener un efecto importante en la economía de los usuarios	6	Corto
OM-5	Estudio Caracterización del funcionamiento hídrico e hidrogeológico de sectores acuíferos que alimentan vegas y bofedales protegidos	11	72,3	Se debe adelantar ya que se debe disponer de la información a la brevedad	7	Corto
MG-11	Programa Capacitación profesionales DGA-MOP Región de Antofagasta en proceso de Consulta Indígena, de acuerdo a directrices Convenio 169 de la OIT	24	65,8	Se sugiere adelantar como una forma de mejorar las confianzas al transparentar la información	8	Corto
MG-4	Programa para Fortalecer labor de Fiscalización DGA	25	65,5	Se sugiere adelantar como una forma de mejorar las confianzas al transparentar la información	9	Corto
MG-3	Estudio Transferencia Tecnológica para la Validación de Sistemas de Abatimiento y levantamiento de Demanda de Proyectos de Abatimiento de Contaminantes del Agua de Riego	28	59,9	Se sugiere adelantar ya que puede tener un efecto importante en la economía de los usuarios	10	Corto
MG-7	Programa Participación ciudadana sobre el futuro del río Loa	3	81,4	Se mantiene el orden relativo	11	Mediano
MG-2	Programa Transferencia Tecnológica de Sistemas de Riego en las Comunidades Indígenas	4	79,8	Se mantiene el orden relativo	12	Mediano
NF-1	Proyecto Promover el uso de fuentes alternativas de abastecimiento para pequeños usuarios	5	77,2	Se mantiene el orden relativo	13	Mediano
OM-1	Proyecto Gestión Integral del Embalse Conchi (Disponibilidad)	6	76,8	Se mantiene el orden relativo	14	Mediano
OM-8	Programa Sistema Alerta Temprana, Plan de acción de emergencia ante riesgos, Difusión del Plan de Emergencias, Simulacros, Informar a comunidades	7	74,6	Se mantiene el orden relativo	15	Mediano
OM-3	Establecer un requerimiento de caudal mínimo para asegurar demanda hídrica ambiental del río Loa	2	81,7	Se propone hacerlo con posterioridad a la acción C8	16	Mediano
MG-12	Programa Capacitación a representantes de comunidades indígenas en proceso de Consulta Indígena, de acuerdo a directrices Convenio 169 de la OIT	8	73,7	Se mantiene el orden relativo	17	Mediano
OM-9	Estudio Guía operativa de puesta en valor de actividades ancestrales asociadas al recurso hídrico	9	72,9	Se mantiene el orden relativo	18	Mediano
MG-8	Programa Fomentar y Apoyar Creación Organización de Usuarios (JV) río LOA	10	72,8	Se mantiene el orden relativo	19	Mediano
OM-2	Estudio del sistema de subsidios para el agua potable	12	72,2	Se mantiene el orden relativo	20	Mediano
NF-3	Programa Impulsar reúso de aguas servidas tratadas	14	70,1	Se mantiene el orden relativo	21	Largo
OM-6	Estudio Caracterización de la calidad química de los cuerpos de agua (superficiales y subterráneos) no estudiados de la cuenca	15	69,2	Se debería postergar hasta después de tener una red de monitoreo mejorada y con al menos 2 años de información	22	Largo
MG-10	Programa Mejora continua en la aplicación de procesos de participación ciudadana del MOP en actividades referentes al recurso hídrico	17	68,8	Se mantiene el orden relativo	23	Largo
NF-4	Programa Incentivar el uso de aguas No continentales por parte de la Minería e Industria / Reconversión / Uso de agua desalada / Disminución de consumo Agua en procesos productivos	18	68,0	Se mantiene el orden relativo	24	Largo
OM-4	Estudio evaluar riesgos ambientales y físicos expansión Tranque Talabre. Análisis de efectos rotura Tranque. Análisis Sistema Alerta Temprana	22	66,5	Se mantiene el orden relativo	25	Largo
OH-4	Estudio Soluciones de infraestructura para el control de crecidas (defensas fluviales, otras)	23	66,3	Se mantiene el orden relativo	26	Largo
OM-7	Proyecto Gestión Integral del Embalse Conchi (Riesgo)	26	65,5	Se mantiene el orden relativo	27	Largo
NF-2	Estudio para implementar Recarga artificial de acuíferos	27	65,1	Se mantiene el orden relativo	28	Largo
MG-6	Programa para Reforzar institucionalidad de acción ante emergencias relacionadas a temas hidrológicos	29	56,1	Se mantiene el orden relativo	29	Largo

Fuente: Elaboración propia

7.5 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 7-9, donde se muestra para cada plazo, las acciones a realizar por eje temático, además del momento propuesto para su ejecución.

Figura 7-9: Cronograma PEGH Loa

			Corto					Mediano					Largo				
			Año Ejecución														
Plazo	**Eje**	**Acción**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
Corto	Uso estratégico RRHH	OH-1															
		OH-2															
	Protección Ambiental RRHH	MG-3															
		OM-5															
	Gobernanza y Gestión	MG-1															
		MG-5															
		MG-9															
		MG-11															
		MG-4															
	Monitoreo	OH-3															
Mediano	Uso estratégico RRHH	MG-2															
		MG-7															
	Protección Ambiental RRHH	MG-8															
	Gobernanza y Gestión	MG-12															
		OM-1															
		OM-3															
		OM-8															
		OM-9															
		OM-2															
		OH-4															
Largo	Uso estratégico RRHH	NF-3															
		NF-2															
		NF-4															
		NF-1															
	Protección Ambiental RRHH	MG-10															
		MG-6															
	Gobernanza y Gestión	OM-7															
		OM-6															
		OM-4															

Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta al plazo, se muestra en la Tabla 7-3: Distribución de iniciativas por Eje, Plazo y tipología. Se observan 10 iniciativas en el corto plazo, 10 en el mediano plazo y 9 en el largo plazo.

Tabla 7-3: Distribución de iniciativas por Eje, Plazo y Tipología

Eje	Plazo	Tipología				Total
		OH	NF	MG	OM	
1	Corto	2				2
	Mediano		1		1	2
	Largo	1	3			4
2	Corto			1	1	2
	Mediano				1	1
	Largo				2	2
3	Corto			5		5
	Mediano			4	3	7
	Largo			2	1	3
4	Corto	1				1
Total	Corto	3		6	1	10
	Mediano		1	4	5	10
	Largo	1	3	2	3	9
Total		4	4	12	9	29

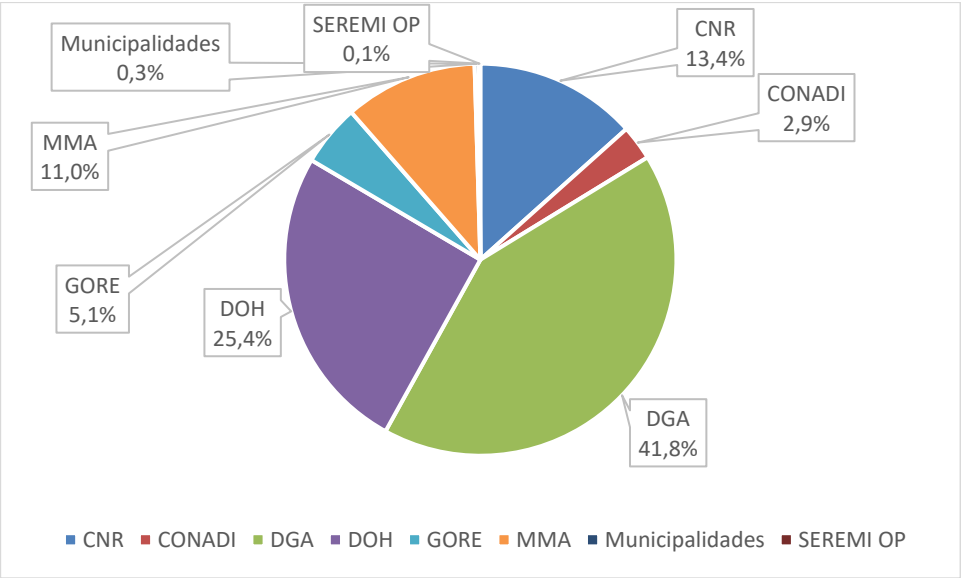
Fuente: Elaboración propia

Se hace notar que el resultado del proceso de evaluación del PEGH Loa se presentan en el Anexo K-10.

7.6 Valorización Económica del Plan Estratégico de Gestión Hídrica

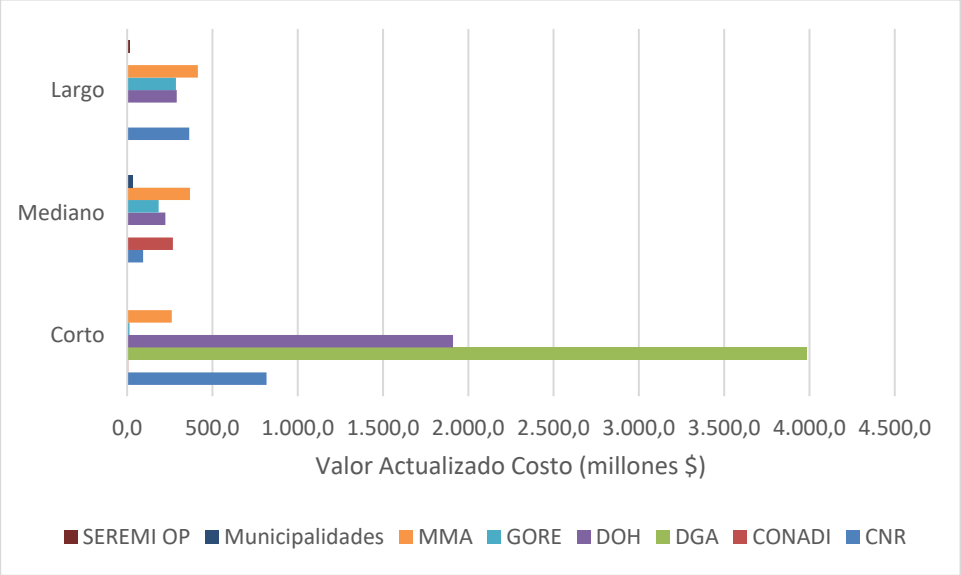
7.6.1 Acciones a Ejecutar por Actor

En primer lugar, se presenta la distribución de acciones, en términos de VAC, a ejecutar por ejecutor, distribuidos entre la DGA y otros actores, en el corto, mediano y largo plazo, lo que se muestra en la Figura 7-10 y Figura 7-11. En términos porcentuales, la DGA está encargada de un 41,8% del presupuesto requerido, con 3 iniciativas, y el restante 58,2% (26 iniciativas) en manos de otras instituciones. La distribución del valor actualizado de los costos se muestra en la Figura 7-12, en la forma de un diagrama Sankey, donde se muestra la tipología, la institución y el plazo.



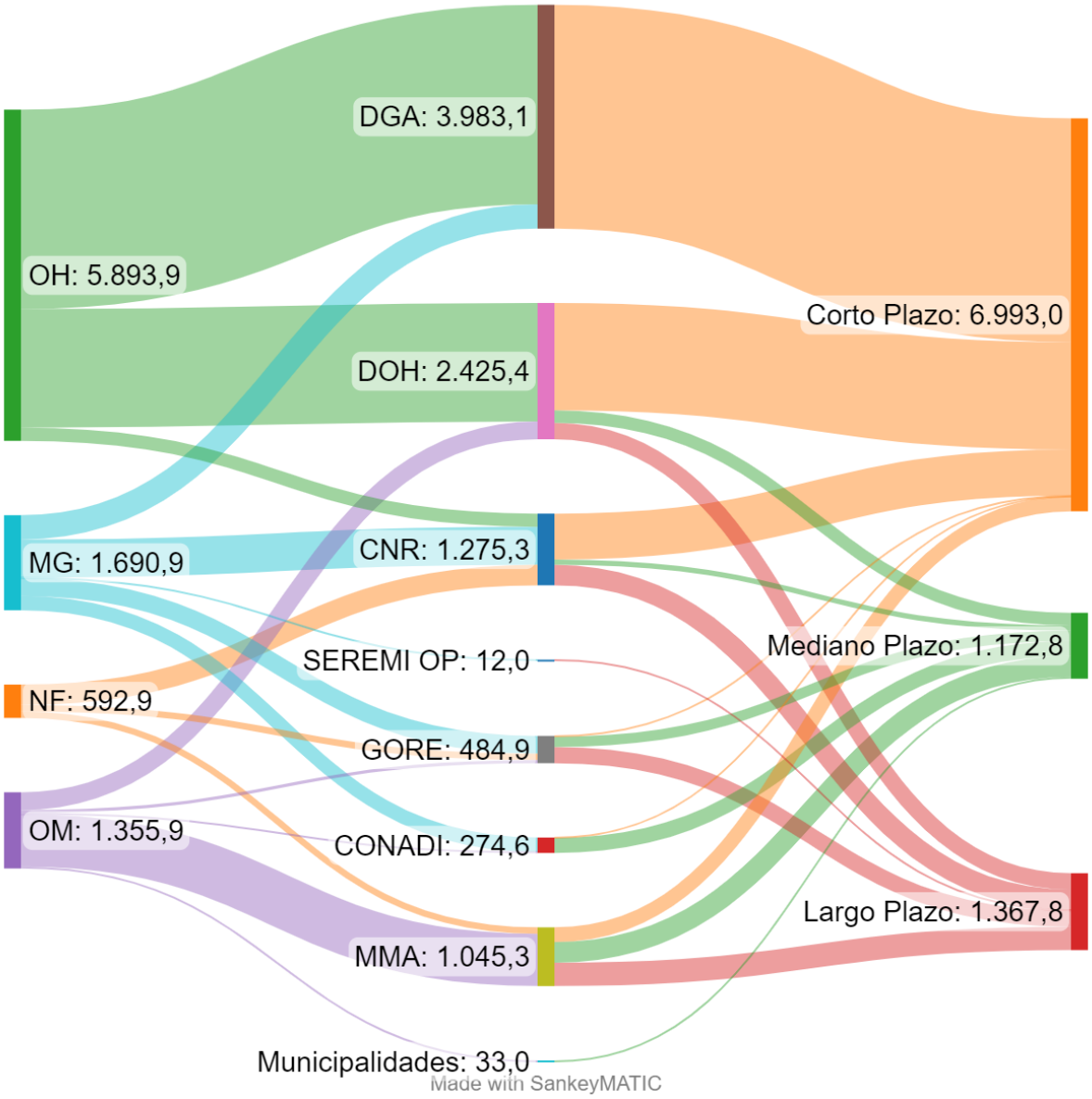
Fuente: Elaboración propia

Figura 7-10: Distribución Costos por Actor Institucional



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-11: Distribución Valor Actualizado de Costos por Plazo Ejecución

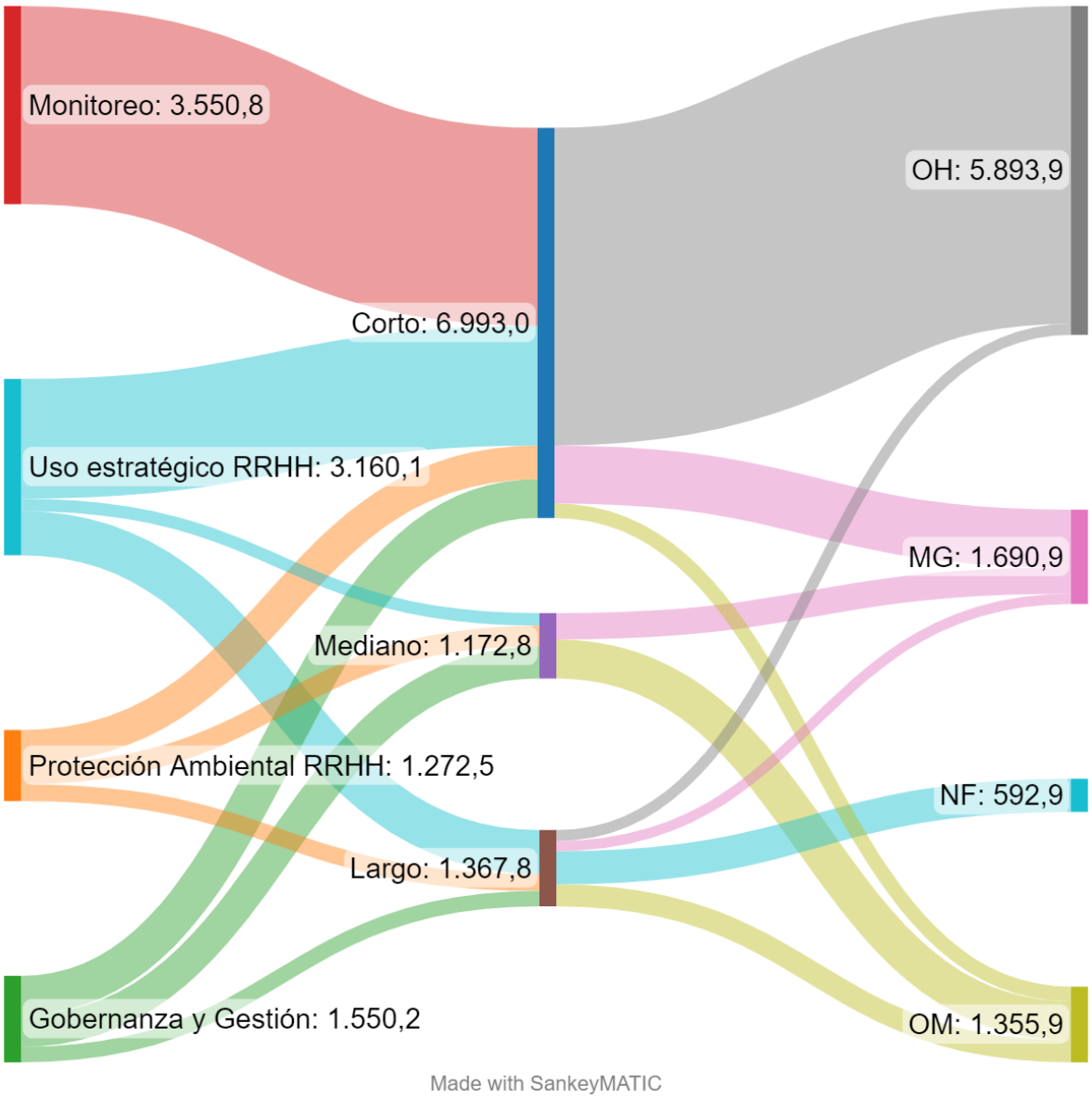


Fuente: Elaboración propia usando SankeyMATIC

Figura 7-12: Distribución VAC (millones $) por Tipología, Entidad Encargada y Plazo de Ejecución

7.6.2 Distribución de Valor Actualizado de Costos por Eje PEGH

En último lugar, se presenta en la Tabla 7-4 la distribución del valor actualizado de los costos por línea de acción, institución y plazo, lo que se resume en la Figura 7-13, donde se observa que el 73,4% del presupuesto se asigna al corto plazo.



Fuente: Elaboración propia usando SankeyMATIC

Figura 7-13: Distribución VAC (millones $) por Eje Temático, Plazo y Tipología

Tabla 7-4: Distribución VAC (millones $) por Eje PEGH

Eje PEGH	Corto	Medio	Largo	Total
Uso estratégico RRHH	2.145,1	224,1	790,9	**3.160,1**
Protección Ambiental RRHH	602,7	368,8	301,0	**1.272,5**
Gobernanza y Gestión	694,4	579,9	275,9	**1.550,2**
Monitoreo	3.550,8	0,0	0,0	**3.550,8**
Total	**6.993,0**	**1.172,8**	**1.367,8**	**9.533,6**
Distribución	**73,4%**	**12,3%**	**14,3%**	**100,0%**

Fuente: Elaboración propia

8 IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN

En este capítulo se presenta un resumen de la estructura del PEGH Loa y los principales hitos a considerar, en función de la temporalidad establecida para cada medida del plan. Se hace notar que dado que la única fuente de agua fresca disponible, la desalación de agua de mar se encuentra fuera de la cuenca, la institucionalidad que se propone tiene 2 niveles: un nivel de cuenca y otro superior, o regional.

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

Será fundamental la incorporación, desde los inicios, de todos los actores relevantes de la región, tanto sector público, privado como comunidades locales, esto, a través de procesos de participación efectivos. Esto se fundamenta en que, dado el nivel de conflicto y desconfianza existente en el territorio y claramente hecho patente en las actividades de PAC, es importante abordar el trabajo con las comunidades a partir de los postulados de la resolución adaptativa de conflictos ambientales (Rojas et Al., 2008), es decir, buscando que las comunidades tengan:

- El acceso transparente, oportuno y equitativo a la información.
- Reconocimiento y respeto de las diferencias en valores y puntos de vista.
- Resguardo de la integridad del ecosistema y restauración de los efectos negativos sobre la biodiversidad.
- Fortalecimiento de las redes sociales de las comunidades involucradas

Un reclamo usual de las comunidades es que ellos solo son invitados cuando todo ya está listo, es decir, deberían generarse instancias previas de recolección de información, y no solo de discusión de lo presentado.

8.1.1.2 Proceso de Consulta Indígena

En el caso de las comunidades indígenas, y siguiendo la línea del acápite anterior, se recomienda su incorporación en el proceso de ejecución del plan.

Una de las formas de abordarlo es que, se generen instancias y mesas de participación con las comunidades indígenas, generando acuerdos sobre las metodologías a utilizar, donde ellos se sientan considerados y en igualdad de condiciones, tal como se indicó en el acápite anterior.

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 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.
    - 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.

8.1.2 Propuesta del Proceso de Diseño

En términos generales se plantea un trabajo basado en la experiencia del "Plan de Gestión del Distrito de Cuenca Fluvial de Cataluña", que constituyó un ejemplo importante de proceso de participación de actores relevantes, dado las características del proceso.

Se propone realizar un trabajo inicial de dos fases, una primera fase, por sector, por ejemplo: sector público, sector minero, sector sanitario, sector agrícola, sector comunitario. Cada sector analizaría por separado los diversos componentes, en este caso, los ejes temáticos propuestos para el PEGH Loa:

- Uso estratégico RRHH
- Protección Ambiental RRHH
- Gobernanza y Gestión
- Monitoreo

Luego, una segunda fase, por mesa temática, en base a los componentes anteriores, donde se analizarían primero los consensos y disensos entre los sectores, luego las líneas de acción por componente y las medidas necesarias para abordar el componente, las cuales se analizan, primero, indicando las instituciones que deben abordar la temática, y segundo,

analizar la información generada en base al triangulo de Moore, es decir, haciendo que cada mesa temática analice:

- ***Mirada hacia adentro***, cuáles son los requerimientos de gestión interna de la institución que requiere dicha acción, que modificaciones deben realizarse para que el instrumento tenga viabilidad administrativa y operativa, permitiendo su realización a través de la estructura organizativa existente y/o con el apoyo de otras organizaciones o la generación de nuevas estructuras o subestructuras (que deben tener sostenibilidad en el tiempo).
- ***Mirada hacia afuera***: si los instrumentos son sustantivamente valiosos para los ciudadanos y beneficiarios, debe responder a un problema de reconocimiento público.
- Una ***mirada hacia arriba***, analizar si existe voluntad política para realizar las acciones, si es políticamente sostenible, si se necesitan cambios mayores, por ejemplo, normativos y que recursos monetarios son necesarios.

Este trabajo permitirá tener la base para la acción y planteamiento del plan, fundamental para el diseño definitivo del plan.

Las acciones posteriores emergerán del trabajo interno y de la experiencia de otros países, pudiendo presentarse, en dicha instancia, las diversas alternativas existentes.

8.1.3 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 Loa 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:

- El PEGH Loa tiene un enfoque de gestión de cuenca; por lo que se requiere para su implementación una institucionalidad del mismo tipo. Para el territotio, lo

más próximo corresponde a la Dirección Regional de Aguas de la Región de Antofagasta.

- 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 2-71, donde se muestran las relaciones entre los actores, en relación a la DGA.

En segundo lugar, y tal como se indicó en el Capítulo 6, la necesidad de manejar la única fuente de agua externa que proviene de fuera de la cuenca, hace necesario incluir un nivel extra territorial, que sea visto a nivel regional, por ejemplo, u otro que se estime apropiado.

En todo caso, independiente del nivel de gobernanza considerado, se estima que la secretaría técnica del organismo debería ser la DGA Regional.

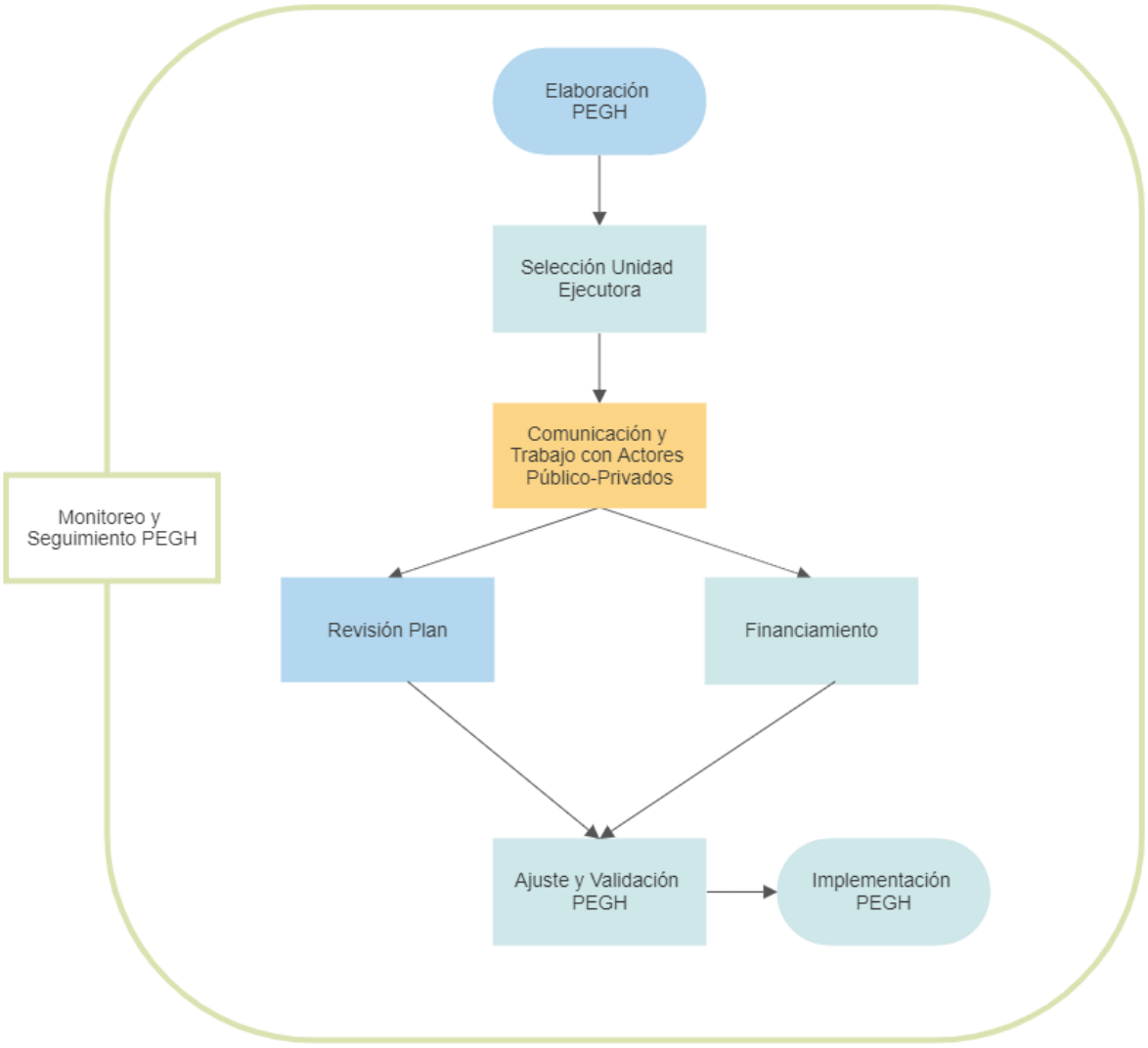
Considerando la gobernanza como herramienta para gestionar la interacción de los sistemas políticos, sociales y económicos involucrados en la gestión de los recursos hídricos y la provisión de servicios de agua a diferentes niveles de la sociedad, resulta clave la generación de procesos interactivos 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 participes 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 Loa, 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 Loa, con la finalidad de informar sobre los montos estimados por iniciativa para cada institución.

En paralelo a la implementación de las iniciativas del PEGH Loa, 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 Loa, mientras que en la Figura 8-2 se presenta el modelo de gobernanza propuesto.



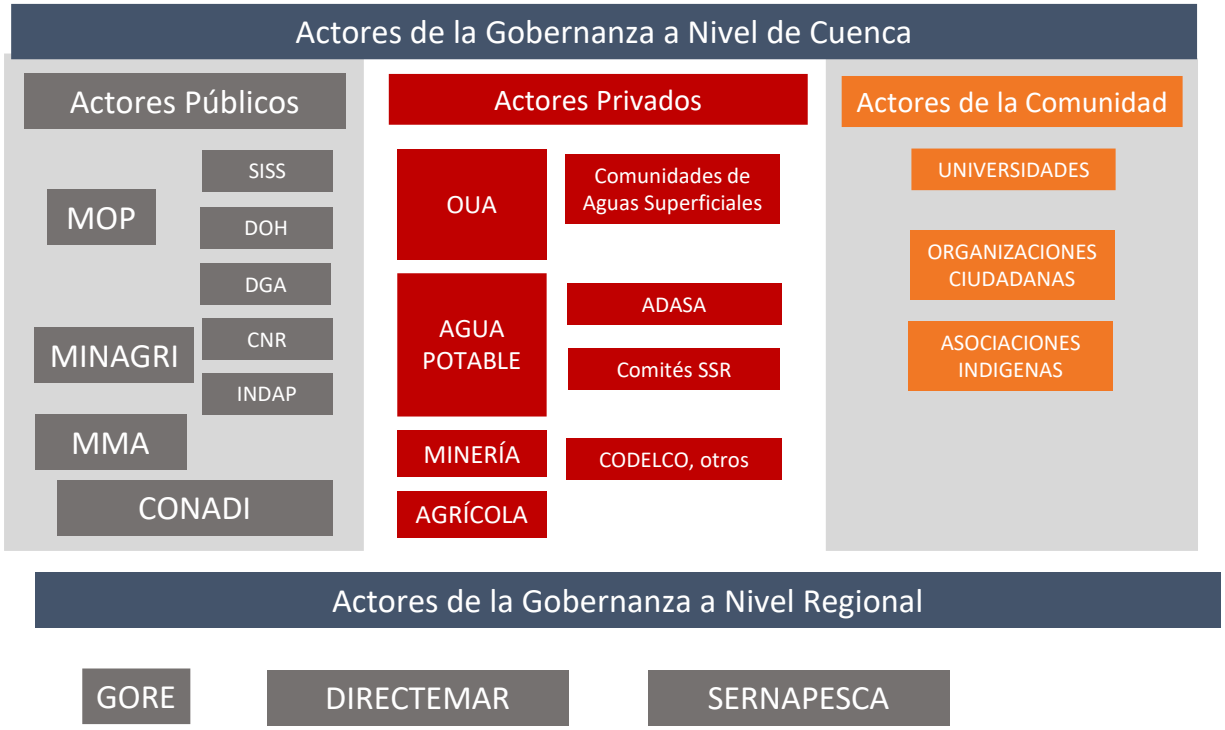
Fuente: Elaboración propia

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

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. Lo

anterior a que se debería considerar una actividad paralela vinculante, con tiempos de acción diferentes, sin accionar directo de la DGA.

También debe tenerse 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 Loa 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 Loa. La inclusión definitiva de estas entidades debe decidirse en forma posterior a esta instancia que es de tipo propositiva.



Fuente: Elaboración propia

Figura 8-2: Modelo propuesto de Gobernanza del PEGH Loa

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.

Para el desarrollo del PEGH Loa la participación de los privados es fundamental, especialmente ADASA y CODELCO, los usuarios principales de agua potable y agua para minería. ADASA es importante no solo por la cantidad de agua que capta, sino que porque parte del agua captada se envía fuera de la cuenca. Por otra parte, CODELCO está impulsando acciones para importar agua desalada desde fuera de la cuenca.

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

- Nivel Cuenca: Consejo de Cuenca, que se encargaría de la implementación del PEGH Loa y estaría a cargo de conseguir financiamiento, difusión y otras acciones
- Nivel Superior: Mesa Regional del Agua, que permitiría realizar las coordinaciones necesarias para facilitar la ejecución a largo plazo de los proyectos de desalación.

8.1.4 Limitaciones del PEGH Loa propuesto

Es importante hacer notar que tal como se presentó, el PEGH Loa principalmente está limitado a planificación del uso del recurso hídrico, ya que la única fuente de agua nueva corresponde a la desalación que es una acción de largo plazo, y requiere necesariamente la relación con actores que se encuentran fuera de la cuenca.

8.2 Estrategia de Comunicación

La estrategia comunicacional del PEGH Loa tiene que contemplar el universo de actores del territorio relacionados con materia hídrica en la cuenca del río Loa. 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 Loa.
- Corroborar la aceptación de las iniciativas del PEGH Loa por parte de los potenciales beneficiarios.
- 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.
- 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.

- 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.
- Otro elemento es incluir la comunicación radial, no solo en la forma de avisos, sino que también, en la forma de programas de difusón.

Anteriormente, en la Figura 2-70, se muestra la disposición e influencia de los distintos actores en el territorio. En base a esta categorización de actores, se proponen diferentes niveles de difusión, los que se muestran en la Tabla 8-1.

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

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

Fuente: Elaboración propia

9 MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN

En este capítulo se detalla el Plan de Monitoreo del PEGH Loa, en conjunto con los mecanismos para análisis y toma de decisiones asociados. Esto se hace ya que el PEGH Loa 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 Loa.

9.1 Plan de Monitoreo

El Plan de Monitoreo (PM) asociado al PEGH Loa tiene por objetivo establecer el seguimiento y la eficacia de su implementación, determinando los indicadores que permitan trazar el grado de cumplimiento de las 29 iniciativas públicas y una iniciativa de tipo privado que lo componen y de los objetivos del PEGH Loa. Adicionalmente, se especifican los mecanismos para la actualización y/o el rediseño del PEGH Loa, 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 Loa. Este proceso se presenta en forma gráfica en la Figura 8-2, donde en forma posterior a la ejecución del plan, se plantea que en paralelo al monitoreo y seguimiento se continúa con la comunicación y trabajo con los actores, para luego realizarse la evaluación de indicadores, en conjunto con la necesidad de reformulación del plan. 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.

Se propone, de acuerdo a lo establecido en el acápite 8.1.3 y reflejado en la Figura 8-1, que la responsabilidad de la coordinación para la ejecución general del PEGH Loa, en este caso un Consejo de Cuenca, en que la DGA regional actúa como entidad coordinadora, a través de la figura del coordinador PEGH Loa 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 Loa.

Se hace notar que para la evaluación de la variación en las brechas asociadas al PEGH Loa es posible utilizar el modelo de gestión desarrollado, de modo de ver el efecto de las acciones que son modelables.

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

9.1.1 Indicadores del PEGH Loa

Para verificar el seguimiento del PEGH Loa se consideran 4 tipos de indicador:

- **Ejecución:** Se calcula como la razón entre el número de iniciativas comenzadas en el año *i* y el número de iniciativas planificadas en el año *i*.
- **Inversión:** Se calcula como la razón entre el monto invertido y el monto que debió haberse invertido.
- **Gestión:** Se calcula como la razón 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. Se hace notar que no se presenta este indicador para todas las acciones.

En el Anexo K-09, para cada acción propuesta se presentan los medios de verificación considerados.

9.1.2 Seguimiento

El seguimiento del PEGH Loa 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 Loa 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 Loa, 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 Loa 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 Loa.

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

1. Actualización del diagnóstico en la cuenca del río Loa 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 Loa original.
4. Evaluación de las condiciones habilitantes de las iniciativas no ejecutadas.

En base a lo anterior, la DGA deberá establecer la forma de abordar la reformulación del PEGH Loa, ya sea a través de medios propios o con apoyo externo al servicio, estableciendo:

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