Informe Final

Diagnóstico del caudal ambiental del río Loa, región de Antofagasta

CODIGO BIP 30130919-0

Centro de Ecología Aplicada Ltda. · Julio 2020

Gobierno Regional
de Antofagasta

CONTROL DEL DOCUMENTO			
Versión	**Fecha**	**Elaborado por**	**Aprobado por**
0	04/05/2020	Alejandro Aguado Anaysa Elgueta Andrés Charrier Benjamín González César Herrera Cristián Godoy Elizabeth Chihuailaf Eduardo Rubio (Eridanus) Felipe Díaz Ghia Durán Gonzalo Parada Italo Serey Jorge Wicha Leopoldo Fuentes Salvador López Valentina Carmona Werther Kern Yovana Leal	José Peralta
1	01/07/2020	Alejandro Aguado Anaysa Elgueta Andrés Charrier Benjamín González César Herrera Cristián Godoy Elizabeth Chihuailaf Eduardo Rubio (Eridanus) Felipe Díaz Ghia Durán Gonzalo Parada Italo Serey Jorge Wicha Leopoldo Fuentes Salvador López Valentina Carmona Werther Kern Yovana Leal	José Peralta

RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe corresponde al informe final asociado al desarrollo del estudio "Diagnóstico del caudal ambiental del río Loa, Región de Antofagasta" por parte del Centro de Ecología Aplicada (CEA), en respuesta al llamado a licitación del Gobierno Regional de Antofagasta, a raíz del diagnóstico preliminar del deterioro de la calidad ambiental del curso fluvial, debido a múltiples razones.

La metodología de la totalidad del estudio se divide en 4 etapas que corresponden a 4 objetivos específicos muy concretos. La primera, de recopilación y sistematización de información disponible y levantamiento de aquella no disponible o faltante; la segunda, de análisis hidrológico y de construcción de un modelo ecohidrológico y cálculo de caudal ambiental en diversos tramos de interés ambiental en el río, lo que incluye la modelación de series hidrológicas teniendo en consideración el cambio climático y diferentes escenarios; la tercera, de evaluación económica y de análisis de costo/beneficio del establecimiento de diversos caudales ambientales, dados los diversos servicios ecosistemas que entrega el curso fluvial y, la cuarta, de difusión y transferencia de información relevante levantada en el estudio, lo que incluye diversas actividades de difusión, de capacitación y de transferencia tecnológica a la comunidad. Esta etapa incluye, como una forma de aportar en la solución de las múltiples causas que producen el deterioro de este cuerpo de agua, la elaboración de una cartera de proyectos para ser utilizada en postulaciones a financiamiento posterior.

CENTRO DE ECOLOGIA APLICADA

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN 1-1
1.1 Área de Estudio 1-2
1.2 Objetivos 1-3
1.2.1 Objetivo General 1-3
1.2.2 Objetivos Específicos 1-3
2 METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL ESTUDIO 2-1
2.1 Enfoque para el desarrollo del estudio 2-1
2.1.1 Involucramiento de los actores del territorio 2-1
2.1.2 Estrategia Técnica 2-2
2.2 OE-0: Ajuste metodológico y desarrollo de Plan de Trabajo Definitivo 2-5
2.3 OE-1: Realizar un diagnóstico ambiental de la cuenca del río Loa y sus tributarios 2-6
2.3.1 Levantamiento de información disponible 2-7
2.3.2 Levantamiento de información complementaria en terreno 2-14
2.3.3 Diagnóstico integrado del estado ambiental actual de la cuenca del río Loa y sus tributarios 2-31
2.4 OE-2: Construir un modelo eco hidrológico integrado, determinando caudales ambientales 2-33
2.4.1 Análisis de modelos hidrológicos 2-33
2.4.2 Determinación de Caudal Ambiental 2-34
2.4.3 Elaboración del Modelo hidrológico integral 2-44
2.4.4 Análisis de escenarios para regímenes futuros de caudal 2-44
2.4.5 Construcción de Guía Metodológica para la estimación de Caudal Ambiental 2-47
2.5 OE-3: Analizar los costos/beneficios de la implementación de caudales ambientales en la cuenca del río Loa 2-49
2.5.1 Selección de los servicios ecosistémicos 2-49
2.5.2 Valoración de servicios ecosistémicos y evaluación costo/beneficio 2-50
2.5.3 Evaluación macroeconómica 2-50

2.6 OE-4: Realizar una transferencia y difusión de la metodología para la evaluación del caudal ambiental, incluyendo el desarrollo de una cartera de proyectos. 2-52
2.6.1 Actividades de difusión.....2-52
2.6.2 Actividades de capacitación 2-53
2.6.3 Cartera de Proyectos 2-53
3 DESARROLLO OE-1.....3-1
3.1 Levantamiento de información disponible.....3-1
3.1.1 Descripción de la cuenca 3-1
3.1.2 Estaciones de monitoreo existentes 3-18
3.1.3 Análisis de la actual red fluviométrica y de calidad de agua de la cuenca del río Loa. 3-40
3.1.4 Recursos hídricos en la cuenca.....3-51
3.1.5 Caracterización socio productiva de la cuenca 3-61
3.1.6 Sectores productivos 3-68
3.1.7 Descripción de actores estratégicos.....3-69
3.1.8 Identificación de servicios ecosistémicos.....3-96
3.1.9 Identificación de problemas y conflictos.....3-99
3.1.10 Registro de emisiones del RETC 3-100
3.1.11 Antecedentes topográficos 3-130
3.2 Resultados de las campañas de muestreo.....3-132
3.2.1 Levantamiento de información de algunos componentes hidráulicos del río. 3-134
3.2.2 Monitoreo de los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua. 3-140
3.3 Diagnóstico integrado del estado ambiental actual de la cuenca del río Loa y sus tributarios 3-234
3.3.1 Análisis geomorfológico de la cuenca del río Loa y sus tributarios.....3-234
3.3.2 Análisis geográfico de presiones 3-245
3.3.3 Análisis hidrológico de la cuenca.....3-266
3.3.4 Análisis Ecológico.....3-293
3.3.5 Diagnóstico integrado 3-304
4 DESARROLLO OE-2.....4-1

4.1 Análisis de modelos hidrológicos 4-1
4.1.1 Modelo de Tanque (“TANK MODEL”) 4-1
4.1.2 Modelo de Cuenca UBC 4-9
4.1.3 Sistema de Modelación de precipitación-Escorrentía (PRMS) 4-14
4.1.4 Sistema de Evaluación y Planificación del Agua (WEAP) 4-19
4.1.5 Elección del modelo hidrológico a utilizar 4-22
4.2 Modelación de escenarios de cambio climático 4-25
4.2.1 Antecedentes generales de modelos globales de cambio climático 4-25
4.2.2 Análisis de escenarios de modelación atmosférica 4-26
4.3 Modelo de simulación operacional WEAP desarrollado 4-30
4.3.1 Generalidades de la Modelación Hidrológica con WEAP 4-31
4.3.2 Modelo Hidrológico (WEAP) 4-32
4.3.3 Modelo Operacional de la Situación Actual (WEAP) 4-79
4.3.4 Resultados del Modelo Operacional 4-126
4.3.5 Escenarios de Cambio Climático para la cuenca 4-146
4.3.6 Brechas y Recomendaciones 4-174
4.3.7 Conclusiones 4-175
4.4 Determinación del Caudal Ambiental 4-177
4.4.1 Etapa 1: Recopilación/levantamiento de información para la descripción del sistema fluvial 4-178
4.4.2 Etapa 2: Definición de variables relevantes del sistema y determinación de la condición no alterada o “natural” del sistema 4-185
4.4.3 Etapa 3: Análisis de la biota y servicios ecosistémicos del sistema 4-192
4.4.4 Etapa 4: Definición de ecosistemas en condición de referencia (“natural”) y actual 4-199
4.4.5 Etapa 5: Evaluación del estado de hábitat y servicios ecosistémicos en condición “natural”, definición del criterio y estimación del régimen del caudal ambiental 4-208
4.5 Evaluación del caudal ambiental 4-246
4.5.1 Etapa 6: Configuración actual del sistema y definición de escenarios futuros de la disponibilidad de agua para la evaluación. 4-247

4.5.2 Etapa 7: Evaluación de la condición actual y futura, considerando escenarios futuros de disponibilidad de agua. Comparación mediante valoración de la presencia de la biota y del desarrollo de los servicios ecosistémicos de escenarios respecto del caudal ambiental definido.....4-253

4.5.3 Etapa 8: Optimización y mejora en el uso del recurso según la priorización de los servicios ecosistémicos, realizada en base al criterio y objetivo establecido por parte de usuarios y actores relevantes. 4-260

5 DESARROLLO OE-3.....5-1

5.1 Selección de los servicios ecosistémicos 5-1

5.1.1 Servicios ambientales: Marco definitorio.....5-1

5.1.2 Aproximacion conceptual descriptiva de los servicios ambientales de la cuenca del río Loa 5-6

5.1.3 Marco objetivo: La clasificación CICES 5-11

5.1.4 Servicios Ecosistémicos Recopilados en Taller realizado junto a actores locales 5-13

5.1.5 Selección experta de servicios ambientales de la cuenca del río loa de acuerdo a la clasificación CICES. 5-17

5.2 Valoración de servicios ecosistémicos y evaluación costo beneficio.....5-22

5.2.1 Sistema de clasificación 5-23

5.2.2 Generalidades del Rio Loa 5-24

5.2.3 Valoración de Servicios de Aprovisionamiento 5-27

5.2.4 Valoración de Servicios de Mantención y Regulación.....5-34

5.2.5 Valoración de Servicios Culturales 5-41

5.2.6 Síntesis general.....5-44

5.2.7 Conclusiones.....5-46

5.3 Evaluación macroeconómica.....5-47

5.3.1 Valor económico del caudal ambiental 5-47

5.3.2 Estimacion de efectos macroeconómicos de la recuperación parcial del caudal ambiental del río Loa.....5-56

6 DESARROLLO OE-4.....6-1

6.1 Actas de talleres de trabajo/actividades de difusión 6-1

6.1.1 Reuniones 6-1

6.1.2 Charlas y Capacitaciones 6-3

6.2 Material de difusión 6-13
6.2.1 Vídeo Educativo 6-13
6.2.2 Tríptico 6-13
6.2.3 Guía Caudal Ambiental 6-15
6.2.4 Afiche 6-16
6.2.5 Publicación en medios loacales 6-17
6.3 Cartera de Proyectos 6-20
6.3.1 Matriz PESTAL 6-20
6.3.2 Análisis de involucrados 6-32
6.3.3 Diagnóstico 6-35
6.3.4 Objetivos 6-58
6.3.5 Poblaciones 6-59
6.3.6 Beneficiarios 6-89
6.3.7 Estrategia de intervención 6-90
6.3.8 Indicadores 6-98
6.3.9 Presupuesto del programa 6-102
6.3.1 Carta Gantt 6-104
7 REFERENCIAS 7-1
7.1 General 7-1
7.2 OE-1 7-3
7.2.1 Recopilación antecedentes 7-3
7.2.2 Biológica 7-8
7.2.3 Anfibios y Reptiles 7-11
7.2.4 Vegetación y Flora 7-12
7.2.5 Biota 7-12
7.2.6 Caracterización geomorfológica 7-14
7.2.7 Caracterización hidrológica 7-15
7.2.8 Vulnerabilidad 7-16
7.3 OE-2 7-19
7.3.1 Modelo hidrológico 7-19

7.3.2 Caudal ambiental 7-20
7.4 OE-3 7-21
7.4.1 Servicios Ecosistémicos y su valoración 7-21
7.5 OE-4 7-25
7.5.1 Cartera de Proyectos 7-25
8 ANEXOS 8-1
8.1 Tablas de Datos 8-2
8.2 Perfiles topobatimétricos obtenidos de campaña Agosto-Septiembre de 2018 8-6
8.3 CRITERIOS CICES V 5.1 8-15
8.4 Anexos certificados 8-23
8.4.1 Permiso captura con fines de investigación C. Herrera 8-23
8.4.2 Permiso captura con fines de investigación A. Charrier 8-25
8.4.3 Permiso de Pesca 2018 8-29
8.4.4 Permiso de Pesca 2019 8-39
8.5 Anexo equipo de trabajo 8-49
8.6 Correo aprobación de puntos de monitoreo 8-51
8.7 Correo aprobación de propuestas cartera de proyectos 8-53

1 INTRODUCCIÓN

El presente informe corresponde al informe final asociado al desarrollo del estudio titulado “Diagnóstico del Caudal Ambiental del Río Loa, Región de Antofagasta”, código BIP 30130919-0, el cual corresponde al definitivo luego de tres informes de avance, según lo definido en los Términos de Referencia del estudio. El objetivo principal de este estudio es realizar un diagnóstico ambiental de la cuenca del río Loa y sus tributarios, determinando el caudal ambiental, la valorización económica-social de los servicios ecosistémicos asociados a éste y la construcción de un modelo de gestión que contribuya a la sustentabilidad y protección de este sistema acuático. Como elementos relevantes del estudio, se debe indicar que el río Loa es un cuerpo fluvial de gran extensión territorial, que se extiende por más de 400 km por una de las zonas más desérticas del mundo, y cuyas aguas nacen desde la alta cordillera de la región de Antofagasta, en el volcán Miño, hasta desembocar en el mar, a unos 140 km al sur de Iquique, en la frontera regional entre las regiones de Antofagasta y Tarapacá

Actualmente, la cuenca del río Loa se encuentra expuesta a una elevada presión de uso, especialmente asociada al desarrollo minero de este territorio, al desarrollo agrícola en las zonas aledañas a los poblados de Chiu-Chiu y Calama, y al consumo humano. Esta continua presión de uso, sumado al bajo caudal medio anual del río Loa, contribuye a la degradación de los ecosistemas acuáticos, lo que puede traer como consecuencia un aumento en las condiciones de estrés sobre la biota y la pérdida de biodiversidad. Además, puede generar la pérdida de servicios ecosistémicos y una disminución de los recursos hídricos disponibles para otros fines productivos.

Así, el caudal ambiental se entiende como aquel caudal que permite que se puedan desarrollar y sostener los servicios ecosistémicos de interés. Este no necesariamente es un único caudal para toda la cuenca ni para todas las épocas del año, si no que puede variar en los distintos tramos del río y sus afluentes, además de variar según mes o estación del año.

El río Loa pertenece a una cuenca muy particular, ya que los eventos de precipitación se concentran en la parte alta de la cuenca y en la época estival. Además, corresponde al río de mayor extensión de Chile, y que se desarrolla en una de las zonas más áridas del mundo. Por lo anterior, el análisis del caudal ambiental del sistema es necesario para poder determinar cuál es la condición actual del sistema intervenido respecto de la condición deseable (caudal ambiental), poder evidenciar la posible existencia de recursos disponibles para ser utilizados, visibilizar la necesidad de una reparación del sistema, proyectar el uso futuro, entre otras.

1.1 Área de Estudio

La zona que comprende el estudio corresponde a la cuenca del río Loa (Región de Antofagasta) representado por subcuencas (río Loa Alto, río Loa Medio y río Loa Bajo) y sus tributarios, los ríos Chela, San Pedro de Inacaliri, Salado y San Salvador (Figura 1.1).

El río Loa es el principal curso de agua que recorre el Desierto de Atacama y el único que desemboca en el mar. Su hoya hidrográfica abarca las comunas de Calama, María Elena y parte de la comuna de Tocopilla, donde el poblado urbano más grande corresponde a la ciudad de Calama. En las zonas altas de la cuenca se emplazan diversas localidades con presencia de comunidades indígenas, principalmente atacameñas, pertenecientes al Área de Desarrollo Indígena Alto el Loa, mientras que en las cercanías de la desembocadura del río se encuentra el poblado de Quillagua (DGA, 2016).

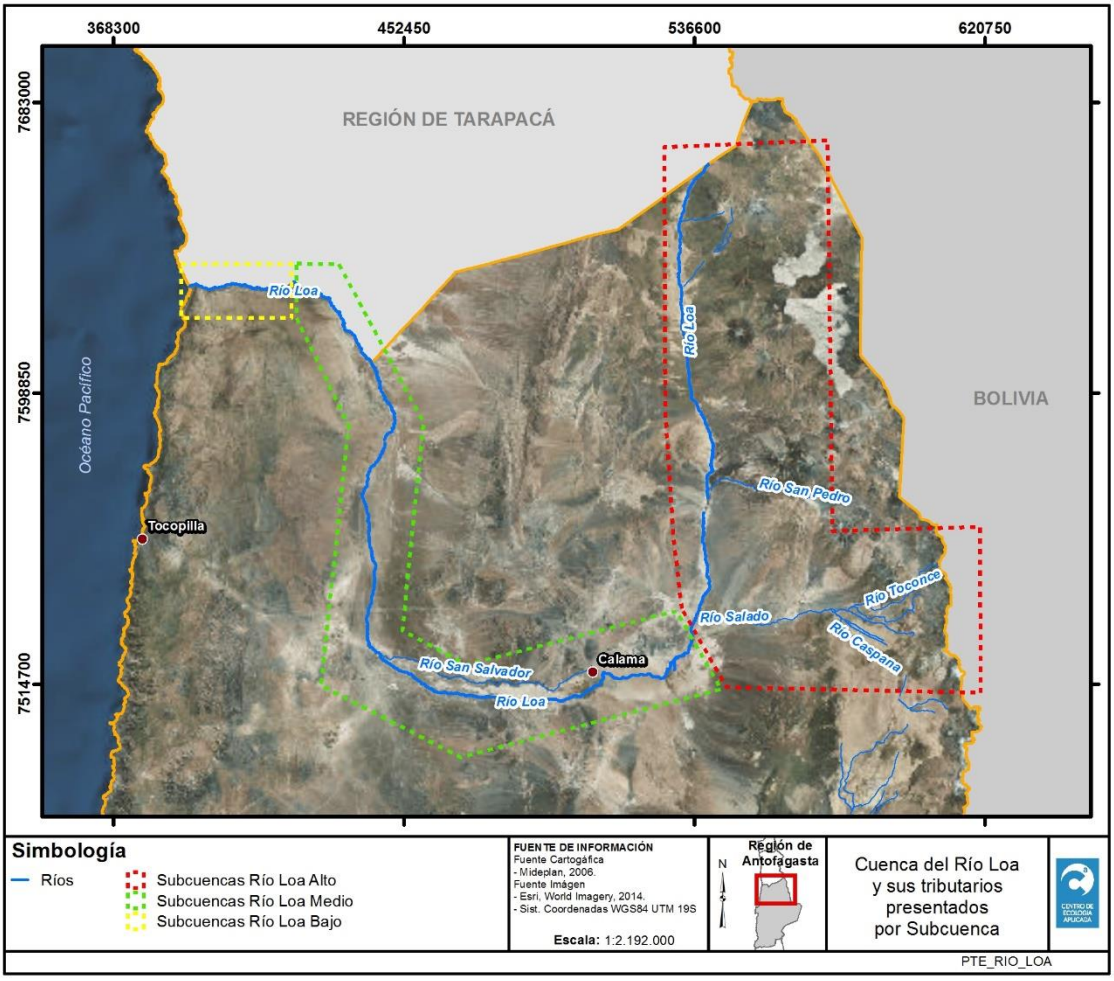


Figura 1.1. Ubicación geográfica de la cuenca del río Loa y sus tributarios, presentado por Subcuenca (río Loa Alto, Medio y Bajo), Región de Antofagasta.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Realizar un diagnóstico ambiental de la cuenca del río Loa y sus tributarios, determinando el caudal ambiental, la valorización económica-social de los servicios ecosistémicos asociados a éste y la construcción de un modelo de gestión que contribuya a la sustentabilidad y protección de este sistema acuático.

1.2.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos (OE) de la propuesta son los siguientes:

- OE-1. Realizar un diagnóstico ambiental de la cuenca del río Loa y sus tributarios.
- OE-2. Construir un modelo ecohidrológico integrado y determinación de caudales ambientales
- OE-3. Analizar los costos/beneficios de la implementación de caudales ambientales en la cuenca del río Loa.
- OE-4. Realizar una transferencia y difusión de la metodología para la evaluación del caudal ambiental.

2 METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL ESTUDIO

2.1 Enfoque para el desarrollo del estudio

2.1.1 Involucramiento de los actores del territorio

Dado que todo proyecto o estudio debe nacer desde una necesidad o requerimiento y que a través de sus objetivos y actividades soluciona o contribuye a solucionar un problema que da origen a esta necesidad, es necesario en este estudio en particular incorporar activamente a los actores del territorio desde antes de su inicio.

Según las bases y el árbol de problemas, el estudio contribuye a resolver la degradación del recurso hídrico que a su vez produce como efecto la pérdida de los servicios ecosistémicos que presta el cuerpo de agua. Estos servicios ecosistémicos se definen como "la contribución directa e indirecta de los ecosistemas al bienestar humano" (TEEB 2010), por lo tanto, su afectación involucra a las comunidades directamente y, por esto, deben estar involucradas en todo estudio o proyecto que conduzca a su mejoramiento o desarrollo.

La experiencia de CEA en varios proyectos desarrollados a nivel nacional ha demostrado que el trabajar con la comunidad, antes, durante y en forma posterior al desarrollo de iniciativas que buscan resolver problemas complejos, es una estrategia necesaria para asegurar resultados perdurables, continuidad de las iniciativas y satisfacción del conjunto (mandante-actores-ejecutor) que está involucrado en el estudio o proyecto.

Normalmente, los problemas complejos se generan por razones múltiples, las cuales son parte de la percepción de un segmento de los involucrados. Por lo tanto, desde la perspectiva de una búsqueda de soluciones, el lograr nivelar a los actores con la información disponible es un elemento clave que los hace mirar el problema desde una perspectiva única. Luego, el tema de los intereses particulares es otro elemento por develar, por su impacto en los caminos a tomar para lograr las soluciones. Entonces, en el momento que el conjunto de actores se para en un conocimiento común y compartido de las causas de un problema, y que compartan los intereses, el transitar hacia las soluciones efectivas se simplifica.

Ese modelo de trabajo, de tipo colaborativo, donde se mezclan posiciones, intereses, opciones y criterios objetivos permite generar acuerdos y propuestas mejores que las logradas sin acuerdo previo.

Volcando nuestra experiencia en el manejo de proyectos que involucran actores diversos e intereses, en muchos casos, divergentes, proponemos una estrategia de trabajo que consiste en que, en cada etapa de desarrollo del estudio, las comunidades involucradas estén informadas adecuadamente y que sus opiniones e intereses sean consideradas, dentro de lo posible, en los aspectos metodológicos, de evaluación y de diseño y ejecución de las actividades asociadas al estudio.

Dado lo anterior, se propuso incorporar al estudio de hitos adicionales asociados a lograr este trabajo colaborativo con las comunidades y los actores asociados al territorio. Estos acuerdos deberán ser vinculantes, en la medida de lo posible y sin infringir los requerimientos de las bases de licitación, en modificar actividades o acciones predefinidas en la propuesta de trabajo o en las bases de licitación.

Por lo tanto, las actividades solicitadas han sido estructuradas por objetivo, donde además los proponentes incorporaron un conjunto de nuevas actividades que complementan el estudio y sus resultados.

2.1.2 Estrategia Técnica

El proyecto busca realizar un diagnóstico ambiental de la cuenca del río Loa y sus tributarios, determinando el caudal ambiental, la valorización económica-social de los servicios ecosistémicos asociados a éste y la construcción de un modelo de gestión que contribuya a la sustentabilidad y protección del sistema acuático.

Dado este objetivo, el proyecto se divide en 3 etapas de desarrollo técnico y una cuarta etapa de Difusión y Transferencia, claramente identificadas, las cuales se pueden observar en la Figura 2.1 y Figura 2.2:

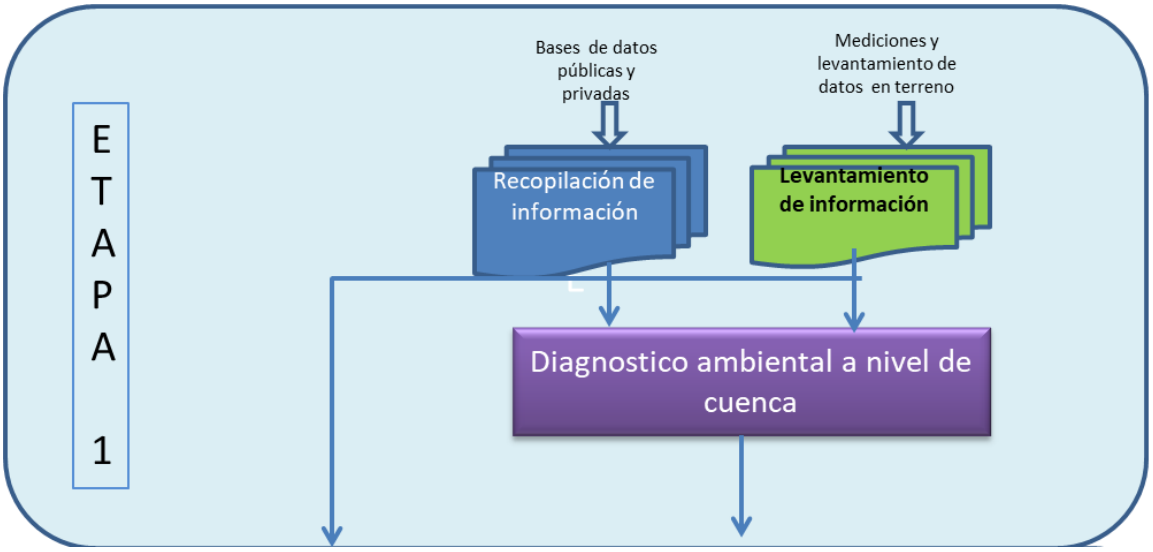


Figura 2.1. Etapa de recopilación y análisis de información para efectuar un diagnóstico ambiental. (Fuente: Elaboración propia)

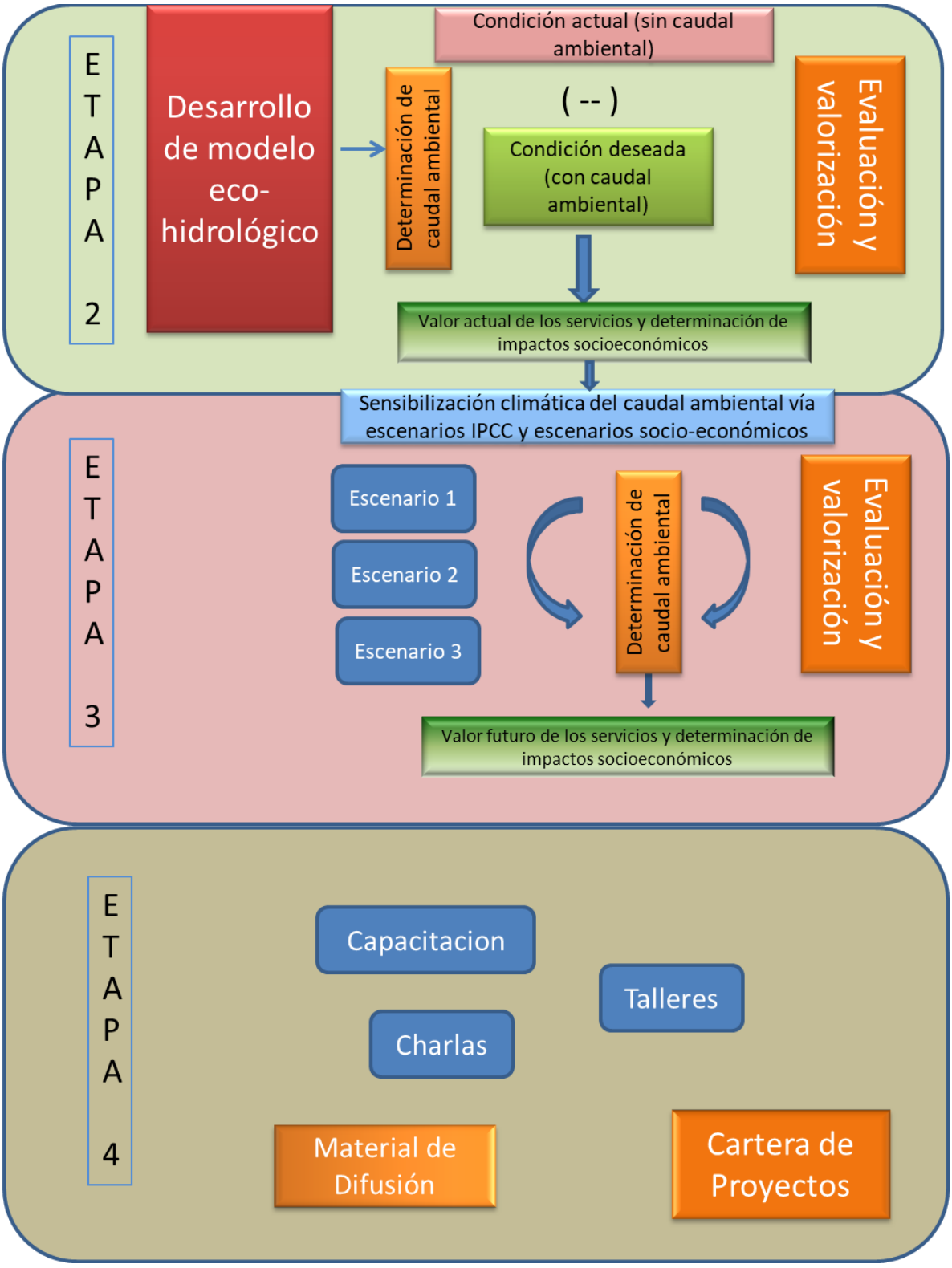


Figura 2.2. Desarrollo conceptual del estudio, mostrando etapas y actividades centrales. (Fuente: Elaboración propia)

Para cumplir con los todos los objetivos propuestos, según bases de la licitación, se identificaron un total de 15 actividades, las cuales dan respuesta a los objetivos específicos del estudio y, a su vez, dan cuenta del objetivo general. Estas actividades son las siguientes:

i. Recopilación y sistematización de la información disponible de la cuenca del río Loa, a partir de revisión bibliográfica de estudios, documentos técnicos, publicaciones, entre otros. Además, se realizará un análisis crítico de la actual red de medición fluviométrica y calidad de agua de la cuenca del río Loa.

ii. Análisis de modelos hidrológicos integrales para la planificación de cuencas. Para ello deberá revisarse y analizarse el estado del arte respecto a la utilización de modelos hidrológicos integrales para el apoyo en la toma de decisiones de gestión de recursos hídricos en cuencas hidrográficas.

iii. Diagnóstico integrado del estado actual de la cuenca del río Loa y sus tributarios. Para ello se deberá realizar un análisis y levantamiento de información de los componentes del sistema fluvial que no cuenten con información suficiente para determinar el actual estado ambiental del río Loa y sus tributarios (aspectos hidrológicos, geomorfológicos, químicos, biológicos y socio-productivo).

iv. Identificación de sitios de interés para análisis específicos y evaluación de caudal ambiental. Para ello se identificarán los sitios de la cuenca del rio Loa que presenten mayor relevancia dado sus componentes ecológicos, hidrológicos y socio-productivos y se analizarán las incidencias del flujo de caudal sobre esas variables y tramos. Los sitios seleccionados deberán representativos de la cuenca del río Loa y sus tributarios considerando sus subcuencas Alta, Media y Baja.

v. Construcción de guía metodológica para la estimación de caudal ambiental, acorde a las características de la cuenca del rio Loa. Para ello deberá considerar el desarrollo de un taller participativo que permita adquirir la opinión de expertos y adecuar la metodología al contexto de la cuenca.

vi. Desarrollo de un modelo hidrológico integral de la cuenca de río Loa y determinación del caudal ambiental en los sitios seleccionados. Para ello se seleccionará entre las distintas metodologías de modelo de simulación hidrológica, el que más se adecue a las características, necesidades de la cuenca, e información disponible. Se deben considerar los costos, facilidades de uso, facilidades para la ampliación de capacidades del modelo, capacidad de integración de componentes ecosistémicos. socioeconómicos, de calidad del agua, entre otros.

vii. Análisis de escenarios para regímenes futuros de caudal, validado con la contraparte técnica.

viii. Valoración económica-social de los servicios que presta el recurso hídrico y análisis de costo/beneficio de la implementación de caudales considerando proyecciones de desarrollo económico. Se deberán identificar los servicios ecosistémicos que provee la cuenca del río Loa y los actores relacionados, de modo de realizar una valorización económica y social de éstos.

ix. Elaboración de una cartera de proyectos de acuerdo con los resultados generados por el estudio, que involucre acciones destinadas a prevención de efectos adversos y uso sustentable del recurso hídrico, a nivel de perfil y términos de referencia acorde a la metodología del Sistema Nacional de Inversiones.

x. Realización de al menos 4 reuniones con la contraparte técnica para discusión y validación de los sitios de interés, análisis y validación de escenarios, validación de guía metodológica, valoración social y productiva de los servicios que presta el recurso. entre otros.

xi. Elaboración de informes: 3 informes de avance y un informe final

xii. Realización de al menos 2 capacitaciones sobre de la metodología para la evaluación del caudal ambiental, uso y programación del modelo hidrológico, entre otros temas.

xiii. Realización de 3 talleres de trabajo con organismos públicos y privados, académicos, organizaciones sociales y comunidades indígenas.

xiv. Desarrollo de al menos 2 charlas o actividades de difusión y un taller final de presentación del estudio.

xv. Elaboración de material de difusión.

Las actividades por desarrollarse se organizan de acuerdo con los objetivos específicos definidos.

2.2 OE-0: Ajuste metodológico y desarrollo de Plan de Trabajo Definitivo

Se denomina Etapa 0 a las primeras actividades del estudio, que corresponden al ajuste metodológico y al desarrollo de un Plan de Trabajo Definitivo, en acuerdo con el mandante y la contraparte técnica. Para esta Etapa se consideró una duración máxima de 30 días, desde la fecha de inicio de la consultoría. Este OE-0 responde directamente a la actividad (a) descrita en las bases técnicas del estudio Se propuso adicionar a esta etapa 60 días adicionales para sostener reuniones con los actores del territorio.

Paralelamente a la ejecución de este objetivo, y aplicando la estrategia de involucramiento de los actores del territorio, el proponente realizó una identificación y categorización de los

actores locales, sólo para su uso interno, debido a que este tipo de levantamiento de actores puede excluir a algunos, generando una dificultad importante en las confianzas. En primera instancia, los actores más relevantes (o actores clave para el éxito del estudio) se consideró que serían las comunidades locales, mientras que los actores secundarios, serían aquellos que tienen incidencia en los procesos de gestión, fiscalización y control de los servicios ecosistémicos que provee el sistema fluvial (servicios públicos con presencia local y regional).

Posterior a esta identificación, se realizaron reuniones y acercamientos con la comunidad en el territorio (actores clave), de forma tal de poder transmitir los objetivos y las actividades propuestas y comprometidas con el proyecto.

2.3 OE-1: Realizar un diagnóstico ambiental de la cuenca del río Loa y sus tributarios

Este objetivo responde a la Etapa 1 del estudio, la cual se muestra en la Figura 2.1. Para cumplir este objetivo se recopiló toda la información ambiental disponible, así como los instrumentos normativos, considerando para ello, entre otros, los organismos públicos competentes, empresas privadas emplazadas en el sector, centros académicos e investigación, etc., la cual fue sistematizada y analizada desde la perspectiva del objetivo general del estudio. Este OE responde directamente a la actividad (b) descrita en las bases técnicas del estudio".

Este objetivo consiste en tres actividades principales, las cuales son las siguientes:

a) *Levantamiento de información disponible*
b) *Levantamiento de información complementaria en terreno*
c) *Diagnóstico integrado del estado ambiental actual de la cuenca del río Loa*

A continuación, se describen cada una de las actividades anteriormente indicadas.

2.3.1 Levantamiento de información disponible

En esta actividad se realizaron las siguientes acciones, que se detallan a continuación. Básicamente consiste en una búsqueda exhaustiva de información disponible en todos aquellos aspectos que tengan relación con los ecosistemas asociados al sistema fluvial. Al final de esta actividad se hará un resumen de información en una matriz de análisis que permita identificar brechas de información, las cuales serán subsanadas en las campañas de terreno o de levantamiento de información complementaria (punto 5.3.2)

2.3.1.1 Revisión Bibliográfica

Se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica de estudios, documentos técnicos, publicaciones científicas y de extensión que hicieran referencia al área de estudio y a las temáticas asociadas a este estudio en particular. En la región existen abundantes estudios, relativamente actuales, que dan cuenta y hacen un diagnóstico de los recursos hídricos regionales. Cabe destacar, entre otros, los documentos generados por el Ministerio de Obras Públicas como el "Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad: Cuenca Río Loa", de 2004 y el denominado "Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta", de 2016 (S.I.T. N°379). En ambos documentos se realiza una exhaustiva descripción de la zona de estudio, sus características fisiográficas, de población, etc. la que será actualizada.

2.3.1.2 Recopilación de Información asociada al ecosistema fluvial

Para llevar a cabo esta recopilación se hizo una búsqueda de información de carácter pública (o hecha pública) referente a los aspectos del ecosistema fluvial del río Loa y asociada a los siguientes temas (no exhaustivo):

i. Estudios de Impacto Ambiental (EIA), Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) y Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) existentes en la zona del estudio;

ii. Programas de Vigilancia Ambiental (PVAs) de las empresas;

iii. Registros de fiscalizaciones y monitoreos de emisiones hídricas la SISS, SMA y Autoridad Sanitaria;

iv. Informes de estudios que recogen la sistematización de los datos anteriores (PVAs, monitoreos públicos y privados, etc.); Acuerdos de Producción Limpia (APL) que tengan incidencia en el área y componentes involucrados en el estudio;

v. Publicaciones científicas y estudios técnicos desarrollados por Organismos Públicos, Universidades y Privados;

vi. Imágenes satelitales de libre acceso, que sean un aporte a nivel regional de ciertos parámetros sobre la zona de estudio;

vii. Información proporcionada por el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC);

viii. Antecedentes recopilados de los análisis y resultados de estudios aportados por la Contraparte Técnica;

ix. Denuncias llevadas a cabo por la ciudadanía respecto al área y componentes del estudio;

x. Estudios e investigaciones realizados en la cuenca del Río Loa;

xi. Estudios de casos en ríos de similares características;

xii. Otro tipo de información que contribuya para la caracterización física, química y biológica de las aguas y del ambiente fluvial del río Loa y sus tributarios.

xiii. Estudios y bases de datos con información hidrológica, de geomorfología, de calidad de agua y caracterización biótica del sistema fluvial.

xiv. Estudios, documentos, bases de datos u otros que den cuenta de la dimensión socioeconómica del área de estudio

La información recopilada y sistematizada fue incorporada en un sistema de base de datos (geodatabase) y analizada utilizando herramientas cualitativas y cuantitativas de tipo estadística descriptiva e inferencial. Esta geodatabase se construyó en base a las especificaciones técnicas que impone el MMA para los productos cartográficos (MMA, 2015).

2.3.1.3 Levantamiento de información meteorológica

Se hizo una búsqueda y recopilación de información meteorológica local (series de tiempo de registros meteorológicos) de fuentes disponibles (DGA, INIA, otros), la cual fue sistematizada en una base de datos única, para ser utilizada en el análisis hidrológico a nivel de cuenca.

2.3.1.4 Levantamiento de información fluviométrica y de calidad de agua

Dentro de los aspectos más relevantes en el análisis del sistema fluvial es la disponibilidad de información, de buena calidad, de caudales y de parámetros de calidad asociados, de forma tal de estimar con la mayor precisión posible los tramos del río que puedan presentar dificultades en términos de mantener las características de calidad necesarias para los usos definidos. Dado lo anterior, se hizo una recopilación exhaustiva y análisis crítico tanto del número de estaciones fluviométricas disponibles, como su distribución espacial y los registros disponibles. Lo mismo se realizó para aquellas estaciones que miden calidad de agua, es decir, se analizó su número, su distribución espacial, los parámetros de calidad que entregan y la frecuencia de medición. Los datos de calidad de agua disponibles se sistematizaron en una base de datos única, similarmente a los datos meteorológicos.

La Figura 2.3 muestra las estaciones fluviométricas y de calidad de agua asociadas al sistema fluvial del río Loa, usando un buffer de unos 3.000 m a su alrededor.

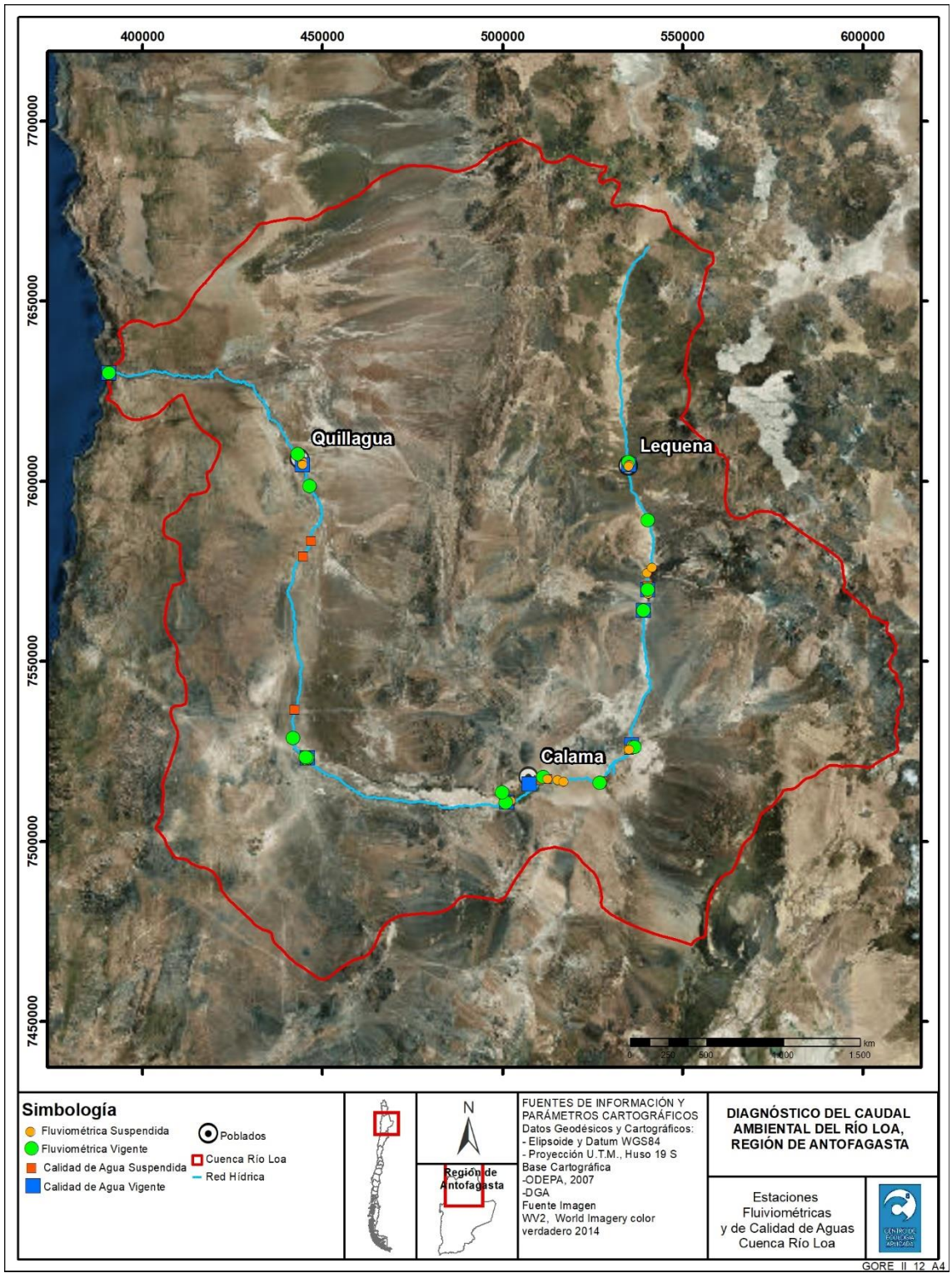


Figura 2.3. Estaciones fluviométricas y de calidad de agua, suspendidas y vigentes, a lo largo del río Loa, desde la desembocadura hasta su nacimiento. (Fuente: DGA)

La Tabla 2.1 muestra las estaciones fluviométricas y de calidad, vigentes a la fecha, en los alrededores del río Loa y en su curso.

Tabla 2.1. Estaciones fluviométricas y de calidad de agua ubicadas a lo largo del cauce del río Loa. (Fuente: DGA)

Estaciones vigentes	
Fluviométricas	**De calidad**
Río Loa antes junta San Salvador	Agua potable Calama
Río Loa antes represa Lequena	Río Loa antes junta río Salado
Río Loa antes zona agrícola Quillagua	Río Loa en desembocadura
Río Loa d. j. San Salvador (Chacance)	Río Loa en la finca
Río Loa d. j. San Salvador (M. Elena)	Río Loa en represa Lequena
Río Loa en Angostura	Río Loa en salida embalse Conchi
Río Loa en Catuncalla	Río Loa en vado Santa Bárbara
Río Loa en desembocadura	Río Loa en zona agrícola Quillagua
Río Loa en escorial	Río San Salvador antes junta río Loa
Río Loa en finca	
Río Loa en panamericana	
Río Loa en salida embalse Conchi	
Río Loa en vado Santa Bárbara	
Río salado antes junta Loa	
Río San Salvador antes junta Río Loa	
Vertiente Ojos de Opache	

2.3.1.5 Levantamiento de información socio-productiva y de servicios ecosistémicos

Se efectuó una revisión bibliográfica de estudios públicos, privados y académicos, documentos técnicos (proyectos ingresados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)), y publicaciones, asociadas a la dimensión socio-productiva del área de estudio y se hizo un levantamiento teórico de servicios ecosistémicos del río, en sus diferentes tramos. Adicionalmente, se procederá a realizar un análisis del estado de arte, respecto a la utilización de métodos para la sustentación de la toma de decisión de gestión de recursos hídricos en cuencas hidrográficas en lo relativo a la valoración económica de servicios ecosistémicos y de caudales ambientales desde la perspectiva socio-productiva.

2.3.1.6 Identificación Teórica de Servicios Ecosistémicos

Por definición, los servicios ecosistémicos representan los beneficios que trae para el hombre el funcionamiento de los ecosistemas (Costanza et al., 1997; Millennium Ecosystem Assessment, 2003; WRI, 2008) y, han sido definidos formalmente por De Groot et al. (2002), como la capacidad de los procesos y componentes naturales para proveer bienes y servicios, satisfaciendo las necesidades humanas en forma directa o indirecta. La producción de un servicio ecosistémico dependerá, por tanto, de la estructura y de los procesos que componen un ecosistema en particular. Para el MMA y esta es la definición adoptada, están definidos como “la contribución directa e indirecta de los ecosistemas al bienestar humano” (TEEB 2014). Es decir, un servicio ecosistémico está relacionado con los componentes vivos (bióticos) y no vivos (abióticos) que interactúan a través de flujos, como energía y masa (Figura 2.4).

La estructura ecosistémica corresponde al conjunto de componentes que conforman un ecosistema (componentes bióticos y abióticos), junto a las interacciones entre estos componentes (procesos). Esta estructura es observador-dependiente y dinámica, por lo que varía en el tiempo.

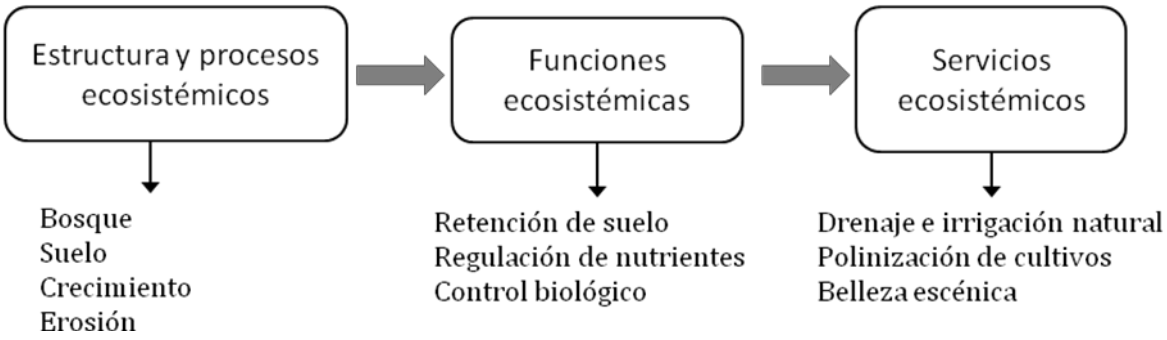


Figura 2.4. Producción de servicios de un ecosistema

Por lo tanto, las personas y comunidades aprovechan la capacidad de los procesos y componentes ecosistémicos (bióticos y abióticos) para generar servicios ecosistémicos que satisfagan las necesidades humanas, a través de las funciones ecosistémicas, las cuales pueden ser clasificadas en cuatro categorías según De Groot et al. (2002), a saber:

• Funciones de regulación: se refieren a la capacidad de los ecosistemas de regular procesos ecológicos y de permitir el desarrollo de los seres vivos a través de los ciclos biogeoquímicos. Estas funciones proveen de muchos servicios que benefician directa e indirectamente al hombre, como por ejemplo la producción de suelo, la retención de agua, el reciclaje de nutrientes, la prevención de la erosión del suelo, etc.

• Funciones de hábitat: estas funciones proveen de refugio y hábitat para que los organismos pueden reproducirse, por lo tanto, contribuyen a la conservación de la diversidad biológica y genética, así como a los procesos evolutivos. Un ejemplo de servicio proveído por estas funciones es: la caza, debido a la capacidad del ecosistema de generar un hábitat apropiado para la reproducción de organismos.

• Funciones de producción: están constituidas por la capacidad de los organismos autótrofos para realizar fotosíntesis e incorporar nutrientes, produciendo como resultado una variedad de estructuras orgánicas las cuales son utilizadas por los productores secundarios aumentando su biomasa. Los ecosistemas proveen una gran variedad de bienes y servicios basados en las funciones de producción, como por ejemplo: la madera de los bosques, los combustibles fósiles, etc.

• Funciones de información: constituyen la vía mediante la cual los procesos y la estructura de los ecosistemas son capaces proveer oportunidades para la reflexión, el enriquecimiento espiritual, el desarrollo cognitivo y la recreación, entre otros.

La clasificación de servicios ecosistémicos finales a utilizar en esta consultoría es la indicada en MMA (2014) y que se muestra a continuación.

Tabla 2.2. Clasificación de servicios ecosistémicos finales. Fuente: Haines-Young and Potschin (2012), en MMA (2014).

Sección	División	Grupo
Provisión	Nutrición	Biomasa
		Agua
	Materiales	Biomasa y fibra
		Agua
	Energía	Fuentes de energía de biomasa
		Energía Mecánica
Regulación y Mantención	Mediación de residuos, sustancias tóxicas y otras molestias	Mediación vía biota
		Mediación vía ecosistemas
	Mediación de flujos	Flujos de masa
		Flujos líquidos
		Flujos gaseosos/aire
	Mantenimiento de las condiciones físicas, químicas, biológicas	Mantención de ciclo de vida, habitat y protección de material genético
		Control de plagas y enfermedades
		Composición y formación del suelo
		Condiciones del agua
		Regulación del clima y la composición atmosférica
Cultural	Interacciones físicas e intelectuales con los ecosistemas y paisajes terrestres/marinos (configuración ambiental)	Interacciones físicas y experienciales
		Interacciones intelectuales y de representación
	Interacciones de tipo espiritual, simbólica y otras con los ecosistemas y paisajes terrestres/marinos (configuración ambental)	Espiritual o emblemáticos
		Otros productos culturales

La información disponible relativa a la definición de servicios ambientales y dimensión socio productiva de la gestión de la cuenca del Río Loa fue recopilada, analizada y sistematizada.

Juntamente con lo anterior, se identificó las presiones ambientales y de uso que se generan sobre el recurso hídrico, identificando las principales actividades productivas desarrolladas en la cuenca, con potencial de utilización en la evaluación de caudal ambiental.

2.3.1.7 Levantamiento de información disponible de hidrología, geomorfología, de química de aguas y aspectos bióticos.

Se recopiló documentación disponible técnica y científica, de las características geomorfológicas del área de estudio (Cuenca del Río Loa), de su hidrología, de las principales características de calidad de agua y de los aspectos bióticos. Esta información, en conjunto con aquella que fue levantada en campañas de terreno específicas, fue utilizada para hacer un diagnóstico integrado del estado actual del río Loa y sus tributarios.

2.3.2 Levantamiento de información complementaria en terreno

A partir del análisis de la información recopilada disponible, se analizaron las brechas de información y se determinó realizar campañas de terreno para complementar la información disponible y actualizar información existente a la fecha. Dentro de los elementos levantados en terreno se cuentan los siguientes:

• Levantamiento de percepciones e intereses de las comunidades locales respecto al sistema fluvial.

• Levantamiento de información de algunos componentes hidráulicos del río.

• Levantamiento y actualización de información de componentes físicos, químicos y biológicos de la calidad de la columna de agua.

• Componentes bióticos asociados al sistema fluvial.

• Información socio-productiva relevante.

• Levantamiento complementario de servicios ecosistémicos a partir de actores clave.

A continuación, se describen las principales actividades asociadas al levantamiento de información complementaria en terreno.

2.3.2.1 Levantamiento de percepciones e intereses de las comunidades locales respecto al sistema fluvial y servicios ecosistémicos.

Esta actividad se realizó desde el comienzo del estudio, debido a que el proponente considera es una acción determinante en el resultado final del estudio. Siguiendo la estrategia de involucramiento de los actores del territorio (punto 2.1.1), se realizaron reuniones de acercamiento con las principales comunidades involucradas (actores clave), donde mediante un sistema de consultas desestructuradas, se realizó un levantamiento de percepciones e intereses de éstas sobre el río y los recursos y servicios que el río les provee.

Estas primeras reuniones permitieron establecer un mapa de actores (definición de actores clave), su percepción sobre el estudio y, más importantemente, identificar aquellos grupos o comunidades que mostraron una actitud positiva y de colaboración, y en participar activamente en las actividades del estudio. Este mapa de actores tuvo carácter interno, por las razones ya expuestas.

Además, se solicitó a las comunidades receptivas ser colaboradores activos de las campañas de terreno asociadas a levantamiento de información de calidad de agua y biota acuática y ribereña. Esto permitió generar niveles de confianza superiores respecto a los datos y la información levantada in-situ (levantada en estaciones relevantes para la comunidad y la toma de muestra realizada por ellos mismos, en conjunto con el equipo de muestreo).

2.3.2.1.1 Levantamiento de servicios ecosistémicos con actores locales

Según lo establecido en el punto 2.3.1.6 se hizo un levantamiento teórico de los servicios ecosistémicos, el cual es un insumo importante para realizar la valoración ambiental de los mismos. No obstante, dado el hecho de que la valoración ambiental no es factible de realizarse sobre “todos” ellos, cobra importancia la identificación de éstos por los actores locales o la comunidad, quienes son los que finalmente hacen suyo dicho servicio a través de los beneficios que les presta.

Dado lo anterior, en las reuniones con la comunidad se realizaron talleres de levantamiento de servicios ecosistémicos, de forma tal de validar los elaborados en forma teórica en el paso anterior, o reconocer otros nuevos, no levantados aún. Se realizaron 2 talleres: una de las jornadas realizada con representantes de empresas, la otra jornada con organizaciones sociales, servicios públicos, agricultores, y representantes de comunidades indígenas.

2.3.2.2 Levantamiento de información de algunos componentes hidráulicos del río.

2.3.2.2.1 Perfiles batimétricos

Para caracterizar hidráulica e hidrológicamente el río Loa y sus tributarios, se requiere información batimétrica del cauce en estudio, por lo que se realizó una campaña de terreno en la cual se levantó 100 perfiles batimétricos en función de la importancia relativa de las zonas que se identificaron a lo largo del río Loa, en función de los usos actuales del agua (derechos de agua) y de las necesidades ecológicas del sistema.

Una vez seleccionados los sitios, se utilizó un GPS Navcom con señal Starfire para la obtención de la cota de los diferentes puntos de la sección transversal. El GPS tiene la ventaja de conectarse a la red satelital Starfire, y determinar la posición espacial de un punto y amarrarlo a un punto de referencia.

Figura 2.5. GPS Navcom con señal Starfire

Los datos obtenidos fueron usados posteriormente en el modelo HEC-RAS para determinar el perfil longitudinal hidráulico del río (y obtener un perfil similar al que se muestra en la Figura 2.6).

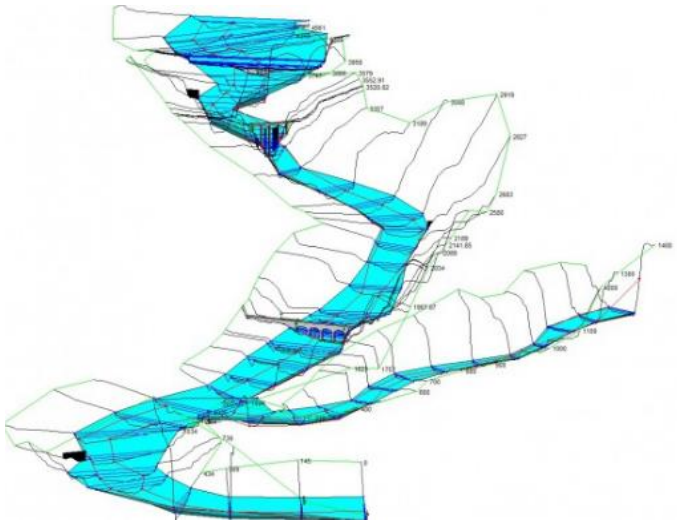


Figura 2.6. Esquema de un perfil longitudinal de un río (Fuente: http://www.hidrojing.com/modelizacion-hidraulica-de-propagacion-de-avenidas-1d-o-2d/)

2.3.2.2.2 Medición de Caudales

Se consideró realizar un mínimo de 10 aforos asociados a algunos de los perfiles transversales levantados en terreno. De este modo, se realizaron aforos de caudal en 19 de los 100 perfiles generados durante las campañas de batimetría, a fin de llevar a cabo una calibración del modelo hidráulico al conocer la altura de escurrimiento y el caudal instantáneo en la sección en cuestión. La metodología llevada a cabo para el aforo de caudales se describe a continuación.

La medición de los caudales o aforos se realizó mediante el método área-velocidad, en el cual se subdivide el área de la sección transversal en celdas (Figura 2.7). El caudal se calcula como la integración de los caudales de cada celda, como se indica en la ecuación a continuación:

$$Q = \int_{x_0}^{x_n} (\bar{v} \cdot z)\delta x$$

Esta integral se puede aproximar mediante la suma de trapezoides, de la siguiente forma:

$$Q \approx \sum_{i=1}^{n} \frac{\bar{v}_i \cdot z_i + \bar{v}_{i-1} \cdot z_{i-1}}{2} \cdot (x_i - x_{i-1})$$

Donde $\bar{v}_i$ corresponde a la velocidad media en la vertical en el punto de medición i, z_i a la profundidad en el punto de medición i y x_i a la distancia horizontal desde la ribera hasta el punto de medición i, como se esquematiza en la Figura 2.7. Además, para esta aproximación se considera $\bar{v}_0, z_0, x_o, \bar{v}_n, z_n = 0$.

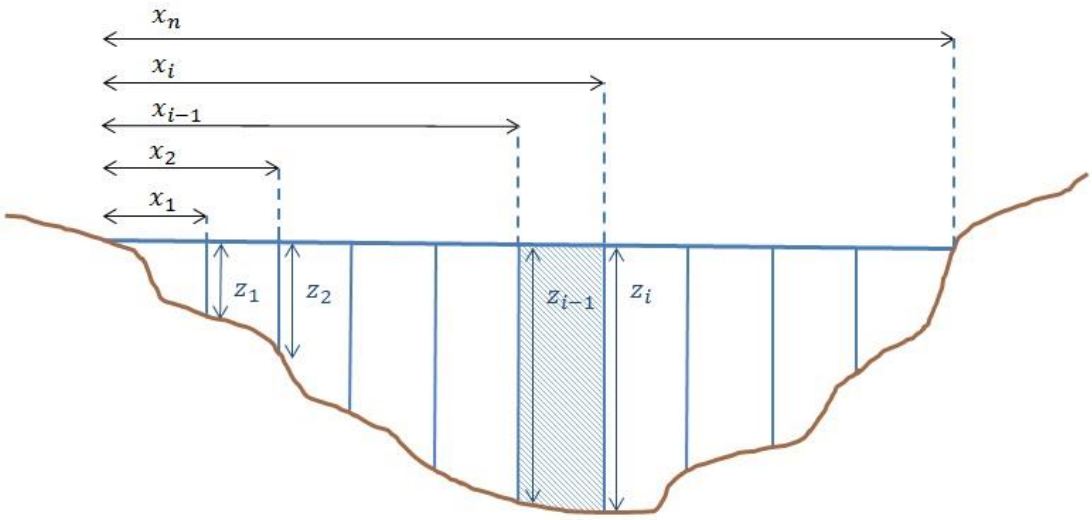


Figura 2.7. Esquema de la sección transversal y la subdivisión en celdas

Para la medición en terreno, en primer lugar, en cada sector se escogió una sección transversal que presentara profundidad suficiente para la medición y que fuera adecuada para el aforo, es decir, que contara con la menor cantidad de obstáculos e idealmente en un tramo recto. Una vez escogida la sección transversal, se procedió a realizar el aforo midiendo a lo largo de la sección transversal la distancia x, la profundidad H y la velocidad v. La cantidad de puntos de medición fue variable y depende de lo que permitiera cada sección transversal.

Para el cálculo de la velocidad media, se realizó distintas observaciones de velocidad en cada vertical dependiendo de la profundidad del curso de agua. Para secciones de poca profundidad (menores a 60 cm), se realizaron observaciones en cada vertical colocando el instrumento al 60% de la profundidad total por debajo de la superficie libre. En la Tabla 2.3 se presentan los métodos considerados para la estimación de la velocidad media según distintos rangos de profundidad (H), y se puede apreciar que para profundidades menores se puede estimar la velocidad media con una única medición en la vertical.

Tabla 2.3. Puntos de medición y estimación de la velocidad media

N° mediciones	Profundidad H [cm]	Puntos de observación (desde la superficie libre)	Velocidad media
1	0 – 60	0,6 H	$\bar{v} = v_{0,6}$
2	60 – 300	0,2 H y 0,8 H	$\bar{v} = 0{,}5 \cdot (v_{0,2} + v_{0,8})$
3	300 – 600	0,2 H, 0,6 H y 0,8 H	$\bar{v} = 0{,}25 \cdot (v_{0,2} + 2 \cdot v_{0,6} + v_{0,8})$

Para la medición de la velocidad se utilizó un Correntómetro Global Water, Modelo FP111 (ver Figura 2.8), el cual tiene una precisión de 0,05 m/s. Durante cada medición se esperó hasta que la medición mostrada en la pantalla digital se estabilizara en un valor constante.

Para cada medición se anotó la distancia horizontal desde el extremo del cauce utilizado como punto de inicio y la profundidad total de la columna de agua en el punto de medición.

Figura 2.8. Correntómetro Global Water, Modelo FP111

El error asociado a las mediciones se estimó a partir del error producido en las velocidades medidas (0,05 m/s).

Es importante tener en cuenta que al realizar mediciones con instrumentos, existen errores propios de la medición, los cuales se pueden propagar hacia el resultado final. Para considerar esto, se estiman los errores de cada medición y se calcula su propagación al realizar operaciones matemáticas con ellos. Las variables que se medidas según el procedimiento de aforo y sus respectivos errores adoptados son:

Tabla 2.4. Variables medidas y errores asociados

Variable	Error
Distancia transversal (x_i)	σ^2_x =0,005 [m]
Profundidad (z_i)	σ^2_z =0,005 [m]
Velocidad puntual (v_i)	σ^2_v =0,050 [m/s]

Con estas variables se realizan cálculos de sumas y/o multiplicación, cuyo error se propaga según las siguientes expresiones:

Tabla 2.5. Variables medidas y errores asociados

Función	Error
$f = aA \pm bB$	$\sigma_f^2 = a^2\sigma_A^2 + b^2\sigma_B^2$
$f = aAB$	$\left(\frac{\sigma_f}{f}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_B}{B}\right)^2$
$f = aA^{\pm b}$	$\frac{\sigma_f}{f} = b\frac{\sigma_A}{A}$

Donde A y B son variables independientes entre sí, mientras que a y b son constantes.

2.3.2.2.3 Levantamiento y actualización de información de componentes físicos, químicos y biológicos de la calidad de la columna de agua.

Se realizó un levantamiento de componentes físicos, químicos y biológicos de la calidad de la columna de agua, los cuales permitieron complementar la información recopilada en el punto 2.3.1 y levantar información no disponible en ciertos tramos del río. Como se puede observar en la Figura 2.3 y en la Tabla 2.1, la distribución de las estaciones fluviométricas y de calidad de agua actualmente vigentes, deja amplias zonas del río sin una cobertura espacial adecuada de información. Dado lo anterior, la estrategia de monitoreo tuvo dos campañas en puntos donde existe información actual (asociadas a estaciones DGA existentes) y 4 campañas en puntos descubiertos de información, por falta de estaciones de medición.

Los puntos de muestreo fueron los siguientes:

Tabla 2.6. Coordenadas de puntos de muestreo

Punto de muestreo	Coordenadas UTM (WGS84 Huso 19)	
	Este	Norte
S1_Rio_Loa	532469	7640132
S2_Rio_Loa	533083	7617237
S3_Rio_Loa	440947	7570933
S4_Rio_Loa	430939	7625704
S5_Quebrada_Amarga	420821	7631117
1_Rio_Loa	534984	7605268
2_Rio_Loa	540292	7589056
3_Rio_San_Pedro (Oficial)	550165	7573071
3_Rio_Loa (Alternativo) *	540346	7570066
4_Rio_Loa	539127	7563977
5_Rio_Loa	535749	7526811
6_Rio_Salado	536369	7526239
7_Rio_Loa	527000	7516301
8_Rio_Loa	511183	7517888
9_Rio_Loa	500986	7510906
10_Rio_Loa_	445607	7522999
11_Rio_San_Salvador	445953	7523068
12_Rio_Loa	441708	7528654
13_Rio_Loa	446382	7598572
14_Rio_Loa	443088	7607536
SS_de_Quetena**	501718	7517562

* Punto de muestreo alternativo. Definido para el caso que el punto “3_Río_San_Pedro”, se encuentrara sin agua

** Punto adicional solicitado excepcionalmente por contraparte técnica para analizar calidad de aguas bajo planta de tratamiento Tratacal en campaña de monitoreo de verano de 2019

Figura 2.9. Distribución de las estaciones de muestreo de calidad de agua, biota y aforos, realizados a lo largo del río Loa. Los puntos amarillos son los asociados a estaciones fluviométricas y los rojos a sitios donde no existe información. El punto verde corresponde a una estación de muestreo alternativa. El punto celeste corresponde a punto de muestreo bajo la planta de tratamiento Tratacal (pedido excepcionalmente para campaña Verano 2019).

La Figura 2.9 muestra, los puntos de muestreo tanto para las 2 campañas realizadas en puntos donde existían estaciones fluviométricas, como para las 4 campañas asociadas a los puntos donde no existía información disponible. Además, para la campaña de verano de 2019, la contraparte técnica solicitó excepcionalmente incluir un punto de muestreo bajo la planta de tratamiento Tratacal y poder analizar la calidad de aguas. Éste último, correspondiente al punto denominado "SS_de_Quetena" fue medido el 13/03/2019 en el Río San Salvador aguas abajo de la confluencia con la Quebrada Quetena.

Por lo tanto, la estrategia de levantamiento de información fue la siguiente:

- Monitoreo de los parámetros físicos, químicos y biológicos, en períodos hidrológicos de mayor y menor caudal, lo que incluiye aforos (2 campañas), donde hoy existe información.

- Monitoreo complementario de calidad de agua para levantar información no existente en ubicaciones aguas arriba de Lequena y aguas abajo de Quillagua (4 campañas en total)

i. Monitoreo de los parámetros físicos, químicos y biológicos, en períodos hidrológicos de mayor y menor caudal (2 campañas)

Se realizó el muestreo de agua en 14 puntos o estaciones por campaña de monitoreo. El diseño del monitoreo, en cuanto a tramos y estaciones de monitoreo fueron validados por la contraparte técnica (ver anexo 8.6) incorporando una estación alternativa al punto "3_río_San_Pedro" ya que según lo indicado por la contraparte técnica en esa zona generalmente se presentaba sin agua. Las estaciones correspondientes al monitoreo que hoy hace la DGA, estaban incluidas en el diseño inicial. Se monitoreó la calidad del agua asociada a los siguientes parámetros: Temperatura, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), salinidad, nitrógeno total, fósforo total, clorofila a, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, plomo, mercurio, arsénico, cadmio, cromo, cobre, níquel, zinc boro, cloruros, RAS, sílice, coliformes fecales y totales.

Se realizaron dos campañas de monitoreo, coincidentes con los períodos hidrológicos de mayor caudal y menor caudal.

ii. Monitoreo complementario de calidad para las estaciones que mide la DGA con énfasis en monitoreo aguas arriba de Lequena y aguas debajo de Quillagüa (4 campañas en total)

Se realizó el muestreo de agua en 5 puntos o estaciones por campaña de monitoreo. El diseño del monitoreo, en cuanto a tramos y estaciones de monitoreo, al igual que los puntos asociados a estaciones DGA, fueron validados por la contraparte técnica (ver anexo 8.6). Se

consideró fijar 2 puntos aguas arriba de Lequena, un punto adicional entre Calama y Quillagua, y 2 puntos aguas debajo de Quillagua. Se monitoreó la calidad del agua asociada a los siguientes parámetros: Temperatura, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), salinidad, nitrógeno total, fósforo total, clorofila a, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, plomo, mercurio, arsénico, cadmio, cromo, cobre, níquel, zinc boro, cloruros, RAS, sílice, coliformes fecales y totales.

Se realizaron dos campañas de monitoreo, coincidentes con los períodos hidrológicos de mayor caudal y menor caudal, más dos campañas adicionales en las otras dos estaciones del año. Sólo se realizaron aforos en los puntos donde faltaba información fluviométrica ya que en los otros puntos se cuenta con datos de estaciones de medición.

Dado lo anterior, las campañas fueron realizadas de la siguiente forma:

Tabla 2.7.Cantidad de estaciones de muestreo por campaña

Campaña	Estaciones
Bajo caudal (mayo-junio 2019)	19
Caudal intermedio (septiembre-octubre 2018)	5
Alto caudal (diciembre-marzo 2019)	19
Caudal intermedio (septiembre-octubre 2019)	5

iii. Toma de muestras parámetros calidad de agua

La toma de muestras y preservación de los parámetros de calidad de agua, se realizó de acuerdo al procedimiento general de muestreo PGL-13 del Laboratorio CEA “Recomendaciones para el muestreo y preservación de muestras”, el cual está basado en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st Edition (2005) y las normas chilenas NCh411/1.Of96 (Diseño y programa de muestreo), NCh411/2.Of96 (Técnicas de muestreo), NCh411/3.Of96 (preservación y manejo de muestras), NCh411/4.Of97 y NCh411/6.Of98. Las muestras fueron refrigeradas a una temperatura constante de 4°C, y posteriormente transportadas al laboratorio.

Para cumplir con los “holding time” críticos (24hr-48hrs) de los parámetros analizados, se trasladaron diariamente las muestras a los diferentes Laboratorios, de esta manera se aseguró la calidad de los diferentes analitos.

iv. Análisis de muestras

El análisis de las muestras de agua se realiza en laboratorios acreditados en el sistema Nacional de Acreditación del Instituto Nacional de normalización, INN, bajo la norma ISO NCh.17025 en el área fisicoquímica para aguas crudas y sedimentos. Los parámetros que no

cuentan con acreditación nacional, se externalizan a laboratorios internacionales acreditados bajo la norma ISO17025. En caso de que un parámetro no presente laboratorio nacional o internacional acreditado según norma ISO17025, se privilegiará el valor del límite de detección más bajo al momento de seleccionar el laboratorio a subcontratar.

Los laboratorios en los cuales se realizaron los análisis de las muestras corresponden a: CEA, ANAM e Hidrolab, cuyos certificados de acreditación se pueden encontrar en el Anexo Digital "OE 1 Recopilación y sistematización /OE1_Certificados_Laboratorios".

La Tabla 2.8 muestra los parámetros a analizar, los límites de detección, las unidades y la metodología de análisis de cada uno de los parámetros.

Tabla 2.8. Parámetros físicos, químicos y biológicos de la calidad de agua, sus límites de detección y las metodologías usadas de análisis

Parámetro	Unidad	LD	Metodología
Arsénico	mg/L	0.005	Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 22nd Edition, 2012, Método 3120 B.
Bicarbonato y carbonato	mg/L	2.7	Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 22nd Edition, 2012, Método 2320 B.
Boro	mg/L	0.007	Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 22nd Edition, 2012, Método 3120 B.
Cadmio	mg/L	0.001	Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 22nd Edition, 2012, Método 3120 B.
Clorofila "a"	µg/L	0.03	Standard Methods for the Examination of Water of Wastewater, 22nd Edition, 2012, Método 10200 h.
Cloruro	mg/L	1	Standard Methods for the Examination of Water of Wastewater, 22nd Edition, 2012, Método 4500 Cl- B.
Cobre	mg/L	0.003	Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 22nd Edition, 2012, Método 3120 B.
Coliformes fecales	NMP/100mL	1.8	Standard Methods for the Examination of Water of Wastewater, 22nd Edition, 2012, Método 9221 E
Coliformes totales	NMP/100mL	1.8	Standard Methods for the Examination of Water of Wastewater, 22nd Edition, 2012, Método 9221 B
Conductividad eléctrica	mS/cm	-	Standard Methods for the Examination of Water of Wastewater, 22nd Edition, 2012, Método 2510 B.
Cromo	mg/L	0.002	Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 22nd Edition, 2012, Método 3120 B.
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	2	Standard Methods for the Examination of Water of Wastewater, 22nd Edition, 2012, Método 5210 B.
Fósforo total	µg/L	3	Standard Methods for the Examination of Water of Wastewater, 22nd Edition, 2012, Método 4500-P B y E.
Mercurio	mg/L	0.0001	Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 22nd Edition, 2012, Método 3112B.
Níquel	mg/L	0.003	Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 22nd Edition, 2012, Método 3120 B.
Nitrógeno total	mg/L	0.02	Standard Methods for the Examination of Water of Wastewater, 22nd Edition, 2012, Método 4500-N A.
Plomo	mg/L	0.008	Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 22nd Edition, 2012, Método 3120 B.
RAS	mg/L	-	Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 22nd Edition, 2012, Método 3120 B.
Salinidad	g/L	-	Standard Methods for the Examination of Water of Wastewater, 22nd Edition, 2012, Método 2510 B.
Sílice	mg/L	0.006	Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 22nd Edition, 2012, Método 3120 B.
Sólidos totales disueltos	mg/L	1	Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 22nd Edition, 2012, Método 2540 C.
Sólidos totales suspendidos	mg/L	0.3	Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 22nd Edition, 2012, Método 2540 D.
Sulfato	mg/L	2	Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 22nd Edition, 2012, Método 4500-SO4-2 E.
Temperatura	°C	-	PTL-26, basado en el Manual de Equipo Multiparamétrico P4 y Multi 340i y según Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 22nd Edition, 2012, Método 2550 B.
Zinc	mg/L	0.002	Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 22nd Edition, 2012, Método 3120 B.

2.3.2.3 Componentes bióticos asociados al sistema fluvial.

2.3.2.3.1 Vegetación ribereña o ripariana

El levantamiento de información de flora y vegetación azonal, se realizó a través del "método de intercepto de puntos" (Mueller-Dumbois & Ellenberg, 1974), para esto, se establecieron transectos lineales de 20 m paralelos a cuerpo de agua (ríos, arroyos, etc.) en los cuales se registraron las especies que interceptaron la huincha en puntos ubicados cada 0,25 m de distancia, proyectando en cada punto una línea perpendicular al transecto y al suelo como lo señala la Figura 2.10:

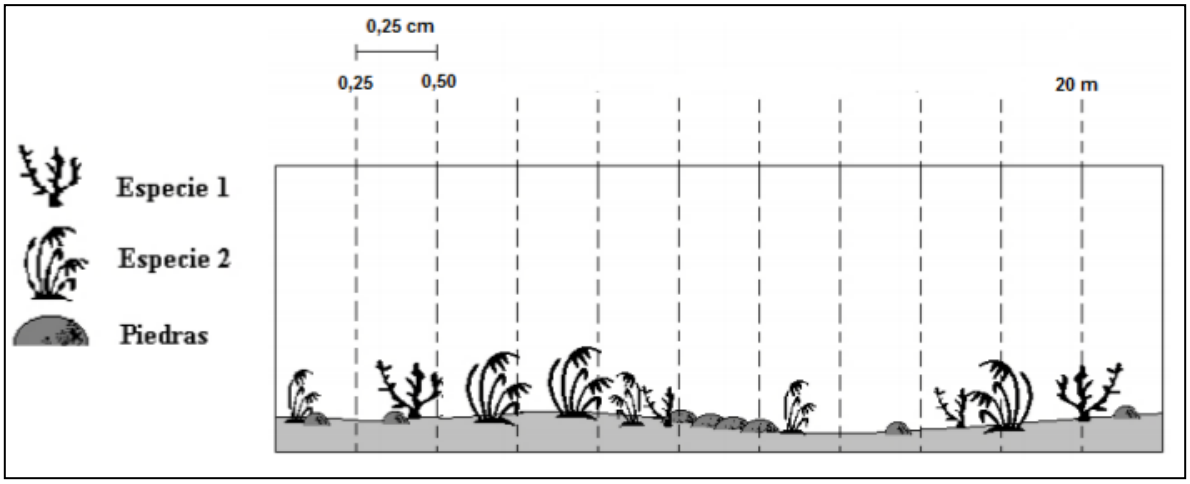


Figura 2.10. Esquema de una medición realizada mediante el método de intercepto de puntos. Fuente: Hernández et al. 2000.

Asumiendo que la probabilidad de que un taxa intercepte la huincha es función de la cobertura, la cobertura se calcula de la siguiente forma:

$$\textbf{\textit{Cobertura absoluta de una especie (\%)}} = \frac{\text{Total de veces que una especie intercepta la huincha en un punto determinado en un transecto}}{\text{Nº de puntos de intercepción por transecto}} \times 100$$

$$\textbf{\textit{Cobertura absoluta de un transecto (\%)}} = \text{Sumatoria de las coberturas absolutas de todas las especies presentes en un transecto determinado}$$

$$\textbf{\textit{Promedio de la cobertura absoluta del sector (\%)}} = \frac{\text{Sumatoria de los porcentajes de cobertura absoluta de todos los transectos de un sector}}{\text{Nº de transectos por sector}}$$

Cada transecto se georreferencia a través de coordenadas UTM (WGS84, huso 19 S) y se caracteriza según los siguientes parámetros: coordenadas UTM de inicio y fin del transecto, altitud (m.s.n.m.) y largo del transecto.

2.3.2.3.2 Muestreo de plantas acuáticas

Se consideró como primera opción un muestreo cuantitativo con la ayuda de un cuadrante de PVC de 0,5 m^2 con una cuadrícula de 100 puntos. Éste se ubica sobre las plantas acuáticas una sola vez en el punto de muestreo tomado con GPS y se listan todas las especies. Las especies no identificadas se deben recolectar para su posterior análisis en gabinete. Para determinar la abundancia se utilizó Point-quadrat en base a 100 puntos de contacto, de acuerdo con la siguiente formula:

$$\textbf{\textit{Cobertura absoluta de una especie (\%)}} = \frac{\text{Nº de puntos interceptados por la especie i}}{\text{Nº total de puntos de intercepción del transecto}} \times 100$$

$$\textbf{\textit{Cobertura absoluta de un cuadrante (\%)}} = \text{Sumatoria de las coberturas absolutas de todas las especies presentes en un cuadrante determinado}$$

Se tomaron fotografías de la ubicación general del cuadrante y del detalle de éste. Se deben contemplar fotografías de calidad de las especies de plantas acuáticas, sobre todo de las especies no reconocidas. Los registros fotográficos se entregan agrupados en una carpeta ordenado por campaña y punto de muestreo en anexos digitales (Anexos Digitales/OE 1 Recopilación y sistematización /OE1_Campañas de monitoreo).

De manera complementaria, se realizó un recorrido intensivo alrededor de los sistemas azonales colectando y fotografiando las especies de macrófitas (plantas vasculares) presentes. Estas colectas fueron herborizadas para su determinación taxonómica posterior. Este tipo de muestreo permite abarcar una gran superficie, recopilar la mayor cantidad de información posible y describir los componentes del medio desde la perspectiva de los elementos más conspicuos y representativos.

El total del material biológico colectado para ambas metodologías propuestas anteriormente, se pudo identificar utilizando la bibliografía disponible de la biblioteca del Centro de Ecología Aplicada S.A. (CEA). Posteriormente, se confeccionó un listado de especies pertenecientes al área de estudio. En base a esta información, se elaboró un catálogo florístico el cual se complementó con antecedentes como familia, forma de vida, tipo de macrófitas, origen fitogeográfico, nombre común y estado de conservación. La posición sistemática y nomenclatura taxonómica de las especies se definieron según Marticorena & Quezada (1985), y de manera complementaria la base especializada en línea -The Plant List- del Jardín Botánico de Kew y Missouri.

Las formas de vida de las macrófitas, se basa en el hábito proporcionado según Vila et al. (2006). De acuerdo con esta autora, se describen dos tipos de hábitos:

Hidrófitas: Pertenecen a plantas acuáticas con formas de vida clasificadas como sumergidas, natantes, flotantes libres que pueden estar o no arraigadas al sustrato del cuerpo de agua.

Helófitas: Son plantas acuáticas catalogadas como plantas palustres, su forma de vida es emergida, es decir, sus raíces están sujetas al fango, parte inferior de su vástago en el agua, pero mayoritariamente el tallo y las hojas emergen en el aire.

Adicionalmente, para aquellas especies que no se categorizan en ninguna de las definiciones anteriormente descritas, no obstante, son registradas mediante metodología de intercepto de puntos se utiliza el concepto de "terrífitas" el cual se define a continuación:

Terrífitos: Corresponden a especies vegetales que habitan en ambientes zonales y/o xeromórficos las cuales están limitadas por las condiciones ambientales del lugar; oscilaciones térmicas, capa de nieve, sustrato y el abastecimiento hídrico restringido exclusivamente a finales de primavera. Sin embargo, y debido a la dinámica hidromorfológica asociadas a cuencas (erosión, remoción de masas de tierra, etc.), estas especies quedan expuestas en la ribera del río.

El origen fitogeográfico de las especies se realiza según el "Catalogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur" (Zuloaga et al., 2008). Finalmente, las plantas son revisadas y clasificadas según su estado de conservación de acuerdo a los Decretos Supremos Nº 151/2007, 50/2008, 51/2008, 23/2009, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES), y N° 33/2011, 41/2011, 42/2011, 19/2012, 13/2013, 52/2014 y 38/2015 del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) que oficializan los procesos oficiales de clasificación de especies a nivel nacional derivados del Reglamento para la Clasificación de Especies Silvestres en estado de conservación (RCE), y en caso de no estar calificados se utiliza el Libro Rojo de la Flora Terrestre de Chile (Benoit, 1989).

2.3.2.3.3 Fitobentos

La composición y abundancia del fitobentos se evaluó mediante el análisis cuantitativo del principal grupo constituyente de las comunidades bentónicas, correspondiente a las diatomeas. Para ello se extrajeron muestras (3 réplicas) mediante un instrumento denominado perifitómetro, muestreador propuesto por Davies & Gee que permite el "raspado" o "cepillado" de los organismos adheridos a sustratos duros sin que estos sean arrastrados por la corriente. Por otra parte, en puntos donde dominó el sustrato blando se utilizó un Core (saca testigos) de aproximadamente 0,9 cm de diámetro. Las muestras fueron colectadas en tubos Falcón de 15 ml y fijados con formalina al 4% de volumen final, para posteriormente ser trasladadas al Laboratorio Ambiental del Centro de Ecología Aplicada. El método de análisis en el laboratorio consistió en la obtención de alícuotas de la muestra original, para posteriormente realizar preparaciones de microscopía óptica para la observación de los frústulos de diatomeas. El recuento de las células y clasificación taxonómica se realizó mediante microscopio fotónico estándar Zeiss Modelo Axioplan,

utilizando cámaras de sedimentación de 1 ml de volumen (Wetzel & Likens, 2000). Los resultados obtenidos se expresaron como listados de especies, abundancia total (cél/mm²) y abundancia relativa (%) de las microalgas presentes. La clasificación de los organismos se realizó en base a los trabajos de Rivera (1983), Krammer & Lange-Bertalot (1986, 1991), Round et al. (1996), Rumrich et al. (2000) y Lange-Bertalot (2001).

2.3.2.3.4 Macroinvertebrados bentónicos (Zoobentos)

En puntos de muestreo con sustrato duro, los macroinvertebrados bentónicos se muestrearon mediante una red tipo Surber, constituida por marcos metálicos cuadrados de 0,09 m2 y 250 µm de trama de malla, mientras que, en aquellos puntos con sustrato blando, el muestreo se realizó mediante un Corer de 0,004 m2, según corresponda al sustrato dominante. Se obtuvieron 3 muestras (réplicas) en cada punto de muestreo, considerando que con esa cantidad se obtiene una aproximación a la saturación en una curva taxa/área.

Las muestras fueron almacenadas en frascos plásticos de 200 ml, debidamente etiquetados y fijados con alcohol al 95%, para luego ser trasladadas al laboratorio en Santiago. Posteriormente se realizó la separación e identificación de organismos hasta el nivel taxonómico más bajo posible.

Las muestras fueron analizadas cualitativa y cuantitativamente mediante una lupa Zeiss Stemi 2000-C. La clasificación de los organismos se realizó en base a los trabajos de Bertrand (1995), Lopretto & Tell (1995), Lugo-Ortiz & McCafferty (1995, 1999), Merrit & Cummins (1996) y Fernández & Domínguez (2001), Jerez & Moroni (2006), Rojas (2006), Jara et al., (2006), Valdovinos (2006), Vera & Camousseight (2006), Camousseight (2006).

Adicionalmente, se llevó a cabo un muestreo exploratorio de organismos decápodos con la finalidad de evaluar de mejor manera la densidad de estos grupos de organismos, dado su estado de conservación en nuestro país. El muestreo se realizó mediante el uso de un cuadrante de 0,25 m², el cual se dispuso en un total de cinco puntos en el sustrato en la zona ribereña del río, a una profundidad variable, entre 10 a 50 cm.

2.3.2.3.5 Fauna íctica

Se evaluó la presencia de peces en el área de estudio mediante pesca eléctrica, con un equipo de pesca portátil modelo Samus y chinguillos, recolectando todos los individuos en un área aproximada de hasta 100 m^2 de ribera en cada punto de muestreo. Ocasionalmente esta área fue menor en los casos de restricciones de acceso a la ribera. El área de muestreo fue registrada en cada punto de muestreo de modo de obtener la abundancia de los peces en términos de CPUE (Captura Por Unidad de Esfuerzo), en este caso como ind/m^2. En algunos casos sólo se registró la presencia de peces, esto en casos de avistamientos sin colectas efectivas o de evidencia de peces colectadas por pescadores deportivos locales.

Los peces recolectados fueron identificados, medidos en su longitud total en centímetros (LT) y peso total en gramos (PT) in situ. Utilizando esta información morfológica, se estimó para cada ejemplar capturado el factor de condición (K), el cual corresponde a un índice de la "robustez" o "gordura" de los peces, y cuyo cálculo se efectúa utilizando la siguiente ecuación:

$$K = \frac{PT}{LT^3} * 1.000$$ (Lagler 1956, Nash et al., 2006)

Los peces una vez identificados y medidos fueron devueltos vivos al medio acuático en el mismo punto de captura.

Cabe destacar que CEA S.A., dispone de permisos de pesca genérico vigentes para los años 2018 y 2019 para la captura de peces (ver Anexo 8.4.3 Permiso de pesca 2018 y Anexo 8.4.4 Permiso de pesca 2019).

El estado de conservación de las especies descritas se determinó según la legislación vigente (RCE).

2.3.2.4 Anfibios

El muestreo de anfibios se realizó mediante transectos de longitud variable (200 m o más), de no más de 3 metros a cada lado, donde se removieron piedras, troncos o elementos que presentaran condición de microhábitat apropiado para esta clase de vertebrado, en pozas y sectores húmedos (como sectores de inundación lateral del ríos, vertientes y vegas, si las hubiere). En caso de ser observados, los ejemplares serían capturados manualmente, identificados y fotografiados. A modo complementario, y dependiendo de la posibilidad de efectuarse (por accesibilidad, permisos, condiciones de seguridad y estacionalidad), para los adultos, se efectuarán muestreos nocturnos (con linterna) y uso de playback (para registro auditivo, siguiendo la clave de Penna (s/f). Para las larvas (renacuajos) se revisó su presencia en los cuerpos de agua accesibles (ribera de río, pozas y vegas aledañas).

2.3.2.5 Reptiles

La determinación de reptiles se realizó mediante observación directa de los individuos, complementando un muestreo pasivo (recorrido pedestre con observación de ejemplares) y muestreo activo (remoción de piedras y revisión de arbustos). Los transectos o recorridos de muestreo serán de longitud variable (200 m o más), de no más de 3 metros a cada lado. En caso de ser observados, los ejemplares serán eventualmente capturados (manualmente o con lazo corredizo), identificados y fotografiados.

Para la identificación de las especies de reptiles y anfibios avistadas en terreno, se utilizaron las siguientes fuentes bibliográficas: Cei (1962), Donoso-Barros (1966, 1970), Veloso & Navarro (1988), Núñez & Jaksic (1992), Veloso et al. (1995), Formas (1995), Mella (2005), Pincheira-Donoso & Núñez (2005), Vidal & Labra (2008).

2.3.3 Diagnóstico integrado del estado ambiental actual de la cuenca del río Loa y sus tributarios

El diagnóstico integrado del estado ambiental actual de la cuenca del río Loa y sus tributarios se realizó en base a la información ambiental recopilada, generada y sistematizada en las actividades descritas en 2.3.1 y 2.3.2.

2.3.3.1 Análisis de calidad del componente agua del sistema ambiental.

En primer lugar, el diagnóstico integrado se inicia analizando el componente más importante del sistema ambiental, el que corresponde al agua. Para esto, se hizo una comparación temporal y espacial de la calidad física, química y biológica. En términos de calidad se realizó un análisis de los valores de diversos parámetros de calidad de agua con las normas disponibles, nacionales e internacionales. Dentro de las nacionales, se usa la NCh. 1333 y la norma primaria de calidad de aguas con contacto directo para aguas continentales (DS 143/2009 MINSEGPRES). Dentro de las internacionales se consideró el uso de la Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life.

Para clasificar la calidad del agua se consideraron las recomendaciones de la Guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales y marinas, la cual establece 4 clases de calidad, desde la de regular calidad a clase de excepción.

2.3.3.2 Análisis geomorfológico de la cuenca del río Loa y sus tributarios

Se realizó un análisis geomorfológico de la cuenca del río Loa y sus tributarios, utilizando las herramientas que entregan los sistemas de información geográfica, SIG.

Se determinó mediante el análisis del modelo digital de terreno, DEM, con precisión de 30m, los parámetros morfométricos generales del área. Posteriormente, se realizó una fotointerpretación usando las imágenes de Google Earth Pro de los diferentes elementos presentes en el territorio, con el fin de determinar los ambientes estructurales, denudación, ambientes fluviales, eólico, etc.

El análisis se realizó para obtener diferentes resultados a diferentes escalas espaciales, ya que en cada escala de observación se tienen propiedades particulares del relieve y de la dinámica de sus procesos. En términos prácticos, se determina, desde lo general a lo particular, la cuenca general, las vertientes, las laderas y las subcuencas de primer, segundo y tercer orden.

Se levanta por tanto, la red de drenaje de la cuenca, el uso del suelo y la cobertura vegetacional (por medio de análisis de imágenes satelitales disponibles gratuitas).

2.3.3.3 Análisis geográfico de presiones

Se realizó un análisis geográfico de presiones sobre el sistema fluvial, lo cual considera la presencia de derechos de agua superficiales, consuntivos y no consuntivos, derechos de aguas subterráneas, aguas arriba del curso fluvial, poblaciones humanas, áreas de pastoreo y otras. Posteriormente, para los distintos tramos del río, esto es utilizado para identificar índices de vulnerabilidad considerando presiones. Específicamente el índice de recuperación del sistema, que forma parte del índice integrado de vulnerabilidad, y que considera si las presiones son eventuales, recurrentes o permanentes. (ver acápite 3.3.5.3.1)

2.3.3.4 Análisis hidrológico de la cuenca

En términos de disponibilidad, se hizo un análisis combinado entre el régimen natural del caudal, las presiones asociadas a extracción y el régimen de precipitación. Según DGA (2005), el río Loa y sus afluentes tienen un régimen de caudales de tipo pluvial, y sus crecidas responden a eventos de intensa precipitación asociados al invierno altiplánico, en la alta cordillera. Adicionalmente, indica que sólo el 20% de la cuenca es activa hidrológicamente, es decir, que capta recursos hidrológicos de cordillera. Este análisis permitió identificar tramos del río con determinadas condiciones de caudal de tipo característico, los cuales son usados en análisis posteriores.

2.3.3.5 Diagnóstico integrado del estado actual de la cuenca del río Loa y sus tributarios

Se realizó un análisis integrado de los aspectos que influyen en el estado ambiental del río Loa y sus tributarios, entre ellos, los siguientes:

a) Presiones sobre el sistema fluvial

b) Calidad del agua (Conductividad eléctrica, niveles de nutrientes y clorofila a, entre otros)

c) Biota acuática y sus componentes

d) Hidrología fluvial (régimen del caudal, régimen de precipitaciones)

e) Geomorfología de la cuenca

f) Actividades productivas y entorno social

A partir de este análisis integrado se generaron índices de vulnerabilidad física y ecológica sobre el sistema fluvial, identificando tramos del río con diferente vulnerabilidad.

2.3.3.5.1 Vulnerabilidad ecológica

Una forma de evaluar la “Vulnerabilidad Ecológica” a lo largo del río Loa es a través de la elaboración de un índice de vulnerabilidad que combine distintos índices de clasificación.

Como por ejemplo: índices de calidad basados en macroinvertebrados bentónicos adaptados a Chile (Trent Biotic Index; TBI, Biological Monitoring Working Party; BMWP, Belgium Biotic Index; BBI, The River Invertebrate Prediction and Classification System; RIVPACS), presencia de organismos en categorías de conservación (ictiofauna, flora acuática o ripariana), en adición a la categorización del agua en base a criterios de aceptabilidad legal (valores umbrales para Riego y Vida Acuática, NCh1333). En último término la evaluación del estado trófico de las distintas secciones del río (Dodds et al., 1998) también puede alimentar dicho índice de vulnerabilidad.

En base a esta integración de indicadores, se evaluó la vulnerabilidad ecológica, tanto desde el punto de vista del impacto antrópico sobre la cadena trófica de los ecosistemas acuáticos, como de la variación de la calidad del agua.

2.3.3.5.2 Vulnerabilidad hidrológica

La vulnerabilidad hidrológica se determinaó utilizando metodologías basadas en metodologías como la que propone Rojas, et al, 2014 y otras similares donde mediante un análisis de Unidades Mínimas de Análisis o UMA, y el modelo de análisis DRSPI (fuerza motriz, presión, estado, impacto respuestas), establece indicadores de vulnerabilidad en varias dimensiones, entre ellas, la biofísica, la político-institucional, la económica-productiva y la sociocultural.

El diagnóstico integrado de la cuenca del río Loa entonces involucra una combinación polinómica entre las dimensiones asociadas a su vulnerabilidad ecológica con aquella hidrológica, lo cual le dará un valor a áreas definidas o tramos del río y de su cuenca, con diferentes expresiones de vulnerabilidad.

2.4 OE-2: Construir un modelo eco hidrológico integrado, determinando caudales ambientales.

Las actividades de este objetivo están orientadas a construir el modelo de simulación hidrológico solicitado, el cual se generó a partir de un proceso de selección de herramientas disponibles que más se adecuaran a las características y necesidades de la cuenca, considerando, entre otros aspectos, costos, facilidades de uso, facilidades para su ampliación de capacidades, la capacidad de integración de componentes ecosistémicos, aspectos sociales y productivos y de calidad de agua.

2.4.1 Análisis de modelos hidrológicos

Un modelo hidrológico es un conjunto de algoritmos matemáticos que tienen como objetivo aproximar las interacciones entre distintos elementos del ciclo hidrológico. Cada uno de los modelos disponibles en el mercado asume distintas aproximaciones para cada uno de los procesos involucrados, así como también distintas conceptualizaciones de una cuenca.

Es por eso por lo que la elección técnica de un modelo en particular, debe tener siempre presente primero cuál es el nivel de detalle o precisión que se desea, el nivel de detalle que se puede alcanzar teniendo en cuenta la información que existe y el tiempo disponible para obtener los resultados. Estas líneas no siempre se comunican, por cuanto la información disponible resulta ser importante en la elección del modelo y en la cuantificación de su incerteza.

Existen varios modelos generales de cuenca o de simulación hidrológica que se utilizan en diferentes lugares del mundo, donde las componentes individuales de estos modelos varían significativamente debido a la diversidad de propósitos que sirven (Singh & Frevert, 2005).

Dada la experiencia nacional en la zona, la herramienta WEAP ha probado ser de gran ayuda por cuanto es capaz de integrar en una misma plataforma la simulación hidrológica con la operación compleja de un sistema.

2.4.2 Determinación de Caudal Ambiental

La definición del caudal ambiental de un río utilizada en el presente estudio, es la misma de la "Guía metodológica para determinar el caudal ambiental para centrales hidroeléctricas en el SEIA" publicada por SEA en 2016 (SEA, 2016), y la cual corresponde a la 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"*. Pero a diferencia de esa guía, en la cual se busca poder realizar una evaluación ambiental de un proyecto en concreto, la presente tiene como objetivo el poder determinar un caudal ambiental asociado al sistema en su condición original, o en un punto más cercano a ella y que muchas veces no está dado por la actual condición del sistema. Así, determinando un escenario base desde el cual iniciar cualquier análisis de disponibilidad del recurso y condición del sistema (y de las otras partes que de él dependen), será posible realizar una evaluación igualitaria y comparable de todos los servicios ecosistémicos prestados y de las demandas externas de recursos (tanto actuales como futuras). Lo anterior posibilita el análisis de disponibilidad de recursos como la priorización de ellos, y evitar poner en riesgo los servicios y funciones críticas del ecosistema (O´Keeffe, 2012; Harwood et al., 2017).

Con lo anterior, la metodología planteada considera un primer análisis general del sistema, el cual incluye la totalidad del río y no solo un tramo o área de influencia de un proyecto cualquiera, considerándose así todas las dependencias, relaciones e interacciones existentes entre los distintos tramos y servicios. Así, se entenderá al río como un sistema integral y continuo, en donde (en general) existe una conexión de todas sus partes por medio de sus aguas, y nunca funcionará como un conjunto (o unión) de tramos de ríos que cuentan con comportamientos y condiciones independientes entre sí. Con lo anterior, será posible generar un análisis de la potencialidad del sistema como un todo, y a su vez, de cada

uno de sus sub-partes (tramos), la cual sentará la base contra la cual deberá ser comparada cualquier nueva condición de los tramos debido a una intervención y/o modificación del caudal pasante.

Respecto de la evaluación y posible priorización de los servicios y usos, se debe tener en cuenta que la determinación del caudal ambiental corresponde a un proceso científico pero con componentes sociales, siendo estas últimas (o debiendo ser) el centro de las decisiones, por lo que podrán determinarse diferentes caudales ambientales según sean los requerimientos y prioridades de los grupos de usuarios del sistema (O'Keeffe and Le Quesne, 2009), y teniendo siempre en mente que el manejo de los ríos conllevará una mezcla compleja entre compensaciones (trade-offs) y costos de oportunidad del recursos (Parker & Oates, 2016). Esto último, a modo de ejemplo, es ejemplificado en la Nota Técnica C.1 "Water Resources and Environment – Environmental Flows: Concepts and Methods" del Banco Mundial (Davis & Hirji, 2003), mostrando una relación tipo entre el uso del recurso (ver Figura 2.11), los beneficios generales obtenidos, el riesgo asociado y el tipo de uso (sustentable o no sustentable).

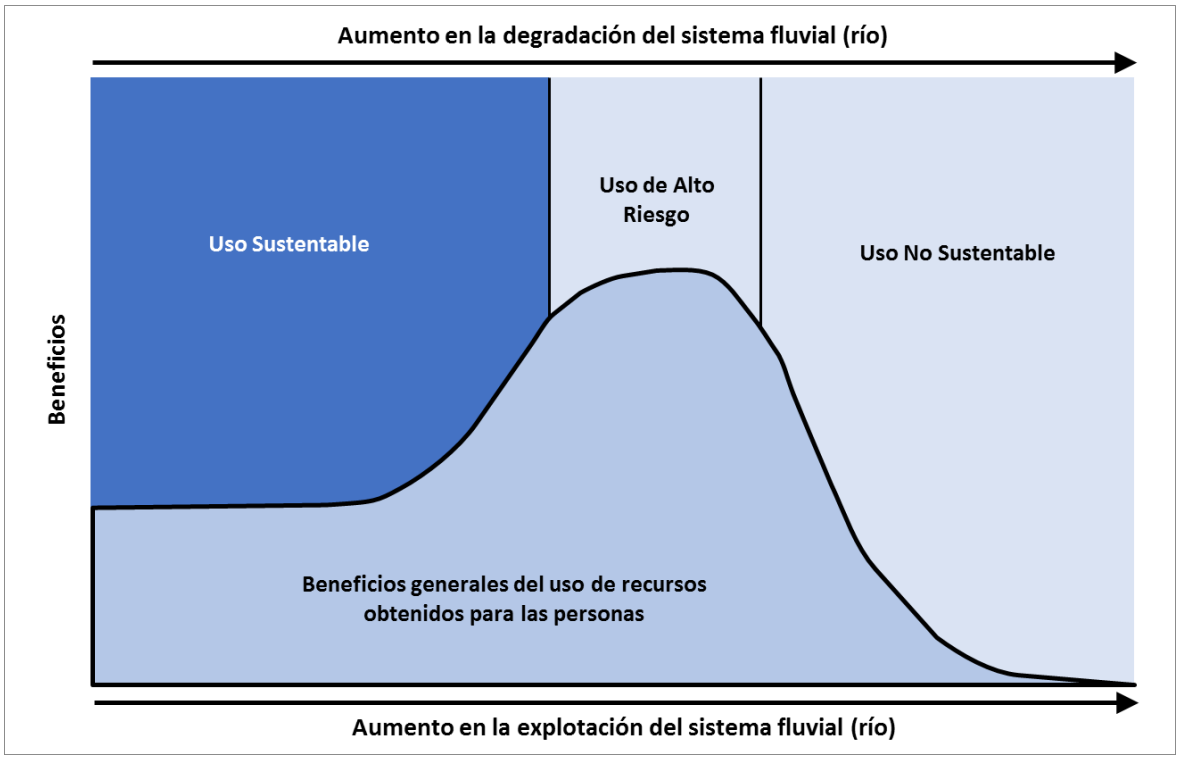


Figura 2.11. Esquema ilustrativo hipotético de la relación general que existe entre el uso del ecosistema (río y sus recursos) y la condición general de este como respuesta (Fuente: Adaptado de Davis & Hirji, 2003).

Además, los objetivos para la determinación de los caudales ambientales deberán estar alineados con las características del sistema, tanto en términos de las partes que el sistema sostiene (ecosistema que se desarrolla asociado al río) como de la hidrología del río (régimen de caudales), y no deberán establecerse objetivos que se alejen en demasía de la

condición más natural del mismo, o que puedan generar cambios en los tipos de ecosistemas presentes en el río. En la Figura 2.12 se muestran ejemplos entregados en O'Keeffe & Le Quesne (2009), donde los caudales ambientales están alineados con el tipo de río y los objetivos planteados, y donde es posible observar que la serie de caudal ambiental tendrá una relación muy estrecha con el hidrograma del sistema, donde los caso representan: a) en ríos desarrollados en áreas de conservación el énfasis debe estar puesto en mantener tanto caudal natural como sea posible y con ello minimizar la pérdida de biodiversidad por la extracción de agua, b) en ríos con desarrollo en áreas urbanas, el objetivo debe ser simplemente mantener la calidad del agua y parte de las áreas recreacionales, pudiendo reducirse el caudal base y reducir las inundaciones , c) en río alimentados por manantiales el énfasis está puesto en mantener un caudal base robusto (fuerte), y un aprovechamiento basado en el uso del agua de inundaciones, y d) en épocas de bajo caudal se reducirá considerablemente el caudal, y se mantendrán mayores flujos en los períodos de mayor caudal, considerando que la biodiversidad depende directamente de ellos.

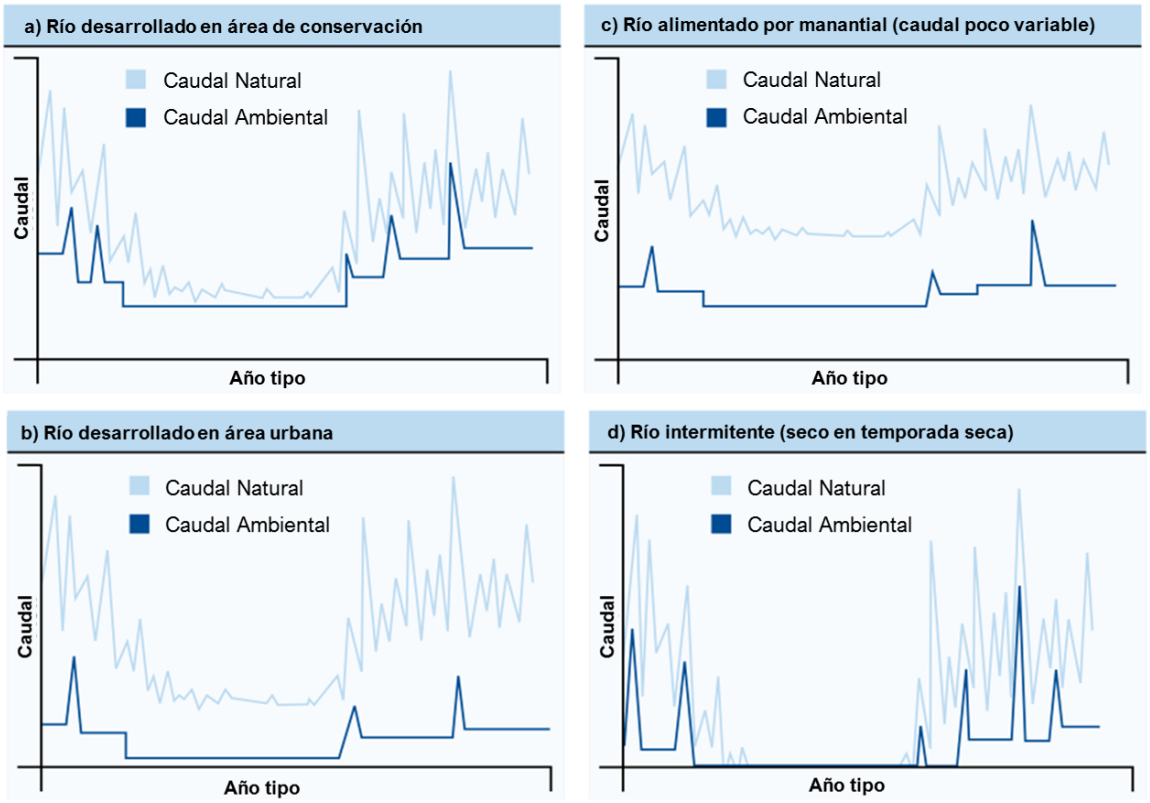


Figura 2.12. Diferentes caudales ambientales determinados según los objetivos planteados para cada tipo de río (Fuentes: Adaptado de O'Keeffe & Le Quesne, 2009).

Por lo anterior, cualquier estimación que sea realizada deberá tener de forma explícita (y deberá ser documentada), todos los criterios utilizados en la valoración y priorización utilizada como objetivo ambiental, ya que diferentes evaluaciones contarán con distintas

relaciones entre el grado de protección deseado del sistema y la cantidad de agua a ser destinada como recurso a explotar (diferentes objetivos ecológicos, sociales y económicos) (Davis & Hirji, 2003; O'Keeffe & Le Quesne, 2009; O'Keeffe, 2012).

De forma gráfica, el caudal ambiental puede ser entendido como la suma de componentes mostrado en la Figura 2.13, donde la primera componente corresponde al "caudal de supervivencia" y que es aquel caudal crítico mínimo durante el período de sequía; la segunda correspondiente a las cantidades encontradas en los períodos de bajo caudal y que están ligadas a períodos específicos de importancia ecológica (p.ej. estadio de vida específicos de la biota, desarrollo de procesos ecológicos) y caudales que son requeridos como parte de acciones/necesidades culturales o sociales. La tercera componente corresponde a los eventos de alto caudal, los cuales corresponden a pulsos de mayor intensidad o a eventos de inundación del sistema, los cuales tendrán por fin la mantención del sistema (p.ej. morfología del canal) o permitir el desarrollo de respuesta/procesos ecológicos (p.ej. desove o migración de los peces). (USAID, 2017)

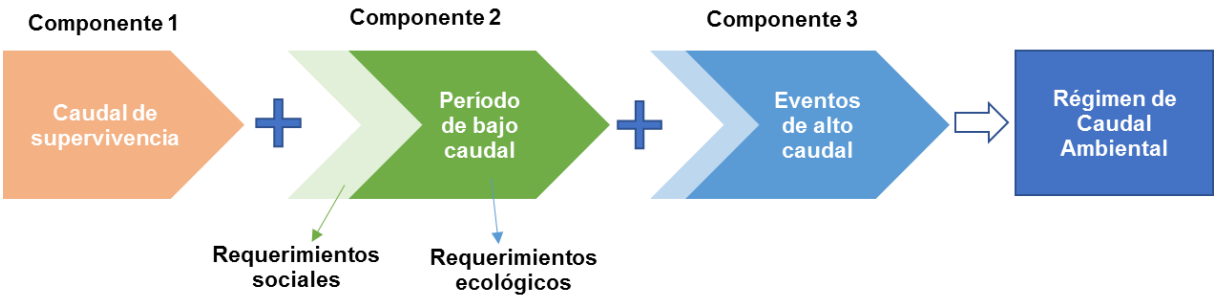


Figura 2.13. Caudales que componen el régimen de caudal ambiental (Fuente: Adaptado de USAID, 2017).

En cuanto a los sistemas a evaluar, los ríos corresponden a un tipo de humedal dentro de la clasificación de ellos, los que se definen como Humedales continentales (MMA-CEA, 2006). Dentro de la categoría de humedales continentales, los ríos se encuentran en el ecotipo "escorrentía", y sus características dependerán de su ubicación a lo largo del país. Ellos se diferenciarán tanto en sus regímenes y origen de sus aguas, como también en las características de ellas, siendo estas últimas las promotoras de todos los servicios ecosistémicos ofrecidos por el río. Así, las características de las aguas definirán tanto la biología y biodiversidad contenida en el río (según los tipos de ecosistemas desarrollados) como también los servicios ecosistémicos posibles de ser provistos (MMA-CEA, 2007).

En cuanto a su condición de humedal, ellos pueden ser representados como ecosistemas constituidos por componentes vivos (bióticos) y no vivos (abióticos), que interactúan activamente como una **unidad ecológica**. Numerosos autores señalan que los ecosistemas pertenecen a una clase más amplia que los sistemas físicos, ya que éstos son entidades

históricas, que poseen memoria de su desarrollo y de los eventos que afectan su comportamiento (SAG-CEA, 2006). Así, las características ecológicas de los ríos están definidas en gran medida por la estrecha interacción que se genera entre la morfología del cauce y el régimen de precipitaciones, las que definirán las condiciones hidrológicas e hidrodinámicas del sistema, obteniéndose múltiples configuraciones en el tiempo y espacio (Allan, 1995 en DGA-CEA, 2008).

A consecuencia de estos procesos, los ríos presentan una alta heterogeneidad espacial y temporal, las que en conjunto establecen las condiciones ambientales que modulan la estructura y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos (DGA-CEA, 2008). A modo de ejemplo, los procesos climatológicos se asocian a la macroescala, y la cual determinan y fuerzan la dinámica del ecosistema, a diferencia de las condiciones locales del escurrimiento (velocidad, alturas) que controlan los procesos de intercambio entre las diferentes matrices (agua, sedimentos y atmósfera) e influyen de manera directa en la respuesta de los componentes biológicos en las diferentes escalas (Figura 2.14) (DGA-CEA, 2008).}

Lo anterior es evidenciado en el estudio "Determinación de caudales ecológicos en cuencas con fauna íctica nativa y en estado de conservación", desarrollado por el CEA para la DGA (DGA-CEA, 2008), en donde se definen Hidroecoregiones. En cada una de ella se observa el vínculo existente entre la biología y los ecosistemas desarrollados en los ríos considerados como parte de la Hidroecoregión, no solo dependerá de las condiciones y características hidromorfológicas, sino que cuentan con una estrecha relación con las características fisicoquímicas de las aguas (calidad de aguas). Así, serán relevantes en la definición de las condiciones base, o las más naturales conocidas, variables como la salinidad, la temperatura o la presencia de materia orgánica. Además, el estudio concluye que "*es necesario realizar un análisis diferencial de ríos localizados en cuencas exorreicas a lo largo de Chile, ya que aun cuando las condiciones hidrológicas e hidrodinámicas constituyen el proceso que mantiene los ecosistemas acuáticos, se debe complementar el análisis con un balance de masa de sales (ríos zona norte), balance de masa de nutrientes (zona centro-sur) y balance térmico (zona austral)*". Por lo anterior, es necesario realizar un análisis previo para la identificación de las variables relevantes de cada sistema, en términos de contar con evaluación de ellas como parte de las variables de estado/condición del hábitat y/o servicio ecosistémico. En el caso del río Loa que está presente en al Hidroecoregión "Loa-Camarones", se tiene que uno de los conductores principales de la condición y biología del sistema recae en la salinidad y su distribución a lo largo del río (DGA-CEA, 2008).

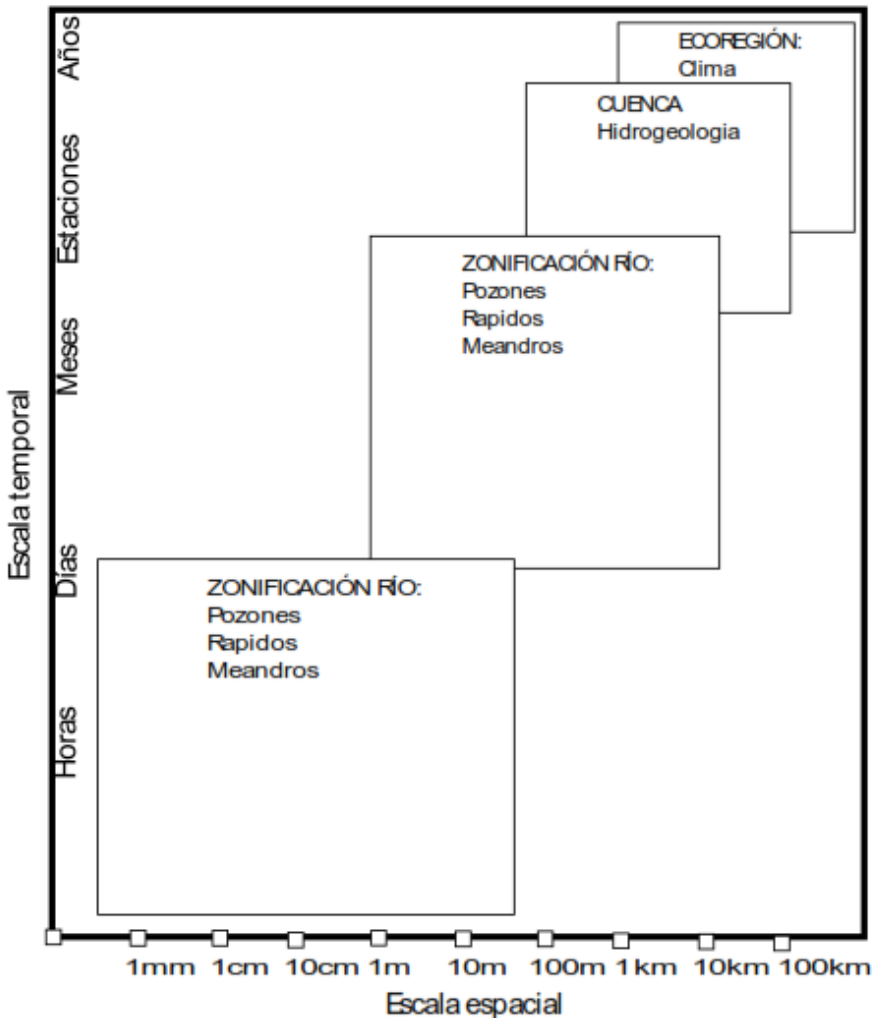


Figura 2.14. Esquema de diferentes escalas que interactúa en la dinámica espaciotemporal de ecosistemas lóticos (Fuente: DGA-CEA, 2008).

2.4.2.1 Desarrollo del caudal ambiental

El proceso completo para la estimación de un caudal ambiental es enmarcado como parte de una evaluación de caudales y estados ambientales del sistema, es decir, la determinación del caudal ambiental es parte del proceso de análisis y tiene como finalidad el poder definir una condición contra la cual realizar una comparación de la condición actual, cualquier otro escenario futuro posible de ser evaluado, y determinar el posible déficit o superávit del recurso existentes en el río. Para ello, se definen los pasos requeridos para le evaluación del caudal ambiental de un sistema natural (Figura 2.15), mediante el desarrollo de 9 pasos/actividades.

Los pasos por desarrollar son los indicados en la Figura 2.15, y se desarrollan a continuación.

i. Recopilación extendida y sistematización de información del sistema.

Se debe incluir información relacionada con hidrología, meteorología, morfología, biota y biología, fisicoquímica del agua, servicios ecosistémicos, usos antropogénicos del río, derechos de agua, y desarrollo de proyectos en base al río. Además de la información posible de ser obtenida desde registros bibliográficos y fuentes escritas, es necesario el levantamiento de información y conocimiento no escrito con que cuentan las comunidades y habitantes del lugar, la cual pueda entregar antecedentes sobre las condiciones históricas (anteriores) del sistema y de los usos dados al río. Esto último, permite contar con información específica sobre los ecosistemas existentes en el pasado.

ii. Determinación de una condición "natural" aproximada en base al conocimiento actual del sistema, y mediante la determinación del régimen de caudales sin extracciones y de las funciones de cambio de otras variables relevantes del sistema.

Se analiza la información hidrológica disponible junto con la información de derechos de aprovechamiento existentes, con lo cual se construye la hidrología del sistema sin extracciones. En el caso de las extracciones de agua históricas, las que estén asociadas tanto al desarrollo de actividades ancestrales por parte de la comunidad como también aquellas asociadas al consumo de agua, se deben analizar para su inclusión en el funcionamiento natural del río, por deberse a servicios (y derechos) prestados (servidos) por las aguas del río. En cuanto a las funciones de cambio de otras variables, se deben conceptualizar (al menos de forma aproximada) cuales son las funciones de cambio de la(s) variable(s) relevantes a lo largo del río, y con lo cual poder establecer una banda (rango) de sus valores en el río bajo la condición “natural”.

iii. Recopilación y análisis de información sobre biota y servicios ecosistémicos existentes y otros posibles de existir en el sistema (antecedentes actuales e históricos) para definir las curvas de habitabilidad y de desarrollo de los servicios ecosistémicos teóricas.

Se deben desarrollar curvas de habitabilidad teóricas para la biota posible de existir a lo largo del sistema. Junto con ellas, se construirán curvas de desarrollo de los servicios ecosistémicos identificados como con posibilidad de desarrollo.

iv. Definición de las características y condición del sistema en estado “natural” mediante la definición de ecosistemas potenciales en el río.

Se debe construir un modelo del río en toda su extensión para la condición “natural”, mediante el cálculo de las condiciones hidráulicas en cada tramo (p.ej. caudal pasante, y altura y velocidad media asociada) y la estimación de las otras variables relevantes. Con el modelo del río y sus características, se definen los ecosistemas posibles de ser desarrollados a lo largo del río.

Junto con lo anterior, se debe realizar una evaluación de las curvas de habitabilidad y de desarrollo de servicios ecosistémicos en el sistema, y con lo cual verificar y validar la anterior definición de los ecosistemas.

En cuanto a las áreas de análisis y a diferencia de la Guía del SEA (2016), en donde se define áreas de importancia basadas en la ecología o por ser relevantes a nivel antrópico (AIA: áreas de importancia ambiental), en la presente metodología el foco está puesto en el desarrollo de todos los ecosistemas del sistema. Es en estos ecosistemas en donde se desarrollan tanto la biota como los servicios ecosistémicos, por lo que la diferencia principal radica en que, para la evaluación del caudal ambiental del río es necesaria la evaluación de todos sus ecosistemas.

v. Evaluación de la condición de hábitat potencial y condición de desarrollo de servicios ecosistémicos bajo condición "natural", y definición del criterio para el caudal ambiental respecto de la condición "natural" y estimación del régimen de caudal ambiental.

Utilizando como base la hidrología de la condición "natural" antes desarrollada, se debe evaluar la condición de hábitat potencial y condición de los servicios ecosistémicos por cada ecosistema definido. Por otra parte, para la estimación de un caudal ambiental se hace necesario establecer un criterio para la mantención del hábitat y de los servicios del río, y el cual deberá resguardar la integridad ecológica y biodiversidad en los ecosistemas, junto con asegurar de la mejor forma posible el desarrollo de los servicios ecosistémicos más relevantes. Cabe recordar que en la estimación de la condición "natural" debieran haber sido incluidos los servicios más básicos de provisión de aguas para actividades ancestrales de la comunidad y para agua de consumo, con lo que esos servicios cuenten con una condición idónea bajo el régimen de caudal ambiental.

vi. Definición de la configuración actual del sistema y de otras posibles de desarrollarse en el futuro, en términos de modificaciones de los caudales pasantes.

Se debe construir el esquema actual de extracción de aguas desde el sistema, y con el cual desarrollar la hidrología actual. Además, se debe definir cualquier otro esquema futuro de explotación que se desee evaluar para el sistema.

vii. Evaluación de la condición actual y futuras de la disponibilidad de agua, considerando las diferentes configuraciones de modificación de caudales, y contraste con respecto del caudal ambiental definido.

En los pasos anteriores ya fue definida la hidrología para la condición "natural" y actual, junto al régimen de caudales del caudal ambiental, por lo que para la condición futura restante se deben definir los escenarios a desarrollar y las consideraciones tras ellos. A

modo de ejemplo, puede desarrollarse la hidrología futura asociada a los escenarios de cambio climático propuestos por el IPCC (2014). Una vez definidos los escenarios futuros (en términos de la disponibilidad del agua), se deben plantear los escenarios de extracción y uso de agua que se requieran evaluar. Con lo anterior, se realiza la estimación de las condiciones de hábitat y de los servicios ecosistémicos para la condición actual y para los escenarios futuros definidos. Todos los resultados obtenidos corresponden a los porcentajes de hábitat y condición de los servicios alcanzados en los diferentes ecosistemas y para cada uno de los escenarios.

viii. Comparación de los resultados entre escenarios, en base a la valoración de la presencia de la biota y del desarrollo de los servicios ecosistémicos.

Los resultados obtenidos antes para la condición actual y escenarios futuros, deben ser contrastados respecto de los resultados establecidos por la condición de caudal ambiental. Este contraste permite evidenciar la condición actual del río y la disponibilidad de recursos en el futuro. Se debe tener en cuenta que los resultados para las evaluaciones de escenarios futuros están supeditadas a los resultados obtenidos para la condición actual, es decir, la prioridad en la evaluación debe ser el asegurar que la condición actual (y futura cercana) sea superior o similar a la entregada por el caudal ambiental determinado.

ix. Optimización y mejora en el uso del recurso según la priorización de los servicios ecosistémicos, realizada en base al criterio y objetivo establecido por parte de usuarios y actores relevantes.

Se plantea la necesidad de realizar una optimización y mejora en el uso de los recursos según el criterio y necesidades a satisfacer de los usuarios y actores asociados al sistema, la cual depende del recurso disponible y de la planificación futura de necesidades. Así, todo depende en primer lugar de los resultados obtenidos de la comparación de la condición actual respecto del caudal ambiental, y en segunda instancia, de la situación futura proyectada. Así, la condición actual puede contar con una condición superior (mejor) a la de caudal ambiental, lo que permitiría la existencia de nuevos usos y extracciones desde el sistema (en escenarios futuros); y por el contrario, una condición deteriorada respecto de la establecida por el caudal ambiental, conllevará la necesidad de gestión y mejora del sistema por medio de la reposición de aguas y otras medidas de reparación, sin dejar espacio a nuevas extracciones.

Figura 2.15. Pasos y actividades definidas para la definición y evaluación de un caudal ambiental (Fuente: Elaboración propia).

2.4.3 Elaboración del Modelo hidrológico integral

A partir de la selección del modelo hidrológico a utilizar; la construcción del modelo hidráulico del río y, la determinación de los caudales ambientales para las especies objetivos y usos antrópicos obtenidas con PHABSIM, se elabora un modelo hidrológico integral que recoje los resultados mencionados anteriormente, además del uso de suelos, derechos de agua y otras actividades que se desarrollan alrededor del río. De esta manera se adecua a las características y necesidades de la cuenca. Para esto es necesario evaluar el efecto que tienen distintos caudales en determinadas zonas del río, sobre los distintos usos o servicios ecosistémicos, aguas abajo de la misma, que pueden corresponder tanto a actividades antrópicas como necesidades ambientales de la flora y fauna propia de la zona. Así, la determinación del caudal ambiental integral, el cual considera los requerimientos de especies nativas, usos antrópicos, calidad de aguas y aspectos sociales y productivos, se lleva a cabo evaluando cuanto es el beneficio que se obtiene al considerar la extracción o inyección de caudal al río en una determinada zona, al afectar los distintos servicios ecosistémicos aguas abajo del punto mencionado.

2.4.4 Análisis de escenarios para regímenes futuros de caudal

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático o Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) es una organización establecida por primera vez en 1988, su misión es la de entregar evaluaciones científicas comprensivas sobre los resultados de investigación de la comunidad científica, respecto del cambio climático, y resumiendo en informes técnicos de evaluación las potenciales consecuencias medioambientales y socioeconómicas de estos cambios. Junto con ello, evalúan las posibles opciones para adaptarse a esas consecuencias o mitigar los efectos asociados al cambio climático.

En este sentido, el IPCC en su informe del 2007 define el cambio climático como: “todo cambio producido en el clima a lo largo del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como resultado de la actividad humana”. Este uso difiere del adoptado en la Convención Marco sobre Cambio Climático, donde por cambio climático se entiende “un cambio atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. Así, los análisis de cambio climático no se refieren sólo a los posibles efectos producto del aumento de emisiones a la atmósfera, sino que consideran también la variabilidad normal, sin intervención antrópica. En este contexto, los nuevos escenarios de cambio climático propuestos por el IPCC, y desarrollados principalmente por el Coupled Modeling Inter Comparison Project 5 (CMIP5), no sólo miran hacia el futuro, sino que realizan un análisis de la historia pasada.

Los escenarios de cambio climático se resumen en tres grandes grupos:

• Simulaciones de décadas pasadas ("Decadal Hindcasts"): Estas simulaciones del pasado permiten testear la capacidad de los modelos globales de predecir o pronosticar los cambios en el clima, dado que sus resultados son comparables con las mediciones realizadas en las últimas décadas.

• Simulaciones de escenarios futuros utilizando escenarios de emisiones: Estas simulaciones de largo plazo consideran las Trayectorias de Concentración Representativas (RCPs, por sus siglas en inglés), lo que corresponde a considerar forzamientos debidos a distintos escenarios de emisión de gases a la atmósfera.

• Simulaciones de escenarios futuros considerando no sólo las emisiones (RCPs): En ellas, además de utilizar los escenarios de emisiones, se consideran también los cambios en la temperatura superficial del mar.

Estos modelos globales, denominados GCM, entregan resultados a escala global de modo que es preciso escalar ('downscaling') los resultados a una escala regional o local a través de un modelo atmosférico. A estos modelos se les denomina RCM por sus siglas en inglés. Este escalamiento es posible de ser realizado por dos diferentes vías, correspondiente a los métodos dinámicos (p.ej. mediante el uso del modelo WRF) y a los métodos estadísticos. El primero de ellos corresponde a una metodología altamente costosa en términos computacionales, requiriéndose del desarrollo de una calibración del método para la regionalización de la información para cada modelo GCM. Por el contrario, el segundo se centra en el desarrollo de ajustes en base a la estadística local, permitiendo generar un ajuste adecuado de contarse con información histórica y espacial suficiente. Es por ello, que de manera similar al desarrollo realizado en el estudio "Aplicación de la metodología de actualización del balance hídrico nacional en las cuencas de las macrozonas norte y centro – S.I.T. N° 435" desarrollado por la Dirección General de Aguas (DGA, 2018), se utiliza un método estadístico. Este tipo de método permite escalar las temperaturas diurnas máximas y mínimas de los GCM seleccionados, así como también escalar la precipitación, tomando como referencia la base de datos utilizada en el proceso de calibración (DGA, 2018).

En el contexto del desarrollo y evaluación para el río Loa, considerando que la modelación de cambio climático corresponde solamente a una parte de los inputs requeridos en el desarrollo de las evaluaciones futuras del sistema, se define como estrategia el utilizar fuentes de información de modelos globales para el "downscaling" que cuenten con utilización previa en estudios a nivel nacional y con una validación[1] de su aplicabilidad a la zona norte del país. Es por ello que se utilizan como base del análisis del cambio climático

[1] Se entiende por validación en su aplicabilidad el hecho de presentar resultados razonables, consistentes con la literatura, y que permitieron el desarrollo completo de los estudios que los utilizan.

los modelos "CSIRO-MK3-6-0[2]" y "MIROC-ESM[3]", los cuales han demostrado dar respuesta regional a modos globales de variabilidad climática (ENSO y SAM); sensibilidad climática y cambios regionales (DGA, 2017b; DGA, 2018).

Dado lo anterior se generó un modelo acoplado atmosférico-hidrológico, que permitió evaluar las series de precipitaciones futuras y disponibilidad hídrica en el río, siendo esta última el parámetro de entrada principal para los modelos hidráulico y de hábitat del río Loa.

Figura 2.16. Esquema modelo eco-hidrológico integrado. (Fuente: Elaboración propia)

[2] Desarrollado por "Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization-CSIRO" en colaboración con el Queensland Climate Change Centre of Excellence, Australia.
[3] Desarrollado por "Agency for Marine-Earth Science and Technology, Atmosphere and Ocean Research Institute (University of Tokyo), y el National Institute for Environmental Studies, Japan.

Para validar los escenarios se realizó un taller de trabajo con las partes interesadas, entre los que se cuentan los servicios públicos competentes, académicos de universidades, ONG y organizaciones civiles donde se puso a discusión los escenarios para lograr su aceptación. Acta disponible en Anexos digitales:

OE4_Difusión\Talleres_de_trabajo_participativo\20191128_GOA002_MIN_Taller_Analisis_Escenarios_SSPP_CEA

2.4.5 Construcción de Guía Metodológica para la estimación de Caudal Ambiental

Actualmente, la cuenca del río Loa se encuentra expuesta a una elevada presión de uso, especialmente asociada al desarrollo minero de este territorio, al desarrollo agrícola en las zonas aledañas a los poblados de Chiu-Chiu y Calama, y al consumo humano. Esta continua presión de uso, sumado al bajo caudal medio anual del río Loa, contribuye a la degradación de los ecosistemas acuáticos, lo que puede traer como consecuencia un aumento en las condiciones de estrés sobre la biota y la pérdida de biodiversidad. Además, puede generar la pérdida de servicios ecosistémicos y una disminución de los recursos hídricos disponibles para otros fines productivos.

Por lo anterior, se desarrolló la guía metodológica para la determinación y evaluación del caudal ambiental en el río Loa, la cual busca el poder evaluar de forma más precisa los requerimientos del río. La definición del caudal ambiental considerada corresponde a la contenida en la Declaración de Brisbane del 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"*.

Así, el caudal ambiental se entiende como aquel caudal que permite que se puedan desarrollar y sostener los servicios ecosistémicos de interés. Este no necesariamente es un único caudal para toda la cuenca ni para todas las épocas del año, si no que puede variar en los distintos tramos del río y sus afluentes, además de variar según mes o estación del año.

La guía desarrollada en el presente estudio establece las bases de la metodología para el cálculo del caudal ambiental en los distintos tramos de la red hídrica de la cuenca del río Loa, y guía su implementación. El anterior estándar en nuestro país, correspondía a la utilización de metodologías de cálculo de los requerimientos hídricos mediante métodos como el caudal ecológico de la DGA, el cual está basado principalmente en la estadística de caudales y la utilización de criterios de tipo experto.

Actualmente, existe un desarrollo previo respecto de la estimación de caudales ambientales asociados al desarrollo de proyectos de centrales hidroeléctricas, la cual corresponde a la "Guía Metodológica para Determinar el Caudal Ambiental para Centrales Hidroeléctricas en el SEIA" (SEA, 2016). Esta guía, en comparación con una metodología basada en estadística, presenta un enfoque más integral e incorpora variables ambientales del sistema al análisis,

en busca de una evaluación integrativa de los requerimientos de todas las componentes, tanto bióticas como abióticas que depende (y utilizan) del río.

La Guía del SEA contiene y compartirá con el presente desarrollo, muchas definiciones y conceptos sobre la ecología, funcionamiento, servicios ecosistémicos, condición y necesidades de un río, ya que ambas están basadas en el concepto de caudal ambiental. Aun así, la primera y fundamental diferencia entre ellas, está dada por el objetivo (y alcance del análisis) de fondo de la determinación del caudal ambiental.

La guía del presente estudio considera al río de forma integral, reconociendo su conectividad y dependencia entre los tramos y variables, lo que obliga a realizar un análisis completo del sistema sin el descartar a *priori* los efectos y respuestas sinérgicas, propias de un sistema continuo como lo son los ríos de nuestro país. Además, el análisis propuesto en la Guía del SEA está enmarcado en la evaluación de proyectos en el SEIA, el cual exige un análisis para la condición actual del sistema (Línea de base del proyecto) y no exige considerar una condición más natural del sistema, que en estricto rigor, es sobre la cual se deben realizar los análisis del caudal ambiental. Así, la presente guía basa el análisis en una condición "natural" (o lo más natural posible con el conocimiento del sistema) de los flujos en él, descontando las alteraciones externas y antrópicas del caudal.

En cuanto al uso de esta guía, ella podrá ser utilizada por los principales actores en la gestión del recurso hídrico en la cuenca, tales como servicios públicos asociados al tema, universidades, y todos aquellos actores con interés en participar en la mejora del uso del recurso del sistema. Esto tendrá beneficios directos sobre la gestión del recurso hídrico en la cuenca, considerando las distintas variables ambientales que conforman el sistema y que son evaluadas de forma integrativa en el desarrollo de la metodología.

El río Loa pertenece a una cuenca muy particular, ya que los eventos de precipitación se concentran en la parte alta de la cuenca y en la época estival. Además, corresponde al río de mayor extensión de Chile, y que se desarrolla en una de las zonas más áridas del mundo. Por lo anterior, el análisis del caudal ambiental del sistema es necesario para poder determinar cuál es la condición actual del sistema intervenido respecto de la condición deseable (caudal ambiental), poder evidenciar la posible existencia de recursos disponibles para ser utilizados, visibilizar la necesidad de una reparación del sistema, proyectar el uso futuro, entre otras.

Para poder documentar y validar la metodología a utilizar, se realizó un (1) taller de trabajo participativo con la participación de expertos (2) y los actores principales en la gestión de los recursos hídricos de la cuenca (servicios públicos competentes, académicos, entre otros). La validación final de la metodología de la Guía incluye las recomendaciones y resultados del taller de trabajo y de la contraparte técnica. De esta actividad se obtuvo el producto final de la Guía Metodológica, la cual fue impresa como un medio de difusión del estudio.

2.5 OE-3: Analizar los costos/beneficios de la implementación de caudales ambientales en la cuenca del río Loa.

Las actividades desarrolladas en este objetivo son las siguientes:

2.5.1 Selección de los servicios ecosistémicos

Esta actividad toma la información generada en el punto 2.3.2.1.1, y prioriza aquellos servicios en un esquema similar al utilizado en la Figura 2.17.

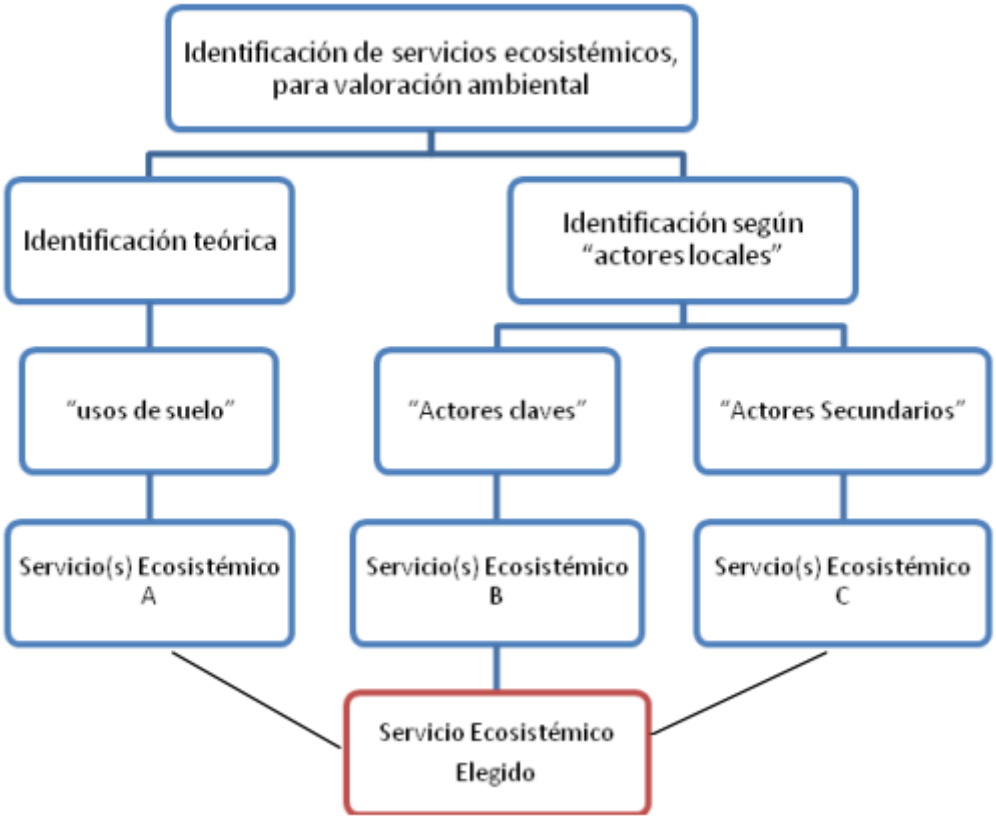


Figura 2.17. Modelo conceptual del proceso de selección de servicios ecosistémicos para valoración ambiental. Fuente: GORE Aysén, 2010. Diagnóstico Ambiental Cuenca del Río Aysén y Sector Costero Adyacente

La selección de los servicios ecosistémicos de la cuenca del Río Loa se realiza no sólo desde la perspectiva ambiental, sino que también desde las perspectivas socioeconómica y productiva.

2.5.2 Valoración de servicios ecosistémicos y evaluación costo/beneficio

A partir del punto anterior, se efectuó un ejercicio de valoración de servicios ecosistémicos de la cuenca, bajo el enfoque CICES y MMA (2014).

Dicho análisis se complementó con una evaluación costo/beneficio social de la implementación de los caudales ambientales determinados en el punto 0 y en diversos escenarios (punto 2.4.4). Se deriva de este análisis un marco propositivo respecto a la necesidad de levantar nueva información, la adquisición de bienes y activos, la modificación de estructuras hídricas y la construcción de obras, así como, la implementación de manejos operacionales por parte de los usuarios del recurso, como consecuencia de la revisión de los impactos productivos asociados.

En la evaluación de los beneficios se considera sus dimensiones hidrológicas, ecosistémicos, patrimoniales y socioculturales. Adicionalmente se desarrolla una evaluación macroeconómica de cada escenario, atendiendo a sus implicancias regionales en materia de desarrollo industrial, agrícola y urbano. Para este efecto se recurre a los criterios utilizados en la modelación clásica IS-LM-BP. Este análisis da lugar a recomendaciones respecto de la implementación de caudales ambientales en la cuenca.

2.5.3 Evaluación macroeconómica

Para la evaluación macroeconómica, en este contexto, se estima el impacto sobre la demanda y oferta agregada (consumo, inversión, empleo, producción), a nivel regional de la aplicación de caudales ambientales en diversos escenarios simulados, suponiendo como línea base la situación actual. Los posibles movimientos positivos o negativos de la oferta y demanda agregada generan cambios en los niveles de equilibrio de variables macroeconómicas relevantes, como tasa de interés, nivel de precios y tipo de cambio y, por tanto, pueden generar impactos predecibles grosso modo en el desarrollo del sector agrícola, industrial, así como en la economía de los sectores urbanos de la región. Este análisis permite generar recomendaciones para la implementación de caudales ambientales en la cuenca del río Loa.

Se operacionaliza el uso del modelo clásico IS-LM-BP, desde la perspectiva de una economía regional, primero cerrada y luego abierta al comercio interregional e internacional, para efectos de la construcción de escenarios y su posterior análisis, con arreglo a la estimación de la evolución de las variables macro ya señaladas, en el corto y largo plazo. El Modelo IS-LM-BP permite, de una forma práctica, definir la función de Demanda y Oferta Agregada y ver los efectos de shocks y políticas macroeconómicas, sobre su equilibrio. De tal manera, los modelos IS-LM e IS-LM-BP, integran el mercado de bienes, de dinero y le subyace el mercado laboral reflejando las interacciones entre macro-mercados.

Complementariamente, por medio de la metodología de la Evaluación Social de Proyectos, definiendo una línea base, se identifican, miden y valorizan los beneficios y costos de la

aplicación del caudal ambiental, desde el punto de vista del Bienestar Social. Para estos efectos se supone que el agente económico dueño del proyecto es el conjunto de la sociedad. Entre otros aspectos, se utilizan los precios y tasas de descuento sociales, se mide el aporte al ingreso nacional y el ingreso nacional sacrificado, presumiendo que los agentes económicos no perciben en su función de utilidad todos los costos y beneficios que sus acciones generan (por ejemplo, externalidades, efectos secundarios e indirectos).

Este análisis permite: Tomar decisiones sobre asignación de recursos escasos, comparar contra una situación base optimizada, Identificar, medir y valorar los beneficios y costos de la aplicación de caudales ambientales en diversos escenarios.

Este enfoque trata de determinar el mejor uso de los recursos escasos mediante: Identificar beneficios y costos sociales, medir beneficios y costos sociales y valorar beneficios y costos sociales

Se busca maximizar la Función de Bienestar Social (W); en definitiva, se busca la variación del bienestar social a causa de un proyecto.

Es importante considerar que esta función depende del nivel de bienestar (U) de cada integrante de la comunidad e incluye juicios de valor sobre la ganancia de bienestar social debida al aumento del bienestar individual de diferentes miembros participantes de la Región.

Se identifican:

• Los Costos Económicos, como pérdida de bienestar asociada a la menor disponibilidad para el resto de la economía de los factores e insumos que utilizará el proyecto.

• Los Beneficios Económicos, como incrementos del bienestar asociados a la producción que agregará el proyecto y a los ahorros de recursos.

2.6 OE-4: Realizar una transferencia y difusión de la metodología para la evaluación del caudal ambiental, incluyendo el desarrollo de una cartera de proyectos.

Este objetivo se separa en dos actividades principales, la primera asociada a la difusión de las actividades y resultados del proyecto, y la segunda a la capacitación y formación de capacidades permanentes en la región, en las materias asociadas a la relación entre los ecosistemas y las actividades humanas en el territorio.

2.6.1 Actividades de difusión

2.6.1.1 Material de Difusión

Elaboración de un video educativo: Se desarrolló un video educativo, didáctico, cuyo objetivo fue entregar información respecto al diagnóstico del estado actual en que se encuentran los cuerpos de agua, la valoración social y económica de los servicios que presta el recurso y las implicancias de determinar el caudal ambiental del río Loa, además de otros contenidos que pudiesen surgir a partir de las reuniones con la contraparte técnica.

Dado lo anterior, se llevó a cabo la obtención de material gráfico que incluye los muestreos, reuniones, talleres, entrevistas, entre otros eventos de interés a modo de presentar cada una de las actividades desarrolladas por la consultora. Se entregan 200 (doscientas) copias en formato pendrive.

Afiches: Se elaboró un afiche del proyecto, cuyo diseño gráfico fue consensuado con la contraparte técnica. Se entregó a la contraparte técnica el máster en original y 1.000 (mil) ejemplares del afiche 4/0 color en couché opaco de 200 gr, de tamaño 40x70 cm.

Tríptico: Se elaboró un tríptico del proyecto, cuyo diseño gráfico fue consensuado con la contraparte técnica. Se entregó a la contraparte técnica el máster en original y 1.000 (mil) ejemplares del afiche 4/4 color en couché opaco de 200 gr, de tamaño carta (21,6 x 27,9 cm).

Guía de Caudal Ambiental: Se generaron 200 ejemplares de la “Guía metodológica para la estimación del caudal ambiental en la cuenca del río Loa” en couche brillante 200 gr, tamaño carta (21,6 x 27,9 cm). Además, se entregó máster en formato original.

2.6.1.2 Charlas y talleres de difusión

Se realizaron 2 charlas de difusión de las actividades del estudio, orientadas a la comunidad en general, desarrolladas de común acuerdo con el mandante, y citadas por este último.

Adicionalmente se realizó un taller de presentación de resultados finales; siendo este el taller final donde se presentaron todos los puntos abordados por este estudio.

2.6.2 Actividades de capacitación

Se desarrollaron 3 capacitaciones, focalizadas en los siguientes tópicos u otros, definidos en conjunto con la contraparte técnica.

a) Uso de equipos y acercamiento de términos técnicos

b) Metodología para la evaluación de caudal ambiental

c) Uso y operación del modelo hidrológico seleccionado

Para las dos primeras capacitaciones se incluyó la participación de al menos un experto validado con la contraparte técnica, los cuales fueron parte del propio equipo consultor o externo y la metodología utilizada fue el desarrollo de una jornada capacitación, enfocada a los servicios públicos de los ministerios y entidades asociadas a las temáticas del proyecto (MMA, DGA, CONAF, u otros).

En la tercera capacitación se realizó la transferencia en el uso del software utilizado a lo largo del estudio a la contraparte técnica y a las personas que la contraparte definió. Debido a que el software es pagado, se hace entrega de una licencia al finalizar el contrato del estudio.

2.6.3 Cartera de Proyectos

A objeto de avanzar en la solución del problema definido en la Figura 2.18, se desarrolló una cartera de proyectos que abordó otras temáticas dentro de las causas del problema. Para ello, se identificaron los principales vacíos de información, mediante la proposición de una lista de estudios y/o proyectos (cartera de proyectos) que podrán contribuir a mejorar la calidad de la información, con sus respectivos objetivos y alcances, priorizando finalmente aquellos que son de mayor relevancia para complementar y mejorar la gestión medioambiental del río Loa y sus tributarios. Lo anterior, con el propósito de ajustar las acciones de mediano plazo propuestas en el siguiente plan de gestión, así como establecer aquellas que deben ser consideradas en el largo plazo.

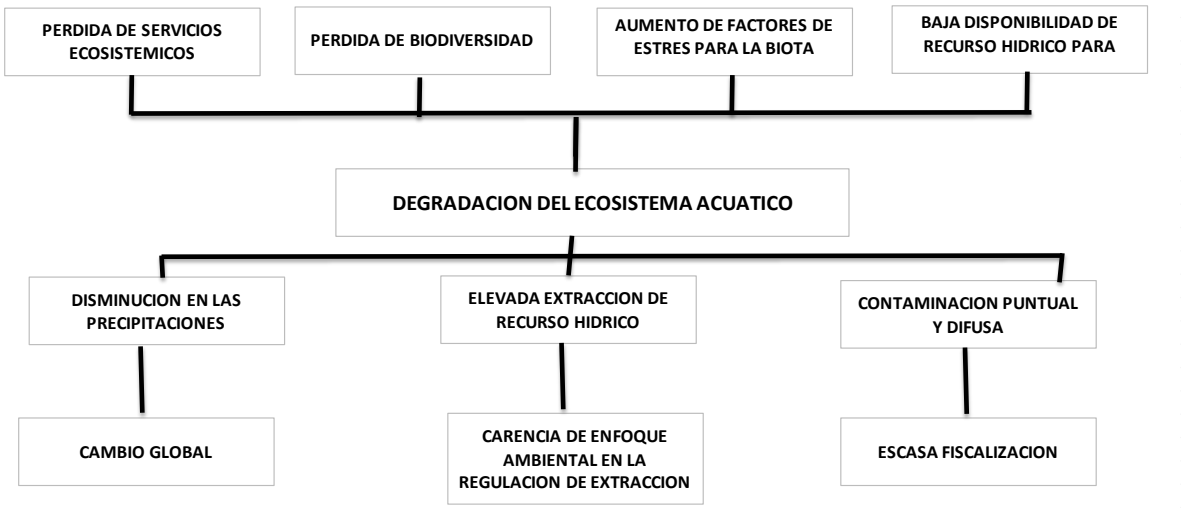


Figura 2.18. Árbol de problemas. Fuente: Bases de Licitación

Con la información disponible y los problemas identificados en la Figura 2.18, se creó un árbol de soluciones que contiene los proyectos o estudios propuestos a modo de responder la totalidad de las causas del problema asociado a la degradación del sistema acuático del río Loa y tributarios.

Este plan considera acciones en el ámbito administrativo, así como técnicas de saneamiento, de control y seguimiento, entre otras. Para la selección de dichas alternativas se tomaron en consideración aspectos como costos, efectividad de las medidas, complejidad de implementación, entre otros aspectos.

Se propuso una cartera de proyectos, en un único documento bajo la tipología de mapa de proyectos, el que incluye:

a) Diseño de proyectos asociados a la prevención de efectos ambientales adversos sobre el medio ambiente, provenientes de actividades productivas, tales como propuestas para mejorar la evaluación de proyectos, incorporación de nuevas tecnologías que optimicen el recurso hídrico, entre otras.

b) Diseño de proyectos asociado a la recuperación de los sitios de relevancia ecológico e hidrológico y socio-productivos, de manera directa o indirecta, a modo de asegurar un caudal ambiental durante todo el año. Las propuestas incluyen, entre otros, un análisis de costos, factibilidad y alternativas de financiamiento.

La modalidad de presentación y propuestas fueron discutidas y consensuadas con la contraparte técnica (ver Anexo 8.7). La tipología para el diseño de iniciativas se realiza con el nombre de “programa” o “estudio”, y se entrega en formato ad-hoc para su postulación al Sistema Nacional de Inversiones (http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/).

3 DESARROLLO OE-1

3.1 Levantamiento de información disponible

3.1.1 Descripción de la cuenca

La Cuenca del río Loa (código DGA: 021) se ubica administrativamente en las regiones de Tarapacá y Antofagasta, cubre una superficie total de 33.570 km^2 cuyo perímetro alcanza una extensión de 874 km; limita al norte con la Cuenca Pampa del Tamarugal, y al sur, con Cuencas Quebrada Caracoles y Salar de Atacama, al oriente con Cuencas Fronterizas Michincha, y al poniente, con Cuencas Costeras Quebrada Caracoles (ARCADIS 2016).

Se caracteriza por ser una cuenca de tipo exorreica, la cual desemboca al mar en la comuna de Tocopilla. Su curso fluvial principal corresponde al río Loa, que presenta una elevación que fluctúa desde su sección más alta en la cual alcanza los 4000 m.s.n.m. (Este) hasta los 0 m.s.n.m. en su desembocadura. Se alimenta de decenas de vertientes a lo largo de su trayecto, entre los principales tributarios se encuentran los ríos San Pedro, Salado y San Salvador, junto con la quebrada Amarga. El río San Pedro, sin embargo, es captado en su totalidad por la industria minera, mediante extracciones superficiales y subterráneas, por lo que su aporte actual al afluente principal es mínimo (DGA 2014).

Cabe destacar que, si bien la superficie de la hoya hidrográfica es considerable, sólo es activa en un 20%, vale decir, capta recursos hídricos de la precipitación en una quinta parte, ubicada principalmente en la alta cordillera (DGA 2014). Es justamente esta característica la que genera que esta zona sea la más árida del mundo, ya que responde a los tres factores que generan condiciones de prácticamente nula precipitación, casi 0 mm $año^{-1}$ (García-Cevesich 2015):

a) *Corrientes oceánicas frías: Es el caso de la corriente de Humboldt, la cual enfría el aire costero de la región, generando una precipitación en forma de lluvia o niebla antes que ingrese al continente* (García-Cevesich 2015).

b) *Ubicación en el trópico de Capricornio: Zona emplazada a 23.5° al sur de la línea ecuatorial. Esta condición afecta directamente en la condición hiperárida del desierto de Atacama debido a los cinturones de vientos ecuatoriales, donde el aire caliente que constantemente está ascendiendo en el Ecuador crea cinturones de viento que paulatinamente se van alejando hacia los trópicos. Cuando el aire desciende en el trópico de Capricornio, este se encuentra lo suficientemente seco como para generar nubes* (García-Cevesich 2015).

c) *Sombra orográfica: Las grandes barreras montañosas, en este caso, la Cordillera de la Costa en la parte occidental de la región y en la zona oriental la Cordillera de los Andes, generan una disminución constante de la humedad en el aire en la medida que este se eleva, finalmente cuando el aire cruza esta barrera la humedad que contiene es bajísima* (García-Cevesich 2015).

Aun así, existen registros históricos puntuales en los que han ocurrido eventos de precipitaciones dentro de la cuenca asociadas al fenómeno ENOS, sin embargo, existe dificultad en determinar si existe correlación entre la intensidad de estas precipitaciones con la intensidad del fenómeno del Niño.

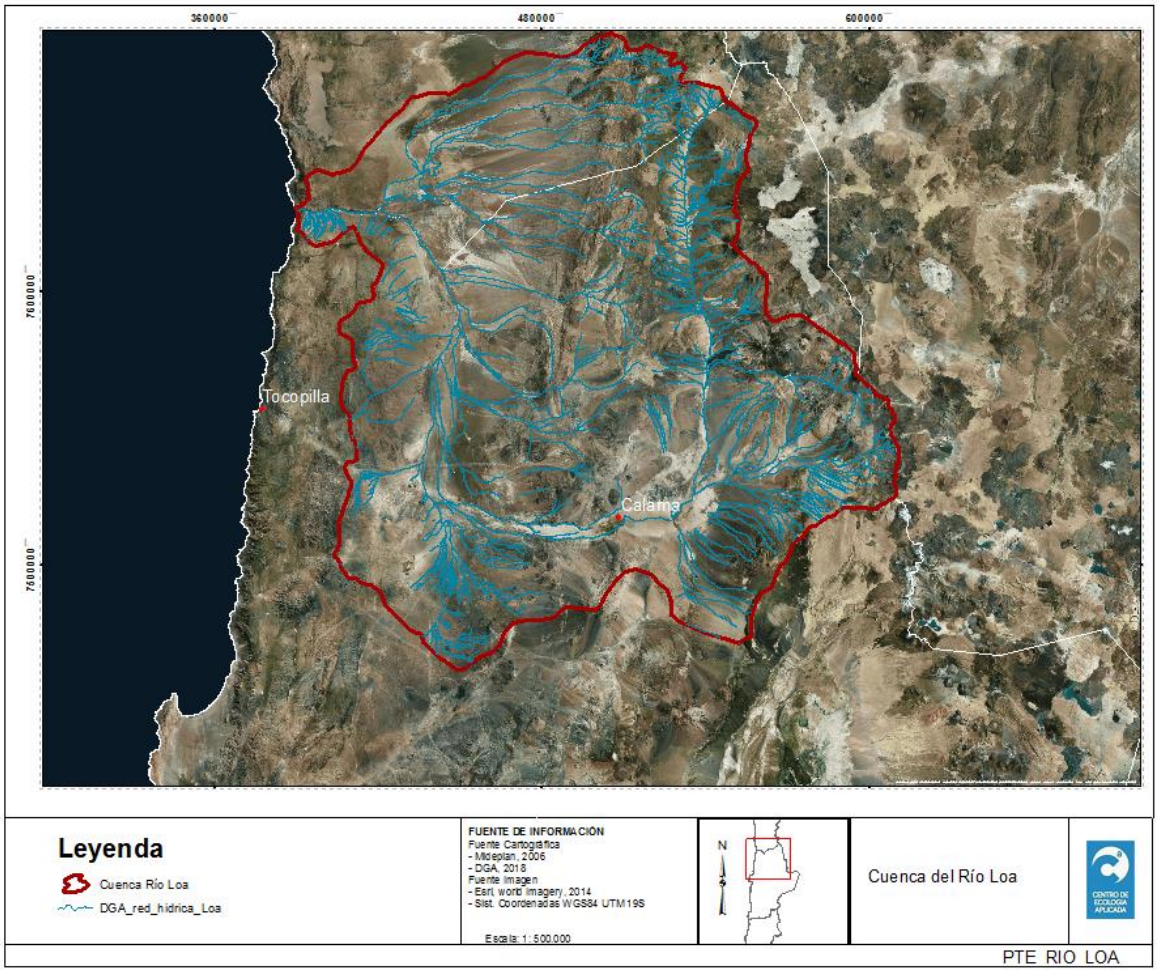


Figura 3.1. Red hídrica de la Cuenca del río Loa. Elaboración propia 2018.

3.1.1.1 Geomorfología

3.1.1.1.1 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).

3.1.1.1.2 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).

3.1.1.1.3 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).

3.1.1.1.4 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 km^2, respectivamente (Börgel 1983).

3.1.1.1.5 Pampa del Tamarugal

Con una superficie estimada en 17.253. km^2, 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).

3.1.1.1.6 Pediplanos, glacis[1] y piedmont

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).

3.1.1.1.7 Planicie marina

Considerando las características de la costa de solevantamiento que tiene este litoral, las planicies son de breve desarrollo, interrumpidas por estribaciones[2] 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 estrán[3] 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).

3.1.1.1.8 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[4] 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).

1 Glacis: Vastas llanuras en el piedmont con una inclinación muy suave y que están recubiertos por una película de detritos. Constituyen la transición entre las zonas elevadas y las áreas de bajo relieve, en las que imperan el transporte y la sedimentación (Ibañes, Moreno y Blanques 2010). Plano inclinado dispuesto al pie de un cerro en zonas áridas (Börgel 1983)

2 Estribaciones: relieves menores que se desprenden de uno mayor (Börgel 1983).

3 Estrán: sección media de una playa en la zona intermareal (Börgel 1983)

4 Estompar: Dilución de un relieve en formas menores (Börgel 1983

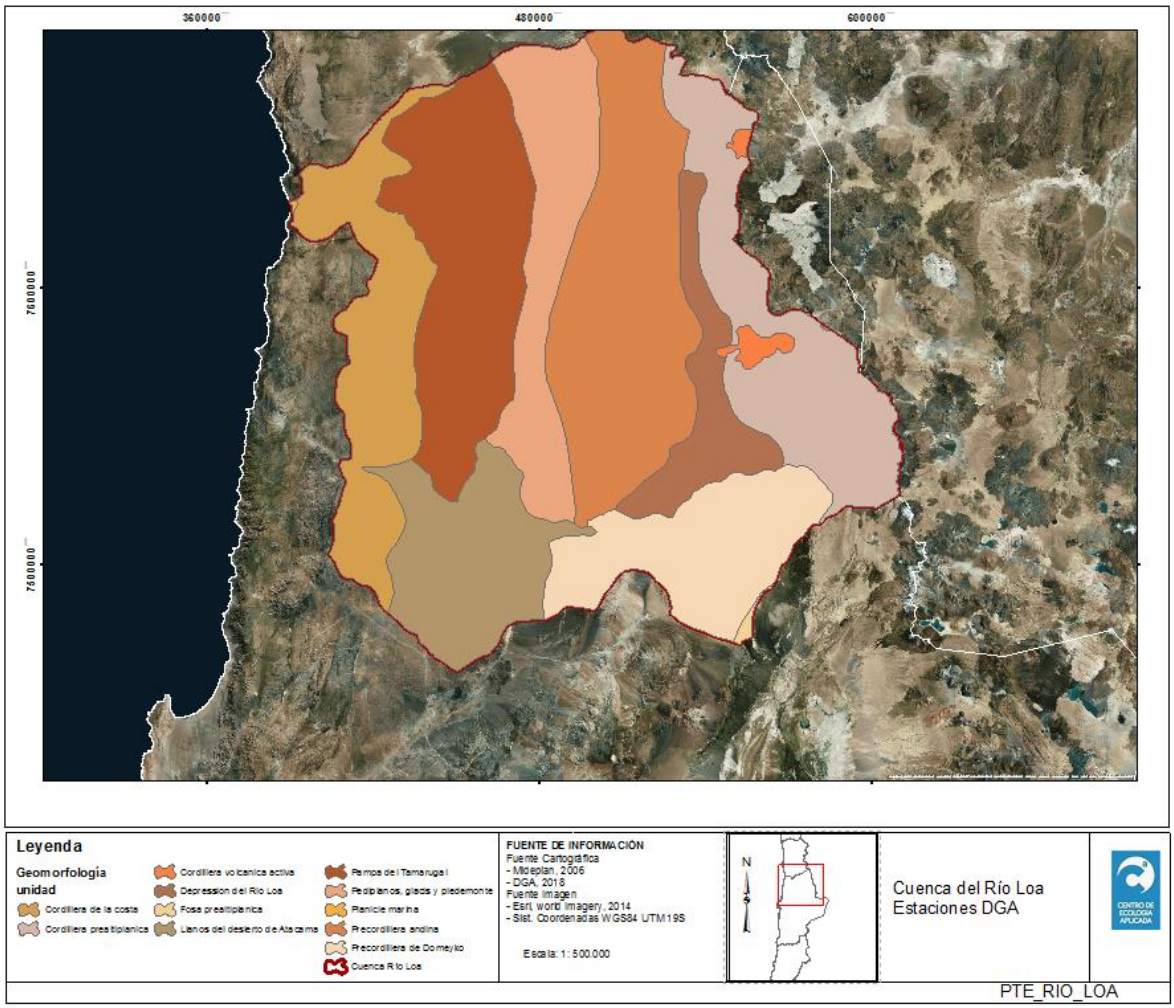


Figura 3.2. Geomorfología de la cuenca del río Loa. Elaboración propia 2018.

3.1.1.2 Edafología

Los suelos del Norte grande se caracterizan por ser desiertos. En la cordillera de la costa hay presencia de entisoles con gran variedad en textura, profundidad, pedregosidad, color y desarrollo, principalmente de origen coluvial. Por otra parte, en la depresión intermedia, predominan suelos de origen aluvial, de texturas gruesas, con diferentes grados de salinización y sodificación. Finalmente, en la parte alta de la cuenca, destacan los suelos devenidos de material vegetal o bofedales (Histosoles) (Flores P et al. 2010).

Según Casanova et al, dentro de la macrozona norte existen 3 subdivisiones en las cuales existen distintos tipos de suelo tal como se observa en la tabla 5.1.

Tabla 3.1. Extracto de macrozonas de suelo en Chile. Adaptado de Suelos de Chile (Casanova et al. 2013).

Zona	Subdivisión	Suelos
Hiperárida a zonas áridas (18-32°)	Altiplano	Suelos esqueléticos
		Suelos con incipiente pedogénesis
		Suelos en depresiones
	Valle central longitudinal	Suelos de depositaciones de llanura o piedmonts
		Suelos salinos

a) *Suelos esqueléticos: Corresponden a suelos que se encuentran en la zona altiplánica del Norte Grande y se caracterizan por presentar un escaso desarrollo, con una pedogénesis primaria de diversos materiales parentales. Es posible observar estructuras de bloques, pero generalmente se observan masivos y granitos. Los típicos perfiles de estos suelos corresponden a horizontes A-R con una profundidad que normalmente alcanza un rango de 40 a 60 cm. Normalmente esos suelos presentan fragmentos gruesos volcánicos del orden de 5 a50% en superficie y con tamaños que varían de gravas gruesas anculares a guijarros. Así mismo, los suelos esqueléticos presentan un bajo contenido de materia orgánica (>1%), y una capa superficial de sal (de 1 a 10 cm) causa de procesos de transporte eólico.*

b) *Suelos con incipiente pedogénesis: Corresponden a suelos volcánicos cuyas clases texturales van de medias a moderadamente finas en superficie y gruesas capas arenosas con presencia de gravas volcánicas en profundidad. En relación a la estructura de estos suelos se observa un buen desarrollo de bloques cercano a la superficie, sin embargo, bajo los 20 centímetros de profundidad predomina la estructura de masivos. Se presume que la fracción de arcilla presente en los perfiles debe ser la responsable de la alta retención de agua de estos suelos además de la capacidad de intercambio catiónico que poseen, ya que al igual que los suelos esqueléticos, la cantidad de materia orgánica es menor (Casanova et al. 2013).*

c) *Suelos en depresiones: Estos suelos se encuentran en la depresión del río Loa, que se extiende cerca de 50 km y se ubican entre los 500 y 1000 m.s.n.m., se caracterizan por presentar sectores con una dura corteza en superficie compuesta por sales o sílice, remanentes de antiguos salares. El valle central posee una gruesa capa de detritos y sedimentos lacustres (grava, arena, limo y arcilla), cuyo origen se estima desde mediados del periodo Terciario al Holoceno (Casanova et al 2013).*

d) *Suelos de depositaciones de llanura o piedmonts: Estos suelos se caracterizan por presentar un muy débil desarrollo del perfil y comprende una mixtura de sedimentos aluviales y coluviales, los cuales pueden ser salinos en ocasiones, incluyendo los suelos que corresponden al piedmont de la Cordillera de los Andes. Los suelos ubicados en llanuras se caracterizan por poseer una estructura de bloques angulares gruesos principalmente y son los suelos más representativos del desierto de Atacama, los aridisoles (Casanova et al. 2013).*

e) *Suelos Salinos: La depresión pre andina, también llamada, Depresión del desierto de Atacama, es una gran cuenca cerrada emplazada a los 2.500 m.s.n.m., cuyos suelos se componen de sedimentos clásticos y evaporíticos de origen continental que datan del periodo Terciario al Holoceno. El desarrollo de los suelos sobre los depósitos de evaporitas representan ecosistemas extremos dados sus características y propiedades. A pesar de que estos suelos presentan una dura costra salina en superficie (que en algunos casos puede llegar a profundidades de un metro), se generan condiciones favorables para el establecimiento de especies halófitas (Casanova et al. 2013).*

3.1.1.3 Clima

Producto del relieve presente en la región de Antofagasta es que se presentan marcados tipos climáticos descritos a continuación.

3.1.1.3.1 Desértico costero nuboso

En la faja costera de la zona impera un clima desértico con nublados abundantes, siendo los elementos climáticos sobresalientes la ausencia de precipitaciones, un alto porcentaje de días con nublados matinales, humedad relativa elevada y temperaturas que presentan poca variación diurna y estacional. Esta uniformidad se debe a la cercanía del océano, a la influencia moderadora de la corriente de Humboldt y a la presencia del anticiclón semipermanente del Pacífico sur, que genera estabilidad atmosférica. Este sub tipo climático se caracteriza por presentar temperaturas medias del orden de 18 °C y precipitaciones costeras cercanas a los 2,6 mm. anuales (DMC 2001; Inzunza; BCN 2018).

3.1.1.3.2 Desértico interior

Hacia el interior de la región por sobre los 1000 m.s.n.m. la influencia marina se pierde, el clima se vuelve extremadamente árido, con ausencia de precipitaciones y valores de humedad relativa menores al 25%, lo que caracteriza a esta área como una de las más secas del norte chileno. Existe una gran amplitud térmica entre el día y la noche, con temperaturas diurnas que logran superar los 30 °C mientras que durante la noche puede bajar de los 0°C, esto producto de la escasa nubosidad y cubierta vegetal que permitan mantener la temperatura alcanzada durante el día (DMC 2001; Inzunza; BCN 2018).

3.1.1.3.3 Desértico marginal de altura

A mayor altura entre los 2500 y 3500 m.s.n.m. se ubica el sector climático desértico marginal de altura, donde se presentan precipitaciones del orden de 20 a 100 mm anuales y una temperatura media de 10°C. Esta condición permite el asentamiento de poblados precordilleranos como lo son San Pedro de Atacama, Toconao y Chiu Chiu (DMC 2001; Inzunza; BCN 2018).

3.1.1.3.4 Estepa de altura

El clima de estepa de altura o de puna se localiza en los márgenes del desierto por sobre los 3500 m.s.n.m y se caracteriza por presentar una gran amplitud de temperatura diurna y nocturna, superior a los 20° C. Las precipitaciones se concentran principalmente en verano causa del invierno boliviano o altiplánico, alcanzando valores entre los 100 y 300 mm anuales. A continuación, en la Figura 3.3 se observa la clasificación climática de Koppen para la precipitación en el área de estudio (DMC 2001; Inzunza; BCN 2018).

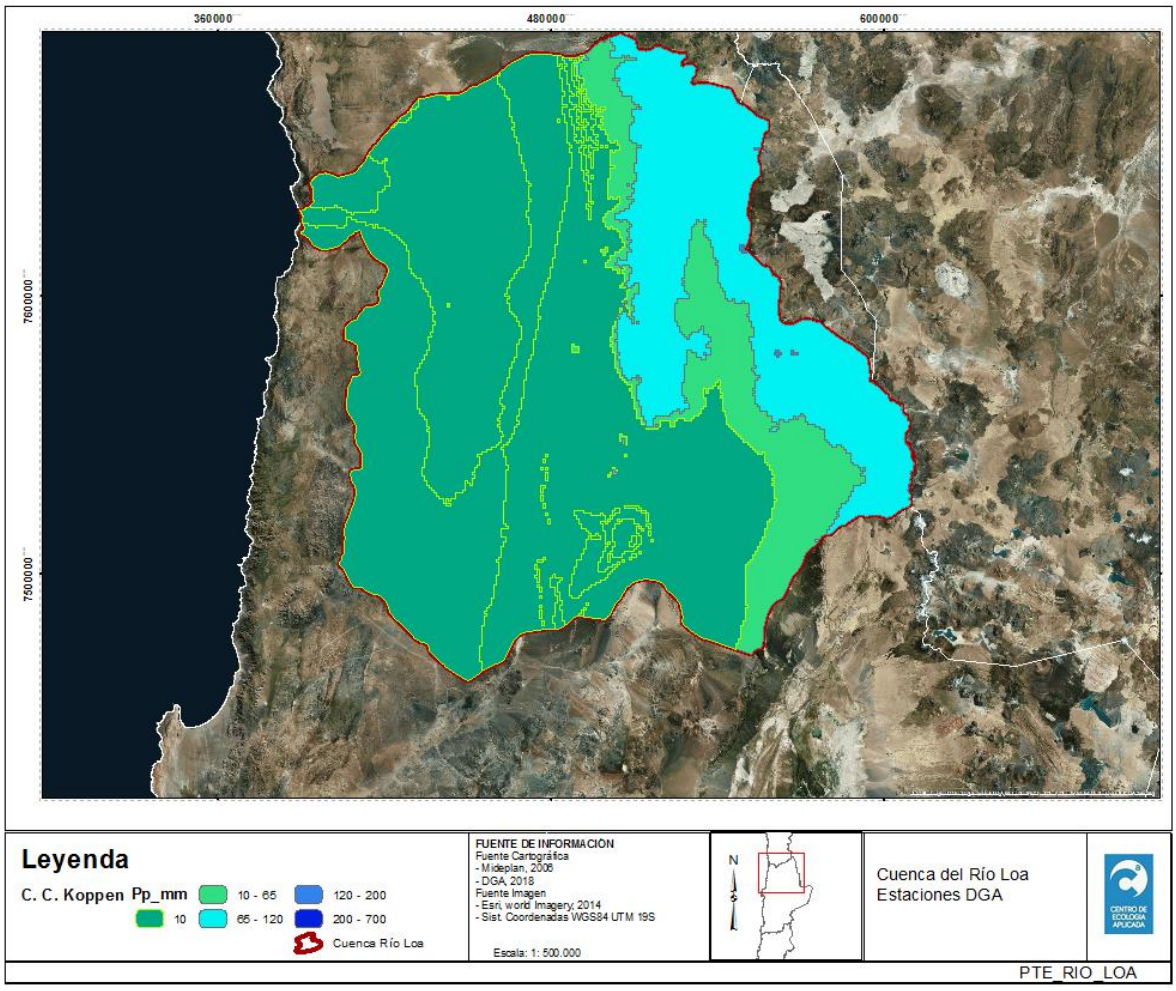


Figura 3.3. Clasificación climática de Koppen, precipitaciones medias. Elaboración propia 2018.

3.1.1.3.5 Sitios prioritarios para la conservación

Según la definición que entrega el Ministerio del Medio Ambiente en su portal web, los sitios prioritarios para la conservación corresponden a espacios que, en condiciones naturales, entregan servicios ecosistémicos de relevancia o cuyos ecosistemas, hábitats, especies, paisajes o formaciones naturales presentan características únicas, de escasez o representatividad y en las cuales es posible aplicar medidas de gestión para la conservación (MMA 2018). Dentro del área de estudio es posible identificar 6 zonas que presentan las características descritas y que en su conjunto representan 331.686 hectáreas, lo cual se detalla en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Sitios prioritarios para la conservación presentes en la cuenca del río Loa. Adaptado del Diagnóstico y Evaluación de la Estrategia Regional e Biodiversidad, región de Antofagasta 2002-2015

Área Prioritaria de Biodiversidad	Nombre	Comuna	Superficie Ha
Sitios prioritarios para la conservación	Desembocadura del Río Loa	Tocopilla	10857
	Oasis de Quillagüa	María Elena	1822
	Cuenca Alto Loa	Calama- Ollagüe	207440
	Geisers del Tatio	Calama	1533
	Oasis de Calama	Calama	4576

a) *Cuenca Alto Loa: Dentro de los dominios de esta zona se encuentran los ecosistemas de puna y pre puna, que albergan gran diversidad de especies, muchas endémicas y clasificadas en estado de conservación por el ministerio del medio ambiente (Seremi del Medio Ambiente, 2013).*

b) *Geisers del Tatio: Este atractivo corresponde a un campo geotermal localizado en los montes andinos de la región de Antofagasta, aproximadamente a 4.320 m.s.n.m, se encuentra dentro de la comuna de Calama y el poblado más cercano es Caspana. Esta zona se caracteriza por poseer el grupo más grande de géiseres del hemisferio sur, el cual contiene un total de 80 géiseres activos que corresponden a un 8% del total a nivel mundial. Los géiseres no presentan una altura superior a los 75 cm, y el agua que emerge a una temperatura de 86 °C, que es su punto de ebullición a esta a altura (Sernatur 2012).*

c) *Oasis de Calama: La ciudad de Calama se desarrolla en torno a este oasis, generando una importante presión sobre el ecosistema debido a la urbanización. La principal función de esta zona es formar parte del corredor biológico que presenta la cuenca del río Loa (Conama 2002).*

d) *Oasis de Quillagua: Representa un punto relevante dentro del corredor biológico de la cuenca del río Loa, además posee especies endémicas de la localidad, principalmente en la flora (Conama 2002).*

e) *Desembocadura del río Loa: Esta zona es única dentro del territorio chileno ya que corresponde a la desembocadura del río Loa el cual cruza completamente el desierto más árido del mundo extendiendo su recorrido en 440 km. Durante este recorrido el Loa riega distintos valles generando pequeños oasis con gran diversidad de flora y fauna. El contraste que se genera entre la vegetación rivereña y el desierto, le entrega una característica única (Sernatur 2012). Siendo el único ambiente de estuario en la región, presenta una alta importancia ecológica presentando flora endémica y representando un importante sitio de reproducción de especies, tanto acuáticas como avifauna, además es el único corredor biológico desde la puna a la costa que existe (Conama 2002).*

f) *Acuíferos protegidos: mediante la Resolución DGA No.529 se modificó la delimitación de acuíferos para la región de Antofagasta, quedando protegidos 228 humedales y una superficie de 5.149 km2 equivalentes al 4.07% de la superficie total regional. Estos acuíferos dan sustento a actividades agroganaderas y de subsistencia de las comunidades andinas.*

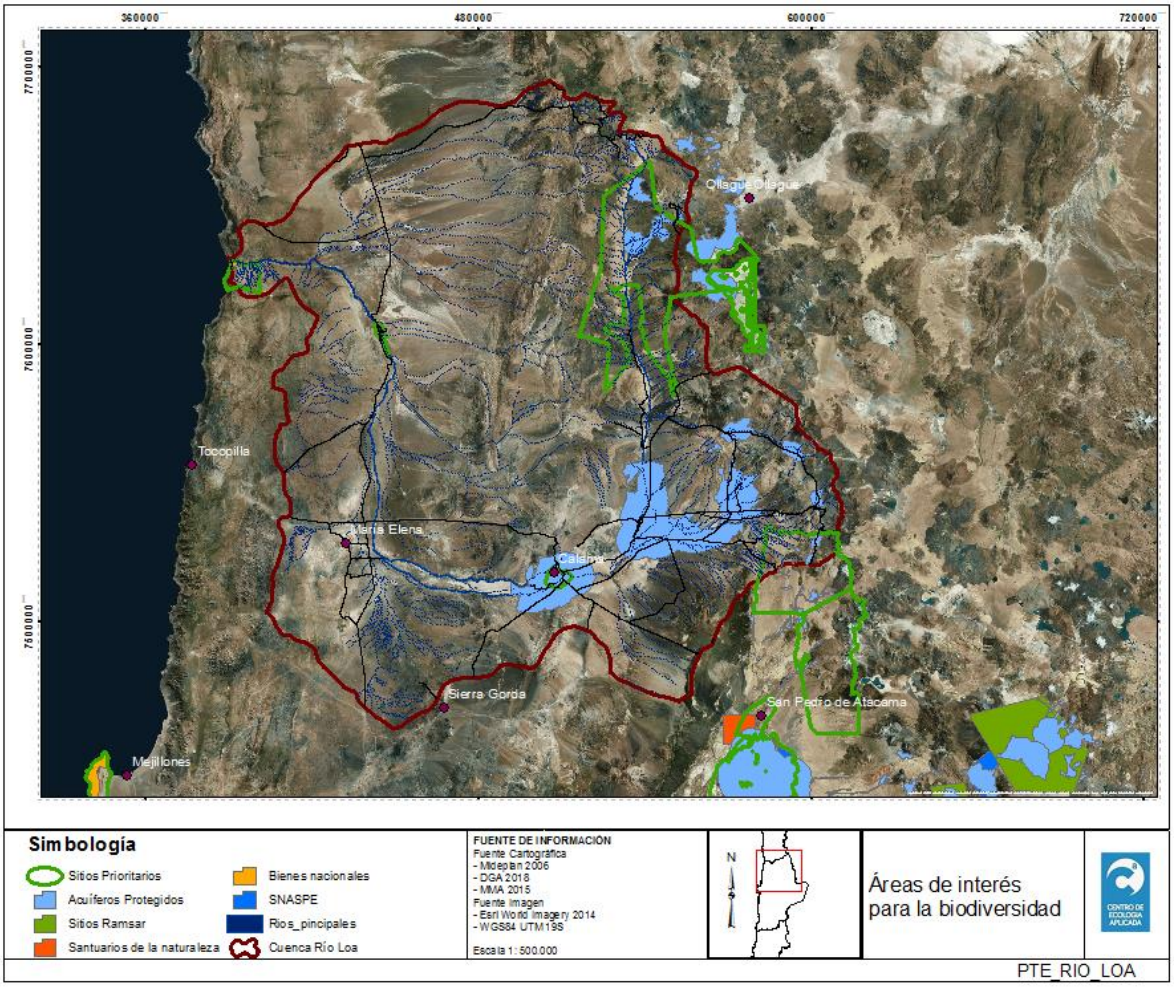


Figura 3.4. Áreas de interés para la biodiversidad. Elaboración propia 2018.

3.1.1.4 Biodiversidad

Siendo la región de Antofagasta una de las más extensas y desértica de Chile, también alberga una gran biodiversidad, en fauna casi de la mitad de los mamíferos presentes a nivel nacional, se encuentran en la región identificando de momento 74 especies (Ciren 2016). La mayor parte de los individuos se encuentran en ecosistemas con la capacidad de sustentar la vida como lo son las zonas costeras, salares altoandinos y el río Loa que actúan como verdaderos oasis en el desierto (Ciren 2016).

3.1.1.4.1 Pisos vegetacionales de Pliscoff

Los pisos vegetacionales están definidos por su autor como "espacios caracterizados por un conjunto de comunidades vegetales zonales con estructura y fisionomía uniforme, situadas bajo condiciones mesoclimáticas homogéneas, que ocupan una posición determinada a lo largo de una gradiente de elevación, a escala espacio-temporal específica", es decir un piso vegetacional se caracteriza por especies dominantes específicas asociadas a un piso bioclimático en el cual tales formaciones pueden ser encontradas (Pliscoff 2006). Según la información cartográfica levantada por el mismo autor en 2015, en la zona de estudio es posible identificar 10 pisos vegetacionales, como puede observarse en la Figura 3.5.

i. Desierto tropical interior con vegetación escasa

Esta área se distribuye en los confines de la Pampa desértica en el interior de las regiones de Tarapacá y Antofagasta, entre los 200 y 2.000 m.s.n.m. La gran sequedad de esta zona producto de la barrera que representa la cordillera de la costa a la humedad que proviene desde el océano pacifico, determina que exista escasa o nula cobertura vegetal predominando suelos desnudos, salvo sectores aislados en los que existen napas subterráneas salobres con presencia de matorrales halófitos como la *Tessaria absinthioides* (Luebert y Pliscoff 2006; CIREN 2016).

Es posible que exista una mayor diversidad de comunidades vegetales en esta zona, sin embargo, no existe un mayor desarrollo sobre el conocimiento botánico de estas en Chile, por lo que no se presentan datos sobre la composición florística de este piso vegetacional.

Comunidades intrazonales: *Tessaria absinthioides- Distichlis spicata* (suelos halomórficos)

ii. Matorral bajo desértico tropical andino de *Atriplex imbricata* y *Acantholippia desertícola*

Matorral muy abierto, con eventual presencia de suculentas, generalmente dominado por las especies *Atriplex imbricata, Acantholippia desertícola* y *Ambrosia artemisoides*, también se encuentran otras especies tales como, *Chuquiraga kuchelii*, *Oreocereus leucortrichus* o *Stipa frígida,* con presencia eventualmente abundante. En algunos sectores del norte de la región de Antofagasta es posible encontrar formaciones de *Echinopsis*

atacamensis, asociada al límite de altitud con el siguiente piso vegetacional correspondiente al Matorral bajo tropical andino de *Fabiana denudata y Chuquiraga atacamensis* (Luebert y Pliscoff 2006).

La distribución espacial que presenta el Matorral bajo desértico tropical andino de *Atriplex imbricata y Acantholippia desertícola* abarca las zonas precordilleranas de las regiones de Tarapacá y Antofagasta, 2.500-3.300 m.s.n.m. y 3.500-3.800 m.s.n.m. respectivamente. (Luebert y Pliscoff 2006).

Tabla 3.3. Comunidades zonales, intrazonales y composición florística para el matorral bajo desértico tropical interior de *Atriplex imbricata* y *Acantholippia* desertícola. Adaptado de Luebert y Pliscoff 2006

Comunidades Zonales	Comunidades Intrazonales	Composición Florística
Acantholippia desertícola- Franseria meyeniana-Helogyne macrogyne, asociación de *Atriplex microphyllum* y *Franseria meyeniana, Atriplex imbricata, Acantholippia puenesis- Franseria meyeniana, Atripex imbricata- Cristaria andicola, Oreocereo leucotrichi- Ambrosietum artemisioidis, Acantholippio deserticolae- Atriplicetum imbricatae* (Pliscoff 2015 citando a Villagrán et al. 1982; Villagrán et al. 1981; Gajardo 1994, Leubert y Gajardo 2005; Luebert y Pliscoff 2006).	Tessaria absinthioides-Distichilis spicata (suelos hallomórficos); Cortaderia atacamensis- Ges; Deyeuxia eminens- Distichlis scoparia-Ges (quebradas). (Ackerman 2001; Gajardo 1994; Luebert y Pliscoff 2006).	*Acantholippia desertícola, Adesmia atacamensis, Ambrosia artemisioides, Atriplex imbricata, Chuquiraga kurchelii, Gilia gutinosa, Opuntia atamensis, Oereocereus celsianus, O. leucotrichus, Stipa frígida* (Luebert y Pliscoff 2006).

iii. Matorral bajo desértico tropical interior de *Adesmia atacamensis* y *Cistanthe salsoloides*

Generalmente estas formaciones vegetales se asocian a sectores microtopográficos favorables que le permiten captar escasa humedad, influencia marginal de las lluvias de verano. Matorral muy abierto, extremadamente xeromórfico donde las especies dominantes están representadas por *Adesmia atacamensis - Cistanthe salsoloides,* acompañadas por otra serie de especies como *Huidobria fruticosa, Dinemandra ericoides y Ephedra breana* (Luebert y Pliscoff 2006).

Esta zona se encuentra ampliamente repartida en sectores bajos de la precordillera andina, desde el centro de la región de Tarapacá hasta el norte de la región de Atacama, entre los 1.800-3.700 m.s.n.m. y 2.100-3.000 m.s.n.m. respectivamente. (Luebert y Pliscoff 2006).

Tabla 3.4. Comunidades zonales, intrazonales y composición florística para el matorral bajo desértico tropical interior de *Adesmia atacamensis* y *Cistanthe salsoloides*. Adaptado de Pliscoff y Luebert 2006

Comunidades Zonales	Comunidades Intrazonales	Composición Florística
Adesmia atacamensis - Cistanthe salsoloides; Encelia canescens- Nolana leptophylla- Calandrinia salsoloides; Adesmia atacamensis- Calandrinia salsoloides, Adesmia atacamenis- Coldenia atacamensis (Pliscoff 2015 citando a Gajardo 1994; Mieres 1984; Pliscoff, Luebert 2006)	Tessaria absinthioides- Distichilis spicata (suelos hallomórficos); Cortaderia atacamensis- Ges; Deyeuxia eminens- Distichlis scoparia- Ges. (Ackerman 2001, Gajardo 1994)	*Adesmia atacamensis; Argylia tomentosa; Atriplex imbricata; Cistanthe salsolides; Dinemandra ericoides; Ephedra breana; Hoffmanseggia doelli; Huidobria fruticosa; Urmenetea atacamensis* (Luebert y Pliscoff 2006)

iv. Matorral bajo tropical andino de *Fabiana bryoides* y *Parastrephia quadrangularis*

Esta zona tiene lugar desde los 3800 a los 4200 m.s.n.m. y se caracteriza por presentar una vegetación principalmente de matorral bajo, de unos 50 cm de altura y pobre en especies. Las más representativas son *Parastephia quadrangularis, festuca chrysophylla, Fabiana bryoides y Stipa frigada.* En su composición destacan también otras especies que pueden ser localmente abundantes, *Adesmi erinacea, A. melanthes y Senecio xerophilus* (CIREN, 2016).

Tabla 3.5 Comunidades zonales, intrazonales y composición florística para el Matorral bajo tropical andino de *Fabiana bryoides* y *Parastrephia quadrangularis*. Adaptado de CIREN 2016.

Comunidades Zonales	Comunidades Azonales	Composición Florística
Fabiana bryoides- Parastrephia lepidophylla, Fabiano bryoides- Parastephia lepidophylla, Fabiano bryoidis- Adesmietum erinaceae (Gajardo 1994; Leubert 1999; Leubert y Gajardo 2000; CIREN 2016)	Oxychloetum andinae (bofedales), Puccinellio frigidae- Calamagrostietum eminentis (quebradas), Deyeuxia eminens- Distichlis scorapia- Ges, Oxychloe andina- Ges (bofedales) (Ackerman 2001, CIREN 2016).	*Adesmia erinaceae, A. melanthes, Baccharis incarum, Fabiana bryoides, Festuca chrysophylla, Parastrephia lepidophylla, Senecio xerophilus, Stipa frígida, S. venusta* (CIREN 2016)

v. Matorral bajo tropical andino de *Fabiana denudata Chuquiraga atacamensis*

Se ubica en la precordillera del centro norte de la Región de Antofagasta, entre los 3400 y 3800 m.s.n.m. en la que predominan arbustos *Fabiana denudata, Chuquiraga atacamensis, Fabiana ramulosa y Baccharis boliviensis.* Otros arbustos que participan de este piso vegetacional son *Haplopappus rigidus* y *Ephedra breana* y gramíneas como *Stipa frigida y S.venusta*. En la transición con el Matorral desértico tropical andino de *Atriplex imbricata y Acantholippia deserticola*, se presentan poblaciones de la cactácea *Echinopis atacamensis* (CIREN, 2016).

Tabla 3.6 Comunidades zonales, intrazonales y composición florística para el Matorral bajo tropical andino de *Fabiana denudata Chuquiraga atacamensis*. Adaptado de CIREN 2016.

Comunidades Zonales	Comunidades Azonales	Composición Florística
Fabiana densa- Baccharis boliviensis, Fabiana squamata- Junellia seriphioides, Baccharis tola- Ges, Opuntia atacamensis- Var. (Pliscoff 2015 citando a Villagrán et al. 1981; Gajardo 1994; Teillier 1998; Ackermann 2001; CIREN 2016)	*Baccharis incarum- Junellia seriphioides- Lampaya medicinalis (suelos arenosos), Puccinellia frígida- Sarcocornia pilvinata (salares), Cortadeira atacamensis- Ges, Deyeuxia eminens- Distichlis scorapia- Ges, Muhlenbergia asperifolia- Ges, Sarcocornia plivinata- Puccinellia frígida, Scirpus atacamensis- Festuca desertícola (salares).* (Pliscoff 2015 citando a Villagrán et al. 1981; Gajardo 1994; Teillier 1998; Ackermann 2001; Teillier y Becerra 2003; CIREN 2016)	*Adesmia melanthes, baccharis boliviensis, B. incarum, Chenopodium petiolare, Chuquiraga atacamensis, Descurainia stricta, Ephedra breana, Fabiana denudata, F. ramulosa, F. squamata, Gnaphalium lacteum, Haplopappus rigidus, Junellia seriphioides, Lampaya medicinalis, Mutisia hamata, Opuntia Conoidea, O. soehrensii, Senecio viridis, Sisymbrium philippianum, Stipa frígida, S. venusta, Trichocline caulescens, Viola frigida* (Ackermann 2001; CIREN 2016)

vi. Matorral bajo tropical andino de *Fabiana ramulosa* y *Diplostephium meyenii*

Matorral denso dominado por *Fabiana ramulosa, Diplostephium meyenii, Lophopappus tarapacanus y Baccharis boliviensis* en la estrata arbustiva, que puede alcanzar más de 1 m de altura. Una estrata de arbustos bajos y suculentas está compuesta principalmente por *Chersodoma jodopappa, Balbisia micropylla, Junellia seriphioides* y *Opuntia echinacea,* mientras que en la estrata herbácea participan *Stipa pubiflora, Eragrostis periviana y Cheillanthes pruinata*. Algunas epífitas, como *Mutisia acuminata* también son frecuentes. En la zona norte de este piso de vegetación es posible observar pequeños bosquetes de *Polylepis rugulosa y Chuquiraga spinosa ssp*. rotundifolia, mientras que en su área de distribución sur se han reportado comunidades dominadas por *Echinopsis atacamensis y Lobivia ferox*. No se han reportado comunidades azonales.

Tabla 3.7 Comunidades zonales, intrazonales y composición florística para el Matorral bajo tropical andino de *Fabiana ramulosa* y *Diplostephium meyenii*. Adaptado de Pliscoff 2015.

Comunidades Zonales	Comunidades Intrazonales	Composición Florística
Fabiana deserticola-Fabiana viscosa, Fabiana deserticola-Polylepis tarapacana s.l, Asociación de Fabiana densa-Baccharis boliviensis-Diplostephium meyenii, Fabiana densa-Baccharis boliviensis, Fabiana densa-Tagetes multiflora, Adesmia spinosissima-Balbisia stitchkinii, Polylepis besseri-Fabiana densa, Diplostephio meyenii-Fabianetum ramulosae, Lophopappetum tarapacani, Chuquirago rotundifoliae-Polylepidetum rugulosae. (Villagrán et al. 1982; Hernández 1980 ; Gajardo 1994 ; Luebert y Gajardo 2005; Pliscoff 2015)	*Festuca hypsophila-Oxychloe andina (bofedales), Lampaya medicinalis (bofedales), Puccinellia frigida-Sarcocornia pulvinata (salares)* (Teillier 1998; Pliscoff 2015)	

vii. Matorral bajo tropical andino de *Mulinum crassifolium* y *Urbania pappigera*

Matorral bajo dominado por plantas gramíneas y pulvinadas en mechón, destacando *Mulinum crassifolium, Urbania pappigera, Adesmia caespitosa, Stipa frígida* y *Deyeuxia crispa*, también es posible encontrar una gama diversificada de plantas herbáceas rosuladas, tales como *Chaetanthera revoluta, Nototriche auricoma* y *Perezia atacamensis.*

Este piso vegetacional se distribuye ampliamente en las zonas cordilleranas altas de los Andes, desde el sur de la región de Tarapacá hasta el norte de la región de Atacama, encontrándose entre los 4.200 y los 4.900 m.s.n.m.

Tabla 3.8 Comunidades zonales, intrazonales y composición florística para el Matorral bajo tropical andino de *Mulinum crassifolium* y *Urbania pappigera*. Adaptado de CIREN 2016.

Comunidades Zonales	Comunidades Azonales	Composición Florística
Mulinum crassifolium- Oxalis exigua, Festuca chrysophyla, Pycnophyllum molle- Oxalis exigua, Festuca chrysophylla, Mulino crassifolii- Deyeuxietum crispae, Stipo frigidae- Adesmietum caespitosae, Senecionetum chrysolepidis, Mulinum crassifolium- Ges, Urbania pappigera- Ges. (Pliscoff 2015 citando a Villagrán et al. 1981; Mieres 1984; Gajardo 1994; Teillier 1998; Ackermann 2001; CIREN 2016).	*Oxychloetum andinae, Oxychloe andina- Ges* (Bofedales) (Pliscoff 2015 citando a Ruthsatz 1995; Leubert 1999; Leubert y Gajardo 2000; Ackermann 2001; CIREN 2016)	*Adesmia caespitosa, Chaetanthera revoluta, C sphaeroidalis, Deyeuxia crispa, Festuca chrysophylla, Moschopsis monocephala, Mulinum crassifolium, Nototriche auricoma, Opuntia ignescens, Oxalis exigua, Parastrephi quadrangularis, Perezia atacamensis, Pycnophyllum bryoides, P. macropetealum, P. molle, Senecio chrysolepis, S. rosmarinus, Stipa frigada, S. venusta, Urbania pappigera, Werneria glaberrima.* (Leubert y Gajardo 2000; Teillier 1998 CIREN 2016)

viii. Matorral bajo tropical andino de *Parastrephia lepidophylla* y *P. quadrangularis*

Matorral bajo dominado por *Parastrephia lepidophylla* y *P. quadrangularis* y *Festuca orthophylla* y *Tetraglochin cristatum,* también participan hierbas perennes como *Notoriche turritella* con una constancia menor. En sectores de mayor aridez, coluvios y aluvios se observan grandes extenciones dominadas por *Tetraglochin cristatum,* también es posible encontrarla en sectores expuestos a sobre pastoreo (CIREN 2016).

Es posible encontrar estas características en las grandes fosas salinas de las regiones de Tarapacá y Antofagasta, entre los 600-900 m.s.n.m. y 2.400-2.500 m.s.n.m respectivamente.

Tabla 3.9 Comunidades zonales, intrazonales y composición florística para el Matorral bajo tropical andino de *Parastrephia lepidophylla* y *P. quadrangularis*. Adaptado de CIREN 2016.

Comunidades Zonales	Comunidades Azonales	Composición Florística
Mulinum crassifolium, Festuca orthophylla-Parastrephia quadrangularis, Parastrephia quadrangularis-Festuca orthophylla, Parastrephia lepidophylla, Parastrephietum lepidophyllo-quadrangulare (Hernández 1980; Gajardo 1994; Teillier 1998; Luebert y Gajardo 2005; CIREN 2016).	*Oxychloetum andinae (bofedales), Oxychloe andina (bofedales), Tipo Oxychloe andina (bofedales), Distichietum muscoidis (bofedales), Lampaya medicinalis (suelos arenosos), Anthobryo triandriParastrephietum lucidae, Deyeuxio curvulae-Wernerietum incisae (márgenes lacustres y bordes de bofedales)* (Pisano 1966; Ruthsatz 1995; Luebert y Gajardo 2005; Teillier 1998; Hernández, 1980; Gajardo, 1994; Troncoso 1983; Ruthsatz 1995; CIREN 2016).	*Azorella compacta, Baccharis boliviensis, B. incarum, Chersodoma jodopappa, Deyeuxia breviaristata, Festuca orthophylla, Nototriche turritella, Opuntia ignescens, Parastrephia lepidophylla, P. quadrangularis, Pycnophyllum bryoides, P. molle, Senecio nutans, Senecio spinosus, Stipa nardoides, Tetraglochin cristatum* (Teillier 1998; Luebert y Gajardo 2005; CIREN 2016).

ix. Matorral desértico tropical costero de *Nolana adansonii y N. Lycioides*

Matorral muy abierto en el que dominan localmente *Nolana adansonii* y *Nolana lycioides*, dejando amplias extensiones de terreno descubiertas, incluso durante los períodos lluviosos. Hay muy pocos antecedentes publicados, puesto que los estudios se han concentrado en el piso altitudinal superior, en la zona de neblinas, o bien no hacen referencia clara a la posición ecológica de las especies, de modo que la composición florística es difícil de precisar (la que se presenta es totalmente especulativa) y no se han definido comunidades vegetales (Pliscoff 2015).

Se puede observar en la zona costera baja de la región de Antofagasta y sur de Tarapacá, entre los 0 y 400 m.s.n.m.

No se han determinado comunidades Zonales e Intrazonales debido a la falta de información al respecto. En tanto la composición florística considera las especies (*Alona stenophylla*, *Malesherbia tocopillana*, *Nolana adansonii*, *N. clivicola*, *N. linearifolia*, *N. lycoides*, *N. peruviana*, *Solanum chilense* (Leubert y Pliscoff 2016).

x. Matorral desértico tropical interior de *Atriplex atacamensis* y *Tessaria absinthioides*

Matorral alto, freatófilo, dominado por los arbustos *Atriplex atacamensis* y *Tessaria absinthioides* y la gramínea *Distichlis spicata*. Su presencia, asociada a los salares, está determinada por la existencia de una napa freática que proprorciona la humedad suficiente para compensar el déficit hídrico provocado por la escasez de las precipitaciones, a pesar de lo cual se ha considerado como una unidad independiente. Ocasionalmente es posible observar la presencia de los árboles espinosos *Prosopis alba* y

Geoffroea decorticans (Pliscoff 2015). Se distribuye en las grandes fosas salinas de la región de Tarapacá, entre los 400-900 m.s.n.m., y región de Antofagasta entre los 2.000-2.500 m.s.n.m.

Debido a estar edáficamente condicionada no es posible reconocer comunidades zonales e intrazonales (Pliscoff 2015). En tanto su composición florística presenta las especies *Atriplex atacamensis*, *A. madariagae*, *Baccharis juncea*, *B. scandens*, *Casealpinia aphylla*, *Distichlis scoparia*, *D. spicata*, *Geoffroea decorticans*, *Heliotropium curassavium*, *Lycium humilde*, *Prosopis alba*, *Sarcocornia fruticosa*, *Tessaria absinthioides* (Leubert y Pliscoff 2006).

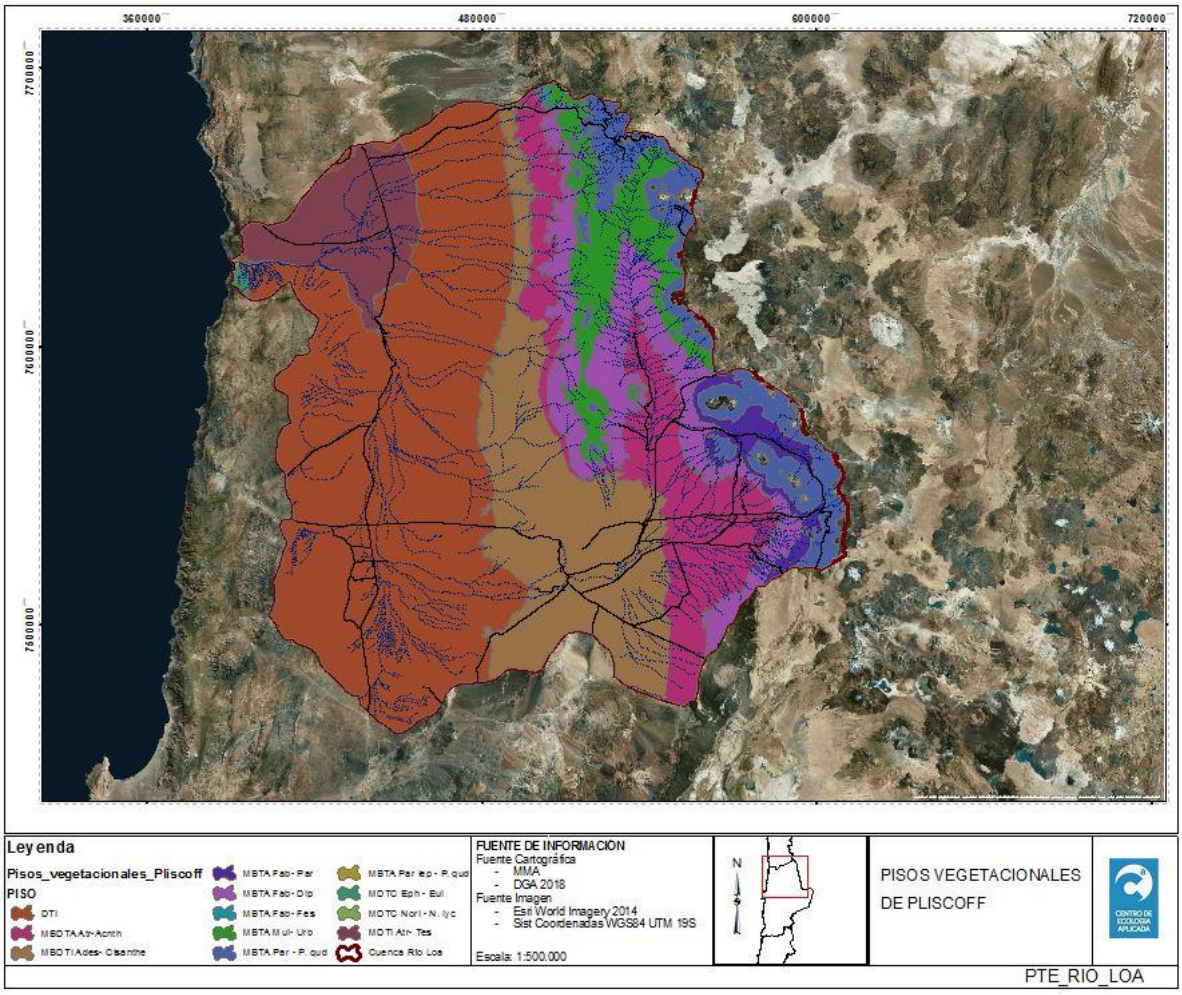


Figura 3.5. Pisos vegetacionales de Pliscoff presente en la cuenca. Adaptado de Pliscoff 2015.

3.1.2 Estaciones de monitoreo existentes

3.1.2.1 Estaciones meteorológicas

En la Figura 3.6 se señala la ubicación de las estaciones meteorológicas que se encuentran asociadas a la cuenca del río Loa. Se consideran las estaciones de la DGA, INIA, DMC y minera El Abra.

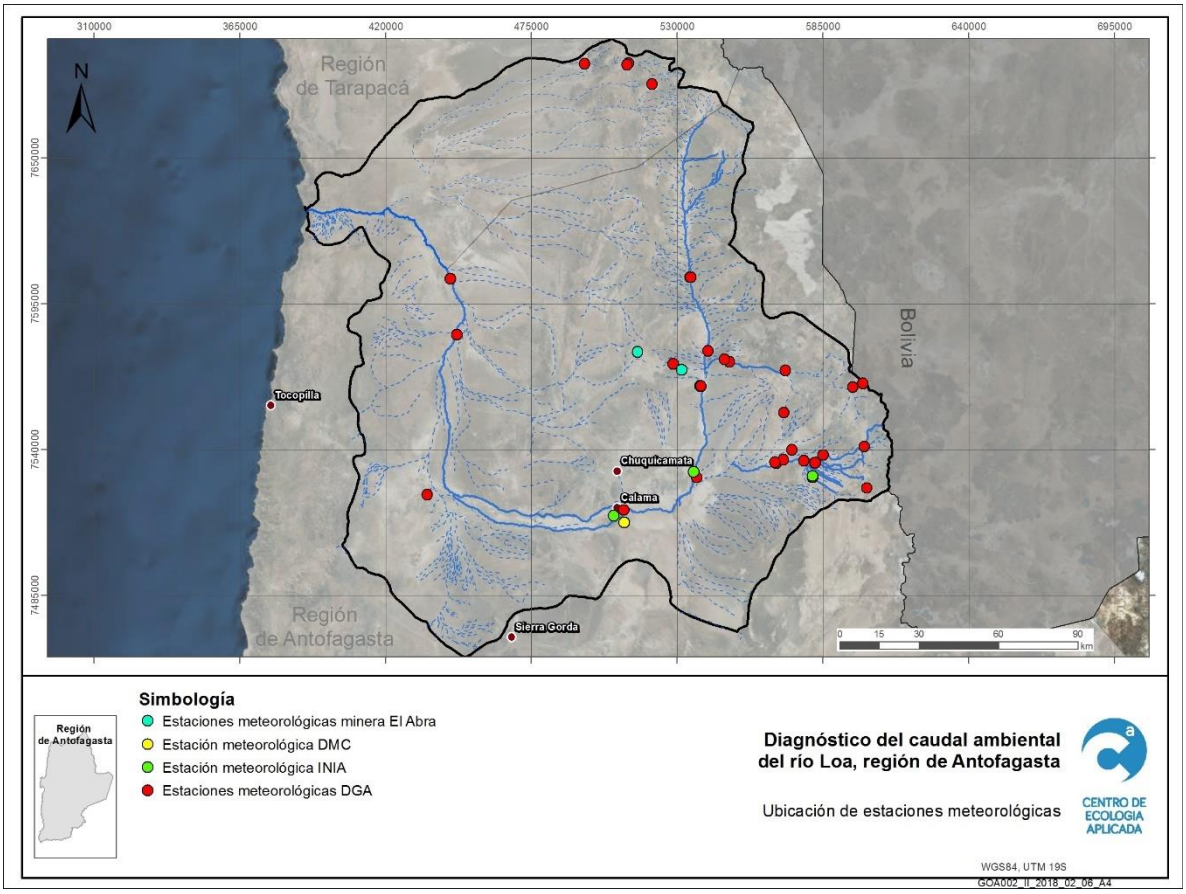


Figura 3.6. Estaciones meteorológicas vigentes, en la cuenca del río Loa.

3.1.2.1.1 Estaciones meteorológicas DGA

La revisión del catastro permitió determinar que la DGA cuenta con 31 estaciones meteorológicas emplazadas en la cuenca del río Loa (ver Figura 3.6), 21 de ellas se encuentran vigentes (68%) y las restantes 10 están suspendidas (32%). Las estaciones encontradas en la zona de estudio se presentan en la Tabla 3.10, mientras que su ubicación se detalla en la Figura 3.6.

Las variables consultadas fueron: Precipitación diaria (Ppd), Temperaturas diarias Extremas (TdE), Temperaturas diarias en horas Sinópticas (TdhS), Humedad Relativa diaria Extrema (HRdE), Evaporación y recorrido del Viento diario (ERVd), Evaporación diaria (Ed)

Velocidad y Dirección del Viento diarias en horas Sinópticas (VDVdhS), Velocidad media diaria del Viento (VmdV), Horas de Sol diaria (HSd) y Nubosidad diaria en horas Sinópticas (NdhS). Cabe señalar que falta la variable Radiación Solar diaria (RSd), no se encuentra disponible aun en la DGA.

Tabla 3.10. Estaciones meteorológicas. DGA2018

ID FL	Código BNA	Nombre Estación	Coordenadas UTM (WGS84 Huso 19)		Vigencia	Subcuenca Río Loa
			Este	Norte		
1	01080002-1	COLLAHUASI	527718	7679644	Suspendido	Alta
2	01770001-4	COPAQUIRE	510396	7683353	Vigente	Alta
3	02113005-2	GUATACONDO DGA	494801	7685200	Vigente	Alta
4	02101001-4	LOA ANT. REPRE. LEQUENA - DCP	535165	7605574	Suspendido	Alta
5	02101003-0	LEQUENA	535139	7605268	Vigente	Alta
6	02102005-2	QUINCHAMALE	541684	7577572	Vigente	Alta
7	02103007-4	SAN PEDRO DE CONCHI	548875	7574445	Suspendido	Alta
8	02103008-2	PARSHALL N 2	549805	7573477	Vigente	Alta
9	02103009-0	OJOS SAN PEDRO	568440	7568716	Vigente	Alta
10	02103010-4	INACALIRI	596588	7564208	Vigente	Alta
11	02103011-2	QUINCHAMALE	539597	7578160	Suspendido	Alta
12	02103012-0	SILALA	600087	7565312	Vigente	Alta
13	02104007-K	CONCHI VIEJO	528514	7572609	Vigente	Alta
14	02104008-8	CONCHI EMBALSE	539003	7564490	Vigente	Alta
15	02104009-6	MURO EMBALSE CONCHI	538960	7565092	Suspendido	Alta
16	02104010-K	CHIU-CHIU	536440	7529250	Vigente	Alta
17	02105002-4	SALADO EN SIFON AYQUINA - DCP	567725	7535336	Suspendido	Alta
18	02105014-8	CUPO	570641	7554915	Vigente	Alta
19	02105015-6	TURI	571634	7539949	Suspendido	Alta
20	02105016-4	LINZOR	600913	7541763	Vigente	Alta
21	02105017-2	TOCONCE	586111	7537991	Vigente	Alta
22	02105018-0	AYQUINA	570227	7536538	Vigente	Alta
23	02105019-9	SIFON AYQUINA	566980	7535654	Suspendido	Alta
24	02105020-2	SALADO EN REPRESA	582269	7535748	Vigente	Alta
25	02105021-0	CASPANA	581581	7529879	Vigente	Alta
26	02105022-9	EL TATIO	601729	7526160	Vigente	Alta
27	02110013-7	CALAMA	509841	7517409	Vigente	Media
28	02110014-5	PLANTA PILOTO CALAMA	508556	7515397	Suspendido	Media
29	02111004-3	TRANQUE SLOMAN	446979	7583643	Vigente	Media
30	02112008-1	QUILLAGUA	444822	7605629	Vigente	Media
31	02112009-K	COYA SUR	435924	7523433	Suspendido	Media

La componente meteorológica de mayor importancia para el estudio del recurso hídrico, corresponde a las precipitaciones, por lo que se hace una revisión de los datos recopilados. A continuación, entre la Figura 3.7 y la Figura 3.22 se grafican los datos de precipitaciones acumuladas mensualmente para cada una de las estaciones. No se grafican aquellas estaciones con datos muy escasos.

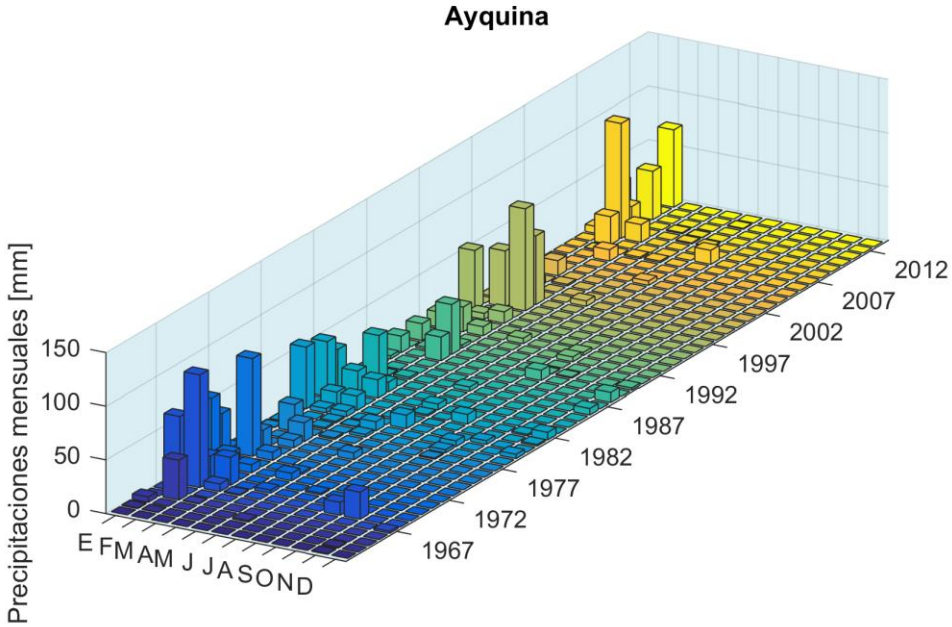


Figura 3.7. Series de precipitaciones acumuladas mensuales. Estación DGA Ayquina.

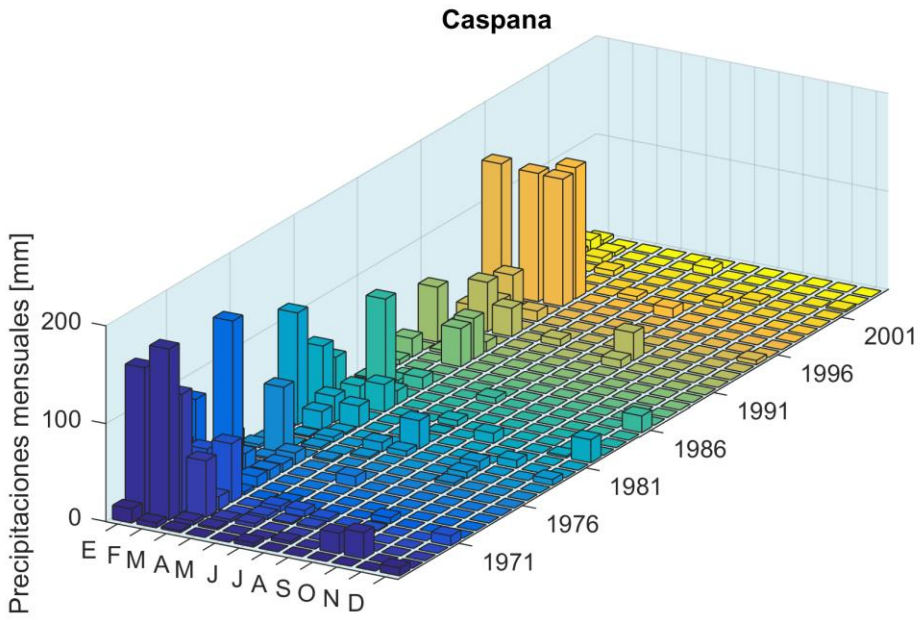


Figura 3.8. Series de precipitaciones acumuladas mensuales. Estación DGA Caspana.

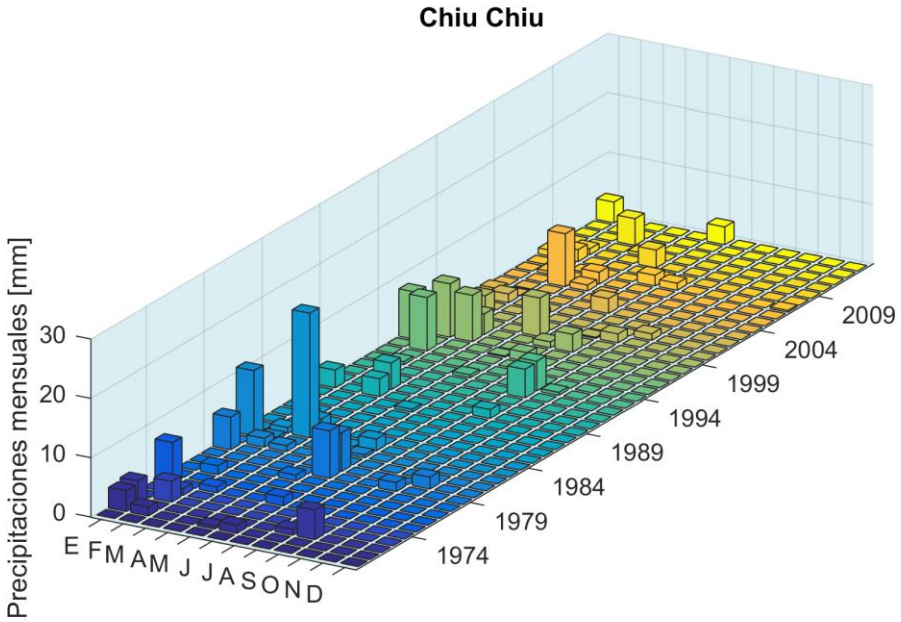


Figura 3.9. Series de precipitaciones acumuladas mensuales. Estación DGA Chiu Chiu.

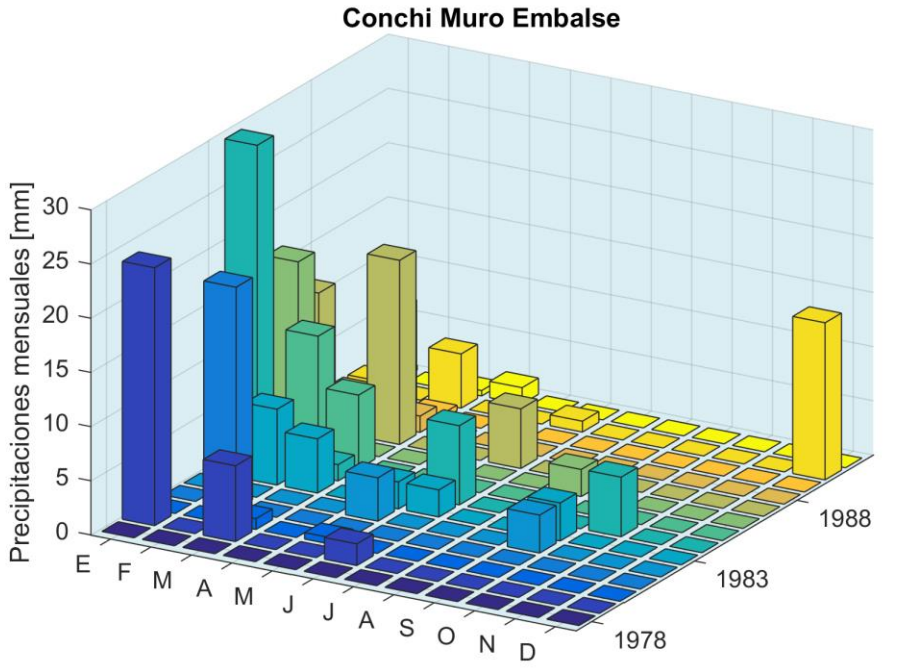


Figura 3.10. Series de precipitaciones acumuladas mensuales. Estación DGA Conchi Muro Embalse.

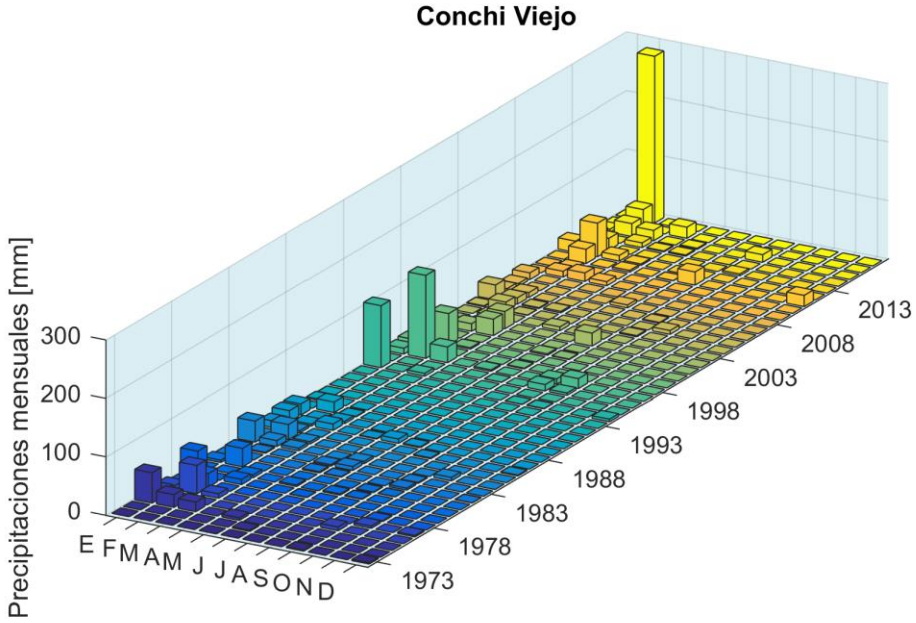


Figura 3.11. Series de precipitaciones acumuladas mensuales. Estación DGA Conchi viejo.

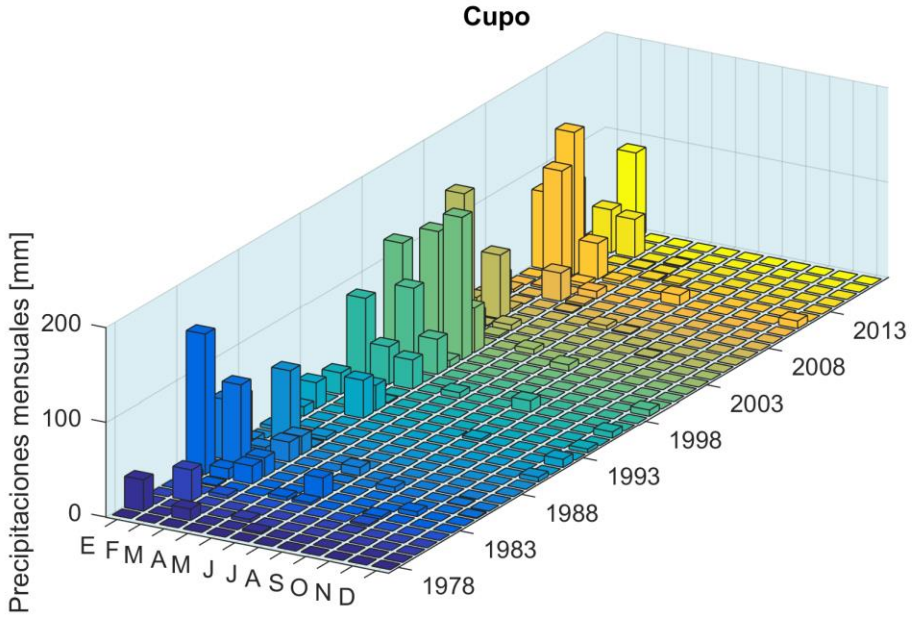


Figura 3.12. Series de precipitaciones acumuladas mensuales. Estación DGA Cupo.

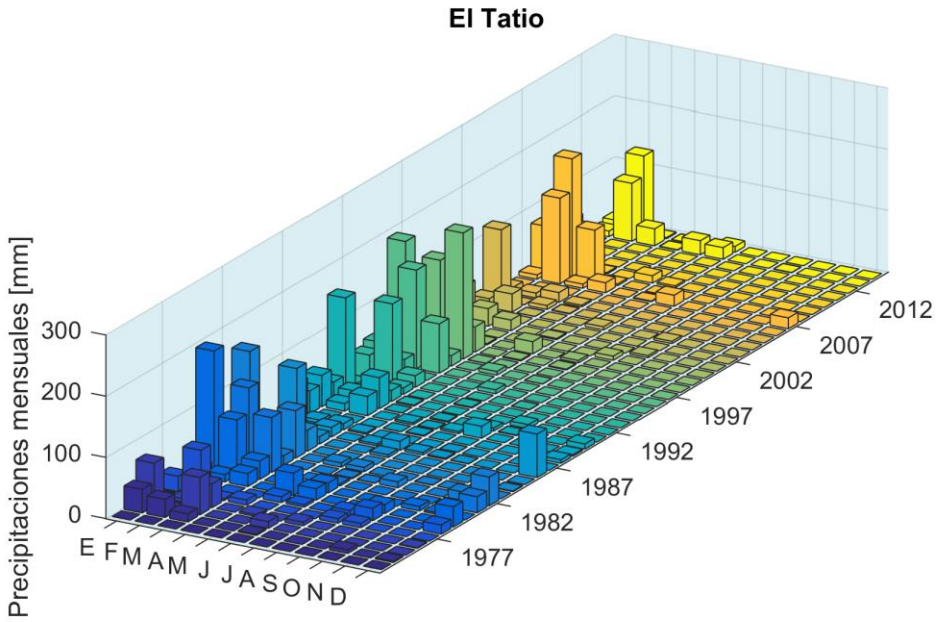


Figura 3.13. Series de precipitaciones acumuladas mensuales. Estación DGA El Tatio.

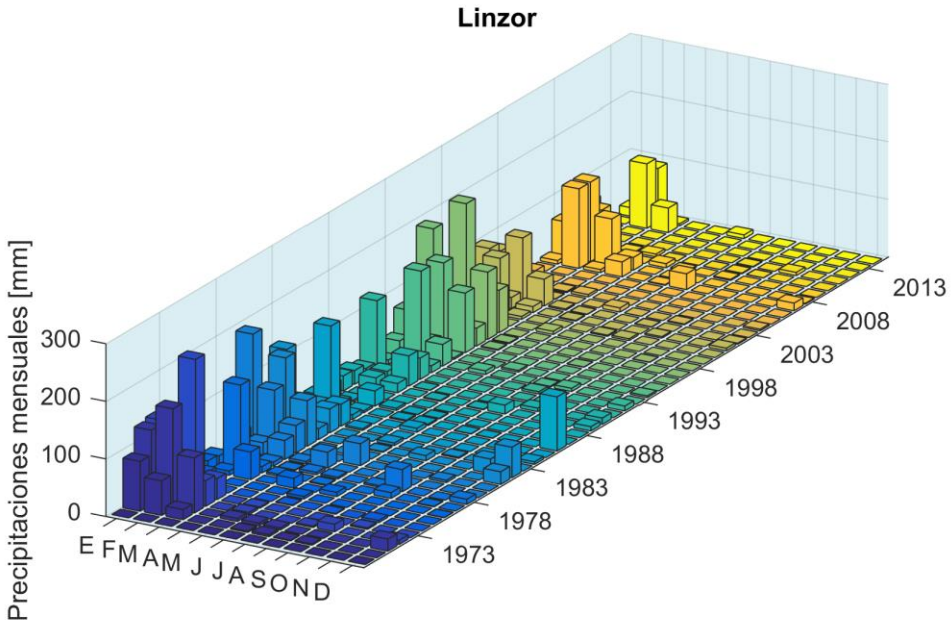


Figura 3.14. Series de precipitaciones acumuladas mensuales. Estación DGA Linzor.

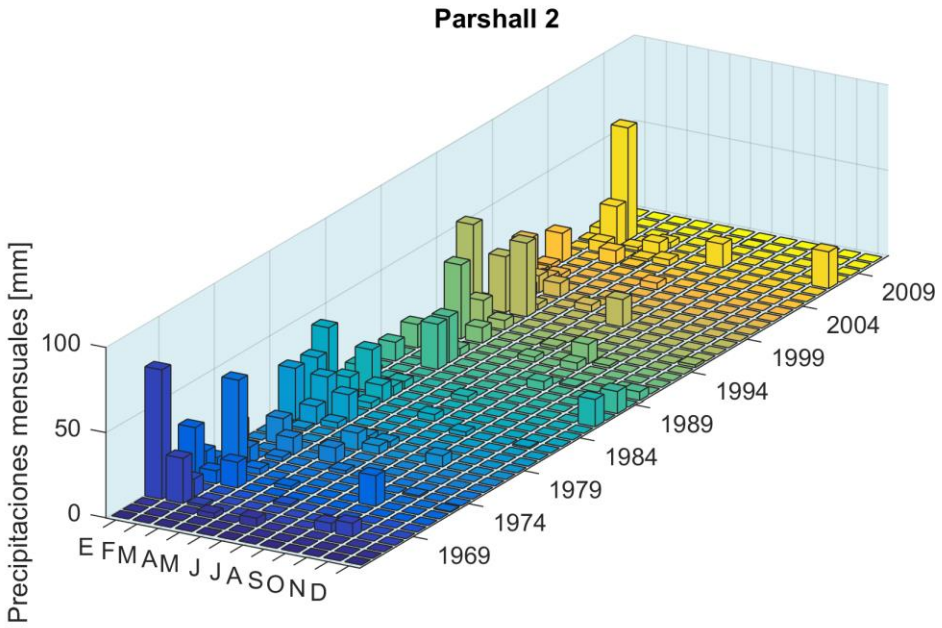


Figura 3.15. Series de precipitaciones acumuladas mensuales. Estación DGA Parshall N°2.

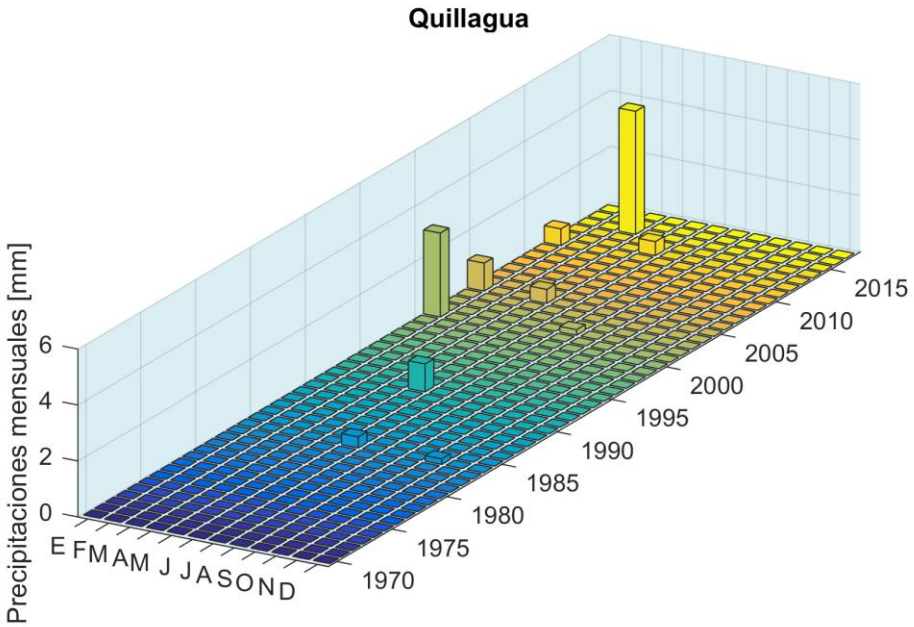


Figura 3.16. Series de precipitaciones acumuladas mensuales. Estación DGA Quillagua.

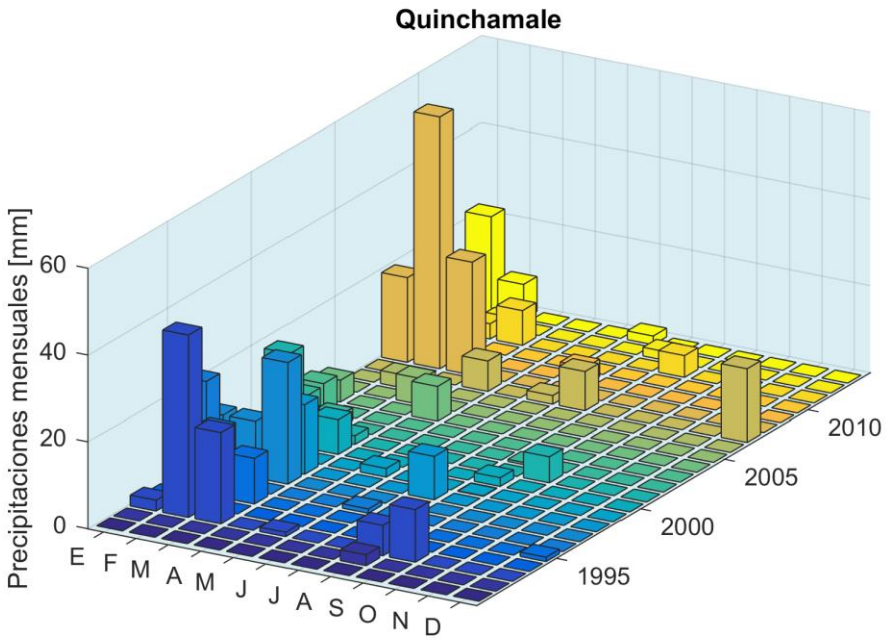


Figura 3.17. Series de precipitaciones acumuladas mensuales. Estación DGA Quinchamale.

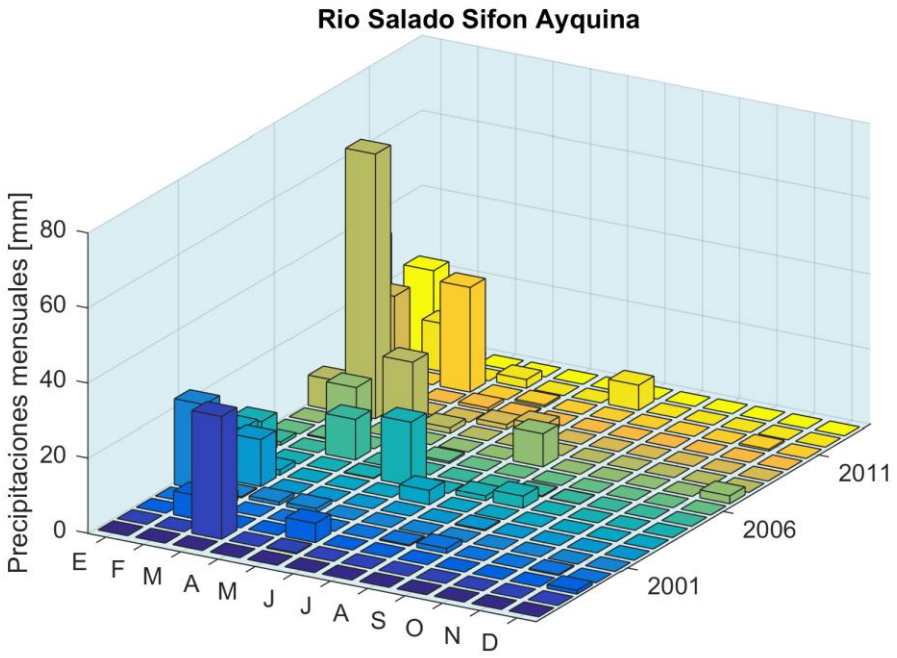


Figura 3.18. Series de precipitaciones acumuladas mensuales. Estación DGA Río Salado sifón Ayquina.

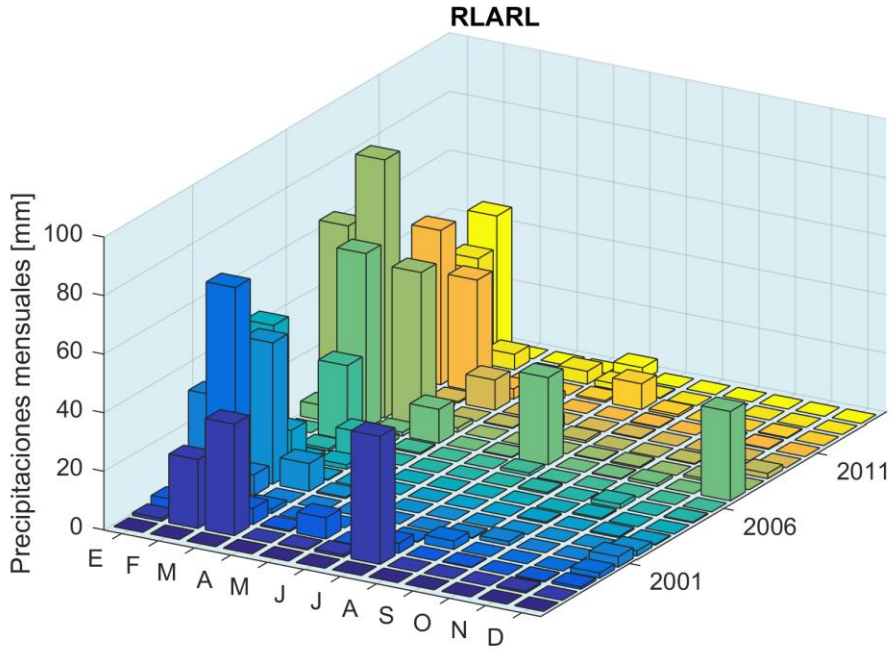


Figura 3.19. Series de precipitaciones acumuladas mensuales. Estación DGA Río Loa antes de represa Lequena.

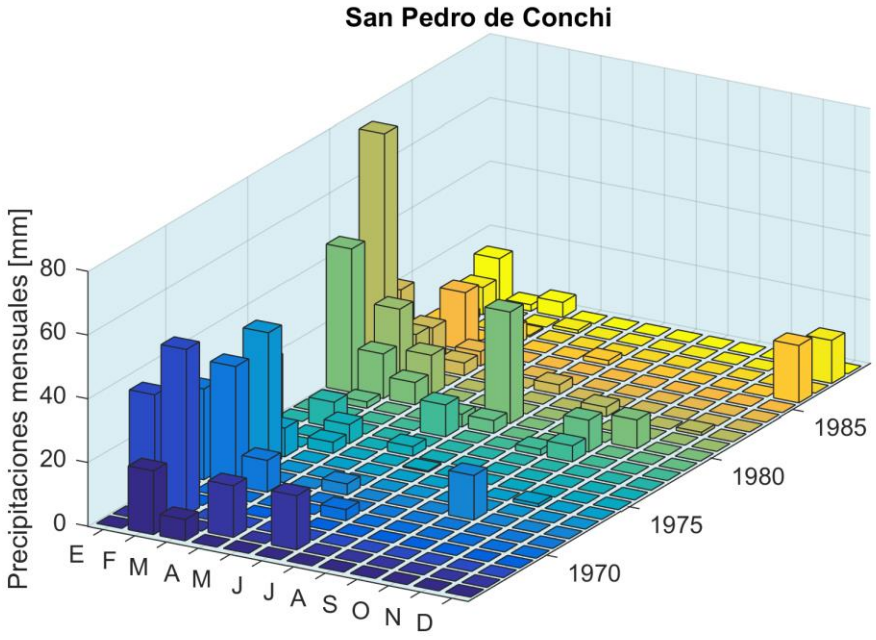


Figura 3.20. Series de precipitaciones acumuladas mensuales. Estación DGA San Pedro de Conchi.

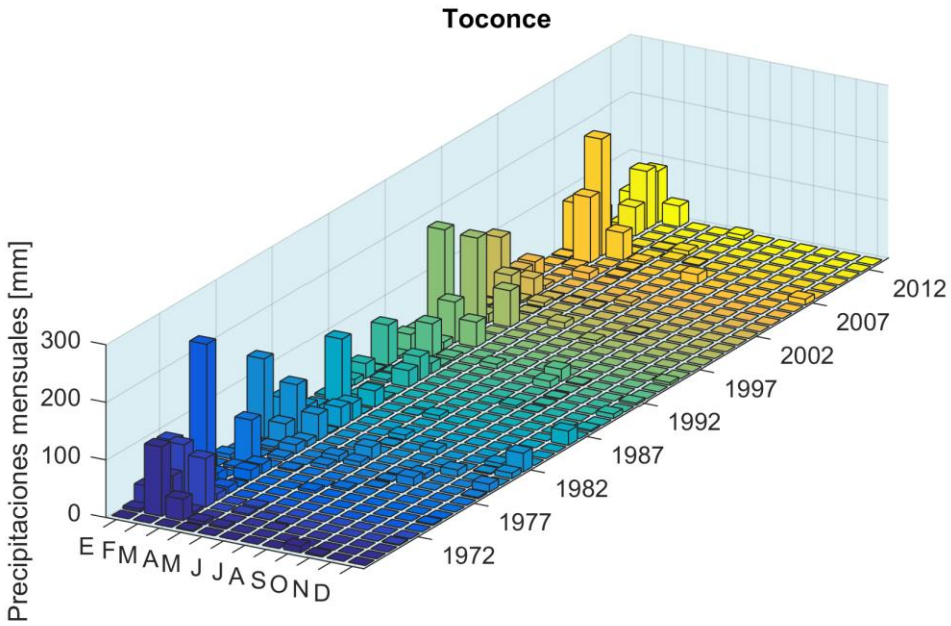


Figura 3.21. Series de precipitaciones acumuladas mensuales. Estación DGA Toconce.

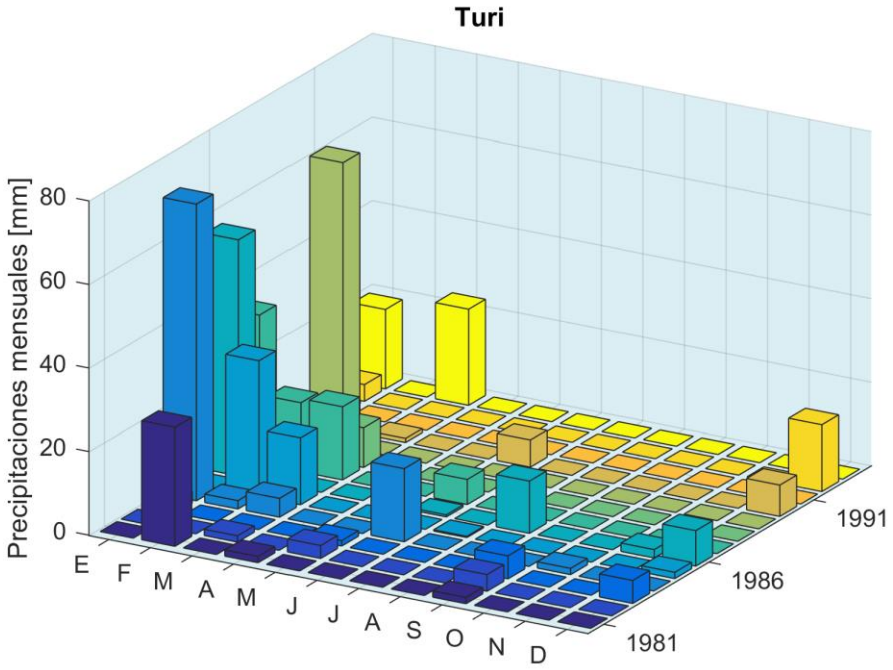


Figura 3.22. Series de precipitaciones acumuladas mensuales. Estación DGA Turi.

De las estaciones enlistadas en la Tabla 3.10, ninguna de ellas está en la subcuenca baja del río Loa (correspondiente al tramo del río Loa aguas abajo de Quebrada amarga). Mientras que solo hay cuatro en la subcuenca media, y el resto corresponde a la subcuenca alta.

De la cuenca media, solo se graficó las precipitaciones de la Estación Quillagua (ver Figura 3.16), que deja en evidencia la baja ocurrencia de precipitaciones en la cuenca media-baja. Solo algunos meses aislados se observan precipitaciones sin una tendencia clara. Sin embargo hacia la cuenca alta, en todas las estaciones se observa la influencia del invierno altiplánico, concentrándose sus precipitaciones entre enero y marzo. Por su parte se observan también precipitaciones en periodo de invierno continental pero en menor medida y dependiendo de la ubicación de cada estación.

3.1.2.1.2 Estaciones meteorológicas INIA

La red de estaciones del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), posee tres estaciones ubicadas en la cuenca del Río Loa (ver Figura 3.6), y corresponden a las denominadas “Calama Rural”, “Chiu Chiu” y “Caspana”. Las dos primeras poseen datos desde el año 2010, mientras que la última solo desde 2012. A partir de los datos de precipitaciones acumuladas mensualmente se generan las figuras a continuación.

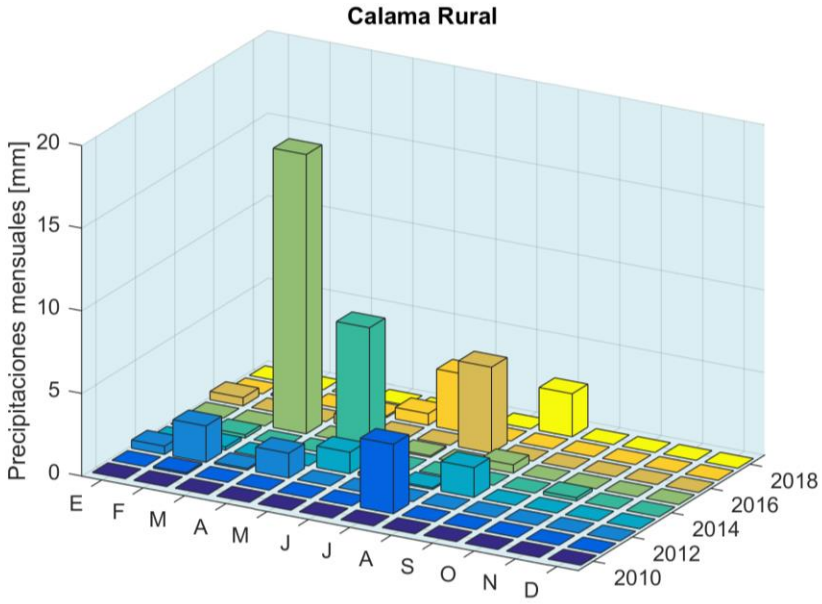


Figura 3.23. Precipitaciones mensuales. Estación INIA: Calama Rural

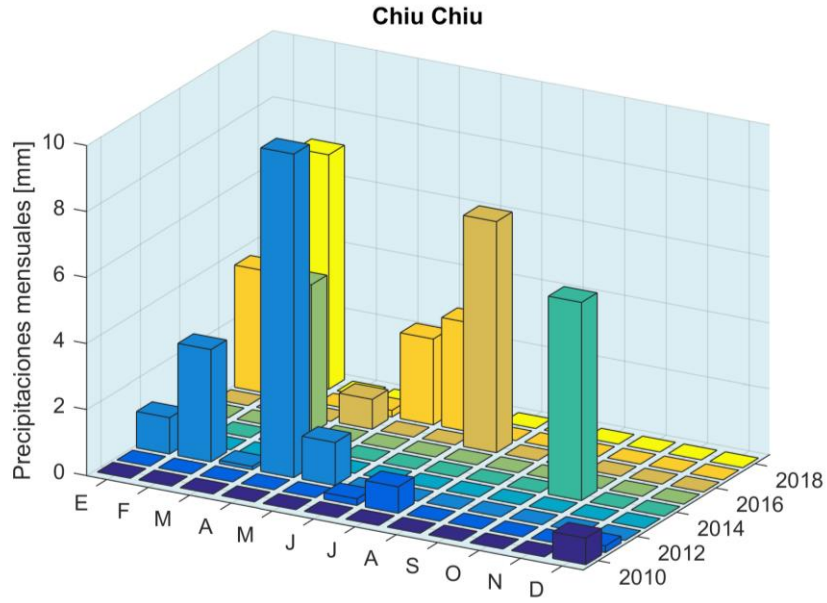


Figura 3.24. Precipitaciones mensuales. Estación INIA: Chiu Chiu

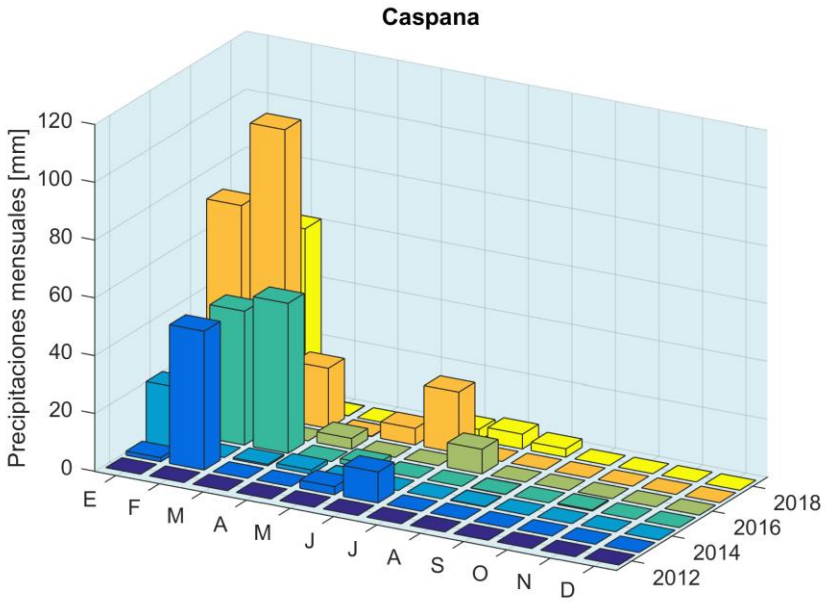


Figura 3.25. Precipitaciones mensuales. Estación INIA: Caspana

Se observa que las precipitaciones en Calama Rural tienen una ocurrencia principalmente entre febrero y agosto. Lo mismo ocurre en Chiu Chiu sin embargo hubo registros considerables en octubre de 2014, pero fue un fenómeno poco aislado. Estos comportamientos son característicos de la zona media de la cuenca donde se tiene influencia tanto del invierno continental como altiplánico. En Caspana en cambio, que se

encuentra en la zona alta de la cuenca solo se observa que los principales eventos ocurren entre enero y marzo, condición provocada por la influencia del invierno altiplánico.

3.1.2.1.3 Estaciones meteorológicas DMC

De las estaciones meteorológicas que posee la Dirección Meteorológica de Chile, cinco se encuentran en la región de Antofagasta. Sin embargo, dentro de la cuenca del Río Loa, solo se encuentra la Estación "El Loa, Calama Ad." (ver Figura 3.6). Esta estación posee los datos de precipitaciones desde el año 1967, con resolución horaria. A partir de los datos disponibles, se generó un gráfico con las precipitaciones acumuladas mensualmente, mostrado en la Figura 3.26

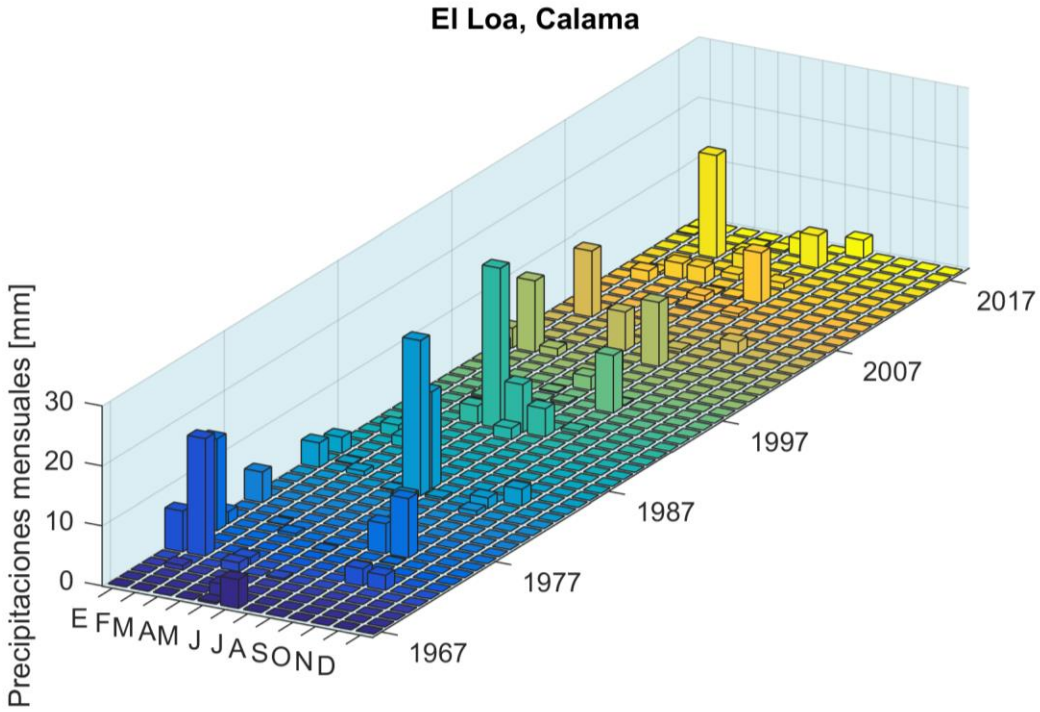


Figura 3.26. Precipitaciones mensuales. Estación DMC: El Loa, Calama

Es posible ver una tendencia de las precipitaciones de ocurrencia en otoño e invierno, además se observa que cada cierta cantidad de años existen precipitaciones en verano, las cuales son cada vez menos frecuentes y de menor intensidad. Existe una gran cantidad de años secos, que dejan en evidencia la aridez de la zona.

3.1.2.1.4 Estaciones meteorológicas El Abra

La minera El Abra posee cuatro estaciones meteorológicas, de las cuales dos se encuentran en la cuenca del Río Loa, que corresponden a las estaciones “Mina” y “Planta” (ver Figura 3.6). Estas estaciones posees los datos de precipitaciones desde los años 2009 y 2004 respectivamente y se dispone de la información hasta el año 2016 en ambas. A partir de los datos disponibles, para cada estación se generó un gráfico con las precipitaciones acumuladas mensualmente, mostrado en las Figura 3.29 y Figura 3.30.

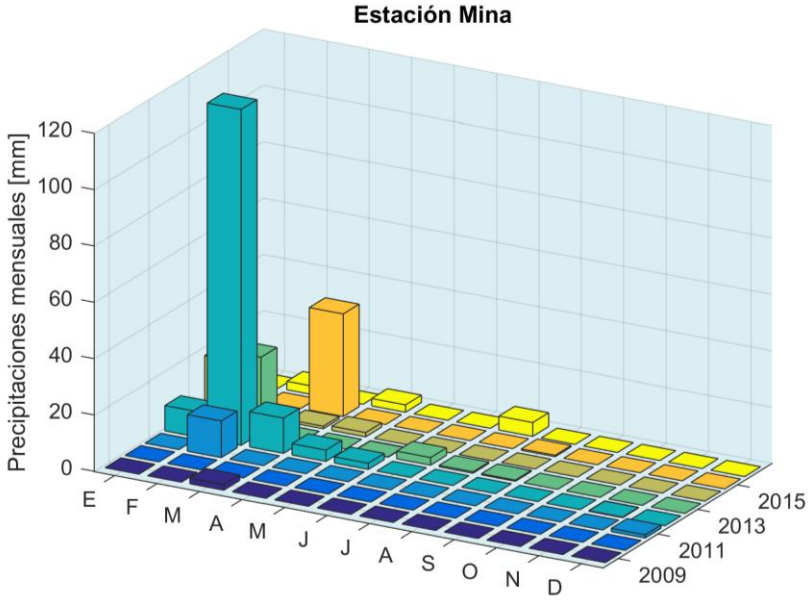


Figura 3.27. Precipitaciones mensuales. Estación Mina (El Abra)

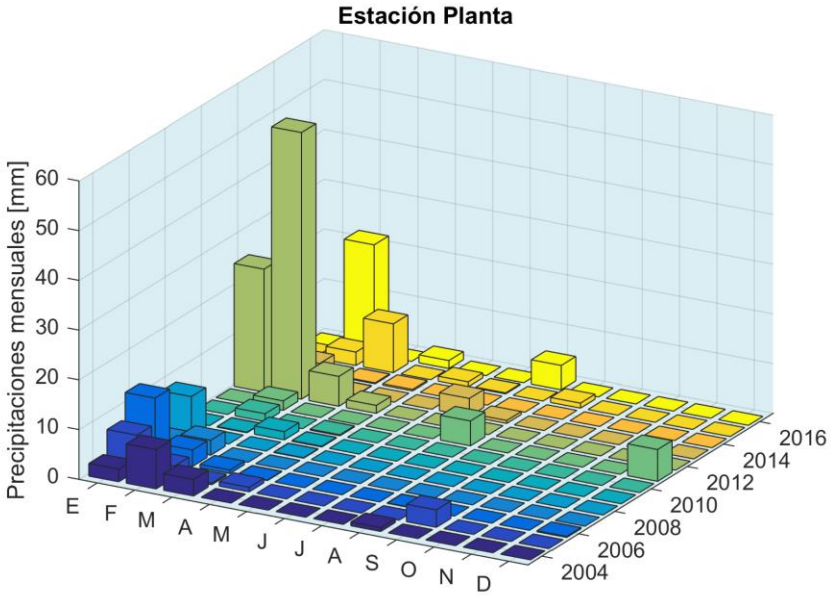


Figura 3.28. Precipitaciones mensuales. Estación Planta (El Abra)

Ambas estaciones muestran una ocurrencia de las precipitaciones concentradas entre los meses de enero y marzo, solo con escasos y débiles registros fuera de este rango. Este comportamiento en las precipitaciones es característico de la zona de la cuenca alta del Río Loa, donde se tiene la influencia del invierno altiplánico

3.1.2.2 Estaciones DGA para calidad de agua

La revisión del catastro mostró la existencia de un total de 46 estaciones de medición de calidad de agua en la región. De ellas, 13 (28%) son estaciones vigentes y 33 (72%) se encuentran suspendidas. A continuación, en el Tabla 3.11 se presentan las características generales de cada estación, mientras que su ubicación se detalla en la Figura 3.29.

Tabla 3.11. Estaciones DGA para calidad de agua. DGA 2018

ID FL	Código BNA	Nombre Estación	Coordenadas UTM (WGS84 Huso 19)		Vigencia
			Este	Norte	
1	02113001-K	Rio Huatacondo en Copaquire	511807	7686100	Vigente
2	02101001-4	Río Loa antes represa Lequena	535169	7605577	Vigente
3	02102001-K	Río Loa en Quinchamale	540977	7575991	Suspendida
4	02102002-8	Río Loa después termas Taira	542208	7584116	Suspendida
5	02102003-6	Termas de Taira	543061	7585531	Suspendida
6	02102004-4	Río Loa antes río San Pedro	540685	7571825	Suspendida
7	02103001-5	Rio San Pedro en parshall 1	565454	7570735	Vigente
8	02103002-3	Rio San Pedro en parshall 2	550384	7573438	Suspendida
9	02103003-1	Rio San Pedro en camino Internación	548215	7574043	Suspendida
10	02103004-K	Rio San Pedro en San Pedro	545407	7574680	Suspendida
11	02103005-8	Rio Silala	596115	7564064	Suspendida
12	02103006-6	Rio San Pedro antes río Loa	541588	7571487	Suspendida
13	02104002-9	Río Loa en salida embalse Conchi	539309	7564329	Vigente
14	02104003-7	Río Loa en alcantarilla Conchi n"2	540537	7569789	Vigente
15	02104004-5	Río Loa en alcantarilla Conchi n 1	540611	7569991	Suspendida
16	02104005-3	Río Loa antes junta Río Salado	536042	7527192	Vigente
17	02104006-1	Río Loa después Río San Pedro	540629	7570190	Suspendida
18	02105002-4	Río Salado en sifón Ayquina	567699	7535357	Vigente
19	02105003-2	Río Salado en represa Chilex	549260	7533192	Suspendida
20	02105005-9	Río Salado antes junta Loa	536875	7526674	Suspendida
21	02105006-7	Río Toconce en represa SENDOS	587754	7536888	Suspendida
22	02105007-5	Río Toconce antes represa SENDOS	588216	7536667	Vigente
23	02105009-1	Río Toconce antes río Salado	581488	7536788	Suspendida
24	02105010-5	Río Salado antes río Toconce	581709	7536146	Suspendida
25	02105011-3	Río Salado antes río Caspana	576826	7536788	Suspendida
26	02105012-1	Río Caspana antes río Salado	576304	7536287	Suspendida
27	02110001-3	Río Loa en Escorial	511475	7518227	Suspendida
28	02110002-1	Río Loa en Yalquincha	512605	7517668	Vigente
29	02110003-K	Río Loa en Chintorastes	508574	7515483	Suspendida
30	02110004-8	Río Loa en Finca	501130	7511123	Vigente
31	02110005-6	Río Loa en Calama	510290	7517327	Suspendida
32	02110006-4	Río Loa en terraza municip. Calama	508570	7515480	Suspendida

ID FL	Código BNA	Nombre Estación	Coordenadas UTM (WGS84 Huso 19)		Vigencia
			Este	Norte	
33	02110007-2	Río Loa antes junta San Salvador	445661	7523208	Suspendida
34	02110008-0	Río Loa después junta río Salado	535295	7525791	Suspendida
35	02110011-0	Río Loa en Angostura	528441	7517860	Suspendida
36	02110012-9	Agua potable Calama	509820	7517402	Suspendida
37	02111001-9	Vertiente Ojos de Opache	500036	7513939	Suspendida
38	02111002-7	Río San Salvador antes junta río Loa	445839	7523356	Vigente
39	02111003-5	Río Quentena antes Ojos de Opache	498285	7515486	Suspendida
40	02112001-4	Río Loa en Quillagua	443903	7607113	Suspendida
41	02112002-2	Canal Quillagua en Quillagua	444262	7606515	Vigente
42	02112003-0	Río Loa en panamericana	443424	7607892	Suspendida
43	02112004-9	Río Loa en camino Chuqui-Tocopilla	442596	7537501	Suspendida
44	02112005-7	Río Loa antes zona agrícola Quillagua	446566	7598883	Suspendida
45	02112007-3	Río Loa después junta San Salvador	445442	7523624	Suspendida
46	02120001-8	Río Loa en desembocadura	390800	7630449	Vigente

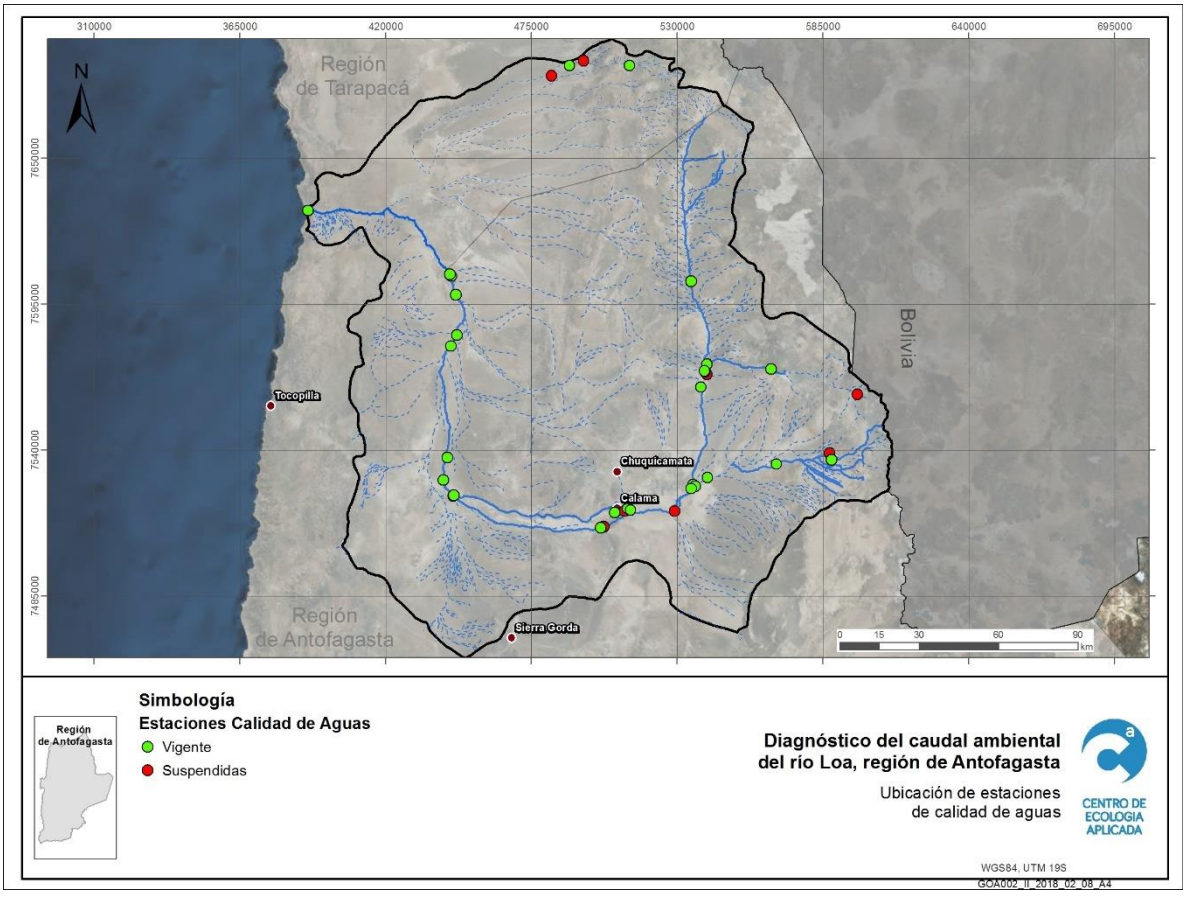


Figura 3.29. Estaciones de calidad de agua, suspendidas y vigentes, a lo largo del río Loa, desde la desembocadura hasta su nacimiento. (Fuente: DGA)

3.1.2.3 Estaciones fluviométricas DGA

El catastro de estaciones fluviométricas presentes en la zona de estudio arrojó la existencia total de 71 estaciones. De ellas, 62 (87%) son estaciones Vigentes y 9 (13%) estaciones suspendidas.

Las variables fluviométricas consultadas a la DGA fueron: caudal medio diario (Qmd), caudal medio mensual (Qmm), y altura y caudal instantáneo (ACi).

Tabla 3.12. Estaciones fluviométricas. DGA 2018

ID FL	Código BNA	Nombre Estación	Coordenadas UTM (WGS84 Huso 19)		Vigencia
			Este	Norte	
1	02104020-7	CANAL BUEN RETIRO	539214	7539788	VIGENTE
2	02110023-4	CANAL CHUNCHURI BAJO	507486	7513977	VIGENTE
3	02110024-2	CANAL DUPONT	504543	7512164	VIGENTE
4	02110025-0	CANAL EL TRONCO	504544	7518098	VIGENTE
5	02104014-2	CANAL GRANDE	537515	7535396	VIGENTE
6	02104017-7	CANAL LA BANDA	537486	7535426	VIGENTE
7	02110026-9	CANAL LA PRENSA	506029	7513086	VIGENTE
8	02110027-7	CANAL LAY LAY	510317	7516497	VIGENTE
9	02104015-0	CANAL LOS PERALES	538581	7538283	VIGENTE
10	02104022-3	CANAL LOS RAMIREZ	539243	7539758	VIGENTE
11	02110028-5	CANAL NUÑEZ	507887	7514376	VIGENTE
12	02104016-9	CANAL PONA	538581	7538253	VIGENTE
13	02104018-5	CANAL PUEBLO	536132	7531186	VIGENTE
14	02104021-5	CANAL QUILCHIRE	539214	7539788	VIGENTE
15	02112002-2	CANAL QUILLAGUA EN QUILLAGUA	444263	7606523	VIGENTE
16	02104019-3	CANAL SAN ANTONIO	539991	7541262	VIGENTE
17	02110029-3	CANAL TOPATER	510374	7516527	VIGENTE
18	02110030-7	CANAL YALQUINCHA 1	513204	7516833	VIGENTE
19	02110009-9	CANAL YALQUINCHA O.D. N* 1	515434	7517323	SUSPENDIDA
20	02110010-2	CANAL YALQUINCHA O.I. N* 2	517063	7516891	SUSPENDIDA
21	02101004-9	CAPTACION DE AGUAS ANTOFAGASTA EN LEQUENA	536097	7616786	VIGENTE
22	02110020-K	CAPTACION DE AGUAS ANTOFAGASTA EN PUENTE NEGRO	510261	7518003	VIGENTE
23	02102007-9	CAPTACION DE AGUAS ANTOFAGASTA EN QUINCHAMALE	541657	7576003	VIGENTE
24	02105033-4	CAPTACION DE AGUAS ANTOFAGASTA EN TOCONCE	585436	7538158	VIGENTE
25	02103016-3	CAPTACION DE CODELCO EN COLANA	585657	7573520	VIGENTE
26	02103017-1	CAPTACION DE CODELCO EN INACALIRI	596009	7563313	VIGENTE
27	02105035-0	CAPTACION DE CODELCO EN LINZOR (TOCONCE)	600257	7541545	VIGENTE
28	02103015-5	CAPTACION DE FCAB EN SILOLI	599197	7564216	VIGENTE
29	02112013-8	CAPTACION DE SQM COYA SUR	445671	7523477	VIGENTE
30	02110021-8	CAPTACION DE SQM PEDRO DE VALDIVIA (VERGARA)	454494	7517909	VIGENTE
31	02112012-K	CAPTACION SQM MARIA ELENA	441905	7528691	VIGENTE
32	02105034-2	CAPTACIONES CODELCO EN SALADO-	578985	7536163	VIGENTE

ID FL	Código BNA	Nombre Estación	Coordenadas UTM (WGS84 Huso 19)		Vigencia
			Este	Norte	
		HOJALAR			
33	02104011-8	EMBALSE CONCHI (LM)	539420	7564601	VIGENTE
34	02104005-3	RIO LOA ANTES JUNTA RIO SALADO	536036	7527190	VIGENTE
35	02110007-2	RIO LOA ANTES JUNTA SAN SALVADOR	445672	7523201	VIGENTE
36	02101001-4	RIO LOA ANTES REPRESA LEQUENA	534950	7605197	VIGENTE
37	02112005-7	RIO LOA ANTES ZONA AGRICOLA QUILLAGUA	446559	7598875	VIGENTE
38	02112006-5	RIO LOA D. J. SAN SALVADOR (CHACANCE)	445441	7523630	VIGENTE
39	02112007-3	RIO LOA D. J. SAN SALVADOR-(M. ELENA)	441818	7529060	VIGENTE
40	02110008-0	RIO LOA DESPUES JUNTA RIO SALADO (CA)	535290	7525777	VIGENTE
41	02104004-5	RIO LOA EN ALCANTARILLA CONCHI N"1	540609	7569980	SUSPENDIDA
42	02104003-7	RIO LOA EN ALCANTARILLA CONCHI N"2	540523	7569795	VIGENTE
43	02110031-5	RIO LOA EN ANGOSTURA	527123	7516384	VIGENTE
44	02102006-0	RIO LOA EN CATUNCALLA	540256	7589166	VIGENTE
45	02110003-K	RIO LOA EN CHINTORASTE	502342	7511488	SUSPENDIDA
46	02104001-0	RIO LOA EN CONCHI	540605	7568412	SUSPENDIDA
47	02120001-8	RIO LOA EN DESEMBOCADURA	390803	7630449	VIGENTE
48	02110001-3	RIO LOA EN ESCORIAL	511462	7518218	VIGENTE
49	02110004-8	RIO LOA EN FINCA	501142	7511120	VIGENTE
50	02112003-0	RIO LOA EN PANAMERICANA	443424	7607904	VIGENTE
51	02102001-K	RIO LOA EN QUEBRADA QUINCHAMALE	540969	7576005	VIGENTE
52	02112001-4	RIO LOA EN QUILLAGUA	444811	7605787	VIGENTE
53	02101002-2	RIO LOA EN REPRESA LEQUENA	535264	7604060	VIGENTE
54	02104002-9	RIO LOA EN SALIDA EMBALSE CONCHI	539132	7564018	VIGENTE
55	02104013-4	RIO LOA EN VADO SANTA BARBARA (DOH)	540438	7570195	VIGENTE
56	02110002-1	RIO LOA EN YALQUINCHA	512605	7517664	VIGENTE
57	02105001-6	RIO SALADO A. J. CURTI	578012	7536045	VIGENTE
58	02105005-9	RIO SALADO A. J. LOA	536865	7526665	VIGENTE
59	02105003-2	RIO SALADO ANTES REPRESA CHILEX	584044	7534784	SUSPENDIDA
60	02105002-4	RIO SALADO EN SIFON AYQUINA	567504	7534956	VIGENTE
61	02103003-1	RIO SAN PEDRO EN CAMINO INTERNACIONAL	548222	7574048	SUSPENDIDA
62	02103018-K	RIO SAN PEDRO EN PARSHALL 2 (CODELCO)	550140	7573057	VIGENTE
63	02103001-5	RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N"1	565449	7570727	VIGENTE
64	02103002-3	RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N"2 (BT. CHILEX)	550371	7573426	VIGENTE
65	02103004-K	RIO SAN PEDRO EN SAN PEDRO	545412	7574671	SUSPENDIDA
66	02111002-7	RIO SAN SALVADOR ANTES JUNTA RIO LOA	445843	7523355	VIGENTE
67	02111005-1	RIO SAN SALVADOR EN NACIMIENTO	504230	7518037	VIGENTE
68	02103013-9	RIO SILOLI ANTES REPRESA INACALIRI	596732	7564232	VIGENTE
69	02105007-5	RIO TOCONCE ANTES REPRESA	588204	7536667	VIGENTE

ID FL	Código BNA	Nombre Estación	Coordenadas UTM (WGS84 Huso 19)		Vigencia
			Este	Norte	
		SENDOS			
70	02111001-9	VERTIENTE OJOS DE OPACHE	500028	7513948	VIGENTE
71	02105008-3	VERTIENTE TURI TURI	574117	7541630	SUSPENDIDA

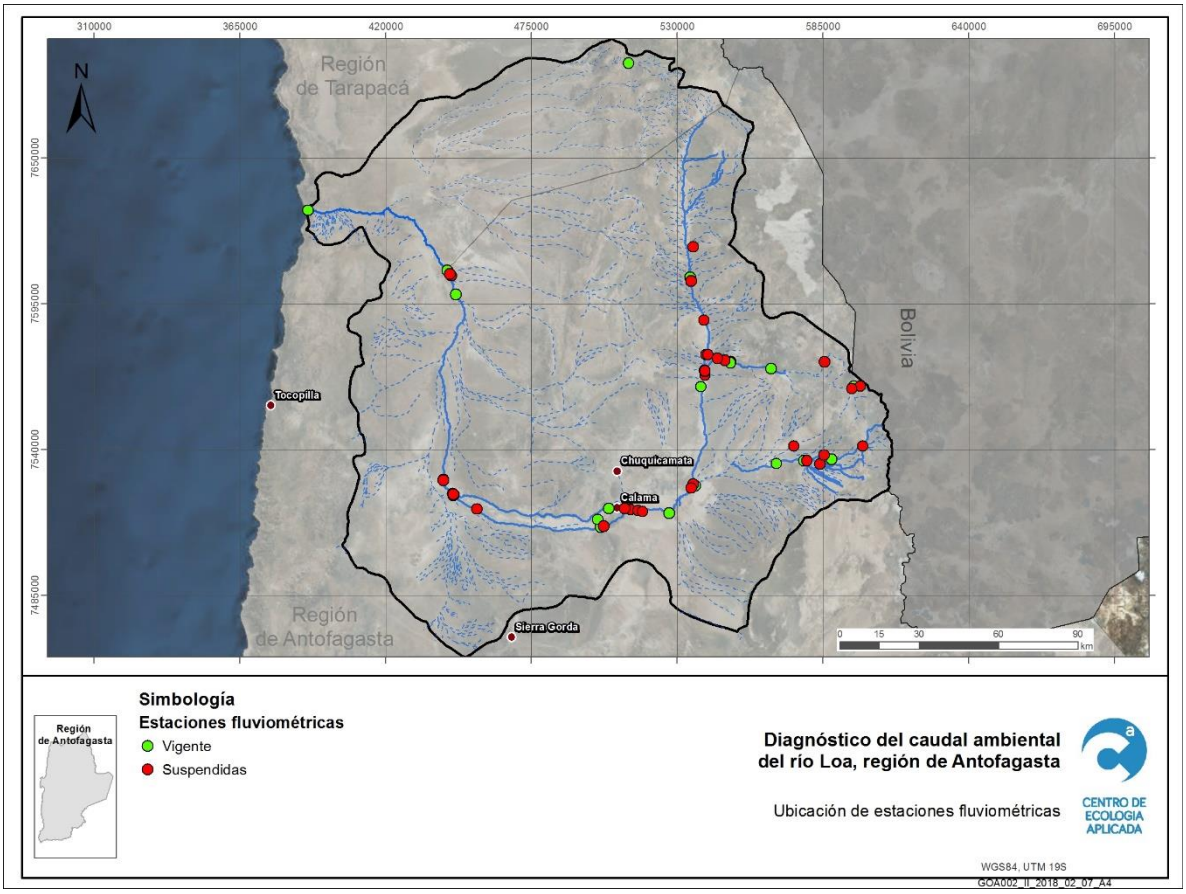


Figura 3.30. Estaciones fluviométricas y de calidad de agua, suspendidas y vigentes, a lo largo del río Loa, desde la desembocadura hasta su nacimiento. (Fuente: DGA)

3.1.2.4 Estaciones sedimentológicas DGA

A continuación, en la Tabla 3.13 se tabulan las estaciones sedimentológicas que posee la DGA, se especifica también su ubicación y vigencia.

Tabla 3.13. Estaciones sedimentológicas. DGA2018

ID FL	Código BNA	Nombre Estación	Coordenadas UTM (WGS84 Huso 19)		Vigencia
			Este	Norte	
FL-1	02110001-3	Río Loa en Escorial	511256	7517865	VIGENTE
FL-2	02110002-1	Río Loa en Yalquincha	512391	7517313	SUSPENDIDA
FL-3	02105002-4	Río Salado En Sifón Ayquina	567493	7535010	VIGENTE
FL-4	02101002-2	Río Loa en Represa Lequena	534966	7605227	SUSPENDIDA
FL-5	02101001-4	Río Loa Antes Represa Lequena	534743	7604843	VIGENTE

3.1.2.5 Niveles de pozos

A continuación, en la Tabla 3.14 se tabulan las estaciones de monitoreo de niveles de pozos que posee la DGA, se especifica también su ubicación y vigencia.

Tabla 3.14. Niveles de pozo. DGA2018

ID FL	Código BNA	Nombre Estación	Coordenadas UTM (WGS84 Huso 19)		Vigencia
			Este	Norte	
FL-1	02110019-6	Isla Grande 2	535169	7523335	VIGENTE
FL-2	02105023-7	Chiu-Chiu	541542	7529883	VIGENTE
FL-3	02105024-5	Cupo-1	563395	7535619	VIGENTE
FL-4	02105025-3	Turi-1	567419	7538436	VIGENTE
FL-5	02105032-6	Turi-10	569011	7540091	VIGENTE
FL-6	02105030-K	Turi-2	571849	7540091	VIGENTE
FL-7	02104011-8	Embalse Conchi (LM)	539213	7564247	VIGENTE

3.1.2.6 Estaciones CODELCO: fluviométricas y de calidad de aguas

El último informe elaborado por la empresa AMPHOS21 para CODELCO, sistematiza la información de los planes de vigilancia ambiental que posee la empresa dentro de la cuenca, analizando una importante cantidad de datos disponibles desde el año 2002 hasta la fecha. El informe realiza un análisis acabado de la red fluviométrica y de calidad de agua; en la Tabla 3.15 se presentan las estaciones que se revisaron con el respectivo código.

Tabla 3.15. Estaciones de monitoreo, tanto fluviométricas como de calidad de aguas analizadas en el último reporte de CODELCO. Fuente AMPHOS 2018.

Estaciones de Monitoreo	Cauce	Coordenada E*	Coordenada N*	Medición Caudal (i)	Medición Físico Químico (ii)
RL-1	Loa	534.451	7.655.743	SI	-
RLA	Loa	534.599	7.655.827	SI	SI
RL-2	Loa	534.361	7.655.681	SI	-
RL-4	Loa	532.352	7.648.546	SI	-
RLB	Loa	537.541	7.643.641	SI	SI
RL-6	Loa	532.523	7.640.769	SI	-
RLC	Loa	532.063	7.633.680	SI	SI
RLE	Loa	532.882	7.618.631	SI	SI
RL-8	Loa	533.410	7.615.966	SI	SI
RL-9	Loa	534.452	7.609.714	SI	-
RLF	Loa	534.944	7.605.216	SI	SI
RL-11	Loa	535.038	7.604.295	SI	-
RL-12	Loa	540.941	7.575.797	SI	SI
RL-13	Loa	540.223	7.569.841	SI	SI
RLH	Loa	539.115	7.564.015	SI	SI
RLI	Loa	539.833	7.540.854	-	SI
RLJ	Loa	535.543	7.526.226	SI	SI
SALADO-6	Salado	584.635	7.534.269	SI	SI
RÍO SALADO	Salado	582.613	7.535.101	-	SI
CAPTACIÓN SALADO	Salado	580.828	7.535.993	-	SI
SALADO-4	Salado	578.038	7.535.993	SI	SI
SALADO-5	Salado	578.039	7.535.904	SI	SI
RLK	Salado	535.801	7.526.170	SI	SI
RLL	Loa	535.200	7.525.700	SI	SI
RLM	Loa	527.708	7.516.520	SI	SI
RLN	Loa	520.31	7.517.241	SI	SI
RLQ	Loa	512.391	7.517.296	SI	SI
BL-3	Loa	508.992	7.514.422	SI	SI
BL-4	Loa	504.861	7.512.410	SI	SI
RLR	Loa	500.929	7.510.784	SI	SI
RLS	Loa	445.618	7.523.182	SI	SI
RSSA	San Salvador	500.338	7.513.705	SI	SI
RSSB	San Salvador	496.779	7.513.513	SI	SI
RSSC	San Salvador	446.039	7.523.061	SI	SI

Estaciones de Monitoreo	Cauce	Coordenada E*	Coordenada N*	Medición Caudal (i)	Medición Físico Químico (ii)
RLT	Loa	445.505	7.523.385	SI	SI
RLV	Loa	446.862	7.583.415	-	SI
RLDS	Loa	447.005	7.584.114	-	SI
RLPQ	Loa	446.387	7.598.528	SI	SI
RLDA	Loa	441.788	7.608.842	SI	SI
RLW	Loa	390.648	7.630.083	SI	SI

La ubicación de estas estaciones, donde se mide mensualmente el caudal y calidad de aguas, se grafica en la Figura 3.31:

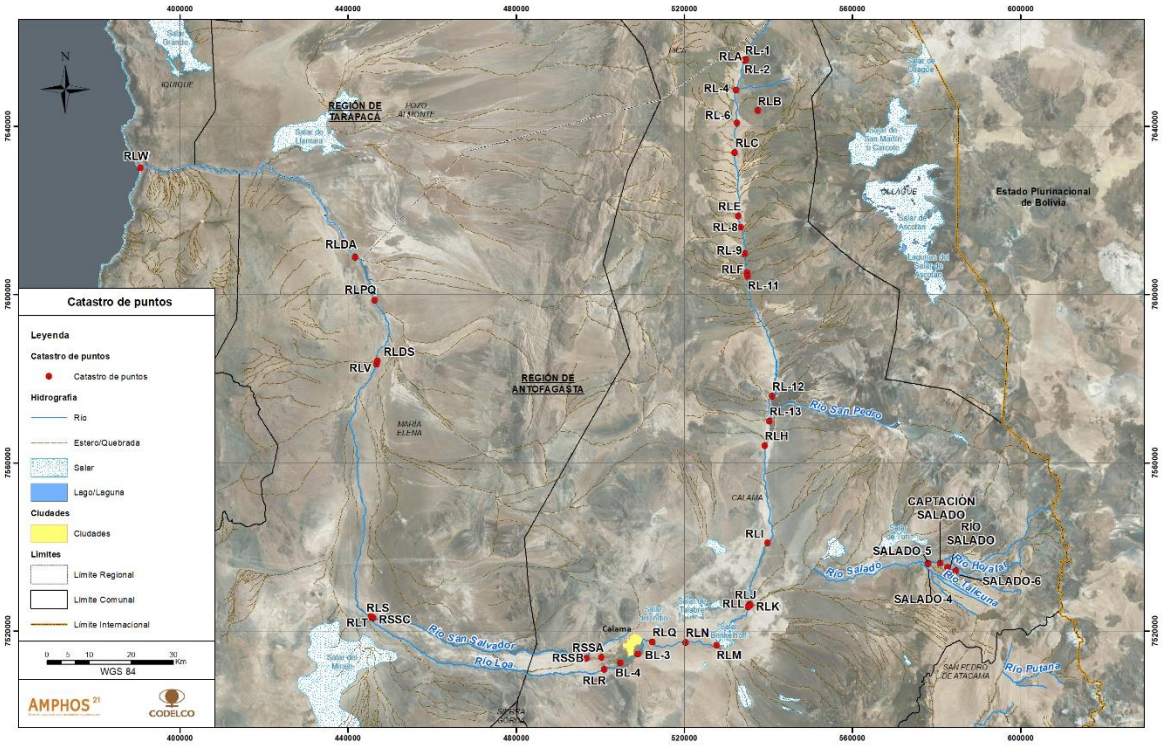


Figura 3.31. Distribución de las estaciones de monitoreo que posee CODELCO para el río Loa, Salado y San Salvador. Fuente AMPHOS 2018

3.1.3 Análisis de la actual red fluviométrica y de calidad de agua de la cuenca del río Loa.

A continuación se presenta el diagrama unifilar del río Loa, el cual detalla las principales extracciones en su extensión, desde su nacimiento en el Volcán Miño a su desembocadura en el mar. Adicionalmente se presenta la cantidad de estaciones fluviométricas, meteorológicas y de calidad de agua existentes en tres tramos del río Loa y el río Salado. Para el caso del río Loa el diagrama se divide en tres secciones: Loa superior, que va desde su nacimiento hasta la confluencia del mismo con el río salado, el Loa medio comprende desde el embalse Conchi hasta su confluencia con el río San Salvador, mientras que finalmente el Loa inferior corresponde a la sección posterior a esta confluencia hasta la desembocadura. Los datos incorporados corresponden a derechos de aguas superficiales, de tipo consuntivo y permanente en el caso de las empresas y de uso consuntivo y discontinuo en el caso de la agricultura presente, salvo la extracción subterránea de CODELCO aguas arriba de río San Pedro.

Se observa que las secciones mayormente intervenidas corresponden al Loa superior y medio, en el primer caso, son las grandes empresas las que generan las extracciones más importantes, destacando a Aguas Antofagasta, que realiza extracciones en la parte superior de la Cuenca e incluso en Cuencas aportantes a esta sección, el motivo se relaciona con la calidad de agua presente en esa zona. En el caso del Loa medio, el sector agrícola presenta un significativo peso relativo en relación con las extracciones de aguas, destacando que estos derechos superficiales son de uso eventual y no permanente, por lo que no representan un caudal instantáneo de uso. Sin perjuicio de lo anterior el uso agrícola se encuentra ampliamente distribuido en las localidades de Calama, Lasana y Chiu Chiu, dónde la calidad de agua aún permite el desarrollo de cultivos tolerantes a la salinidad.

En la sección del Loa bajo, la principal extracción la realiza la empresa SQM en María Elena, por lo que la capacidad de diluir contaminantes o de albergar la vida silvestre que posee el río se ve disminuida antes de llegar a la localidad de Quillagua, en la cual históricamente se realizaban actividades agrícolas, sin embargo, dado el contexto actual esto no sucede lo que implica que no se generen mayores extracciones en esta localidad.

En relación con las estaciones de medición de caudales, calidad de agua y precipitaciones asociadas al cuerpo fluvial se presenta la siguiente información:

i. Loa superior

11 estaciones de calidad de agua, 4 de la DGA (de las cuales 2 están suspendidas) y 7 correpondientes a seguimiento ambiental que posee CODELCO División Radimiro Tomic; 14 estaciones meteorológicas 12 de la DGA y 2 del programa de vigilancia ambiental de Minera el Abra; y finalmente para las estaciones fluviométrica existe un total de 17 , 5 de la DGA (3 suspendidas) y 13 de CODELCO.

ii. Loa medio

21 estaciones de calidad de aguas, 16 de la DGA (5 suspendidas) y 10 de CODELCO; 9 estaciones meteorológicas, 4 de la DGA, 2 del INIA, 1 de la DMC, 2 de Minera el Abra; 32 estaciones fluviométricas, 23 de la DGA (16 suspendidas) Y 9 de CODELCO.

iii. Loa bajo

15 estaciones de calidad de agua, 9 de la DGA y 6 de CODELCO, 3 estaciones meteorológicas de la DGA; y 11 estaciones fluviométricas, 7 de la DGA (4 suspendidas), 4 de CODELCO.

Río Salado: 10 estaciones, 4 de la DGA (1 suspendida) y 6 de CODELCO. 10 estaciones meteorológicas, 9 de la DGA y 1 del INIA; 12 estaciones fluviométricas, 8 de la DGA (4 suspendidas) y 6 de CODELCO

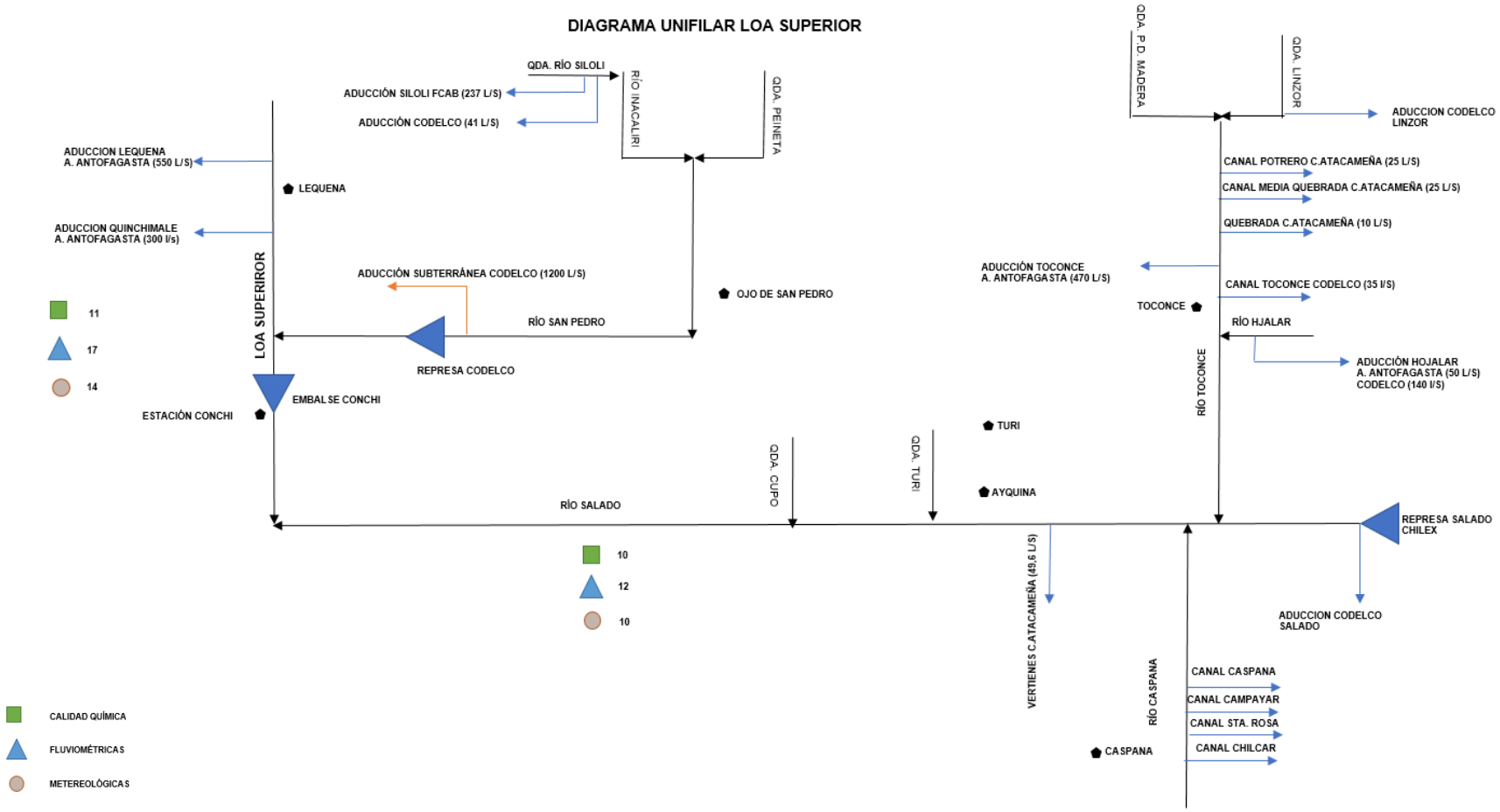


Figura 3.32. Diagrama Unifilar Río Loa (sector superior)

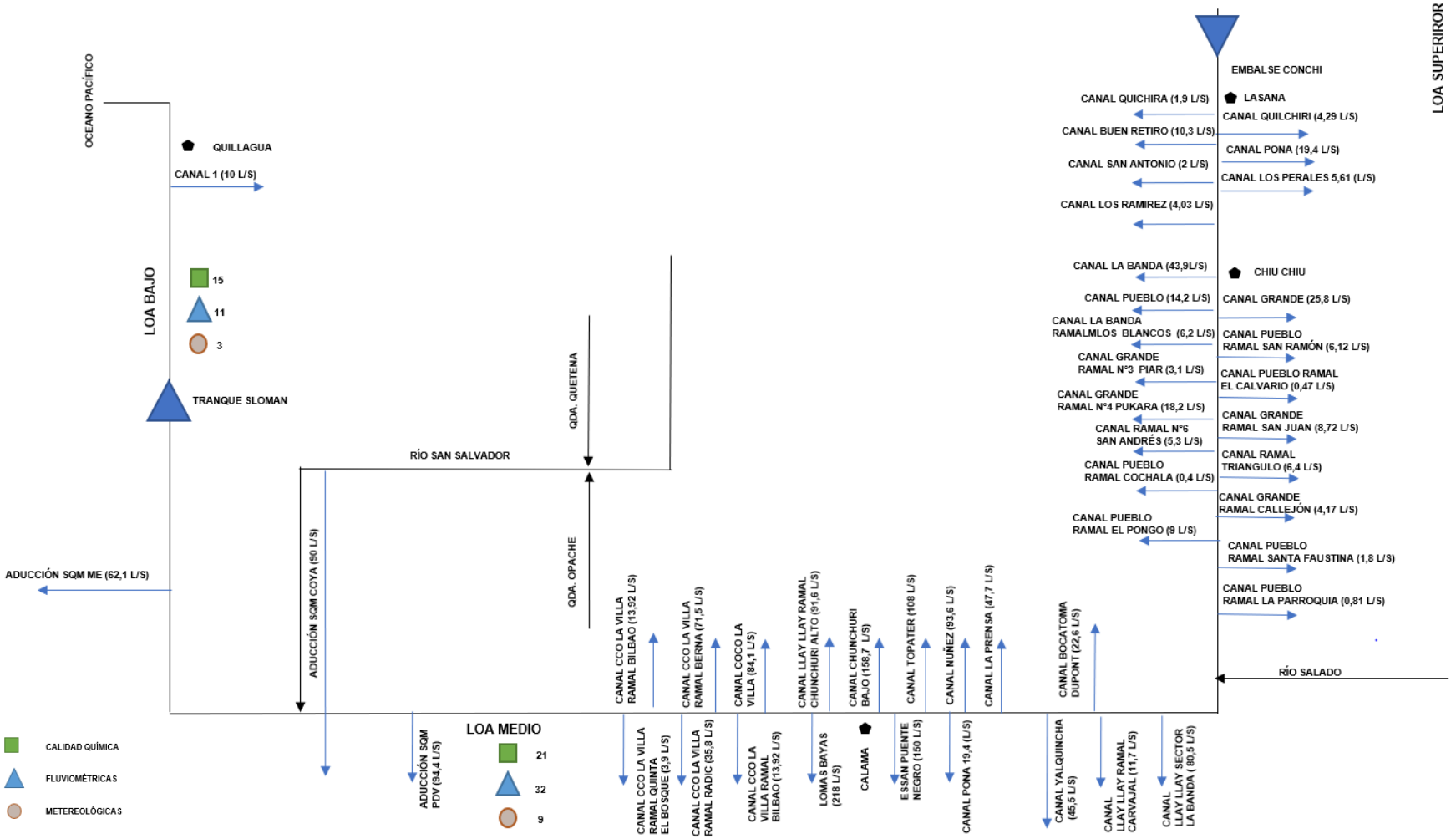


Figura 3.33. Diagrama Unifilar Río Loa (sectores medio y bajo).

3.1.3.1 Estaciones fluviométricas

3.1.3.1.1 Cantidad de estaciones

Es posible decir que la cuenca cuenta con un importante número de estaciones fluviométricas, integrando las que pertenecen a organismos privados y públicos, sin embargo, en este último caso, existe el riesgo de que por motivos de mantención, la estación pierda su condición de vigencia, generando vacíos de información en el tiempo. Esta situación se puede observar en el análisis previo que se realiza por cada estación, dónde existen periodos de tiempo en que las mediciones se ven interrumpidas debido a la situación mencionada.

3.1.3.1.2 Ubicación de las estaciones

En relación con la ubicación de las estaciones mencionadas, cabe destacar que las estaciones se ubican en toda la extensión del río, además de las presentes en los principales tributarios, por lo que se puede concluir que, las estaciones de la DGA se encuentran correctamente distribuidas y las estaciones que posee CODELCO en este caso, son un importante aporte para robustecer la red hidrométrica presente en la cuenca. La zona de la desembocadura también está cubierta con una estación fluviométrica vigente de la DGA.

3.1.3.1.3 Densidad de los datos

A pesar de que existe una buena densidad de estaciones distribuidas a lo largo del cauce principal, hay que destacar más del 60% de estas se encuentran suspendidas, lo que genera una dificultad al momento de realizar un monitoreo más acabado basándose en los datos públicos, sin embargo, el aporte de la base de datos que posee CODELCO es importante, ya que desde el año 2002 a la fecha, en todas sus estaciones, posee una densidad de datos superior al 95%, permitiendo complementar la información histórica que presenta la DGA en su base de datos.

3.1.3.2 Estaciones de calidad de aguas

3.1.3.2.1 Cantidad y Ubicación de las estaciones

En relación con la cantidad de estaciones públicas de calidad de agua, cabe destacar que existe una buena densidad de ellas, sin embargo, sería importante fortalecer las mediciones en el río San Salvador, debido a que este se ve fuertemente presionado debido a las aguas que descarga la empresa Tratacal por medio de Quebrada Quetena. Sin perjuicio de lo anterior, existe una buena continuidad de la información, aunque no en todas las estaciones se han realizado la medición de los mismos parámetros, dificultando el ejercicio de comparación entre estaciones ubicadas en lugares distintos. Al igual que en el caso de la red Fluviométrica, los aportes que realiza el plan de vigilancia ambiental, robustecen la densidad de datos, lo cuál hace posible realizar un buen análisis de estos. La zona de la desembocadura también está cubierta con una estación calidad de aguas

vigente de la DGA, por lo cual no se hace necesario incorporar punto de muestreo en esta zona.

3.1.3.2.2 Parámetros medidos

De manera referencial los parámetros de calidad de aguas se compararon con la Norma Chilena NCh 1.333 Of.78 Modificada en 1987 "Requisitos de Calidad del Agua para diferentes usos" y con los niveles de calidad establecidos en el Decreto Supremo 143/2009, el cual establece las "Normas de calidad primaria para las aguas continentales superficiales aptas para actividades de recreación con contacto directo".

Estas normas son aplicables a los distintos usos del río, es decir a los distintos servicios ecosistémicos. En particular, el D.S.143 establece los requisitos en los parámetros indicadores de calidad del agua, enfocado en un uso recreativo con contacto directo. Mientras que la norma NCh 1333, además del uso recreativo, establece los requisitos incorporando el uso de agua con fines de riego y para la vida acuática. Los valores establecidos por estas normas para los distintos parámetros de calidad de agua se resumen en la Tabla 3.16.

Tabla 3.16. Valores establecidos en la NCh1333 Of.78 y Decreto Supremo 143/2009, para los parámetros de calidad de agua analizados

Parámetro		Unidad	Normativa	
			NCh1333 Of78	DS 143/2009
Parámetros *in-situ*	Conductividad eléctrica	mS/cm	0,75 (1)	
	Oxígeno disuelto	mg/L	>5,0 (2)	
	pH	-	5,5 - 9,0 (1)	6,0 - 8,5
			6,0 - 9,0 (2)	
			6,5 - 8,3 (3)	
	Salinidad	g/L		
	Temperatura	°C	30 (3)	
Parámetros fisicoquímicos	Alcalinidad total	mg CaCO3/L	>20 (2)	
	Color verdadero	Pt-Co	ausente (2)	100
			100 (3)	
	Sólidos disueltos totales	mg/L	500 (1)	
	Sólidos sedimentables	mL/L		
	Sólidos totales suspendidos	mg/L		
	Turbidez	NTU		
Nutrientes	Amonio	ug/L		
	Fósforo total	ug/L		
	Nitrato	ug/L		
	Nitrito	ug/L		
	Nitrógeno total kjeldahl	mg/L		
Iones mayoritarios	Calcio total	mg/L		
	Cloruro	mg/L	200 (1)	
	Magnesio total	mg/L		
	Potasio total	mg/L		
	Sílice	mg/L		
	Sodio total	mg/L		
	Sulfato	mg/L	250 (1)	

Parámetro		Unidad	Normativa	
			NCh1333 Of78	DS 143/2009
Metales y metaloides	Aluminio total	mg/L	5,00 (1)	
	Arsénico total	mg/L	0,10 (1)	0,11
	Bario total	mg/L	4,00 (1)	
	Berilio total	mg/L	0,10 (1)	
	Boro total	mg/L	0,75 (1)	
	Cadmio total	mg/L	0,01 (1)	0,033
	Cobalto total	mg/L	0,05 (1)	
	Cobre total	mg/L	0,20 (1)	
	Cromo total	mg/L	0,10 (1)	0,55
	Hierro total	mg/L	5,00 (1)	
	Litio total	mg/L	2,50 (1)	
			0,075 (1*)	
	Manganeso total	mg/L	0,20 (1)	
	Mercurio total	mg/L	0,001 (1)	0,011
	Molibdeno total	mg/L	0,01 (1)	
	Níquel total	mg/L	0,20 (1)	
	Plata total	mg/L	0,20 (1)	
	Plomo total	mg/L	5,00 (1)	0,110
	Selenio total	mg/L	0,02 (1)	
	Vanadio total	mg/L	0,10 (1)	
	Zinc total	mg/L	2,00 (1)	
Parámetros biológicos	Clorofila a	mg/L		
	Coliformes Fecales	NMP/100 mL	1000 (1,3)	1000
	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L		
Otros parámetros de importancia ambiental	Aceites y grasas	mg/L	15,0 (3*)	
	Cianuro	mg/L	0,20 (1)	0,77
	Demanda química de oxígeno	mg/L		
	Fluoruro	mg/L	1,00 (1)	
	Hidrocarburos totales	mg/L		

Las estaciones monitoreadas por Codelco miden parámetros de calidad de aguas en el río Loa y sus afluentes principales. Las características físico química de las aguas superficiales del río Loa son monitoreadas mensualmente, en los siguientes parámetros: pH, Conductividad, Al, As, HCO3, B, Br, Cd, Ca, CO3, Zn, Cl, Cu, Cr, F, PO4, Fe, Li, Mg, Mn, Hg, Mo, NH4, NO3, Pb, K, Si, Na, STD, SO4, Aceites y Grasas, Coliformes Totales, Detergentes, DBO5, DQO, HTC, S, SS, ST, Turbiedad. Cabe señalar que todos los metales corresponden a la fracción total. (Codelco, 2018).

Por su parte, en las estaciones de calidad de aguas de la DGA, se miden con frecuencia semestral a trimestral, los siguientes parámetros: Conductividad eléctrica, Temperatura, concentraciones de bicarbotatos, boro, carbonatos, Cloruros, Sulfatos, Nitratos, Fosfatos, Arsénico, Cobre, Manganeso, Cadmio, Mercurio, Niquel, Cromo, Plomo Zinc y demanda química de O_2. Sin embargo, no se tiene la totalidad de estos análisis en todas las estaciones, los cual hace más completa la estadística de las estaciones de Codelco.

Un detalle importante es que la DGA en las mediciones de calidad de agua no presenta el parámetro de DBO_5, el cual indica el aporte orgánico que recibe el cuerpo fluvial, lo que potencia el efecto de eutrificación de sus aguas, lo que afecta el hábitat de las especies que se sustentan de los servicios ecosistémicos que presta el río Loa.

3.1.3.2.3 Análisis de los datos recopilados

A continuación, se muestran algunos de los análisis realizados por Codelco, en función de los resultados de los monitoreos en las estaciones epecificadas en la Tabla 3.15.

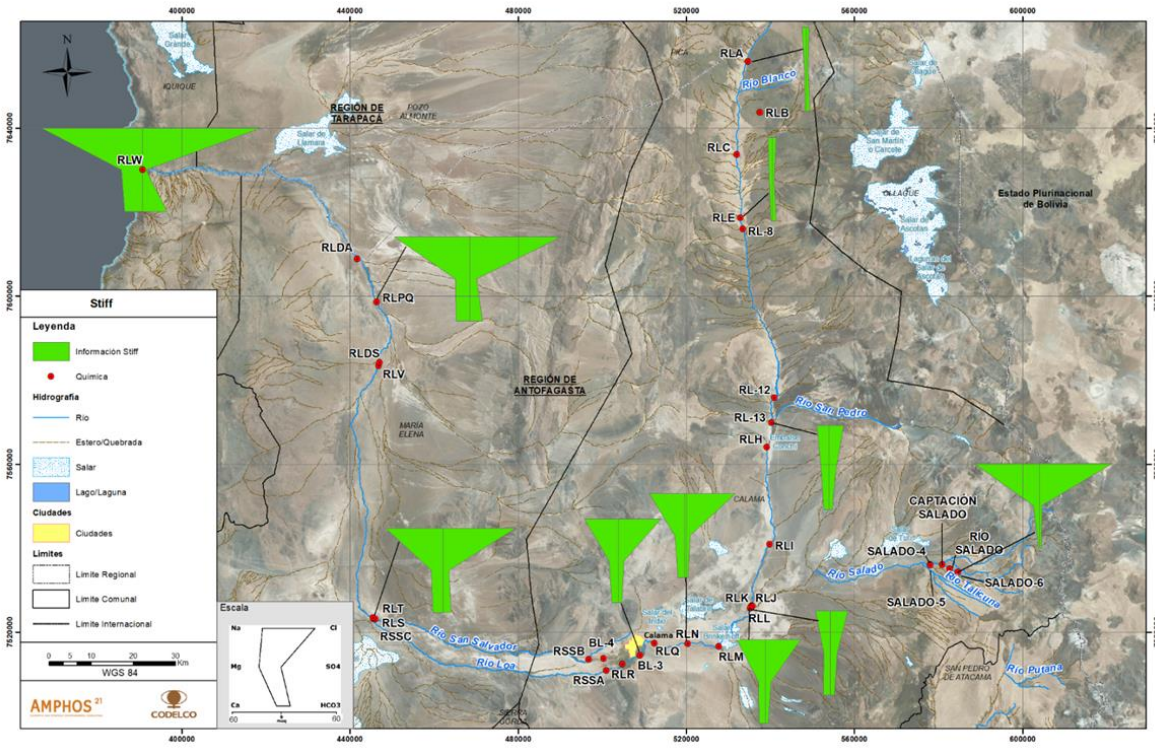


Figura 3.34. Diagramas de Stiff en miliequivalentes representativos de la zona de estudio (Codelco, 2018)

Los diagramas de Stiff (Figura 3.34) y de Piper (Figura 3.35) muestran que la química del agua del río Loa en su cabecera tiene características Sulfatadas/Cloruradas Magnésico-Sódicas y que el río Salado tiene un control directo en la calidad del agua del cauce del río Loa. Su aporte de aguas cargadas en cloruro produce que, a partir de la confluencia de los dos ríos, el río Loa tome un carácter químico Clorurado Sódico. Se ha considerado que, por las características composicionales del agua del río salado, realizar la descripción en diagramas de cajas y bigotes (Figura 3.36 a Figura 3.39) para el Sulfato, Cloruro, Boro y Arsénico, es una buena manera de correlacionar las diferentes variables que influyen en la calidad del agua. En el caso del sulfato, la concentración se mantiene estable en torno a los 200 mg/l a lo largo del río Loa. Es posterior a la confluencia del río Loa con el San Salvador cuando se observa un aumento en la concentración, de 900 mg/l en la estación RLV y 1.180 en la estación RLW en la desembocadura del río Loa. Se interpreta que los

aportes de sulfato pueden proceder directamente de la ciudad de Calama al recibir en la quebrada de Quetena sus aguas residuales domésticas tratadas. Para el cloruro se observa un caso similar al anterior, cerca del naciente del Loa las aguas tienen una carga de sales baja, características de aguas frescas. La concentración se ve claramente afectada por el aporte del río Salado, con concentraciones que pueden ir de 800 a 3.000 mg/l. Además de los aportes de Cloruros por el río Salado, los riegos en la ciudad de Calama también contribuyen a su aumento, por lo cual a medida que avanza el cauce del Loa, se va enriqueciendo. Por último, en el caso del Boro y del Arsénico, se han tratado al mismo nivel ya que ambos comparten un origen hidrotermal. Se observa claramente en los gráficos de cajas y bigotes (Figura 3.36 a Figura 3.39), donde a partir de la estación RLK, las concentraciones aumentan significativamente en el río Loa. Además, la química de los puntos en el río Salado muestra para el Boro concentraciones cuyas medianas son de unos 50 mg/l en estación Río Salado y para el Arsénico concentraciones medianas de entre 7 mg/l y 17 mg/l para las estaciones Salado-5 y Salado-6 respectivamente. (Codelco, 2018).

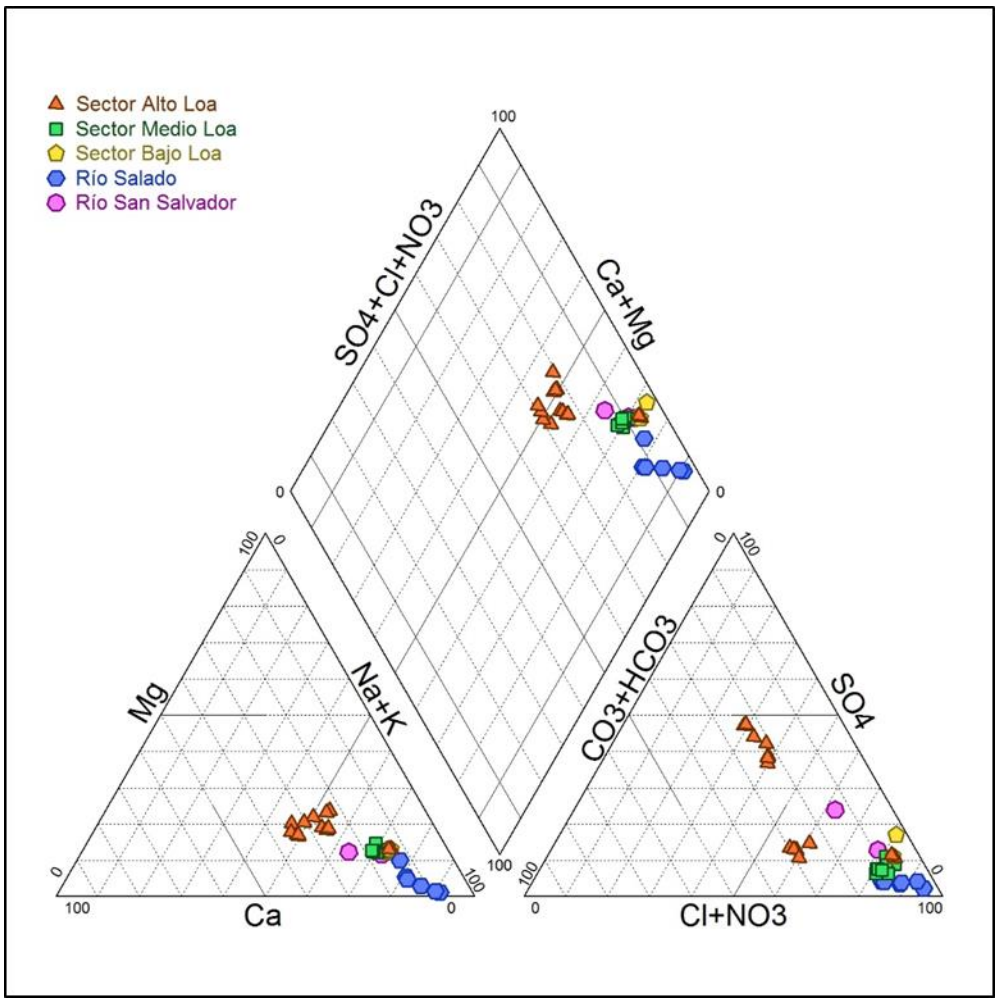


Figura 3.35. Diagrama de Piper con las muestras del río Loa. Salado y San Salvador (Codelco, 2018)

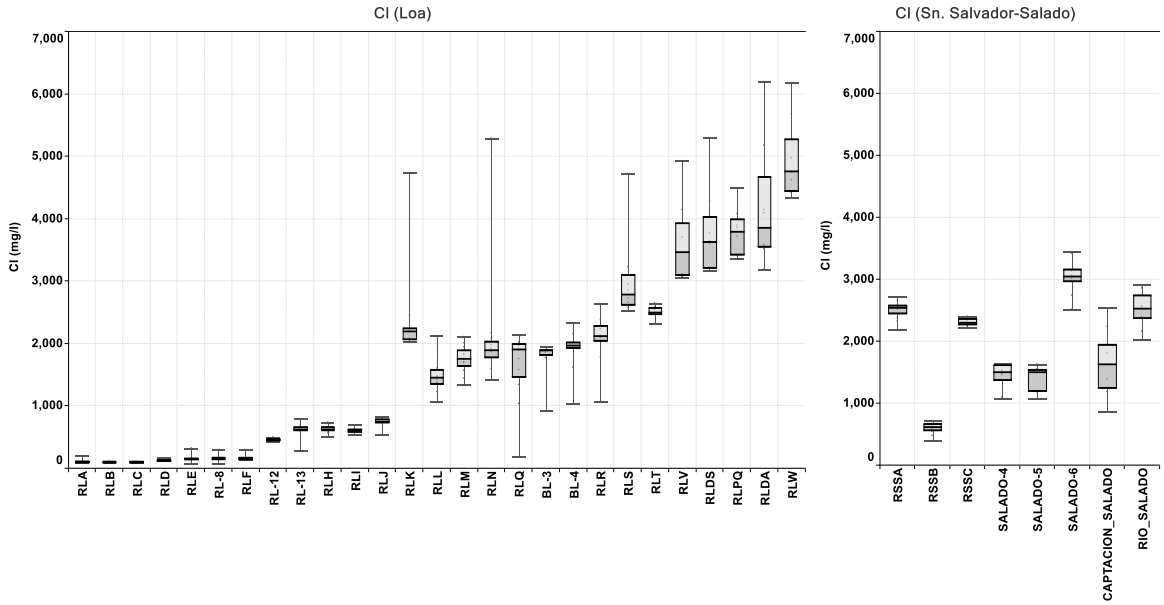


Figura 3.36. Gráfico de cajas y bigotes de cloruro a lo largo del cauce de los ríos Loa. Salado y San Salvador (Codelco, 2018)

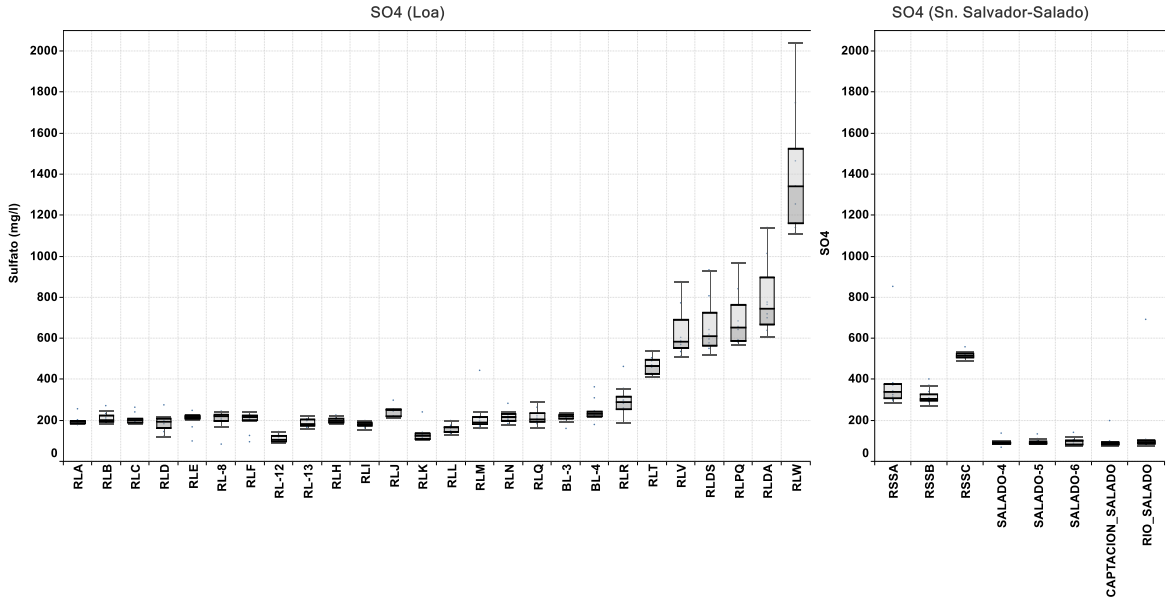


Figura 3.37. Gráfico de cajas y bigotes de sulfato a lo largo del cauce de los ríos Loa (gráfico izquierdo), y Salado - San Salvador (gráfico derecho). (Codelco, 2018)

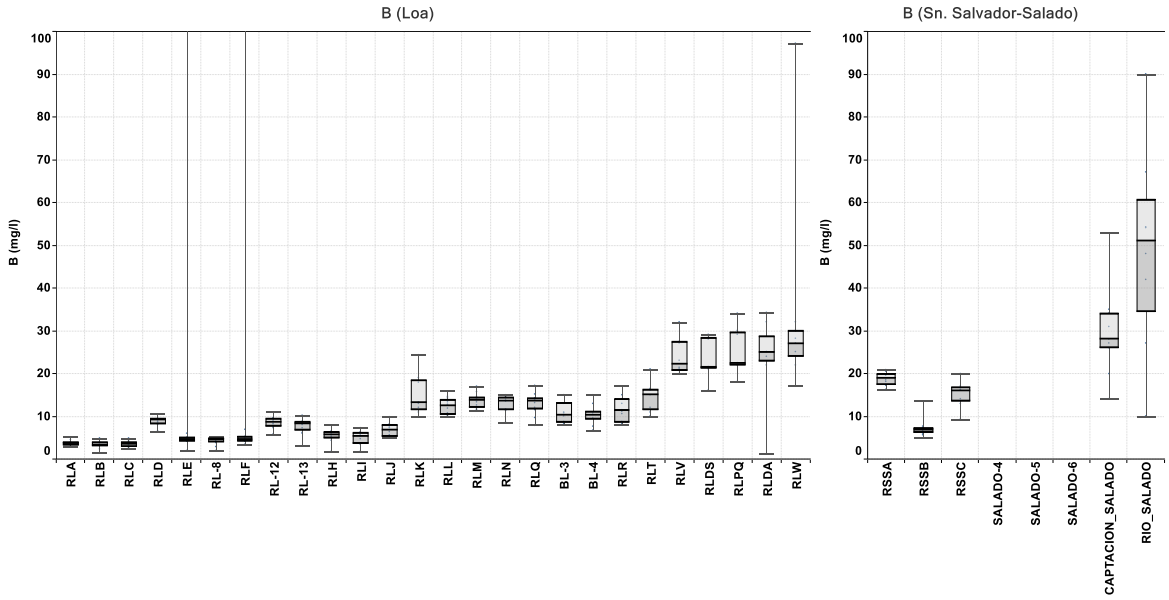


Figura 3.38. Gráfico de cajas y bigotes de boro a lo largo del cauce de los ríos Loa (gráfico izquierdo), y Salado - San Salvador (gráfico derecho) (Codelco, 2018)

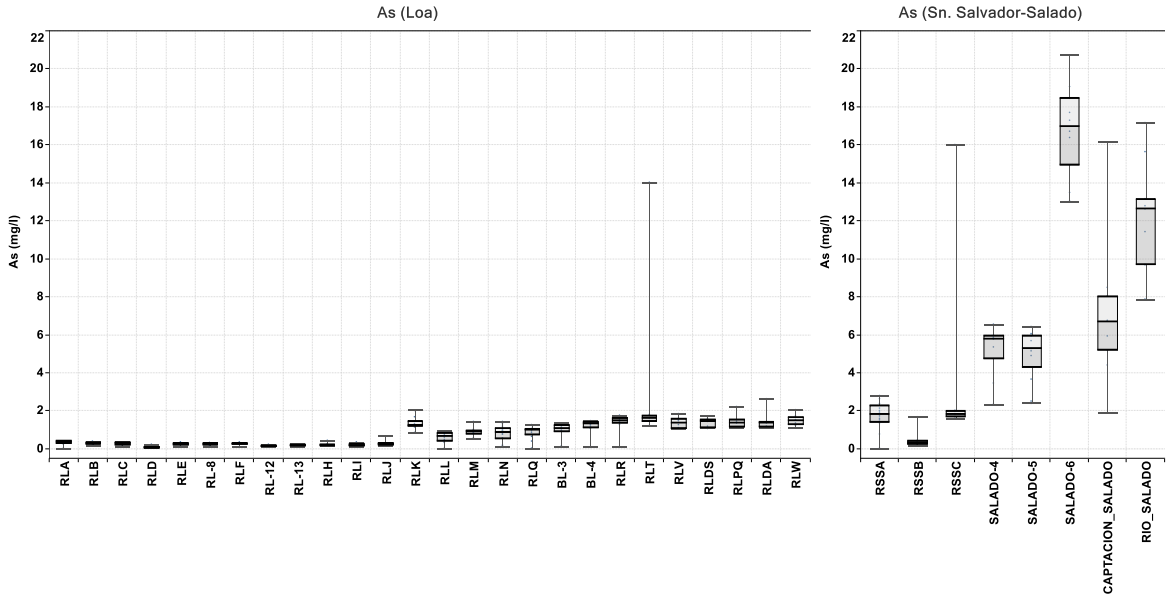


Figura 3.39. Gráfico de cajas y bigotes de arsénico a lo largo del cauce de los ríos Loa (gráfico izquierdo), y Salado - San Salvador (gráfico derecho). (Codelco, 2018)

3.1.4 Recursos hídricos en la cuenca

En este capítulo se abordará la oferta del recurso hídrico, asociado a las recargas que posee la cuenca, versus la integración de la demanda presentada por los diversos usos que se le da al recurso. Finalmente se contrastará esta información con los registros de la DGA y bienes raíces relativos a los derechos de aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneas, de uso consuntivo y no consuntivo.

3.1.4.1 Oferta

En relación con la oferta del recurso hídrico, se deben analizar las principales entradas al sistema de la cuenca, de modo de cuantificar estos aportes. Con datos del plan estratégico de recursos hídricos, elaborado por Arrau Ingenieros para la DGA en 2012, se puede realizar un análisis preliminar. Por otro lado, se tiene un estudio más reciente (Knight Piésold, 2014), en el cual se expone lo siguiente:

El caudal principal del río Loa se origina mayoritariamente por afloramientos de agua subterránea en la parte alta y en su trayectoria hacia el Océano Pacífico recibe los afluentes San Pedro, Salado y San Salvador. La última estimación de oferta hídrica en la cuenca del río Loa se realizó el año 2014, considerando la escorrentía total y el comportamiento en la cuenca hidrogeológica de Calama. En la Tabla 3.17 se muestra la estimación de escorrentía, y valores calculados en estudios anteriores. En la Tabla 3.18 se presentan las entradas al sistema acuífero de Calama.

Tabla 3.17. Oferta estimada en la cuenca del río Loa. Fuente: Knight Piésold, 2014.

Usuario	Escorrentía Total (L/s)		
	DGA 2003	DPEGHR[1]	KP 2014
Loa alto	5.310	3.690	4.500
Loa medio	1.110	1.110	1.010
Loa bajo	0	0	0
TOTAL	6.420	4.800	5.510

[1] "Diagnóstico Plan Estratégico para la Gestión de los recursos hídricos, Región de Antofagasta" (Arrau-DGA, 2012)

Tabla 3.18. Entradas a Sistema Acuífero de Calama. Fuente: Knight Piésold, 2014.

Ítem	Caudal (l/s)
Caudal Subterráneo	855
Infiltración Tranque Talabre	20
Infiltración Riego	76
Infiltración Agua Potable	50
Pérdida Ríos/ Aporte Acuífero	388
Recarga por Precipitación	61
Total Entradas	1.450

3.1.4.2 Demanda

A nivel nacional la minería en conjunto con otros usos industriales, representan un gasto hídrico aproximado de un 21% mientras que la agricultura representa un valor superior al 70 % (MMA 2012). El contexto regional difiere de estos valores, particularmente en el caso de la cuenca del río Loa, el sector minero representa una demanda cercana al 60% tal como se observa en la Tabla 3.19. Por otra parte, según lo registrado por el análisis integrado de la cuenca del río Loa, realizado por la DGA en 2014, las demandas de aguas subterráneas devienen principalmente del sector minero con un 80%, seguido por el sector sanitario y otros usos con un 20%.

Tabla 3.19. Balance demanda oferta-hídrica en la cuenca del río Loa. Adaptado de Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta. Arrau Ingenieros Consultores. 2012.

Ítem	Caudal (m^3/s)
Oferta	4,8
Demanda Agrícola	0,51
Demanda Agua Potable	1,09
Demanda Minera	2,76
Evaporación Cuerpos de Agua	1,59
Caudal en Desembocadura	0,29

En relación a la demanda subterránea de las aguas, el estudio “Análisis integrado río Loa, Región de Antofagasta “, realizado por Knigth Piésold para la DGA en 2014, menciona que el mayor usuario de aguas subterráneas es CODELCO, seguido de otras empresas mineras y finalmente el sector sanitario, sumando una cifra importante de 3,79 $m^3 s^{-1}$ (Tabla 3.20).

Tabla 3.20. Derechos de aguas subterráneos otorgados de extracción de aguas subterráneas en la cuenca del río Loa. DGA 2014

Usuario	Caudal Otorgado (m^3/s)
Particulares	0,002
Empresas Sanitarias	0,36
Empresas No Mineras	0,36
CODELCO	2,17
Otras Mineras	0,9
TOTAL	3,79

3.1.4.3 Derechos otorgados

A continuación, en la Tabla 3.21, se presentan los registros que posee la Dirección General de Aguas en relación a los Derechos consuntivos de Aprovechamiento de Aguas superficiales otorgados en la cuenca del río Loa y sus tributarios, en la Tabla 3.22 de las correspondientes a las comunidades de agua de Lasana, Chiu Chiu, Calama, y Quillagua.

Tabla 3.21. Derechos de Aprovechamiento de Aguas Superficiales (consuntivos) otorgados en la cuenca del río Loa y sus tributarios (DGA)

Nombre Titular	Caudal Otorgado (L/s)	UTM Norte	UTM Este	Captación	Fecha de inscripción	Tipo de derecho
Porfirio Vega	25	7630220	390850	Río Loa	29-05-1985	Permanente
Sendos	0,9	7527500	584450	Río Caspana	17-03-1987	Permanente
Codelco	41	7564400	596800	Río Siloli	22-03-1990	Permanente
Soquimich S.A.	10	7523556	445851	Río San Salvador	27-05-2008	Eventual
Soquimich S.A.	54	7517941	454504	Río Loa	15-06-2005	Eventual
Soquimich S.A.	0,04	7528705	441927	Río Loa	15-06-2005	Eventual
Soquimich S.A.	190	7523486	445802,5	Río San Salvador	01-12-1999	Eventual
Sendos	50	7542494	602620	Río Linzor	12-12-1985	Permanente
Sendos	470	7537030	587686	Río Toconce	11-12-1985	Permanente
Sendos	300	7578127,21	541526,55	Río Loa Arriba Embalse Conchi	19-02-1985	Permanente
Sendos	550	7616787	536098	Río Loa Lequena	11-12-1985	Permanente
Sendos	140	7540910	600973	Hojalar Norte	28-03-1985	Permanente
Matilde López	10	7599400	446330	Río Loa (Quillagua)	02-11-1987	Permanente
Ferrocarril Antofagasta a Bolivia	7,87	7678070	563860	Aguada de Puquios	31-07-1995	Permanente
Ferrocarril Antofagasta a Bolivia	2,07	7597925	551730	Aguada Palpana	31-07-1995	Permanente
Ferrocarril Antofagasta a Bolivia	16,22	7596920	557670	Vertiente Turberas	31-07-1995	Permanente
Ferrocarril Antofagasta a Bolivia	18,25	7656230	568195	Quebrada Amincha	31-07-1995	Permanente
Ferrocarril Antofagasta a Bolivia	12,58	7614515	565885	Quebrada Cebollar	31-07-1995	Permanente
Ferrocarril Antofagasta a Bolivia	0,39	7595800	558400	Quebrada Polapi	31-07-1995	Permanente
Comunidad Atacameña de Cupo y Ayquina Turi	1,1	7551440	575760	Vertiente Panire	15-04-1997	Permanente
Comunidad Atacameña de Cupo y Ayquina Turi	2,8	7551010	575500	Vertiente Socavón de Panire	15-04-1997	Permanente

Nombre Titular	Caudal Otorgado (L/s)	UTM Norte	UTM Este	Captación	Fecha de inscripción	Tipo de derecho
Comunidad Atacameña de Ayquina Turi	0	7541000	574030	Vertiente Turi	15-04-1997	Permanente
Comunidad Atacameña de Ayquina Turi	5,5	7536450	570270	San Isidro	15-04-1997	Permanente
Comunidad Atacameña de Ayquina Turi	3	7536480	570170	Vertiente Koyer	15-04-1997	Permanente
Comunidad Atacameña de Ayquina Turi	2,6	7536500	570400	Vertiente Kolo	15-04-1997	Permanente
Comunidad Atacameña de Ayquina Turi	0,2	7536500	570130	Vertiente Yauquén	15-04-1997	Permanente
Comunidad Atacameña de Ayquina Turi	7,2	7536000	572000	Vertiente Chañaral	15-04-1997	Permanente
Comunidad Atacameña de Ayquina Turi	4,6	7536060	571780	Vertiente Arcipe	15-04-1997	Permanente
Comunidad Atacameña de Ayquina Turi	12	7535930	572725	Vertiente Taka Taka	15-04-1997	Permanente
Comunidad Atacameña de Ayquina Turi	5,1	7535860	572725	vertiente Koyna	15-04-1997	Permanente
Comunidad Atacameña de Ayquina Turi	3,7	7536035	573530	Vertiente Kiruna	15-04-1997	Permanente
Comunidad Atacameña de Ayquina Turi	1,4	7536480	570340	Vertiente Chiber 1	15-04-1997	Permanente
Comunidad Atacameña de Ayquina Turi	0,1	7536480	570380	Vertiente Chiber 2	15-04-1997	Permanente
Comunidad Atacameña de Ayquina Turi	0,1	7536240	569520	Vertiente la Punta	15-04-1997	Permanente
Comunidad Atacameña de Ayquina Turi	0,1	7536250	569460	Vertiente El Medio	15-04-1997	Permanente
Comunidad Atacameña de Ayquina Turi	0,1	7536220	569600	Vertiente Luckcher	15-04-1997	Permanente
Comunidad Atacameña de Conchi Viejo	0,3	7572480	528270	Conchi Viejo	16-04-1997	Permanente
Comunidad Atacameña de Toconce	30	7537350	587540	Río Toconce (entrega ESSAN)	16-01-2003	Permanente
Comunidad Atacameña de Toconce	10	7537900	592750	Río Toconce Media Quebrada	16-01-2003	Permanente
Comunidad Atacameña de Toconce	25	7538430	593450	Río Toconce El Potrero	16-01-2003	Permanente
Comunidad Atacameña de Toconce	35	7537560	592090	Río Toconce Patillón	16-01-2003	Permanente
Comunidad Atacameña de Cupo	10,2	7566160	571170	Cupo en Bocatoma Canal	15-04-1997	Permanente
Comunidad Atacameña de Cupo	6,8	7555250	570920	Cupo en camino	15-04-1997	Permanente
Ricardo Gómez Morales	50	7629028	414033	Río Loa	15-06-2005	Eventual

Nombre Titular	Caudal Otorgado (L/s)	UTM Norte	UTM Este	Captación	Fecha de inscripción	Tipo de derecho
Benjamín Gómez Mamani	30	7511622	503528	Vertiente La Cascada	29-12-1999	Permanente
Comunidad Atacameña de Caspana	14	7530250	581250	Río Caspana	29-07-2005	Permanente
Comunidad Atacameña de Caspana	14	7530750	584	Vertiente Talicuna	29-07-2005	Permanente
Comunidad Atacameña de Caspana	3	7521300	585150	Vertiente Chita 1	29-07-2005	Permanente
Comunidad Atacameña de Caspana	3	7521150	585200	Vertiente Chita 2	29-07-2005	Permanente
Comunidad Atacameña de Caspana	0,1	7521400	584700	Vertiente Ojos de Chita	29-07-2005	Permanente
Comunidad Atacameña de Caspana	6	7521550	523300	Vertiente Ingahuasi	29-07-2005	Permanente
Comunidad Atacameña de Ayquina Turi	119	7541900	574030	Vertiente Turi	18-04-2007	Permanente
Comunidad Atacameña de Caspana	2,5	7526506,39	603966,31	Quebrada Zoquete	02-02-2011	Permanente
Compañía Sudamericana de Explosivos	6	7513428	506779	Río Loa, sector Dupont	17-10-1935	Permanente
Matias Villada Palacios	10	7560051	597239	Cabana	01-01-1956	Permanente
Ferrocarril Antofagasta a Bolivia	237	7565840	600445	Siloli	11-06-1906	Permanente
Soquimich S.A.	94,4			Río Loa		Permanente
Soquimich S.A.	62,1			Río Loa		Permanente
Soquimich S.A.	90			Río San Salvador		Permanente
Codelco	25			Río Toconce	06-12-1921	Permanente
Codelco	10			Río Toconce	09-02-1925	Permanente
Codelco	50			Río Hojalar	13-12-1961	Permanente
Codelco	90			Río Hojalar	13-12-1961	Permanente
Compañía Minera Xstrata Lomas Bayas	41,0			Río Loa	26-03-1996	Permanente
Compañía Minera Xstrata Lomas Bayas	9,1			Río Loa	02-11-1995	Permanente
Compañía Minera Xstrata Lomas Bayas	6,8			Río Loa	02-11-1995	Permanente
Compañía Minera Xstrata Lomas Bayas	9,1			Río Loa	02-11-1995	Permanente

Nombre Titular	Caudal Otorgado (L/s)	UTM Norte	UTM Este	Captación	Fecha de inscripción	Tipo de derecho
Compañía Minera Xstrata Lomas Bayas	7,3			Río Loa	02-11-1995	Permanente
Compañía Minera Xstrata Lomas Bayas	7,3			Río Loa	02-11-1995	Permanente
Compañía Minera Xstrata Lomas Bayas	7,3			Río Loa	02-11-1995	Permanente
Compañía Minera Xstrata Lomas Bayas	4,1			Río Loa	02-11-1995	Permanente

Tabla 3.22 Derechos de aguas consuntivo para las comunidades de agua de Lasana, Chiu Chiu, Calama y Quillagüa (DGA).

Usuario	Sector	Volumen m3/año	Observaciones
C. de A. Canal Quilchiri de Lasana	Lasana	137332	Distribución mensual según sector Lasana, Chiu-Chiu
C. de A. Canal Quichira de Lasana	Lasana	62550	
C. de A. Canal Buen Retiro de Lasana	Lasana	326928	
C. de A. Canal San Antonio de Lasana	Lasana	65052	
C. de A. Canal Los Ramirez de Lasana	Lasana	127324	
C. de A. Canal Pona de Lasana	Lasana	613824	
C. de A. Canal Los Perales de Lasana	Lasana	177086	
C. de A. Canal Grande de Lasana y Chiu Chiu	Lasana y Chiu-Chiu	822602	
C. de A. Canal La Banda de Lasana y Chiu Chiu	Lasana y Chiu-Chiu	1384718	
C. de A. Canal La Banda Ramal Los Blancos de Chiu Chiu	Chiu-Chiu	196824	
C. de A. Canal El Pueblo de Chiu Chiu	Chiu-Chiu	442576	
C. de A. Canal Grande Ramal N° 3 Piar de Chiu Chiu	Chiu-Chiu	98134	
C. de A. Canal Grande Ramal N° 4 Pukara de Chiu Chiu	Chiu-Chiu	575738	
C. de A. Canal Grande Ramal N° 6 San Andrés de Chiu Chiu	Chiu-Chiu	168190	
C. de A. Canal Grande Ramal Callejon de Chiu Chiu	Chiu-Chiu	131772	
C. de A. Canal Grande Ramal Triangulo de Chiu Chiu	Chiu-Chiu	204608	
C. de A. Canal Grande Ramal San Juan de Chiu Chiu	Chiu-Chiu	275220	
C. de A. Canal El Pueblo Ramal El Calvario de Chiu Chiu	Chiu-Chiu	15012	
C. de A. Canal El Pueblo Ramal Cochala de Chiu Chiu	Chiu-Chiu	12788	
C. de A. Canal El Pueblo Ramal San Ramón de Chiu Chiu	Chiu-Chiu	193210	
C. de A. Canal El Pueblo Ramal la Parroquia de Chiu Chiu	Chiu-Chiu	25854	
C. de A. Canal El Pueblo Ramal Santa Faustina de Chiu Chiu	Chiu-Chiu	58936	
C. de A. Canal El Pueblo Ramal El Pongo de Chiu Chiu	Chiu-Chiu	285784	
C. de A. Canal Chunchurri Bajo	Calama	4923486	Distribución mensual según sector Calama
C. de A. Canal Lay Lay Ramal Chunchurri Alto	Calama	2891525	

Usuario	Sector	Volumen m3/año	Observaciones
C. de A. Canal Bocatoma Dupont de Calama	Calama	713482	
C. de A. Canal La Prensa	Calama	1004500	
C. de A. Canal Nuñez	Calama	3171350	
C. de A. Canal Topater	Calama	3410134	
C. de A. Canal Chañar	Calama	1586249	
C. de A. Canal Tronco	Calama	803600	
C. de A. Canal Yalquincha	Calama	1435000	
C. de A. Canal Lay Lay Ramal Carvajal	Calama	881664	
C. de A. Canal Lay Lay Sector La Banda	Calama	2513546	
C. de A. Canal Coco La Villa	Calama	2623754	
C. de A. Canal Coco La Villa Ramal Berna	Calama	2720186	
C. de A. Canal Coco La Villa Ramal Quinta El Bosque	Calama	125993	
C. de A. Canal Coco La Villa Ramal Radic	Calama	1131067	
C. de A. Canal Coco La Villa Ramal Bilbao	Calama	467810	
C. de A. Canal Coco La Villa Ramal Tambores	Calama	997325	
C. de A. Canal Uno de Quillagua	Quillagua	3281640	Sin distribución mensual
C. de A. Canal Dos de Quillagua	Quillagua	1263784	

Figura 3.40. Derechos de aprovechamiento de aguas superficiales (consuntivos) otorgados en la Cuenca del río Loa. Datos expresados en l/s.

3.1.5 Caracterización socio productiva de la cuenca

3.1.5.1 Población

Según el último censo de población realizado por el INE en 2017, la población regional en la región de Antofagasta alcanza los 607.534 habitantes correspondiendo al 3,4% de la población nacional. La población ha presentado una variación de un 8,1 % desde el censo del 2002 registrado por el INE donde la cantidad de habitantes que presentaba la región era de 493.984. En tanto a las comunas presentes en el área de estudio, considerando un periodo de tiempo de 27 años desde el censo 1992 al último en 2017, las comunas que más variaron en la cantidad de habitantes fueron María Elena, con una disminución del 52% en su población, y Ollagüe con una disminución del 38%. Por otra parte, en Calama y Tocopilla la población aumentó en un 27% y 1,8% respectivamente según los datos del censo 2017 en relación al de 1992.

Tabla 3.23. Variación poblacional desde el censo de poblaciones de 1992 al 2017 (INE).

Comuna	Población 1992	Población 2002	Población 2017	Varición 1992-2017
Maria Elena	13660	7530	6457	-52%
Tocopilla	24985	23986	25186	1,80%
Calama	121807	138402	165731	27%
Ollagüe	443	318	275	-38%

Según los datos del Censo de población 2017, la comuna de Calama posee una población total de 165.731 habitantes, mientras que la comuna de María Elena presenta una población total de 6.457 habitantes. En ambas comunas la población de mujeres supera a la población masculina, tal como se presenta en las Figura 3.41 y Figura 3.42. En ambas comunas el grupo etario que predomina, son las personas de 0 a 59 años.

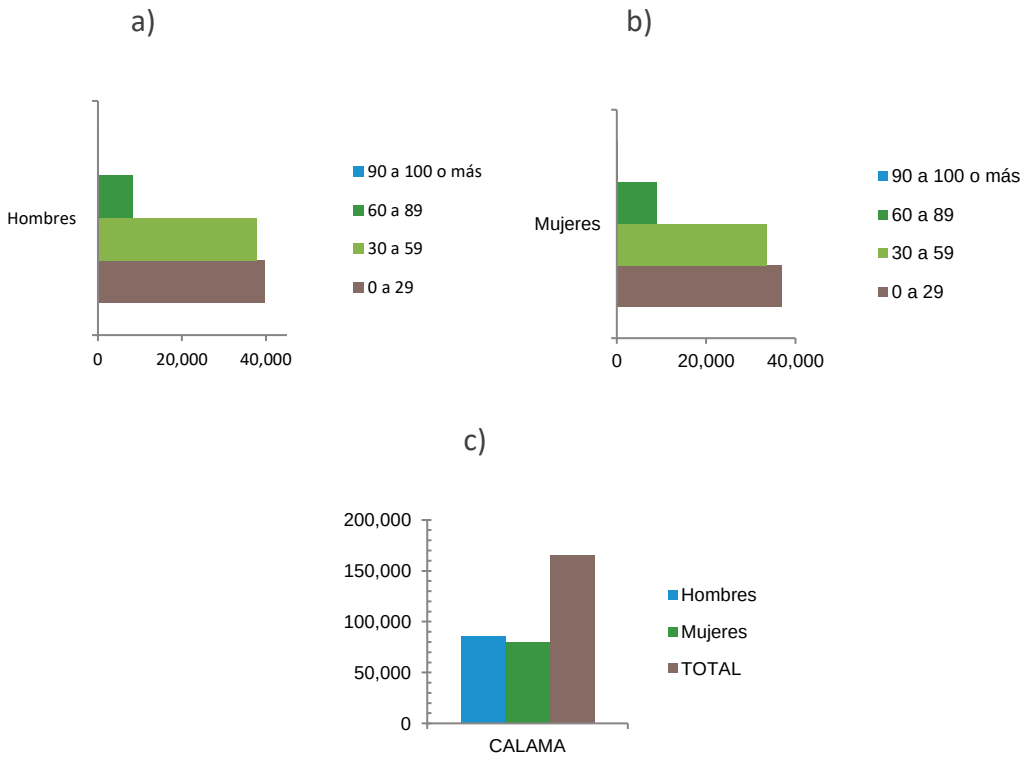


Figura 3.41. Población de Calama. a) Hombres según grupo etario. b) Mujeres según grupo etario. c) Total de habitantes de Calama

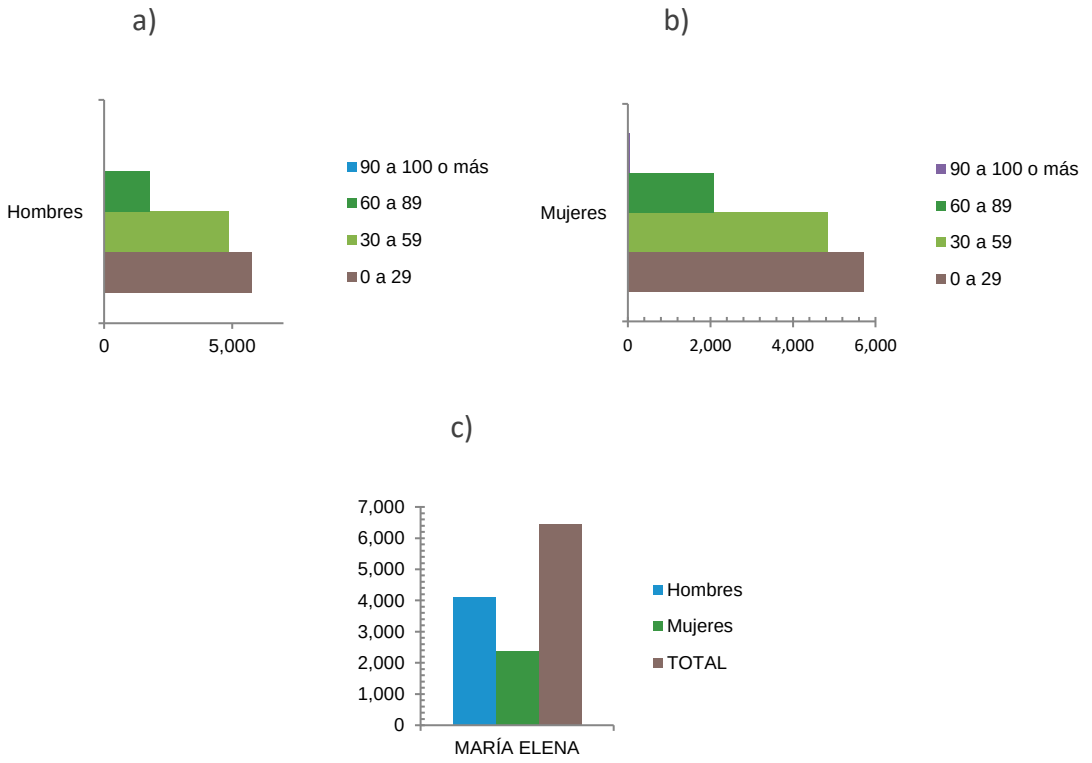


Figura 3.42. Población de María Elena. a) Hombres según grupo etario. b) Mujeres según grupo etario. c) Total de habitantes de María Elena

3.1.5.2 Nivel educacional

En cuanto al nivel educacional, según datos recopilados del último censo de poblaciones se observa que a nivel regional la mayor parte de la población señala que su último nivel escolar aprobado corresponde a la enseñanza media de tipo científico humanista alcanzando valores cercanos al 25%, mientras que un 22% señala que su último nivel de enseñanza aprobado corresponde a educación básica. El mismo patrón se repite en las comunas de Calama, y María Elena mientras que, en las comunas de Ollagüe y Tocopilla, la mayor parte de sus habitantes señalan que el último nivel escolar aprobado es la educación básica, con valores cercanos al 30%, tal como se observa en la Tabla 3.24.

Tabla 3.24. Último nivel escolar aprobado a nivel regional y comunal. INE 2017.

Nivel del curso más alto aprobado	Región		Calama		Ollagüe		Tocopilla		María Elena	
Sala cuna o jardín infantil	15229	2,70%	3849	2,50%	9	3,10%	764	3,30%	100	1,60%
Prekínder	8276	1,50%	2178	1,40%	3	1,00%	456	2,00%	53	0,90%
Kínder	13215	2,30%	3610	2,40%	5	1,70%	703	3,00%	112	1,80%
Especial o diferencial	2115	0,40%	584	0,40%	-	-	145	0,60%	2	0,00%
Educación básica	124812	22,10%	35342	23,40%	90	30,60%	6 653	28,50%	1 268	20,50%
Primaria o preparatoria (sistema antiguo)	9650	1,70%	2165	1,40%	6	2,00%	664	2,80%	57	0,90%
Científico-humanista	143032	25,30%	41401	27,40%	70	23,80%	6 511	27,90%	1 852	29,90%
Técnica profesional	91434	16,20%	24017	15,90%	47	16,00%	3 700	15,90%	1 294	20,90%
Humanidades (sistema antiguo)	8624	1,50%	1795	1,20%	2	0,70%	459	2,00%	65	1,10%
Técnica comercial, industrial/normalista (sistema antiguo)	4 368	0,80%	971	0,60%			150	0,60%	14	0,20%
Técnico superior (1-3 años)	47 194	8,40%	13 498	8,90%	25	8,50%	1 285	5,50%	532	8,60%
Profesional (4 o más años)	90 268	16,00%	20 699	13,70%	34	11,60%	1 764	7,60%	791	12,80%
Magíster	5 559	1,00%	1 128	0,70%	3	1,00%	49	0,20%	45	0,70%
Doctorado	926	0,20%	115	0,10%			6	0,00%	2	0,00%
Total	564 702	100,00%	151 352	100,00%	294	100,00%	23 309	100,00%	6 187	100,00%

3.1.5.3 Salud

Se revisaron los principales indicadores de salud que presentó en su informe de 2015 el Departamento de estadísticas e información de salud del Ministerio de Salud. Al comparar las principales causas de mortalidad de la población a nivel regional y nacional, se observa que la región de Antofagasta presenta los valores más altos del territorio chileno en relación con muertes causadas por cáncer (Neoplasias), alcanzando un 29,5% y siendo la principal causa de muerte de la región. En tanto a nivel nacional la principal causa de muerte de la población se relaciona con enfermedades cardiovasculares con un 27,1%, seguida por el cáncer con un 26%, tal como se observa en la Figura 3.43a).

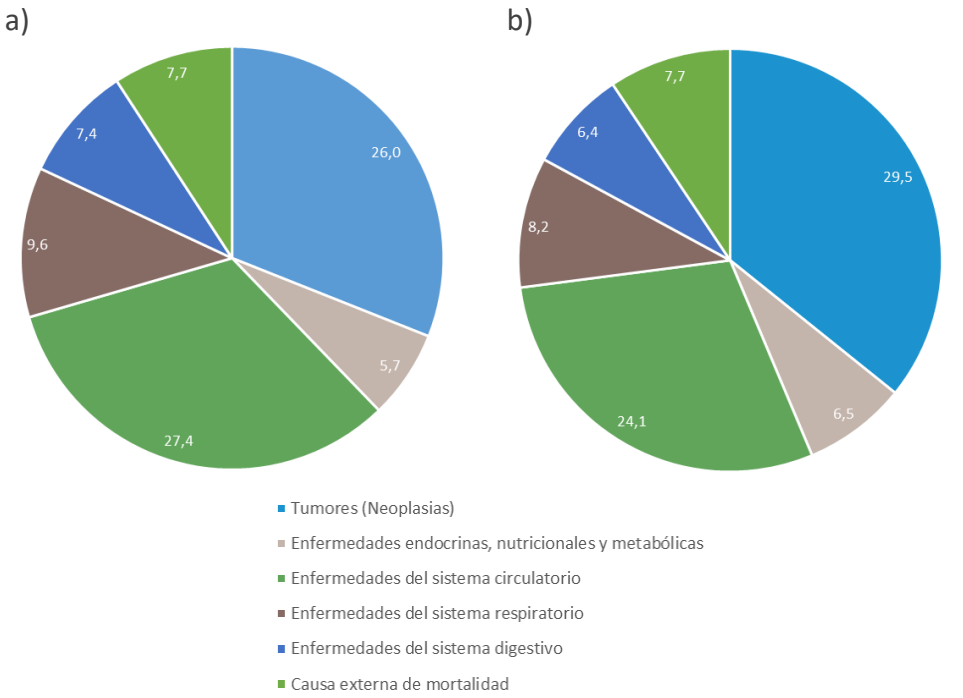


Figura 3.43. Causas de muertes por grandes grupos. a) Indicador a nivel nacional b) Indicador a nivel regional. Adaptado de indicadores básicos de salud, Ministerio de Salud 2015

3.1.5.4 Ocupación

En relación con la rama de actividad económica a nivel regional, la ocupación que predomina es el Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas, representando a un 13,1% de la población, seguido con un 12,3 % de Explotación de minas y canteras. El mismo patrón se repite para las comunas de Calama y Tocopilla, mientras que en la comuna de Ollagüe la principal rama de actividad corresponde a Administración pública y defensa; planes de seguridad alcanzando un valor de 23, 2 %, seguidamente con un 19,3%, la construcción representa a la segunda rama de actividad predominante para la comuna. En el caso de María Elena, la mayor cantidad de ocupados se encuentran en el sector de Comercio con un 13,6% y le sigue el sector de Transporte y almacenamiento con un 7,8%, según los datos del Censo de poblaciones 2017, tal como se observa en la Tabla 3.25.

Tabla 3.25. Rama o actividad económica a nivel regional y comunal, abarcando las comunas que se encuentran dentro de los dominios de la cuenca del río Loa. Adaptado de Censo de población y vivienda 2017

Nivel del curso más alto aprobado	Región		Calama		Ollagüe		Tocopilla		María Elena	
A Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	2716	1,00%	366	0,50%	-	-	8	0,20%	469	4,80%
B Explotación de minas y canteras	3513	12,30%	9314	12,20%	25	12,10%	997	24,40%	488	5,00%
C Industrias manufactureras	14991	5,20%	3764	4,90%	2	1,00%	189	4,60%	546	5,50%
D Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	1522	0,50%	201	0,30%			50	1,20%	257	2,60%
E Suministro de agua; evacuación de aguas residuales, gestión de desechos y descontaminación	1497	0,50%	295	0,40%	1	0,50%	29	0,70%	51	0,50%
F Construcción	24773	8,70%	7218	9,50%	40	19,30%	513	12,60%	703	7,10%
G Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas	37 62	13,10%	9933	13,10%	3	1,40%	250	6,10%	1341	13,60%
H Transporte y almacenamiento	20970	7,30%	5486	7,20%	8	3,90%	285	7,00%	767	7,80%
I Actividades de alojamiento y de servicio de comidas	13360	4,70%	3591	4,70%	7	3,40%	245	6,00%	496	5,00%
J Información y comunicaciones	2905	1,00%	691	0,90%	7	3,40%	34	0,80%	51	0,50%
K Actividades financieras y de seguros	2540	0,90%	597	0,80%	-	-	9	0,20%	61	0,60%
L Actividades inmobiliarias	929	0,30%	149	0,20%	-	-	1	0,00%	7	0,10%
M Actividades profesionales, científicas y técnicas	9387	3,30%	2436	3,20%	7	3,40%	112	2,70%	193	2,00%
N Actividades de servicios administrativos y de apoyo	16054	5,60%	4143	5,40%	7	3,40%	298	7,30%	558	5,70%
O Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria	11669	4,10%	2328	3,10%	48	23,20%	74	1,80%	499	5,10%
P Enseñanza	15145	5,30%	3200	4,20%	12	5,80%	125	3,10%	703	7,10%

Nivel del curso más alto aprobado	Región		Calama		Ollagüe		Tocopilla		María Elena	
Q Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social	11049	3,90%	2749	3,60%	1	0,50%	68	1,70%	323	3,30%
R Actividades artísticas, de entretenimiento y recreativas	2085	0,70%	428	0,60%	2	1,00%	14	0,30%	53	0,50%
S Otras actividades de servicios	4799	1,70%	1149	1,50%	4	1,90%	15	0,40%	135	1,40%
T Actividades de los hogares como empleadores; actividades no diferenciadas de los hogares como productores de bienes y servicios para uso propio	-	-	1535	2,00%	-	-	10	0,20%	206	2,10%
Z Rama no declarada	51183	17,90%	16478	21,70%	33	15,90%	761	18,60%	1932	19,60%
Total	211087	100%	76051	100%	207	100%	4087	100%	9839	100%

3.1.6 Sectores productivos

Considerando al total de empresas (es decir, incluyendo a aquellas que no presentan ventas), la distribución de las empresas por sector económico y su participación en las ventas y el empleo es la siguiente:

Tabla 3.26. Participación en el número de empresas, ventas y empleo. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo 2014

Sector	Número de empresas		Ventas		Empleo	
	Región	País	Región	País	Región	País
Agricultura, ganadería caza y silvicultura	0,40%	8,70%	0,10%	3,20%	0,10%	8,40%
Pesca	0,20%	0,30%	0,20%	0,80%	0,30%	0,50%
Manufactura	8,60%	9,10%	9,70%	18,60%	6,10%	1,50%
Minería	1,50%	0,60%	39,40%	6,50%	6,10%	1,50%
Electricidad, gas y agua	0,20%	0,30%	11,50%	5,70%	1,60%	0,80%
Construcción	11,10%	7,50%	9,80%	6%	25%	16,90%
Comercio	38,50%	35,60%	12%	24,90%	13,40%	17,50%
Hoteles y restauranes	7,00%	4,50%	1,90%	0,80%	5,10%	3,50%
Transportes y telecomunicaciones	12,10%	9,90%	6,10%	5,20%	6,40%	6%
Intermediación financiera	1,40%	5,10%	1,60%	20,60%	0,80%	2,80%
Act. Inmobiliarias. Empresariales y de alquiler	10,70%	10,40%	4,30%	5%	10,40%	13,50%
Adm. Pública y defensa	0,00%	0,10%	0%	0,30%	2,60%	4,30%
Enseñansa	8,00%	1,10%	1,20%	1.2%	5,70%	4,90%
SS socialesy salud	2,30%	1,90%	1,20%	0,80%	2,40%	2,40%
Servicios comunitarios, sociales y personales	5,10%	4,60%	0,90%	0,50%	2,50%	3,30%
Consejo de adm. De edificios y condominios	0,10%	0,10%	0%	0%	0,10%	0,10%
Org. Y órganos extrasectoriales	0,00%	0%	0%	0%	0%	0%
Total	100,00%	100%	100%	100%	100%	100%

En la Tabla 3.26 es posible visualizar los principales sectores a nivel nacional y regional en función del número de empresas, ventas y empleos que estas generan. Se evidencia que a nivel nacional el sector con mayor cantidad de empresas corresponde al comercio con un 35,6%, en segundo lugar el rubro de transporte y telecomunicaciones abarca un 10,4% del total de empresas, en relación a las ventas nuevamente el comercio cumple un papel relevante con un 24,9% seguido de las actividades de intermediación financiera con un 20,6% y finalmente los rubros que generan una mayor cantidad de empleos están representados por el comercio, con un 17,5% y la construcción con un 16,9%.

En tanto a la realidad regional, se aprecia que los principales sectores económicos en la región son Comercio, que representa el 38,5% del total de empresas, Transporte y Telecomunicaciones (12,1%), Construcción (11,1%) y Actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler (10,7%). No obstante, el sector minero es el que más ventas presenta en la región, con un 39,4% del total y tiene el cuarto lugar como fuente de empleo a nivel regional con un 6,1%.

3.1.7 Descripción de actores estratégicos

Las altas presiones a las que se exponen los recursos hídricos dentro de la cuenca del río Loa causan conflictos socio-ambientales cada vez más recurrentes, los cuales deben ser abordados desde una gobernanza hídrica que integre la gobernanza energética y ambiental enfatizándola antes que el mercado (Bauer 2014). Para que esto sea posible se deben identificar a todos los actores estratégicos presentes en la cuenca, generando participación púbica, política y privada en las soluciones y acuerdos. A continuación, se mencionan los actores relevantes dentro de la cuenca.

3.1.7.1 Servicios Públicos

A continuación, se presenta una breve descripción de los organismos públicos competentes en la gestión del recurso hídrico, además de sus principales funciones:

i. Gobierno Regional de Antofagasta

Este organismo de estado trabaja en tres aristas: ordenamiento territorial, fomento de actividades productivas y desarrollo social y cultural. En materia de ordenamiento territorial, las funciones del organismo se distribuyen en establecer políticas y objetivos para el desarrollo integral y armónico de los sistemas de asentamientos humanos; ser un agente participativo en la coordinación con autoridades nacionales, regionales y comunales para programas de desarrollo y mantenimiento de obras de infraestructura y equipamiento para la región; fomentar y velar por la protección, conservación y mejoramiento del medio ambiente, adoptando medidas que sean acordes a la realidad de la región, decretos supremos y normas legales que rijan la materia; fomentar y velar por el buen funcionamiento de la prestación de servicios en materia de transporte; fomentar y propender al desarrollo de áreas rurales y localidades aisladas de la región, procurando la acción multisectorial en la dotación de infraestructura económica y social; finalmente, proponer a la autoridad competente la localidad en que deberán radicarse las secretarías regionales ministeriales y las direcciones regionales de los servicios públicos. En materia de fomento de actividades productivas el Gobierno Regional contribuye en la formulación de políticas nacionales de fomento productivo, capacitación laboral y asistencia técnica, desde el punto de vista regional, aplicando políticas nacionales definidas en el ámbito regional; establece prioridades de fomento productivos en los diferentes sectores, preocupándose especialmente por una explotación racional de los recursos naturales, coordinando a los entes públicos competentes y concretando acciones en el sector privado; promueve la investigación científica y tecnológica y preocuparse por el desarrollo de la educación superior y técnica de la región; y finalmente, fomentar el turismo en los niveles regional y provincial, con arreglo a las políticas nacionales. Por último, en materia de desarrollo social y cultural, corresponde al gobierno regional establecer prioridades regionales para la erradicación de la pobreza; participar en coordinación con las autoridades competentes, en acciones destinadas a facilitar el acceso de la población de escasos recursos o que viva en lugares aislados, a beneficios y programas en el ámbito de

la salud, educación y cultura, vivienda, seguridad social, deportes y recreación y asistencia judicial; determinar la pertinencia de inversión en proyectos que sean sometidos a la consideración del consejo regional, considerando las evaluaciones de impacto ambiental y social; distribuir entre las municipalidades de la región los recurso para el financiamiento de programas sociales; realizar estudios relacionados con las condiciones, nivel y calidad de vida de los habitantes de la región; y finalmente, fomentar las expresiones culturales, cuidar el patrimonio histórico, artístico y cultural de la región, y velar por la protección y el desarrollo de las etnias originarias (GORE 2018).

ii. Intendencia Regional de Antofagasta

La labor de este organismo es representar al Presidente de la República en la Región, de manera de canalizar la elaboración y aplicación de políticas públicas de acuerdo al Programa de Gobierno del Primer Mandatario. Además, de fomentar, velar y promover el desarrollo económico, social y cultural de la región mediante la formulación y ejecución del presupuesto de inversión regional, la generación de políticas y sistemas de evaluación de la gestión pública, orientados a mejorar la calidad de vida de los habitantes de la Región de Antofagasta (Intendencia de Antofagasta 2018).

iii. Gobernaciones provinciales

Estas instituciones asisten en el ejercicio del Gobierno y la administración interior del Estado al Presidente de la República. El servicio provee la plataforma política, administrativa y de gestión para que Intendentes y Gobernadores puedan ejercer a cabalidad dicha representación en las jurisdicciones en que se divide el territorio nacional para efectos del ejercicio del gobierno y administración superior y, además, proporciona a la población los bienes, las prestaciones y servicios que establece la ley o por políticas establecidas por el Ministerio del Interior y Seguridad Pública. El Gobernador es el representante del Intendente en la Provincia, pudiendo recibir funciones delegadas de este último, para el mejor ejercicio de sus labores.

iv. Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública

Esta institución trabaja sobre tres pilares estratégicos, preparación, alerta y respuesta, la primera corresponde al desarrollo de capacidades internas como la entrega de acciones formativas a la población para una mejor preparación y tener como resultado comunidades resilientes; la segunda corresponde a acciones tendientes a alertar oportunamente a la población sobre situaciones de riesgo o emergencia, dando tiempo suficiente para la reacción; por último, la respuesta comprende de actividades necesarias para entregar a la comunidad una atención y control eficaz ante una emergencia, desastre o catástrofe (ONEMI 2018).

v. Corporación Nacional de Desarrollo indígena

Este organismo busca promover, coordinar y ejecutar la acción del Estado en favor del desarrollo integral de las personas y comunidades indígenas, particularmente en los ámbitos económico, social y cultural, además de impulsar la participación en la vida nacional a través de la coordinación intersectorial, el financiamiento de iniciativas de inversión y la prestación de servicios. Dentro de los objetivos que se plantea la institución están el incremento de la participación de la población indígena en los procesos de formulación de políticas públicas, medidas administrativas y/o legislativas que afecten directamente a las comunidades; Incrementar el aprendizaje de lenguas t culturas originarias en niños y jóvenes indígenas; reducir el déficit de activos productivos (tierras y agua), perfeccionando política de tierras y aguas mediante la incorporación de instrumentos de apoyo a la formación de capital humano y emprendimiento productivo; aumentar las oportunidades de desarrollo de familias y organizaciones indígenas urbanas, mediante instrumentos que mejoren el acceso a subsidios y/o créditos orientados al desarrollo productivo, comercial y sociocultural; Aumentar las oportunidades para el desarrollo integral de familias, comunidades y organizaciones indígenas rurales, a través de instrumentos y/o subsidios que promuevan la producción, acceso a mercados y cadenas de valor, como el desarrollo sociocultural y organizacional; disminuir los tiempos de tramitación de la población indígena, a través de procesos de innovación, productos y tecnología disponible en los espacios de atención del servicio (CONADI 2018).

vi. Dirección General de Aguas

Este organismo dependiente del Estado es el encargado de promover la gestión y administración del recurso hídrico en un marco de sustentabilidad, interés público y asignación eficiente, además de entregar y difundir la información contenida en el Catastro Público de Aguas. Dentro de las funciones de esta institución se encuentran el planificar el desarrollo del recurso hídrico en las fuentes naturales, con el fin de formular recomendaciones para su aprovechamiento; constituir derechos de aprovechamiento de aguas; investigar y cuantificar el recurso hídrico; mantener y operar el servicio hidrométrico nacional; orientar a la coordinación de los programas de investigación que corresponda a las entidades del sector público, así como instituciones privadas que realicen trabajos financiados parcialmente por el Estado; Ejercer la labor de policía y vigilancia de las aguas en los cauces naturales de uso público e impedir que en éstos se construyan, modifiquen o destruyan obras sin la autorización del Servicio o autoridad competente; así como también, supervigilar el funcionamiento de las Organizaciones de usuarios, de acuerdo con lo dispuesto por el actual Código de Aguas (DGA 2018).

vii. Dirección Regional de Planeamiento del MOP

Esta representa la instancia asesora estratégica del MOP, en materias de planificación, definición de políticas, coordinación general y priorización de planes de estudios, proyectos y ejecución de las obras, de acuerdo con las necesidades del país, los programas

gubernamentales y los objetivos de los distintos Servicios y Unidades que comprende el quehacer ministerial (MOP 2018)

viii. Super Intendencia de Servicios Sanitarios

Esta institución vela porque la población urbana reciba servicios de agua potable y saneamiento con la calidad y continuidad que establece la normativa, a un precio justo y sostenible en el largo plazo. Adicionalmente, la institución vela que el agua que ya fue utilizada sea devuelta al sistema natural de forma compatible con un desarrollo sustentable (SISS 2018).

ix. Corporación Nacional Forestal

Esta institución busca contribuir al manejo sustentable de bosques nativos, formaciones xerofíticas y plantaciones forestales mediante instrumentos de fomento, fiscalización de la legislación forestal ambiental, la protección de los recursos vegetacionales y la conservación de la diversidad biológica a través del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas. Los objetivos estratégicos del organismo son: fiscalizar e incentivar el manejo sustentable de bosques nativos y formaciones xerofíticas y la protección de especies protegidas; mejorar el acceso a los beneficios de la actividad forestal y el turismo de conservación a los productores forestales enfatizando los pequeños, medianos e indígenas, a través de instrumentos de fomento forestal y la asistencia técnica integral; promover la generación de servicios ambientales mediante el fomento y cuidado de arbolado urbano, periurbano, natural y todo tipo de plantas con valor patrimonial y cultural, difundiendo los beneficios que aportan a la sociedad; proteger a la comunidad de las amenazas provocadas por incendios forestales, plagas, especies invasoras y efectos del cambio climático sobre los bosques nativos, formaciones xerofíticas y plantaciones y componentes patrimoniales presentes en el SNASPE; y finalmente, conservar la diversidad biológica a través del fortalecimiento del SNASPE, además de otros instrumentos de conservación y el aporte de los boques nativos y formaciones xerofíticas, de esta forma contribuye la mejora de la calidad de vida de la sociedad con énfasis en las comunidades locales (CONAF 2018).

x. Servicio Agrícola y Ganadero

Este organismo del Estado es el encargado de apoyar el desarrollo de la agricultura, bosques y ganadería, mediante la protección y mejoramiento de la salud de los vegetales y animales. Dentro de sus funciones están: el evitar la introducción desde el extranjero de enfermedades o plagas que pudieran afectar a vegetales o animales dañando gravemente a la agricultura nacional, para esto se han establecido controles fronterizos fito y zoo sanitarios; realizar un control sobre los productos animales o vegetales de exportación, donde SAG participa de la certificación sanitaria de estos productos; conservar y mejorar los recursos naturales renovables que afectan a la producción agrícola, forestal y pecuaria, controlando la contaminación de las aguas de riego conservando flora y fauna silvestre, recuperando el recurso suelo, con el fin de prevenir la erosión y mantener su

productividad; adicionalmente otra función de la institución es controlar que los alimentos y medicamentos utilizados en animales sean seguros y no produzcan alteraciones en su salud, y que los productos químicos y biológicos utilizados en el control de las plagas de los vegetales cumplan con sus normas de fabricación (SAG 2018).

xi. Servicio Nacional de Geología y Minería

Es el organismo técnico responsable de generar, mantener y difundir información de geología básica y de recursos y peligros geológicos del territorio nacional. Los objetivos estratégicos de este servicio son: Mejorar la acción fiscalizadora en seguridad minera, mediante el incremento de la cobertura y calidad de fiscalizaciones a las instalaciones/faenas; mejorar el proceso de revisión de proyectos mineros, permisos sectoriales y de cierre de instalaciones /faenas, mediante la generación de guías metodológicas, para contribuir a la industria extractiva minera segura; mantener, actualizar y entregar información técnica de manera correcta y oportuna para fines de constitución de concesiones mineras y para el catastro y registro de concesiones geotérmicas; asistir técnicamente en materias de competencia del servicio a las autoridades ambientales, durante el proceso de evaluación ambiental y fiscalización para el cumplimiento de la normativa ambiental, con fin de aportar al desarrollo sustentable del país; potenciar el monitoreo y el conocimiento de la actividad volcánica del territorio nacional; generar, mantener y difundir conocimiento geológico general, mediante publicaciones de geología básica, geofísica y geoquímica del territorio; generar, mantener y difundir conocimiento geológico aplicado; y generar competencia en materias de seguridad minera.

xii. Servicio de Evaluación Ambiental

Organismo público descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propio, su función central es tecnificar y administrar el instrumento de gestión denominado “Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental”, cuya gestión se basa en la evaluación de proyectos según lo estipula la norme vigente, fomentando y facilitando la participación ciudadana en esta evaluación. Así mismo, el servicio cumple la función de uniformar los criterios, requisitos, condiciones, antecedentes, certificados, trámites, exigencias técnicas y procedimientos de carácter ambiental que establezcan los ministerios y demás organismos del Estado competentes (SEA 2018)

xiii. Secretaría Ministerial del Medio Ambiente

Este servicio tiene la labor de ejercer lo que corresponda a las competencias del Ministerio señaladas en el artículo 70 de la ley 19300 sobre bases generales del medio ambiente; asesorar al Gobierno Regional para la incorporación de criterios ambientales en la elaboración de los planes y estrategias de desarrollo regional; colaborar con los respectivos municipios en materia de gestión ambiental; coordinar el procedimiento de declaración de una zona del territorio en calidad latente o saturada, salvo que la zona objeto de aquella declaración estuviere situada en distintas regiones, en cuyo caso el

procedimiento queda a cargo del Ministerio del Medio Ambiente; informar en el marco del procedimiento de elaboración de planes de prevención o de descontaminación; y proporcionar los medios materiales para el correcto funcionamiento del Consejo Consuntivo Regional.

xiv Dirección de Obras Hidraulicas

Dependiente del MOP este organismo se encarga de proveer de servicios de Infraestructura Hidráulica que permitan el óptimo aprovechamiento del agua y la protección del territorio y de las personas.

Entre sus objetivos, destacan: 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, incrementando así, el potencial productivo del sector; proveer de infraestructura de red primaria y disposición final, para la evacuación y drenaje de aguas lluvias, a las áreas urbanas, con el fin de disminuir los daños provocados en ellas; proveer de infraestructura para proteger las riberas de cauces naturales, contra crecidas y para contrarrestar los efectos de los procesos aluvionales, en beneficio de la ciudadanía, y proveer de infraestructura para el abastecimiento de agua potable a las localidades rurales concentradas y semiconcentradas, con el fin de contribuir al incremento de la calidad de vida, mediante el mejoramiento de las condiciones sanitarias de este sector (MOP 2019).

xv Comisión Nacional de Riego

Dependiente del Ministerio de Agricultura, este organismo se encarga de dirigir la acción pública en materia de riego. Entre sus principales objetivos se encuentran:

Contribuir a la generación de una Política de Estado en materia de uso de los recursos hídricos para riego, tanto superficial como subterránea. Considerando las características propias de las cuencas, suelo y clima, mediante realización de estudios, programas, proyectos e instrumentos de fomento, normales y focalizados en la pequeña Agricultura, tendientes a incrementar y mejorar la superficie regada del país.

Asegurar la disponibilidad de riego en el país, impulsando la innovación y facilitando la materialización del proyecto y construcción de grandes obras de riego corno también el fomento a la inversión privada de obras de riego, medianas y menores, mediante la bonificación otorgada por la Ley 18.450, según las características de las cuencas de cada región.

Fortalecer la gestión de las Organizaciones de Usuarios de Aguas, a través de estudios y programas que permitan la autogestión en el uso eficiente del recurso hídrico de una manera sustentable.

Contribuir a un desarrollo sustentable de la agricultura mediante la implementación y desarrollo de Energías Renovables No Convencionales que permitan hacer frente a la situación climática actual y futura permitiendo mejorar y aumentar la superficie regada del país (CNR, 2019).

Tabla 3.27 Instituciones públicas de competencia relevante en la gestión del agua. Adaptado de ARCADIS 2016.

Institución	División
Poder Ejecutivo	Gobierno Regional de Antofagasta
Ministerio del Interior y Seguridad Pública	Intendencia Regional
	Gobernación Provincial del Loa
	Gobernación Provincial de tocopilla
	ONEMI Dirección Regional
Ministerio de Desarrollo Social	CONADI Dirección Regional
Ministerio de Obras Públicas	DGA
	Dirección Regional Planeamiento del MOP
	SISS
	DOH
Ministerio de Agricultura	CONAF Dirección Regional
	INDAP Dirección Regional
	SAG Dirección Regional
	CNR
Ministerio de Minería	SERNAGEOMIN Dirección Regional
Ministerio del Medio Ambiente	Seremi del Medio Ambiente
	SEA Dirección Regional

3.1.7.2 Sector privado

Tabla 3.28 Organismos privados de competencia relevante en la gestión del agua. Adaptado de ARCADIS 2016.

Organizaciones	
Organizaciones de Usuarios (OUAs)	Juntas de Vigilancia
	Comunidades de agua
	Asociaciones de canalistas
Organismos de la comunidad (sociedad Civil y Grupos Representativos)	Organizaciones indígenas
	Comités de agua potable rural
	Universidades, centros de investigación
Empresas y usuarios privados	Sector sanitario
	Sector minero
	Sector agricola

En la Tabla 3.28 se resumen las organizaciones privadas que se describen a continuación:

3.1.7.2.1 Organizaciones de Usuarios de Aguas

Los OUAs son aquellas entidades, sin fines de lucro, con o sin personalidad jurídica, reguladas principalmente en el Código de Aguas y que tienen por objeto, fundamentalmente, administrar las fuentes o cauces de aguas, según el caso, sobre los cuales ejercen competencia y/o las obras a través de las cuales ellas son captadas, conducidas y/o almacenadas; distribuir y, excepcionalmente, redistribuir tales aguas entre sus miembros; y resolver determinados conflictos entre estos, entre sí o entre estos y la propia organización. (Muñoz, 2003)

i. Juntas de Vigilancia

Esta organización se encuentra compuesta de personas naturales, personas jurídicas, y organizaciones de agua (tanto superficial como subterránea), que se encuentran dentro de la misma cuenca. El directorio de esta figura se encarga de vigilar la captación de aguas, distribuye y declara escasez, priva uso de aguas cuando corresponde, solicita a la DGA declaración de agotamiento y sus actos pueden ser revisados por el juzgado de letras.

A continuación, se presentan las juntas de vigilancias presentes en la cuenca:

Tabla 3.29 Juntas de vigilancias presentes en la Cuenca. Fuente Aquatierra ingenieros 2009.

Nº	NOMBRE CANAL	TIPO DE ORGANIZACIÓN
1	Essan S.A.	Particular
2	Ferrocarril de Antofagasta a Bolivia F.C.A.B.	Particular
3	La Prensa de Calama	Particular
4	Núñez de Calama	Particular
5	Soquimich S.A.	Particular

Sin embargo, a la fecha no existe una Junta de Vigilancia para el río Loa donde participen todos sus usuarios, el motivo es principalmente debido a que las comunidades atacameñas se han opuesto. Las comunidades se muestran completamente desconfiadas de este aparato legal, argumentando que el sistema no da garantías de que se respeten las visiones e intereses locales y culturales, se señala que este sistema no tiene atribuciones colectivas, siendo que de esa forma conviven las comunidades indígenas (ARCADIS, 2016).

ii. Comunidades de agua

Esta organización comprende a distintos usuarios de Derechos de Aguas que se encuentran relacionados a una obra común. Los Derechos que constan en los títulos de usuarios son convertibles en acciones, 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 (lt/s), estos 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.

A continuación, se presentan las comunidades de aguas presentes en el área de estudio:

Tabla 3.30 Comunidades de aguas presentes en la cuenca del río Loa. Fuente DGA, catastro público de aguas 2019.

Código de Expediente	Nombre del Solicitante	Fecha de Ingreso DGA
NC-0202-1	COMUNIDAD DE AGUAS CANAL YALQUINCHA	07-05-1984
NC-0202-2	COMUNIDAD DE AGUAS CANAL COCO LA VILLA, RAMAL TAMB	08-03-1984
NC-0202-3	COMUNIDAD DE AGUAS CANAL NUÑEZ	07-05-1984
NC-0202-4	COMUNIDAD DE AGUAS CANAL COCO LA VILLA, RAMAL BILB	07-05-1984
NC-0202-5	COMUNIDAD DE AGUAS CANAL LA PRENSA	07-05-1984
NC-0202-6	CANAL CHAÑAR	30-11-1984
NC-0202-7	CANAL COCO LA VILLA RAMAL RADIC	30-11-1984
NC-0202-11	COMUNIDAD DE AGUAS CANAL COCO LA VILLA, RAMAL QUIN	07-05-1984
NC-0202-12	COMUNIDAD DE AGUAS CANAL LAY-LAY, RAMAL CHUCHURI A	07-05-1984
NC-0202-13	COMUNIDAD DE AGUAS CANAL TRONCO	07-05-1984
NC-0202-14	COMUNIDAD DE AGUAS CANAL TOPATER	07-05-1984
NC-0202-15	COMUNIDAD DE AGUAS CANAL LAY-LAY, RAMAL CARVAJAL	07-05-1984

Código de Expediente	Nombre del Solicitante	Fecha de Ingreso DGA
NC-0202-16	COMUNIDAD DE AGUAS CANAL QUILCHIRI DE LASANA	20-07-1984
NC-0202-17	COMUNIDAD DE AGUAS SAN ANTONIO DE LASANA	20-07-1984
NC-0202-18	COMUNIDAD DE AGUAS CANAL LOS PERALES DE LASANA	20-07-1984
NC-0202-19	COMUNIDAD DE AGUAS CANAL PONA DE LASANA	20-07-1984
NC-0202-20	COMUNIDAD DE AGUAS CANAL GRANDE DE LASANA Y CHIU C	20-07-1984
NC-0202-21	CANAL LOS RAMIREZ DE LASANA	20-07-1984
NC-0202-22	CANAL BUEN RETIRO DE LASANA	20-07-1984
NC-0202-23	CANAL QUICHIRA DE LASANA	20-07-1984
NC-0202-24	CANAL EL PUEBLO DE CHIU-CHIU	20-07-1984
NC-0202-25	CANAL EL PUEBLO - RAMAL COCHALA DE CHIU-CHIU	20-07-1984
NC-0202-26	CANAL GRANDE - RAMAL EL TRIANGULO DE CHIU-CHIU	20-07-1984
NC-0202-27	CANAL EL PUEBLO-RAMAL EL PONGO DE CHIU-CHIU	20-07-1984
NC-0202-28	CANAL LA BANDA,RAMAL LOS BLANCOS DE CHIU CHIU	20-07-1984
NC-0202-29	CANAL EL PUEBLO, RAMAL EL CALVARIO DE CHIU CHIU	20-07-1984
NC-0202-30	CANAL EL PUEBLO, RAMAL SAN RAMON DE CHIU CHIU	20-07-1984
NC-0202-31	CANAL GRANDE, RAMAL Nº 4 PUKARA DE CHIU CHIU	20-07-1984
NC-0202-32	CANAL GRANDE, RAMAL CALLEJON DE CHIU CHIU	20-07-1984
NC-0202-33	CANAL GRANDE, RAMAL SAN JUAN DE CHIU CHIU	20-07-1984
NC-0202-34	GRANDE,RAMAL N*3 PIAR DE CHIU CHIU	20-07-1984
NC-0202-35	CANAL EL PUEBLO,RAMAL LA PARROQUIA DE CHIU CHI	20-07-1984
NC-0202-36	CANAL EL PUEBLO, RAMAL STA FAUSTINA DE CHIU CHIU	20-07-1984
NC-0202-37	CANAL GRANDE, RAMAL Nº 6 SAN ANDRES DE CHIU CHIU	20-07-1984
NC-0202-38	CANAL LA BANDA DE LASANA Y CHIU CHIU	20-07-1984
NC-0202-39	CANAL COCO LA VILLA RAMAL BERNA	30-11-1984
NC-0202-40	CANAL COCO LA VILLA DE CALAMA	30-11-1984
NC-0202-41	CANAL LAY - LAY SECTOR LA BANDA DE CALAMA	30-11-1984
NC-0202-42	CANAL CHUNCHURI BAJO DE CALAMA	30-11-1984
NC-0202-43	CANAL B.T. DUPONT DE CALAMA	30-11-1984

iii. Asociaciones de canalistas

Las asociaciones de canalistas, al igual que las comunidades de aguas, corresponde a usuarios que se emplazan sobre una obra común, normalmente se organizan en los canales matrices de los sistemas de riego extraprediales, cuya fuente es el río. Están normadas en el artículo 257 y siguientes del Código de Aguas. (Centro del agua 2018).

3.1.7.2.2 Organizaciones de la comunidad civil

i. Organizaciones indígenas

Las comunidades Indígenas presentes en la zona de estudio corresponden principalmente a Atacameños, Quechuas y Aimaras en menor medida (Tabla 3.33), según los registros de CONADI encontrándose en particular las siguientes comunidades:

- Comunidad Atacameña de Caspana
- Comunidad Atacameña de Conchi Viejo
- Comunidad Atacameña de Cupo
- Comunidad Atacameña de Toconce
- Comunidad Atacameña de Chiu Chiu
- Comunidad Atacameña del pueblo de San Pedro
- Comunidad Indígena Sumac-Lllajcta
- Comunidad Atacameña de Taira
- Comunidad Indígena Lickan Antay Agricola y Cultural Kamac Mayu, Hijos de Yalquincha
- Comunidad Indígena de La Banda
- Comunidad Quechua de Chela
- Comunidad Indígena de Chunchuri
- Comunidad atacameña de Ayquina- turi
- Comunidad Indígena Pankara Loa
- Yalquincha Lickan Ichai Paatcha
- Comunidad Indígena Pueblo Ojos de San Pedro
- Comunidad Aymara de Quillagüa

Se ubican principalmente en la zona más alta de la cuenca y en la ciudad de Calama (Figura 3.44). Estas comunidades se dedican principalmente a la agricultura de subsistencia, ya que la cantidad y calidad de agua disponible para riego limita la producción a esa escala (Prieto 2015). Entre los cultivos más importantes están la quinua, el maíz, la alfalfa y la papa.

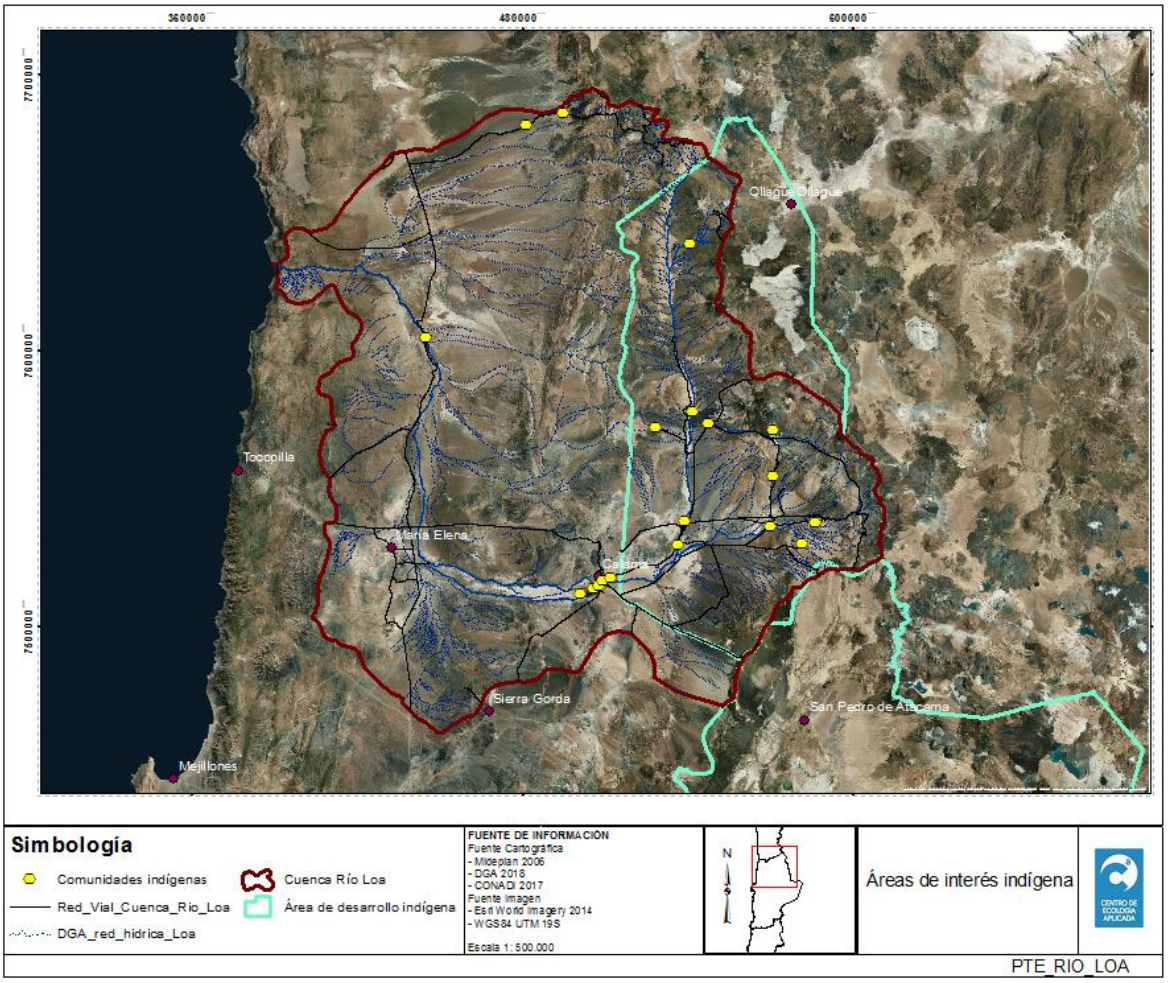


Figura 3.44. Ubicación de comunidades indígenas en la cuenca del río Loa. CONADI 2017

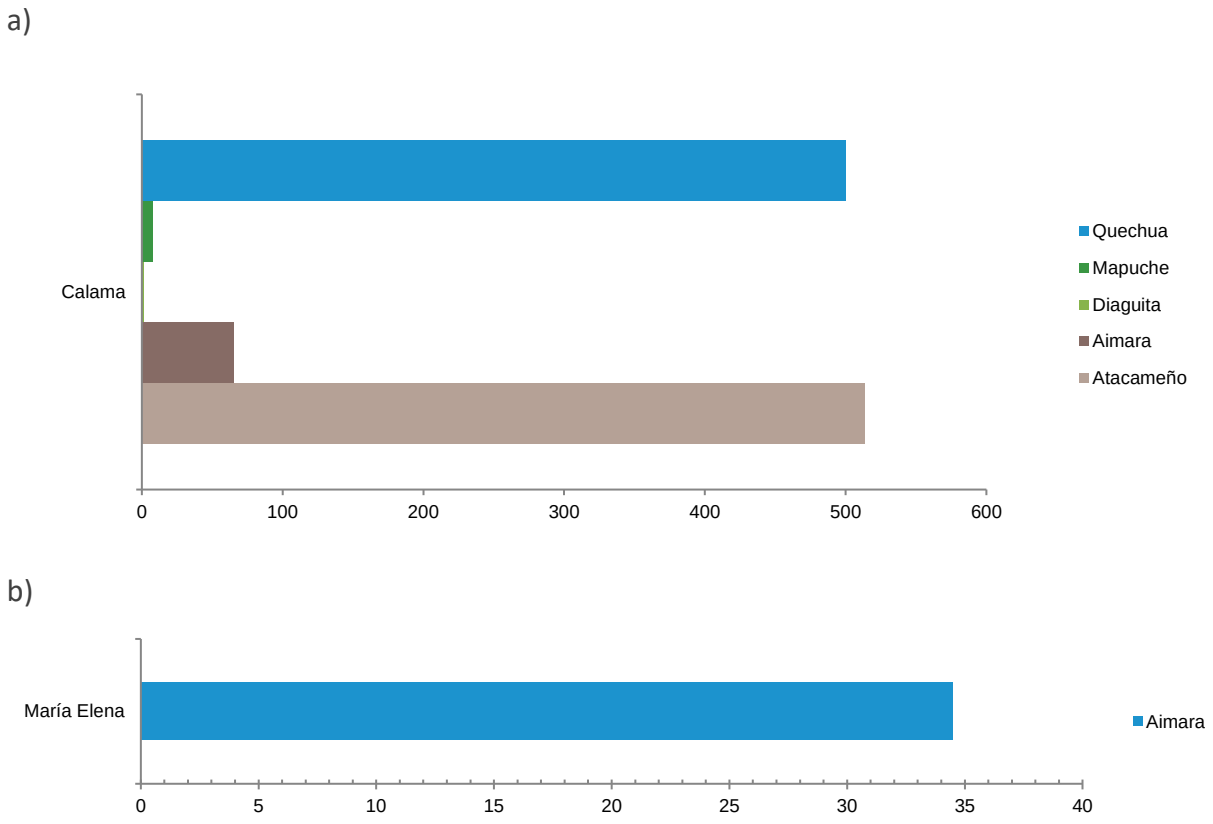


Figura 3.45. Productores agropecuarios y forestales individuales por pueblos originarios. a) Productores originarios en Calama. b) Productores originarios en Maria Elena. Censo nacional agropecuario 2007

El agua cumple un papel preponderante en la cultura de estas comunidades, se le rinde culto a través de diversas actividades tradicionales que se han preservado desde épocas precolombinas, un ejemplo de estas es la limpieza de canales realizada durante solsticio de invierno en el mes de junio, que une trabajo, fiesta y rituales, con oraciones a la virgen y a los santos. En ella se despejan las acequias y se pide a la Pachamama la abundancia de agua para los cultivos (DGA 2016).

Estas actividades se comenzaron a potenciar y a propagar públicamente gracias al reconocimiento de los pueblos originarios a través de la promulgación de la Ley Indígena en 1993, respaldada a su vez, por el convenio internacional de la OIT al cual Chile adhiere en 2008, ratificado en 2010 (Prieto 2015, Aylwin et al 2010). La situación antes descrita se ve reflejada en la Tabla 3.31, Tabla 3.32 y Tabla 3.33, que presentan la variación en número de personas identificadas con una etnia y la diversidad de estas según el censo nacional población y vivienda, periodo 1992 – 2017, se observa que el total de personas identificadas con una etnia ancestral aumenta significativamente alcanzando cerca de un 90% de crecimiento para los casos de Calama y Ollague, mientras que Tocopilla y Maria Elena lo hicieron cercano al 40%. En cuanto a la diversidad de Etnias en el periodo de tiempo evaluado, cobran gran peso relativo los pueblos Atacameño, Aimara y Quechua.

Tabla 3.31. Pertenencia a pueblos indígenas, en las comunas que pertenecen al área de estudio. Adaptado de censo de población y vivienda 1992

Etnia	Región		Calama		Ollagüe		Tocopilla		María Elena	
Mapuche	12053	72,50%	2759	60%	2	14%	208	73,50%	594	75,60%
Aymara	4164	25%	1783	38,50%	12	86%	66	23,30%	176	22,40%
Rapa Nui	417	2,50%	88	1,90%			9	3,20%	15	1,90%
Atacameño o Lican Antay										
Quechua										
Colla										
Diaguita										
Kawésqar										
Yagán o Yamana										
Otro										
total	16634	100%	4630	100%	14	100%	283	100%	785	100%

Tabla 3.32. Pertenencia a pueblos indígenas, en las comunas que pertenecen al área de estudio. Adaptado de censo de población y vivienda 2002

Etnia	Región		Calama		Ollagüe		Tocopilla		María Elena	
Mapuche			1211	8,73%	5	2,30%	38	32,40%	155	72%
Aymara			1305	9,41%	4	1,80%	48	14%	28	13%
Rapa Nui	42	0,25%	4	0,03%						
Atacameño o Lican Antay	13874	85,20%	9658	69,63%	4	1,80%	25	21,30%	25	11,60%
Quechua	2063	12,60%	1546	11,15%	200	93,40%	4	3,40%	4	1,80%
Colla	194	12%	96	0,69%	1	0,40%	2	1,70%	3	1,30%
Diaguita										
Kawésqar	52	3,20%	30	0,22%						
Yagán o Yamana	60	3,70%	20	0,14%						
Otro										
total	16285	100%	13870	100%	214	100%	117	100%	215	100%

Tabla 3.33. Pertenencia a pueblos indígenas, en las comunas que pertenecen al área de estudio. Adaptado de censo de población y vivienda 2017

Etnia	Región		Calama		Ollagüe		Tocopilla		María Elena	
Mapuche	17594	21,30%	4416	11,10%	5	2,30%	244	31,00%	855	43,50%
Aymara	12861	15,60%	4918	12,40%	15	7,00%	317	40,30%	417	21,20%
Rapa Nui	103	0,10%	15	0,00%					4	0,20%
Atacameño o Lican Antay	25262	30,70%	18100	45,60%	7	3,30%	38	4,80%	65	3,30%
Quechua	10446	12,70%	7207	18,10%	181	84,20%	46	5,80%	114	5,80%
Colla	1007	1,20%	341	0,90%			18	2,30%	20	1,00%
Diaguita	8425	10,20%	3431	8,60%	5	2,30%	70	8,90%	288	14,70%
Kawésqar	82	0,10%	31	0,10%					2	0,10%
Yagán	55	0,10%	20	0,10%			4	0,50%	2	0,10%
Otro	6577	8,00%	1245	3,10%	2	0,90%	50	6,40%	198	10,10%
Total	82412	100%	39724	100%	215	100%	787	100%	1965	100%

Cabe destacar que estas comunidades fueron generando redes que le permitieron posicionarse en el mercado de las aguas, posicionándose en un 9 % en la compra-venta de derechos de agua para el año 2009. Esta situación se genera a partir de la voluntad de adquirir derechos de aguas de vendedores indígenas para la comunidad, si bien, a un precio mucho menor del que tendría la industria, pero con la finalidad de preservar el recurso para uso de la comunidad.

Tabla 3.34. Número, volumen y porcentajes, asociados a la compra de derechos de agua superficial en Calama 1981-2009. Prieto 2015

Comprador	Cantidad de derechos comprados	%	miles de m3/año	%
Varios usos privados	503	63,9	38,861	57,2
Minería	100	12,7	8,394	12,3
Intermediarios	63	8	7,579	12,1
Agua potable	20	2,5	12,876	16,6
Org. Indígenas	71	9	3,359	4,9
Construcción	21	2,6	0,1531	2,2
Org. Sinfines de lucro	9	1,1	0,362	0,5
Total	787	100	69,44	100

Otra circunstancia que favorece esta situación, son los instrumentos de fomento que facilita la CONADI para comunidades y grupos individuales indígenas, como lo es el fondo de tierras y aguas (Tabla 3.35).

Tabla 3.35. Instrumentos de fomento que posee CONADI para el desarrollo indígena. Adaptado de CONADI 2018

Fondo	Programa	Objetivos
Fondo de cultura y educación	Manejo y protección del patrimonio cultural indígena	Desarrollo de un plan de protección participativo(arqueología, arquitectura, cultural, histórico)
		Promoción de medicina tradicional indígena
	Subsidio de capacitación y protección indígena	Desarrollo de un mecanismo de subsidio que permita una ejecución efectiva
		Generar convenios con instituciones sin fines de lucro, nacionales e internacionales, para obtención de becas
	Difusión y fomento a las culturas indígenas	Generar iniciativas y proyectos de difusión cultural de asociaciones urbanas y rurales
		Sistematizar y editar material gráfico, radial y micro espacios en televisión que den cuenta de la realidad indígena
	Aplicacuón del diseño curricular y pedagógico intercultural bilingüe	Constituir procesos de interculturalidad acorde a las necesidades de estudiantes indígenas de enseñanza media
		Abrir espacios académicos en universidades para el conocimiento y ciencia indígena
	Recuperación y revitalización de las lenguas indígenas	Contribuir a la recuperación de las lenguas vernáculas en población infanto -juvenil indígena del país
		Obtener Lenguas vernáculas planificadas, en el ámbito oral y escrito, proporcionadas a población infanto-juvenil en la escuela
		Desarrollar recursos educativos para la enseñanza /aprendizaje de las lenguas vernáculas proporcionadas a población infanto-juvenil en la escuela.
		Generar instancias de participación indígena en el desarrollo, promoción y valoración de las lenguas indígenas.
Fondo de tierras y aguas	Subsidio para asociaciones indígenas o individuales	En caso de ser insuficiente, aumentar la superficie de tierras de una asociación o individual, posterior a la aprobación de CONADI
		Financiar los mecanismos que permitan solucionar los problemas de tierras, con motivo de cumplimiento de transacción o resoluciones, judiciales y extrajudiciales
		Financiar constitución, regularización o compra de derechos de agua
		Financiar obras de acceso al recurso hídrico
		Generar convenios con instituciones sin fines de lucro, nacionales e internacionales, para obtención de becas

ii. Organizaciones urbanas de Calama

Existen diversas organizaciones urbanas en Calama que buscan conocer y proteger el patrimonio natural que representa el ecosistema que genera el río Loa. Dentro de ellas destacan, Calama sin Plomo, Coordinadora por la defensa del río Loa, Corporación Yareta y Red de Mujeres del Loa, estas dos últimas asociaciones fueron partícipes del primer taller de difusión del estudio.

iii. Comités de agua potable rural

En la región existen diversas localidades que no logran ser abastecidas por un sistema de agua potable, como si es posible en las grandes ciudades, en cambio las demandas de agua para uso de bebida y sanitario se realiza mediante una red de camiones aljibes, las cuales se presentan en la siguiente Tabla:

Tabla 3.36. Sistemas de Agua Potable Rural presentes en la región de Antofagasta. Fuente MOP 2018.

Sistema APR	Fuente	Coordenadas UTM (WGS84 Huso 19)		Observaciones
		Este	Norte	
San Pedro de Atacama	Vilama B-1	7468506,04	584901	Titular del Derecho DGOP
San Pedro de Atacama	Vilama B-3	7464856,00	585169	Titular del Derecho Comité APR San Pedro
Quillagua	Rio Loa	7603053,61	444624,05	Cámara de captación. Los derechos Corresponden a la Comunidad Aymara de Quillagua
Ayquina	Aducción Toconce	7536196,99	569255,47	Punto de toma, aducción Toconce ADASA
Ollagüe	Vertiente la Escalera	7658571,48	569343,55	Los derechos corresponden a la comunidad de Ollagüe
Toconao	Vertiente Silapetti	7438446,18	606674,88	Los derechos corresponden a la comunidad de Toconao
Peine	Chaquisoque	7370226,62	626514,58	Los derechos corresponden a la comunidad de Peine
Chunchuri	52 bis.	7514565,47	506260,79	Aldunate con Aconcagua. Corresponde a calama Rural, conexión desde matriz de sanitaria
Paposo	Agua de Mar	7232595,79	351630,97	Noria. Agua de mar
Caspana	Capatación canal de regadio	7528836,14	587945,03	Corresponde a la comunidad de Caspana
Rio Grande	Guaitiquina	7495295,79	587945,03	Corresponden a la comunidad Atacameña Río Grande
Toconce	Canal	7536066,98	587738,09	Captación Toconce ADASA, (captación Linzor para red sin tratamiento)
Chiu-Chiu-Codelco	Linzor	7537257,55	638660,36	Cámara de arranque adducción Linzor Codelco, sector planta
Lasana-Codelco	Linzor	7537257,55	538660,36	Cámara de arranque adducción Linzor Codelco, sector planta
Flor de Alfalfa-ADASA	52 bis.	7514772,47	506004,8	Cobija / Inés de Suarez. Corresponde a Calama Rural, conexión desde matriz sanitaria

Dentro de los sistemas APR destacan las principales localidades rurales presentes en la cuenca como lo son: Quillagüa, Ayquina, Ollagüe, Caspana, Chiu Chiu y Lasana.

3.1.7.2.3 Empresas y usuarios privados

i. Sector sanitario

En relación con las principales empresas ligadas al sector sanitario presentes en el área de estudio, es pertinente considerar a Aguas Antofagasta que comienza su concesión el 29 de diciembre de 2003. Esta empresa posee una importante cantidad de derechos de aprovechamiento de aguas a través de tres captaciones superficiales ubicadas en la zona precordillerana y una captación superficial ubicada en el río Loa, en el límite del radio urbano de la ciudad de Calama. Adicionalmente, la empresa cuenta con tres plantas de tratamiento de aguas, una en la ciudad de Calama y dos en Antofagasta (Aguas Antofagasta 2018).

Otra empresa que tiene una participación en la cuenca es Tratacal, creada el 8 de enero del 2007 con giro único y de una dedicación exclusiva para el tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Calama. La empresa asume mediante licitación pública por un periodo de 27 años y hasta el 29 de diciembre de 2033 posee los derechos de explotación de la concesión sanitaria de disposición de aguas servidas de la ciudad de Calama. (Tratacal 2018).

a) Aguas Antofagasta

En el "Estudio de capacidad de fuentes superficiales, Aguas Antofagasta" elaborado por CONIC- BF para la Super Intendencia de Servicios Sanitarios en 2015, describe sistema de abastecimiento de agua superficial, sus respectivas captaciones y los derechos de aprovechamiento asociados a estas; información que se presenta a continuación.

Aguas de Antofagasta cuenta con un sistema de abastecimiento de agua superficial el que se denomina Gran Sistema Norte (GSN), el cual satisface la demanda de las ciudades de la región de Antofagasta. El Gran Sistema Norte está formado por 4 captaciones; la Captación Toconce ubicada en la zona alta recibe además los caudales provenientes de las cuencas Hojalar y Linzor y el resto de las captaciones Lequena, Quinchamale y Puente Negro se encuentran en el río Loa. Además de estas captaciones se dispone de dos entregas de agua por parte de la empresa CODELCO, denominada San Pedro de Inacaliri I y II.

- Captaciones Lequena y Quinchamale

Estas captaciones se abastecen de los cursos superficiales provenientes de las cuencas ubicadas en la cabecera del río Loa. La captación de Lequena, ubicada a 110 km de Calama y a 3.332 m.s.n.m, posee derechos por 550 lt/s, mientras que la de Quinchimale ubicada a unos 30 km aguas debajo de Lequena a 3.080 m.s.n.m., posee derechos por 300 lt/s.

· Captaciones Toconce, Hojalar y Linzor

Estas captaciones se encuentran ubicadas en la cabecera del río Salado y se abastecen de las aguas provenientes de la cuenca formada por el río Toconce, la quebrada Linzor (afluente de río Toconce) y la cuenca formada por el río Hojalar.

La captación Linzor, ubicada a 4.128 m.s.n.m. posee derechos por 50 lt/s y la captación Hojalar ubicada a 4.118 m.s.n.m. posee derechos por 140 lt/s. La captación Toconce se emplaza a una altura de 3.245 [m.s.n.m.]. La infraestructura existente consiste en una obra de captación formada por un muro de 22 metros de largo y 1 metro de altura; además, cuenta con una compuerta desripiadora en la zona sur. Esta obra capta el flujo correspondiente a los derechos de Hojalar, Linzor y Toconce, alcanzando los 470 lt/s

· San Pedro de Inicaliri I

Esta captación nace a partir de un convenio firmado entre CODELCO y ESSAN el año 1995, empresa antecesora de Aguas de Antofagasta S.A.

El total de los derechos que posee CODELCO, en la subcuenca de San Pedro de Inacaliri I, corresponden a 1.850 l/s consuntivos de agua subterránea de ejercicio permanente. A partir del convenio antes mencionado, se decide entregar a ESSAN 50 l/S a través de la aducción San Pedro que se conecta a la aducción Quinchamale en el sector de Conchi.

· San Pedro de Inicaliri II

Al igual que Inacaliri I proviene de una entrega por parte de CODELCO de 40 l/s firmada en agosto de 2011, esta entrega se efectúa en la represa San Pedro de CODELCO ubicada a 2 km de la estación San Pedro del Ferrocarril Antofagasta a Bolivia.

· Captación Puente Negro

Capta las aguas del río Loa, ubicada en la ciudad de Calama cercana a la intersección entre la ruta 21 y la ruta 25. Estos derechos corresponden a compras efectuadas a los regantes de esa zona. Estos derechos corresponden a varios canales de riego: Coco la Villa, Coco la Villa Ramal Bilbao, Lay-Lay, Carvajal y Topater I. El total de esos derechos asciende a 2.074.800 [m3/año], equivalentes a aproximadamente 66 [l/s]. En la Tabla 3.37 se presenta los derechos de agua estacionales según los títulos de dominio.

Tabla 3.37. Derechos de agua estacionales según los títulos de dominio.

Fuente	Localidad	Tipo de Fuente	Subcuenca	Ubicación de la Fuente	Caudal (m^3/año)	Caudal (l/s)	Resolución DGA, Decreto, Venta, Cesión o Transferencia	Inscripción en Registro de Aguas de Conservador de Bienes Raíces de El Loa-Calama
Lequena	Lequena	Superficial, río Loa	río Loa	río Loa, unos 35 km aguas arriba de la confluencia con río San Pedro.		550	EFR Nº1101 15.01.1993.	Fojas 17 Nº 13 El Loa, año 1993
Quinchamale	Quinchamale			río Loa, unos 7 km aguas arriba de la confluencia con río San Pedro.		300	EFR Nº1101 15.01.1993.	Fojas 17 Nº 13 El Loa, año 1993
Puente Negro	Calama			Sector de Puente Negro en Calama, canal LayLay Carvajal.	**172200**	**5**	**Compra - Venta. Derecho no ha sido trasladado a captación Puente Negro.**	**Fojas 55 Nº 48 El Loa, año 1994**
Puente Negro				Sector de Puente Negro en Calama, canal Coco La Villa Ramal Bilbao.	**143500**	**5**	**Compra - Venta. Derecho no ha sido trasladado a captación Puente Negro.**	**Fojas 01 Nº 01 El Loa, año 1995**
Puente Negro				Sector de Puente Negro en Calama, canal Topater.	**401800**	**13**	**Compra - Venta. Derecho no ha sido trasladado a captación Puente Negro.**	**Fojas 30 Nº 27 El Loa, año 1998**
Puente Negro				Sector de Puente Negro en Calama, canal Coco La Villa.	466800	15	Compra - Venta. Derecho trasladado a captación Puente Negro.	Fojas 66 Nº 59 El Loa, año 1994
					861800	27		Fojas 01 Nº 01 El Loa, año 1995
					28700	1		Fojas 01 Nº 01 El Loa, año 1995
Toconce	Toconce	Superficial, río Toconce	río Toconce	río Toconce, 8 km aguas arriba de junta con río Salado.		470	EFR Nº1101 15.01.1993	Fojas 17 Nº 13 El Loa, año 1993
Hojalar		Superficial, río Hojalar	río Hojalar	Qda. Hojalar, afluente de río Toconce.		140	Res DGA Nº 113 de 28.03.1985	Fojas 7 Nº 2 El Loa, año 1985

Fuente	Localidad	Tipo de Fuente	Subcuenca	Ubicación de la Fuente	Caudal (m^3/año)	Caudal (l/s)	Resolución DGA, Decreto, Venta, Cesión o Transferencia	Inscripción en Registro de Aguas de Conservador de Bienes Raíces de El Loa-Calama
Linzor		Superficial, vertientes	Quebrada Linzor	Vertientes en Qda. Linzor afluente de río Toconce.		50	Decreto MOP Nº 413 de 12.12.1985	Fojas 9 Nº 3 El Loa, año 1986
San Pedro Inacaliri I	S. Pedro Inacaliri	Entrega Codelco	río San Pedro de	El agua proviene de captaciones de aguas subterráneas de CODELCO en la Subcuenca de San Pedro de Inacaliri.		50	Cesión de derechos de agua subterránea entre CODELCO y ESSAN. Escritura pública del 10.01.1995 de notaría Luis Chávez, Antofagasta.	Fojas 12 Nº 12 El Loa, año 1995
San Pedro Inacaliri II			Inacaliri	El agua proviene de conducciones de aguas superficiales de CODELCO, que captan aguas en el río San Pedro Inacaliri.		40	Cesión de derechos de aguas superficiales entre CODELCO y ESSAN. Escritura pública, 4ª notaría de Calama de fecha 03.08.2001.	Fojas 51 Nº49 El Loa, año 2001

b) Tratacal

Las obras y acciones materias del presente proyecto se emplazan dentro del mismo terreno de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas existente ESSAN. En la RCA de N° 0336/2008, la empresa declara que sus procesos contienen tratamiento físico de los lodos y digestores aeróbicos, previos a la descarga de las aguas tratadas a la quebrada Quetena. También declara que en casos de emergencia excepcionales se hará una descarga de aguas crudas, lo cual puede deberse a fallas en los equipos de la empresa, cortes prolongados de electricidad y consecuencia de acciones vandálicas en las dependencias de la empresa.

A continuación, se presentan los valores de diseño que presenta la empresa en su DIA.

Tabla 3.38. Valores de diseño de planta de tratamiento de aguas servidas Tratacal.

Descripción	Unidad	2007	2017	2021	2033	2035
		máximo diario	máximo diario	máximo diario	máximo diario	máximo diario
Población total	personas	146.700	161.635	169.933	189.748	235.398
Caudal de diseño[1]	L/s	287	317	333	372	411,9
	m^3/d	24.835	27.363	28.768	32.122	35.592
Caudal máximo horario[2]	L/s	399	440	462	516	695,9
Carga Orgánica DBO[3]	kg/d	8.010	9.246	9.941	11.594	11,757
Carga máxima horaria DBO[4]	kg/h	384	443	476	556	940,6

A partir del año 2016 se pone en marcha el proyecto “Mono-relleno Calama, Tratacal”, que consiste en la operación de un mono-relleno para la disposición final de lodos orgánicos provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) de Tratacal, así como de lodos provenientes de terceros (DIA proyecto “Mono-relleno Calama, Tratacal”, 2015). Este proyecto no tiene influencia directa sobre las aguas del río Loa. Indirectamente tiene influencia, ya que bajo el relleno se dispone de un dren para el manejo de percolados, los cuales serán trasladados a la PTAS Tratacal, junto a otros residuos líquidos que se generen. Además, el proyecto no contempla intervención de aguas subterráneas, cuerpos de agua que generen fluctuaciones de niveles, glaciares, ni de vegas y/o bofedales.

ii. Sector minero

La minería en la región de Antofagasta proviene de larga data, desde el periodo precolombino los Atacameños fueron pioneros en explotar los minerales de la zona. Vivían en los valles y extraían el cobre de la zona donde hoy se ubica Chiquicamata. Con estos minerales las comunidades elaboraban objetos decorativos que frecuentemente ocupaban en sus ceremonias (Ministerio de Minería 2018). Posteriormente, durante el siglo XIX la minería del salitre representó uno de los rubros con mayores aportes al PIB nacional, dada la alta demanda de este insumo para la elaboración de explosivos y su masificado uso como fertilizante (Ministerio de Minería 2018). Ya a partir del siglo XX aparece la gran minería del cobre con la explotación de dicho mineral en Chuquicamata por firmas Estado Unidenses. Finalmente, a partir de 1970 se genera un proceso gradual de nacionalización del cobre. Este sector alcanzó su auge entre los años 1990 y 2011 (Ministerio de Minería 2018).

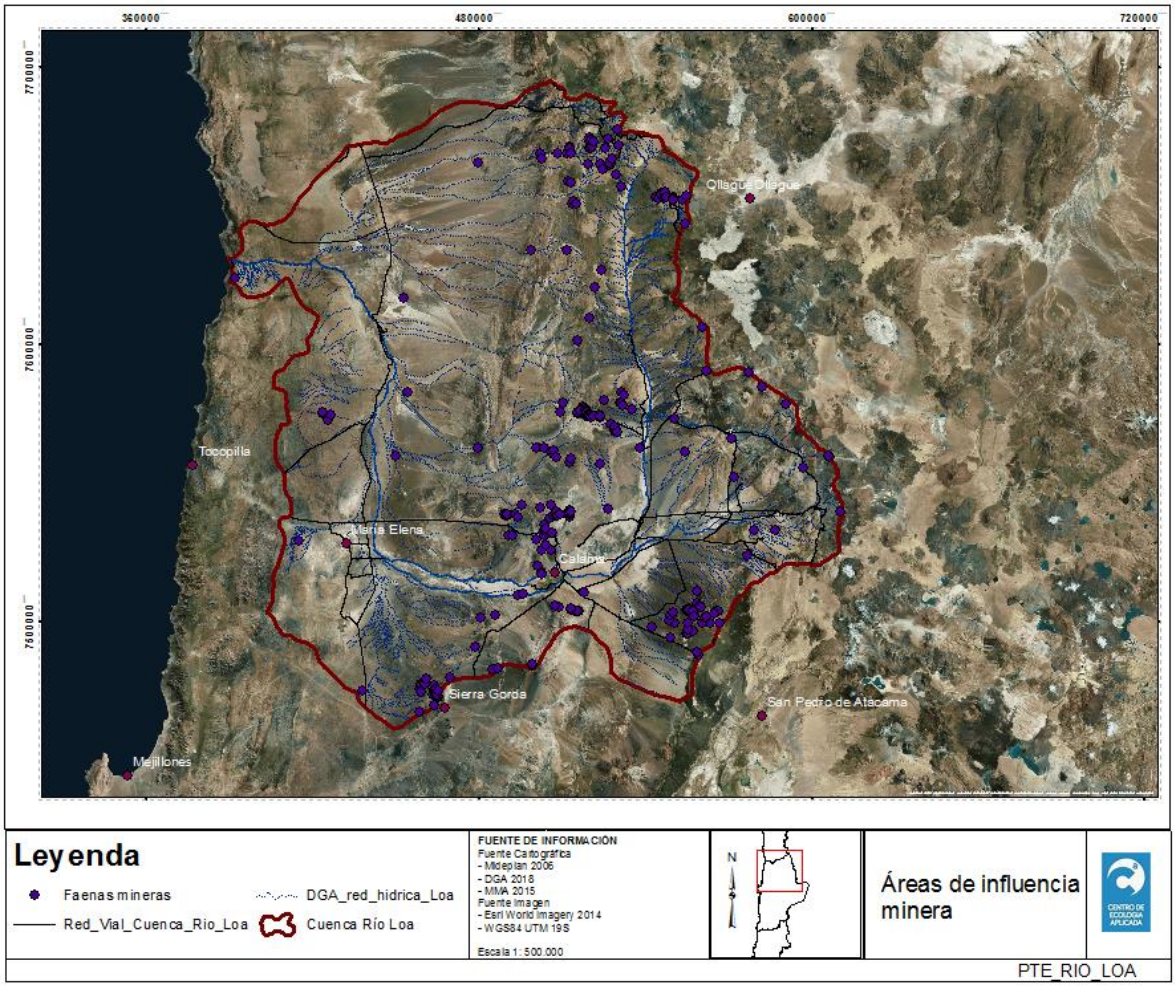


Figura 3.46. Faenas mineras presentes en la cuenca del río Loa. Elaboración propia.

En la Figura 3.46 se presentan las faenas mineras presentes en la cuenca, se observa que la actividad de este sector se encuentra ampliamente distribuida en la zona alta y media de la cuenca.

Algunas de las principales faenas mineras presentes en la cuenca se describen a continuación:

a) Minera El Abra

Es una compañía minera que explota a rajo abierto un mineral pórfido cuprífero (mineral oxidado) y que produce cátodos electrolíticos de cobre. El yacimiento fue puesto en marcha el año 1995-96 y se sometió voluntariamente al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental a través de la presentación de un Estudio de Impacto Ambiental, por lo que presentaría sus residuos industriales manejados en sistemas ambientalmente evaluados y debidamente controlados por todas las autoridades competentes (Azil 2001).

b) CODELCO División Radomiro Tomic

Compañía minera que al igual que la anterior explota a rajo abierto un mineral oxidado produciendo cátodos electrolíticos de cobre. El yacimiento funciona desde el año 1998 y se sometió al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental a través de la presentación de un Estudio de Impacto Ambiental, por lo que presenta sus residuos industriales manejados en sistemas ambientalmente evaluados y debidamente controlados por todas las autoridades competentes. El mineral de Radomiro Tomic es abastecido de agua a través de su empresa matriz CODELCO-Chuquicamata, la cual obtiene el recurso hídrico desde el río San Pedro de Inacaliri, que es uno de los afluentes superficiales del río Loa.

c) CODELCO División Chuquicamata

Compañía Minera que explota dos minas a rajo abierto, la Mina Sur donde se obtiene mineral oxidado, y la Mina Chuqui de donde se extrae mineral sulfurado. Este complejo minero produce concentrado de cobre, cátodos electrolíticos de cobre, ánodos electrolíticos de cobre. El yacimiento se explota desde muy antigua data, incluso desde antes de la dominación Inca, pero desde el año 1915 bajo la responsabilidad de sus antiguos dueños, una empresa norteamericana, que implementó la producción de barras de cobre fino es que se da inicio a la explotación industrial del yacimiento, sin embargo desde el año 1971 debido a la nacionalización del cobre, este complejo minero pasa a ser completamente propiedad del Estado Chileno y es explotado bajo la responsabilidad de la empresa estatal (Ministerio de Minería 2018). Los residuos industriales líquidos que genera la división históricamente han sido dispuestos en dos tranques de relaves de grandes dimensiones, el Tranque de Relaves de Talabre y el Tranque de El Indio, los cuales originalmente eran lechos de salares naturales (Azil 2001).

iii. Sector agrícola

A la fecha, los datos que utilizan los diversos análisis sobre el sector agrícola, tanto de ODEPA, como INE se basan en el Censo Nacional Agropecuario y Forestal del 2007, ya que el próximo levantamiento de información se encuentra programado aproximadamente para marzo de 2019 (ODEPA 2016), por lo que el posterior análisis se basará en el mismo insumo de datos.

Si bien la agricultura no representa un peso relativo relevante en aporte al PIB regional representando un 0,4 % del número de empresas y 0,1 % de ventas y empleos en la región, (tal como se observa en la Tabla 3.25), sí cobra un gran valor cultural presente en las comunidades rurales, indígenas y urbanas presentes en la cuenca. Dentro de la cuenca, la comuna de Calama es la que presenta mayor superficie de explotación agropecuaria, existiendo actividad en las localidades de Lasana, Chiu Chiu, Lasana, Ayquina, Caspana, entre otras (ECONAT consultores 2005). En cuanto a la superficie cultivada bajo riego, Calama presenta más de 2000 hectáreas de las cuales más de un 95 % son regadas bajo sistemas gravitacionales de baja eficiencia, tal como se observa en la Figura 3.47

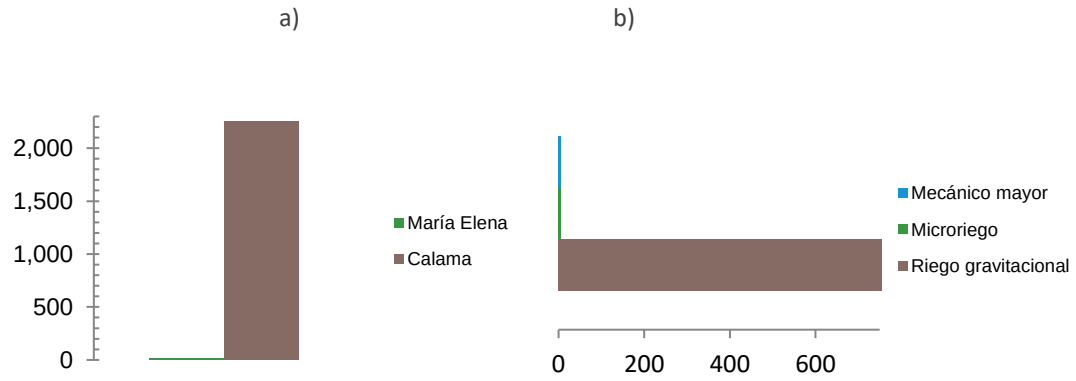


Figura 3.47. a) superficie de explotaciones agropecuarias bajo riego. b) Superficies por sistema de riego en Calama. Censo nacional agropecuario 2007

Por otra parte, en la comuna de Maria Elena la actividad agropecuaria es sustancialmente menor según los datos del censo nacional agropecuario del 2007, la cual se desarrolla prácticamente en la localidad de Quillagüa (ECONAT consultores 2005), sin embargo, existe una tendencia a la baja dada las precarias condiciones de calidad y cantidad de agua de la que disponen los Quillagüinos, de hecho, estos mismos han declarado que actualmente prácticamente no existe agricultura precisamente a causa de los factores antes descritos.

Dentro de las explotaciones agropecuarias, las más importantes son las forrajeras, las hortalizas y los cereales en menor medida (Figura 3.48). El hecho de que exista gran producción de plantas forrajeras se relaciona con un importante papel de la ganadería en la cuenca, en tanto a los cultivos que no se encuentran asociados a la ganadería,

principalmente las hortalizas, estos se orientan para satisfacer la demanda local de Calama y las demás ciudades de la Región (ECONAT Consultores 2015).

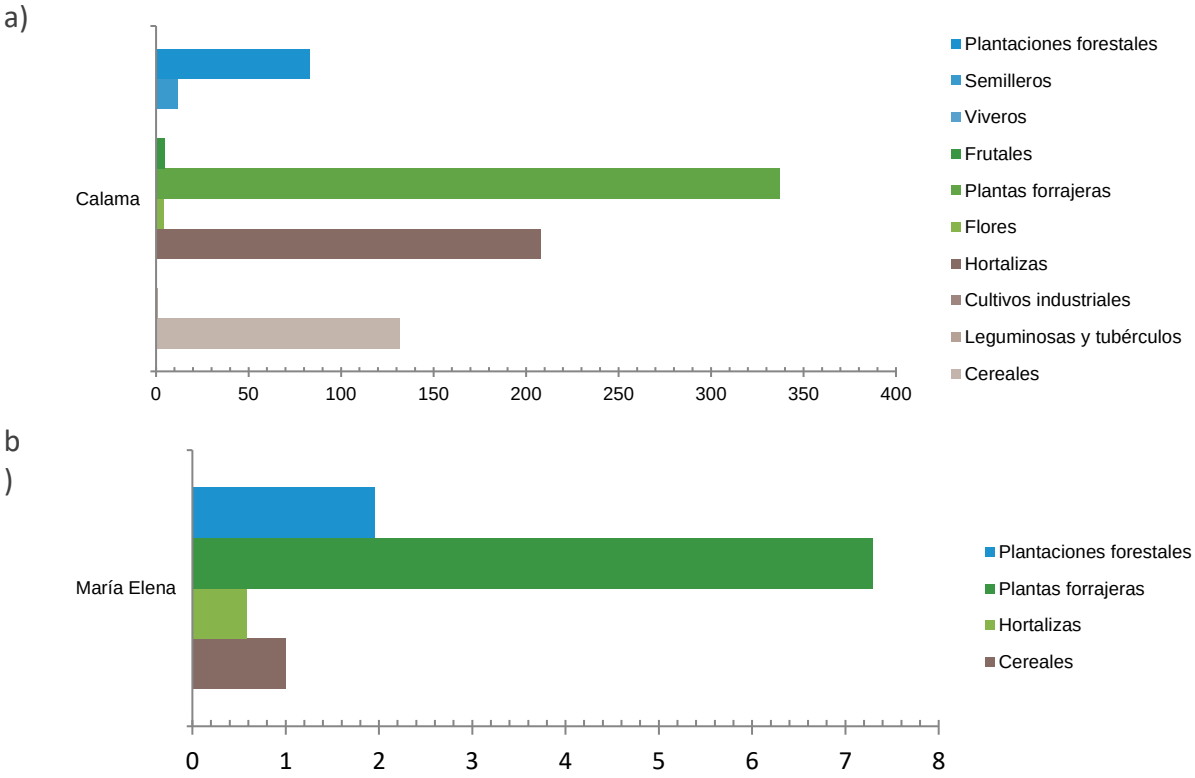
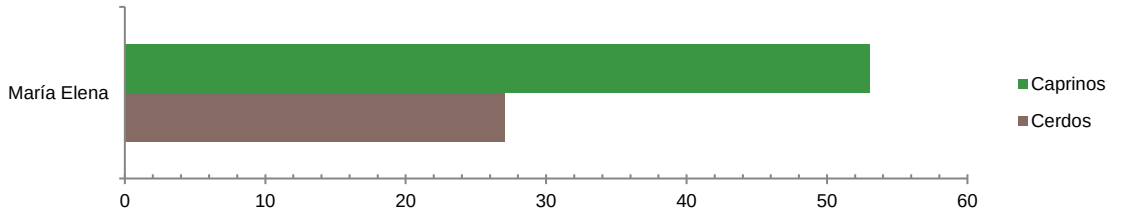


Figura 3.48. Superficie total plantada (ha) según grupo de cultivos a) Calama. b) Maria Elena. Censo nacional agropecuario 2007

Según los datos del Censo agropecuario 2007 la ganadería de Calama produce principalmente ovinos, caprinos y llamas agrupando cerca de 9.000 cabezas de ganado, mientras que la comuna de María Elena con una producción significativamente menor, trabaja principalmente con ovinos y cerdos agrupando cerca de 90 cabezas, como se señala en el siguiente gráfico (ver Figura 3.49).

a)



b)

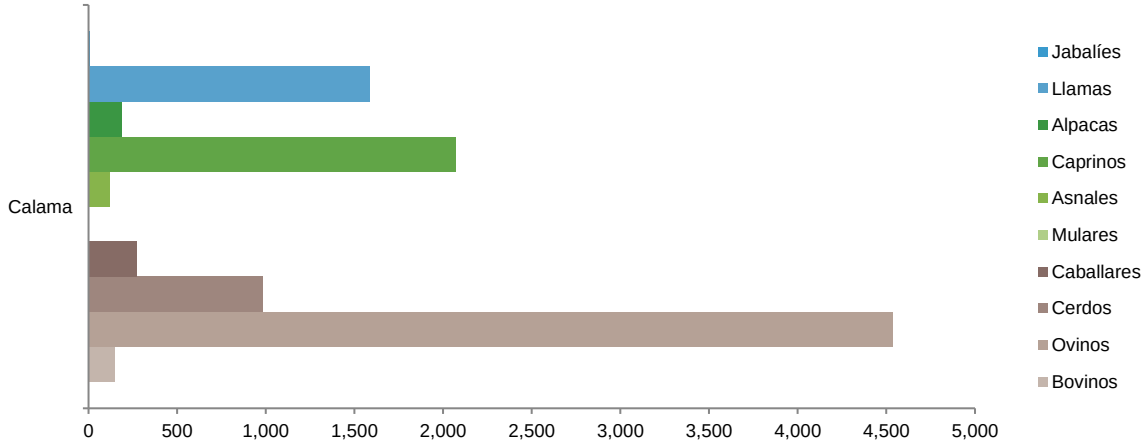


Figura 3.49. Existencia de ganado. a) Cabezas de ganado en Maria Elena. b) Cabezas de ganado en Calama. Censo nacional agropecuario 2007

3.1.8 Identificación de servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos identificados se presentan según la clasificación de Haines-Young and Potshin (2012), metodología indicada por el MMA en 2014, y se describen a continuación:

3.1.8.1 Servicios de provisión

3.1.8.1.1 Recolección de recursos hidrobiológicos asociados al cuerpo fluvial

En la parte baja de la cuenca, está presente el Camarón de río del Norte de Chile, Cryphiops caementarius (Molina 1782), el cual históricamente ha sido un recurso hidrobiológico fundamental, principalmente en la zona de la desembocadura y la localidad de Quillagüa, cuyos habitantes han declarado durante los talleres de difusión del actual estudio, que previo al desarrollo de grandes proyectos asociados el río Loa, esta especie representó un pilar en lo económico y nutricional para su subsistencia, así también lo declara la Red de Mujeres del Loa en un material audiovisual realizado en 2014 a través del instrumento de fomento del Gobierno Regional, FNDR 2% de cultura. Adicionalmente, el Ministerio del Medio Ambiente (2013) en la ficha de antecedentes de la especie declara que durante el periodo 2000-2013, se observa una disminución de la especie cercana al 50%, lo cual se puede atribuir a al efecto negativo que han generado derrames accidentales de faenas mineras.

Otra especie de importancia comercial presente en el río es la Trucha arcoíris, Oncorhynchus mykiss, especie norteamericana introducida. Hasta el momento no existe un estudio que precise el estado de la Trucha en el río Loa y según lo establecido por Ley, está prohibida su extracción, tal como se señala en el decreto excento N°698 de noviembre de 2017, del Ministerio de economía, fomento y turismo, subsecretaría de pesca y acuicultura (http://bcn.cl/286tu). Solo está permitida la pesca de ella de forma recreativa. Aun así, la venden como un plato gourmet en el Alto Loa (Fuente: soychile.cl - https://www.soychile.cl/Calama/Sociedad/2018/08/24/552049/Esta-prohibida-la-comercializacion-de-la-trucha-del-rio-Loa.aspx).

3.1.8.1.2 Producción agrícola y ganadera

Desde épocas precolombinas asentamientos humanos se han emplazado en zonas aledañas al río, estableciendo un desarrollo cultural fuertemente ligado a la agricultura (Gleisner 2014). Las zonas más relevantes para este uso son los diversos oasis presentes a lo largo del río, Lasana, Chiu Chiu, Calama, Quillagüa. Este último ha sido significativamente afectado por el gradual deterioro del estado ambiental de las aguas, debido a prácticamente la ausencia de agua para satisfacer las demandas de los cultivos en épocas estivales y a la disminución de la calidad de agua para riego producto de la menor dilución de sales y elementos contaminantes. Esto implica que incluso la alfalfa, cultivo tolerante a condiciones salinas, ya no se puede producir según declara la comunidad Aymara del sector de Quillagua, la pérdida de este cultivo se llevó consigo la

posibilidad de criar animales o incluso miel la cual se producía a partir de los alfalfales, (Documental En la ruta de las Mujeres del Agua, FNDR 2% de Cultura 2014).

En la actualidad la agricultura de la cuenca produce principalmente alfalfa (a excepción de la parte baja) que se utiliza para la producción precuaria, hortalizas y maíz, que son cultivos con relativa resistencia al As y B. Gran parte de esta actividad está asociada a la agricultura de subsistencia (ECONAT consultores 2005). En tanto a la actividad pecuaria, esta se asocia principalmente a sectores en que el agua fluye naturalmente, como es el caso de vegas y bofedales asociados a los oasis.

3.1.8.1.3 Agua potable y saneamiento

Las aguas del río Loa, en particular provenientes del sector alto de la cuenca, dan sustento a las grandes ciudades de la región, como es el caso de Calama y Antofagasta. Para el caso de agua potable la principal extracción se realiza en las captaciones de Linzor, Toconce, Hojalar, Lequena, Quinchimale y Puente negro (CONIC FB 2016). Las captaciones se establecieron en la parte alta de la cuenca, precisamente porque la calidad de agua de esta zona es la mejor, ya que es cercana al nacimiento de los cuerpos fluviales los cuales están sometidos a menores presiones de contaminación. Sin embargo, la población de las grandes ciudades no valora el recurso lo suficiente como para hacer un uso doméstico eficiente y sustentable, debido principalmente a que la mayor parte de los habitantes de estos grandes asentamientos urbanos desconoce la presión que generan estas extracciones de agua sobre el ecosistema fluvial y no poseen una identificación con el territorio que los motiven a conocer el estado ambiental de las aguas (Econat Consultores 2005). Además de estos antecedentes, un 28,2 % de los habitantes de la región se caracterizan por ser una población flotante, que tienen menores posibilidades de conocer los problemas locales referentes al recurso hídrico y su uso (Subdere, 2018).

En Calama cerca de 165.000 habitantes gozan de un servicio de saneamiento, suministrado por la empresa Tratacal, cuyo sistema de recolección gravitacional, con una pendiente media dirección nor oriente- sur poniente, desembocando finalmente en una planta de tratamiento ubicada en el sector de Quetena al poniente de la ciudad (Duran, 2016). Posterior al proceso de la planta, las aguas tratadas son vertidas en quebrada quetena, aguas arriba del río San Salvador, el cual confluye con el río Loa, lugar donde es posible ver una importante producción de espuma.

3.1.8.2 Servicios de regulación y mantención

3.1.8.2.1 Corredor biológico único en la Región

El río Loa, cómo ya se ha mencionado en diversos acápites del presente informe, se caracteriza por ser el más extenso a nivel nacional y el único cuerpo fluvial de la región que desemboca en el mar. Esta condición genera un corredor biológico único, donde sus aguas conectan la Cordillera de los Andes con el océano pacífico

3.1.8.2.2 Retención de contaminantes por parte de cobertura vegetal tolerante

Las especies vegetales que se encuentran aledañas a las zonas de escorrentías; particularmente en las zonas bajas del río, dónde su calidad va bastante mermada dado las presiones a la cual se expone el cuerpo fluvial aguas arriba; presentan altos niveles de tolerancia a la salinidad y más importante aún, cumplen un rol biológico de control de diversos elementos contaminantes cómo el As, a través de procesos de fitoestabilización, fitoextracción (como sucede con la especie Atriplex atacamensis) o inclusive, la sorción directa de este elemento por parte de la materia orgánica presente bajo las coberturas vegetales. (Bugueño 2014)

3.1.8.3 Servicios culturales

3.1.8.3.1 Uso recreativo de las aguas

Según los registros del Servicio Nacional de Turismo en relación con los atractivos turísticos de la Región de Antofagasta (2012), se señalan sectores que son utilizados como balneario por los habitantes y visitantes, destacando los ubicados en las comunas de Calama y María Elena correspondientes a los sitios naturales Las Cascadasanex y Balneario Coya Sur respectivamente. El primero corresponde a una piscina natural que se produce gracias a una cascada del río Loa, la cual se encuentra habitada por tórtolas, jilgueros, zorzales entre otras aves; mientras que el segundo sector con características de balneario, ubicado a 22 kilómetros de la ciudad de María Elena, cuenta con espacios dedicados para el camping, además en sectores aledaños es posible visitar la Escalera del Indio, labrada en la ladera de una quebrada en 1874, salitreras abandonadas, geoglifos y petroglifos (SERNATUR 2012).

Por otro lado, otra actividad recreativa que tiene lugar en las riberas del río, es la pesca deportiva principalmente de la Trucha arcoíris antes mencionada, sin embargo, esta actividad debe ser bajo los estándares de licencia que entrega SERNAPESCA, pudiendo realizar extracciones que no superen los 15 kg por día.

3.1.8.3.2 Interacciones físicas y espirituales

Existe una estrecha relación de los pueblos originarios y el río. Un factor común que tienen las etnias indígenas presentes en la cuenca, principalmente Aymaras, Atacameños y Quechuas es su visión del río como un ente viviente, que es capaz de proveer una serie de grandes beneficios para estas comunidades (Gleisner 2014).Algunos de los ritos que se celebran en torno a las aguas, es la limpieza de canales, la cual se hace en familia o en comunidad y tiene por objetivo limpiar de obstáculos los canales de manera que el agua fluya sin problemas y llegue a las zonas de regadío sin desbordarse o encharcarse. También se realizan diversos ritos en los que se hacen ofrendas a la pacha mama y al río, para pedir permiso del uso de sus aguas y agradecer los beneficios que provee a las

comunidades (Gleisner 2014). Sin embargo, las constantes presiones sobre las aguas, que producen la disminución en cantidad y en calidad, afectan directamente a estas costumbres, ya que muchos comuneros se han sentido agobiados por esta situación y han optado por vender sus derechos de aprovechamiento de aguas migrando, y de esta forma mermando la cultura ancestral (Carrasco y Fernandez 2009).

3.1.9 Identificación de problemas y conflictos

Si bien, según el código civil el agua es un bien natural de uso público, sin embargo, con la promulgación del actual código de aguas en 1981 se genera la figura del derecho de aprovechamiento de las mismas, derecho que es entregado a perpetuidad y donde el titular puede administrarlo de la misma forma que un bien raíz, pudiendo transar libremente este bien en función de la dinámica del mercado. A raíz de esta figura se crea un desarrollo económico en la región, basado en el uso de este recurso donde el sector minero y sanitario adquiere un rol preponderante en el uso del agua, generando presiones en diversos sectores de la cuenca, lo que desemboca en problemas socio-ambientales que se describen a continuación.

3.1.9.1 Enriquecimiento de Arsénico

Según un estudio realizado por Mukherjee et al 2014, dónde se evalúa a escala global el origen del enriquecimiento de Arsénico en las fuentes hídricas, se determina que esta situación se debe tanto a causas naturales como a causas antrópicas. Las zonas naturalmente ricas en As se encuentran asociadas a actividad volcánica cercana, como sucede en los casos de la India asociada al cordón montañoso del Himalaya, Rocky Mountain y Aplachian Mountain en Estados Unidos y Los Andes de Argentina y Chile. En tanto a la actividad antrópica, la minería tiene una relevante implicancia en el aumento del arsénico en el territorio.

En el caso de la cuenca del río Loa, la condición de enriquecimiento por arsénico está ampliamente favorecida por la actividad minera, debido a la suspensión de material particulado rico en minerales, tales como trióxido de arsénico. Demás de los grandes aportes que provienen de fuente geotermal del Tatio, las cuales promedian una concentración de 27 mg/lt (Vromman et al, 2016).

Dentro de los factores que determinan la biodisponibilidad del Arsénico se encuentran, el pH, potencial redox, textura y estructura de suelo, materia orgánica, y óxidos metálicos. Una alta conductividad eléctrica y pH alcalinos favorecen la movilidad del arsénico desde rocas volcánicas a los cuerpos fluviales (Vromman et al, 2016), condición representativa del río Loa.

Según la Organización Mundial de la Salud, el Arsénico (As) es un elemento contaminante natural y/o antrópico, que constituye una seria amenaza para la vida, relacionado con el

cáncer. Smith (Smith et al, 2007) estimaron que para el periodo de 1989-1993, un 7% de las muertes a en la región de Antofagasta se debían a la exposición al As.

Actualmente las principales ciudades de la región tienen acceso a agua potable que ha recibido un tratamiento de abatimiento de As, sin embargo, comunidades locales se encuentran expuestas a las altas concentraciones de este elemento en las fuentes de agua subterráneas (Vromman, et al 2016).

3.1.9.2 Xantato estudio SAG

En el año 2000, la dirección regional de Antofagasta del Servicio Agrícola y Ganadero realizó el estudio "Informe contaminación río Loa, período marzo 1997 – febrero 2000." (SAG, 2000), que analiza eventos de contaminación producidos entre los años 1997 y 2000 a través de análisis de calidad de agua en determinadas estaciones aguas abajo de tranque Talabre, y se determinó la presencia de Xantato, un producto del proceso de la minería, concluyendo que los eventos de contaminación se sucedieron de esta actividad, condicionando la calidad ambiental de las aguas en la localidad de Quillagüa. Los mismos habitantes de esta comunidad indican este evento como la muerte de la agricultura a manos de la gran minería, declarando que nunca se recuperó totalmente la capacidad productiva de los suelos, y el desenso de la capacidad del río para sostener recursos hidrobiológicos identificados con la zona, como lo son los camarones de río.

3.1.9.3 Contaminación desde faena El Abra

Con fecha 15 de diciembre de 1996 presentó un derrame de ácido sulfúrico que llegó al río Loa debido al colapso de una pila de lixiviación. En esta oportunidad habrían escurrido 13.000 litros de solución de ácido sulfúrico y cobre disuelto que cayeron al río Loa en las cercanías del embalse Conchi (Camus y Hajek, 1998). Además, debido al consumo de las aguas contaminadas del río Loa, se produjo la mortalidad de 15 ejemplares de ganado bovino en el sector de Lasana, que murieron entre el 16 de diciembre de 1996 y el 07 de enero de 1997, encontrándose en muestras de tejido y fecas de estos animales elevadas concentraciones de sulfato y cobre (SAG 2000).

3.1.10 Registro de emisiones del RETC

Se realizó una compilación de los datos registrados en la plataforma del RETC, estos datos corresponden a la masa de emisiones por año, para las comunas de Calama, Ollagüe, María Elena y Tocopilla. Estos resultados corresponden a los valores integrados de emisiones que presenta el sector agrícola, minero, sanitario y energético, mientras que el cuerpo receptor corresponde a suelo, aire y agua.

3.1.10.1 Medio receptor aire

Los siguientes valores de emisiones se encuentran relacionado al medio receptor aire, donde los sectores que tienen mayor influencia son la producción primaria del cobre y la

producción de energía termoeléctrica en base a la combustión de fósiles y carbón. Esta información fue recopilada para identificar posibles aportes (externos al cauce) de material particulado sobre el agua. Sin embargo, esta información no fue utilizada ya que los parámetros de sólidos suspendidos totales se encuentran dentro de los rangos aceptables (ver acápite 3.2.2.1).

3.1.10.1.1 MP 2,5

Para este componente, la comuna que más afectada es Calama con valores cercanos a las 570 ton año^{-1} en el periodo 2011, mientras que en María Elena los valores son bastantes menores alcanzando 22 ton año $^{-1}$ para el periodo 2015 y finalmente la comuna de Ollagüe es la que presenta los menores valores en relación al componente MP 2,5 cuyo mayor registro se presenta en el año 2011 con 0,05 ton año $^{-1}$

Los recuadros y flechas rojas en las figuras representan un acercamiento al gráfico en la zona encuadrada que será representada en la siguiente figura con una escala tal que se aprecien mejor los datos.

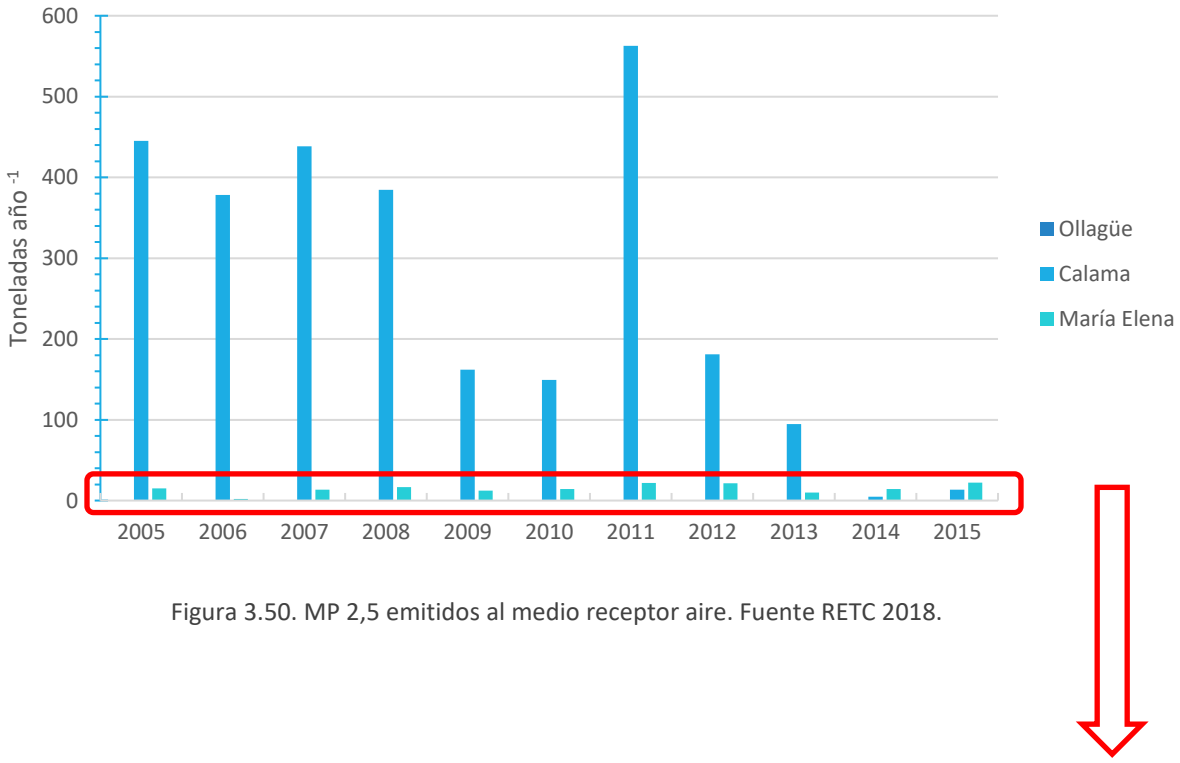


Figura 3.50. MP 2,5 emitidos al medio receptor aire. Fuente RETC 2018.

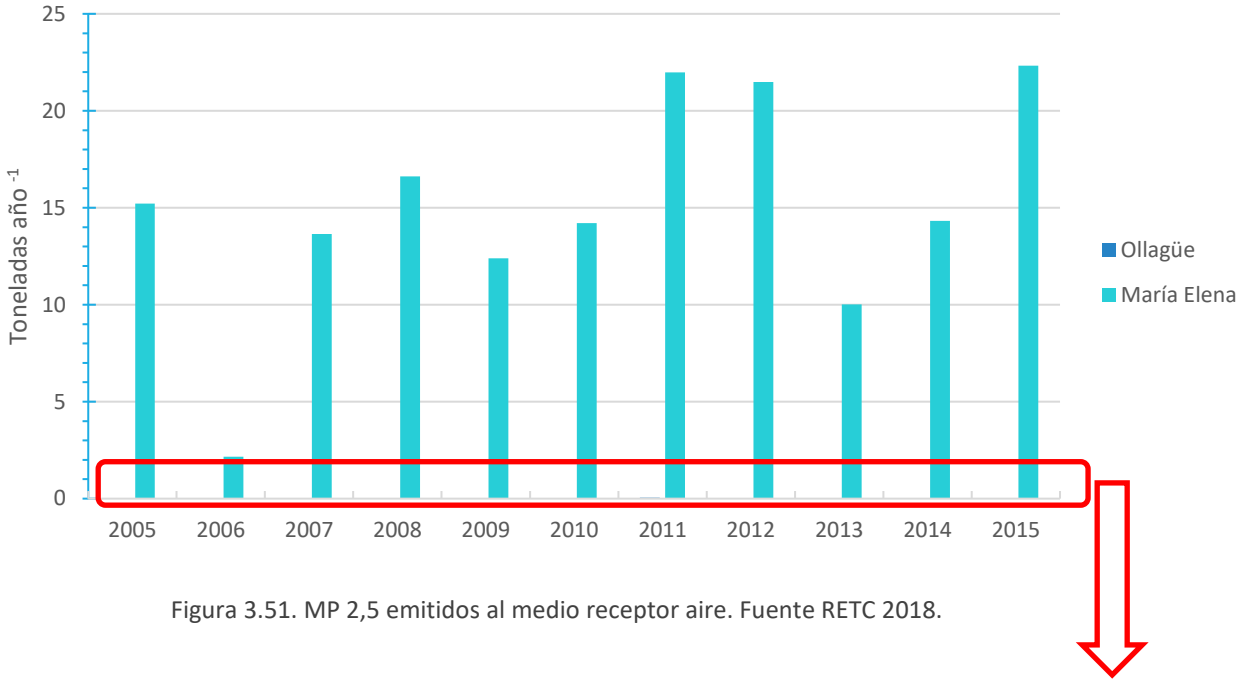


Figura 3.51. MP 2,5 emitidos al medio receptor aire. Fuente RETC 2018.

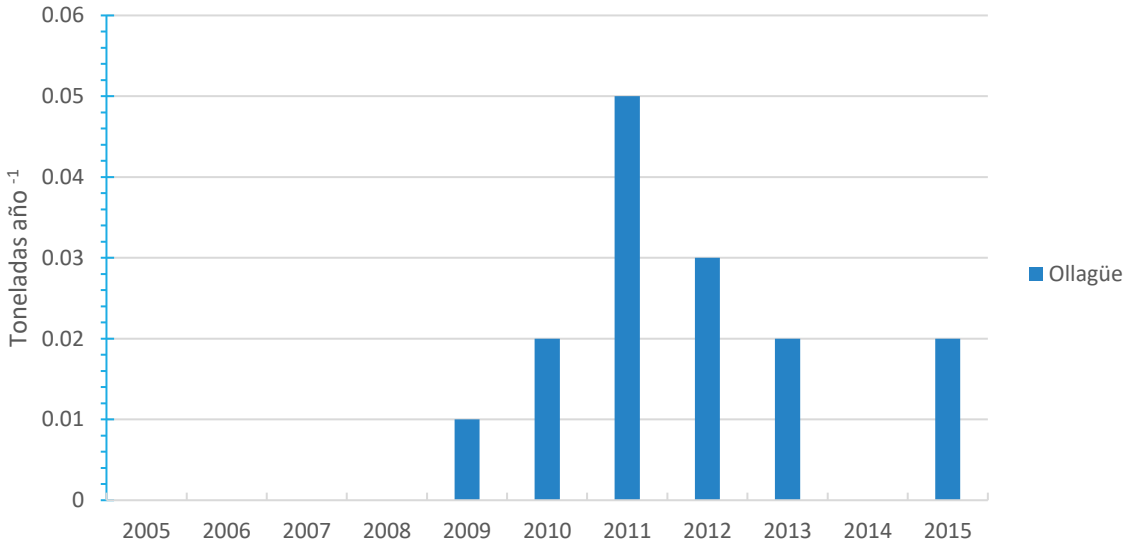


Figura 3.52. MP 2,5 emitidos al medio receptor aire. Fuente RETC 2018.

3.1.10.1.2 SO_2

En el caso del dióxido de azufre la comuna que presenta los valores más altos de emisiones corresponde a Calama que en el periodo 2016 registra valores de 600.000 ton año $^{-1}$, valores asociados a la industria de la minería y la producción primaria del Cobre. Para el caso de María Elena, el periodo con mayores registros de emisiones relacionadas al SO_2 fue en 2007 con un valor superior a las 1.000 ton año $^{-1}$, mientras que para el caso de Ollagüe, las emisiones fueron bastante menores con valores cercanos a 0,3 toneladas por año.

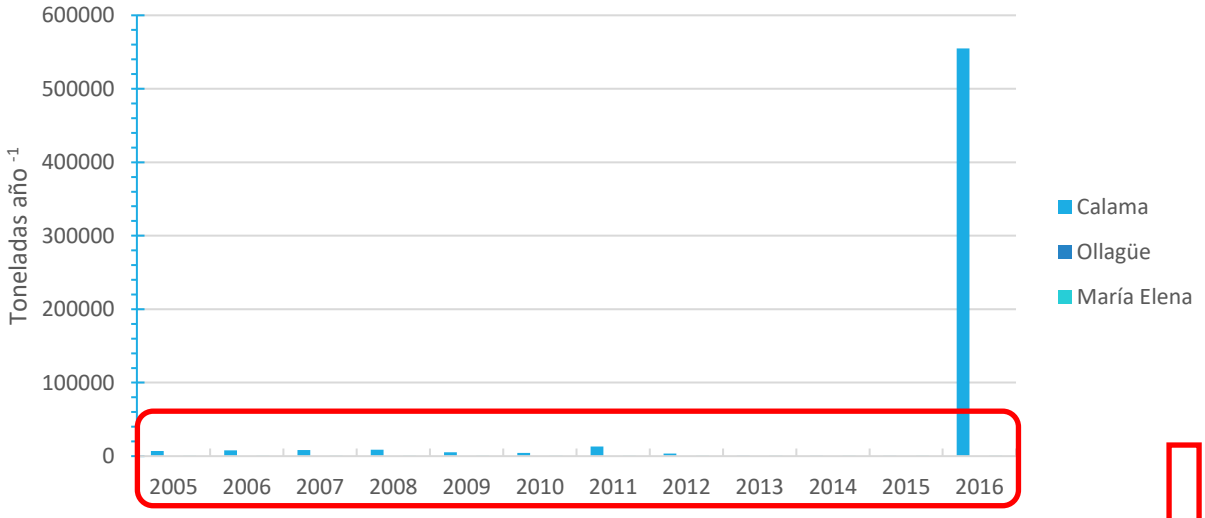


Figura 3.53. Emisiones de SO_2 al medio receptor aire para el periodo 2005-2016. Fuente RETC 2018.

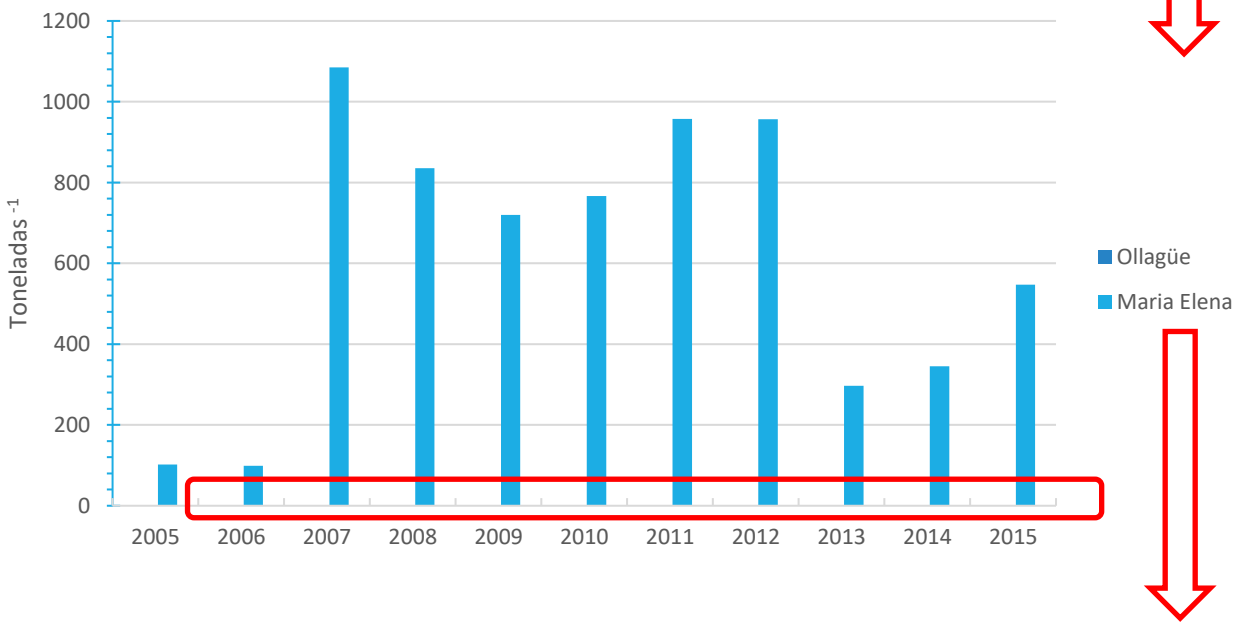


Figura 3.54. Emisiones de SO_2 al medio receptor aire para el periodo 2005-2016. Fuente RETC 2018.

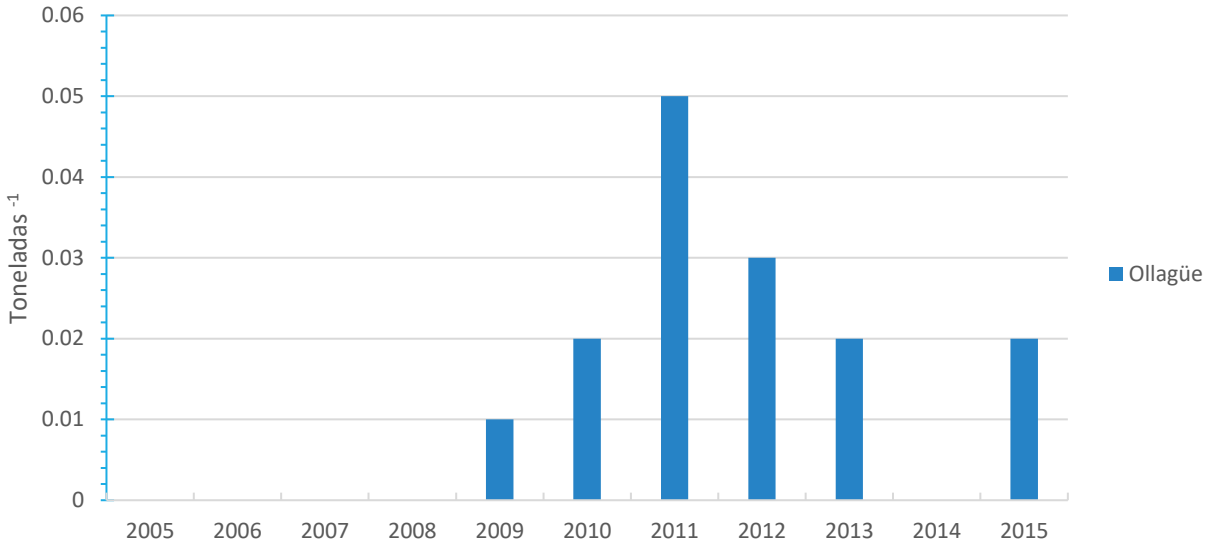


Figura 3.55. Emisiones de SO_2 al medio receptor aire para el periodo 2005-2016. Fuente RETC 2018.

3.1.10.1.3 CO_2

En relación al dióxido de carbono, la comuna que presentó los registros más altos fue Calama en 2011 alcanzando las 1.550.000 toneladas, asociada a la producción primaria del cobre y al uso industrial de calderas. En María Elena las mayores emisiones de anhídrido carbónico se registraron en 2005 con 286.472 toneladas, mientras que en Ollagüe el mayor registro figura en el año 2011 con 222,11 Toneladas.

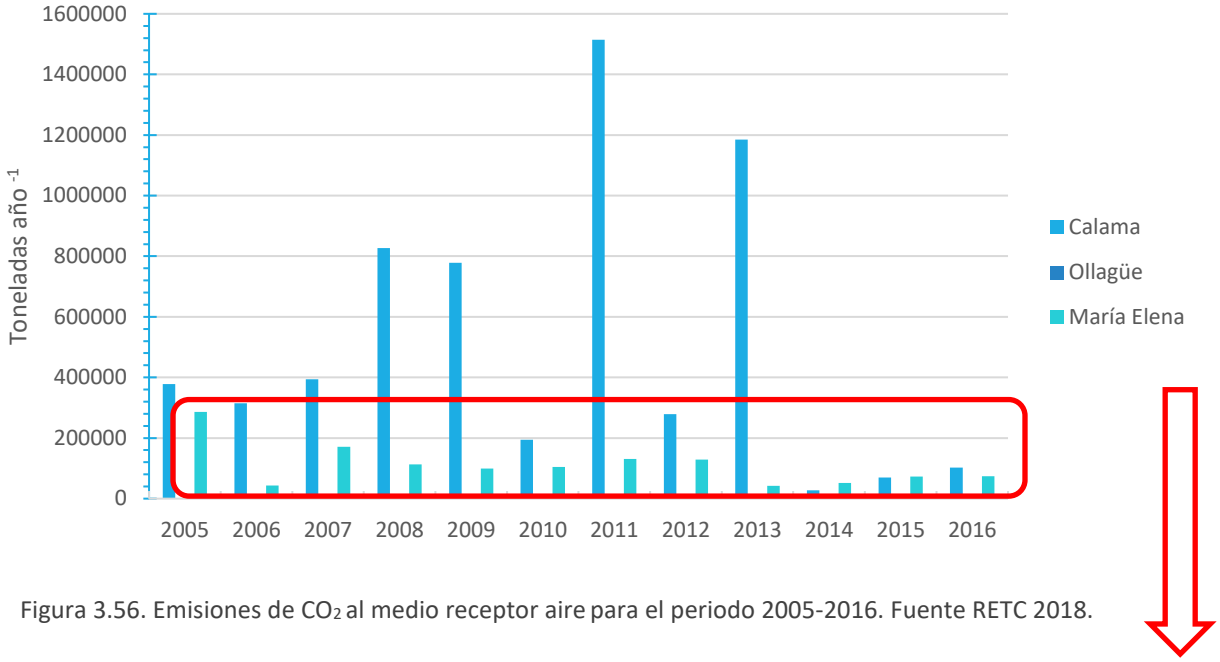


Figura 3.56. Emisiones de CO_2 al medio receptor aire para el periodo 2005-2016. Fuente RETC 2018.

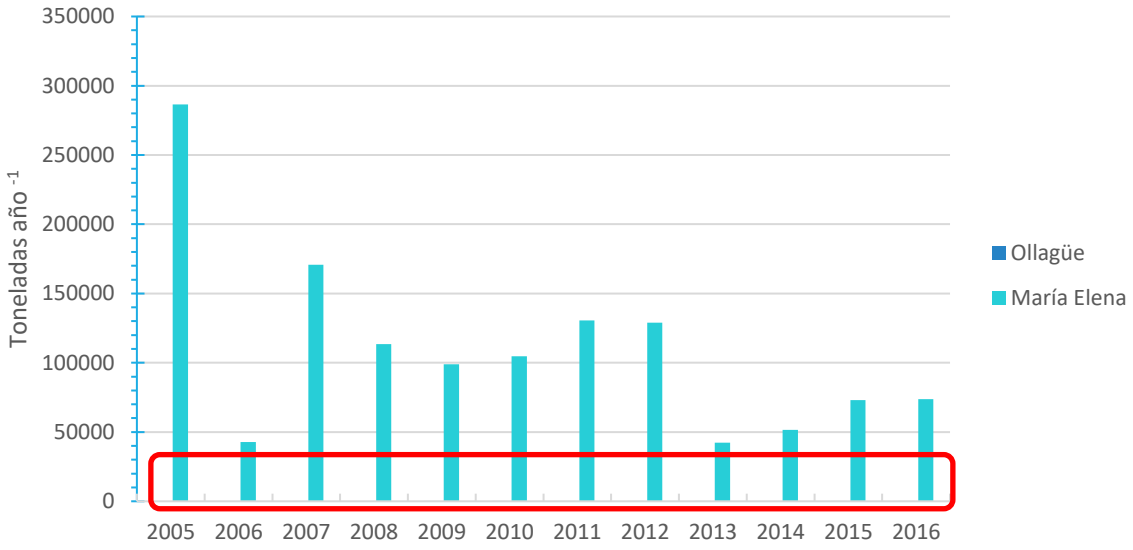


Figura 3.57. Emisiones de CO_2 al medio receptor aire para el periodo 2005-2016. Fuente RETC 2018.

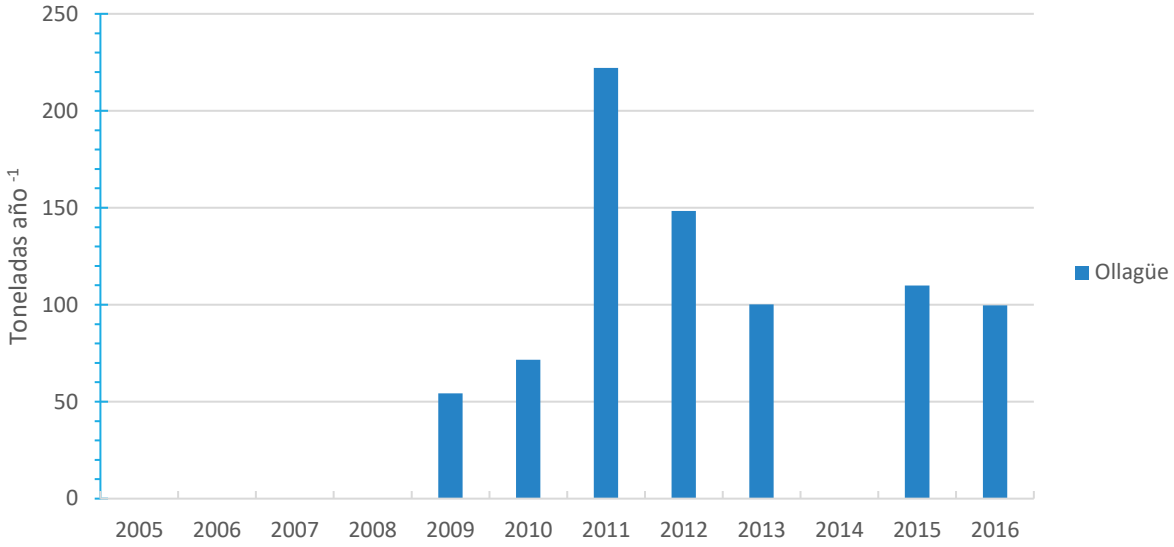


Figura 3.58. Emisiones de CO_2 al medio receptor aire para el periodo 2005-2016. Fuente RETC 2018.

3.1.10.1.4 CO

Al igual que los componentes anteriores, la comuna que más emisiones de monóxido de carbono es Calama cuyo valor más alto registrado corresponde a 520 toneladas durante el año 2011. De la misma forma que en todas las emisiones descritas, las comunas de María Elena y Ollagüe están afectadas en menor grado, alcanzando en el primer caso el mayor registro para el año 2005 con 108 toneladas, mientras que en el segundo caso los registros son considerablemente menores, alcanzando el registro máximo de 1,25 toneladas en 2011.

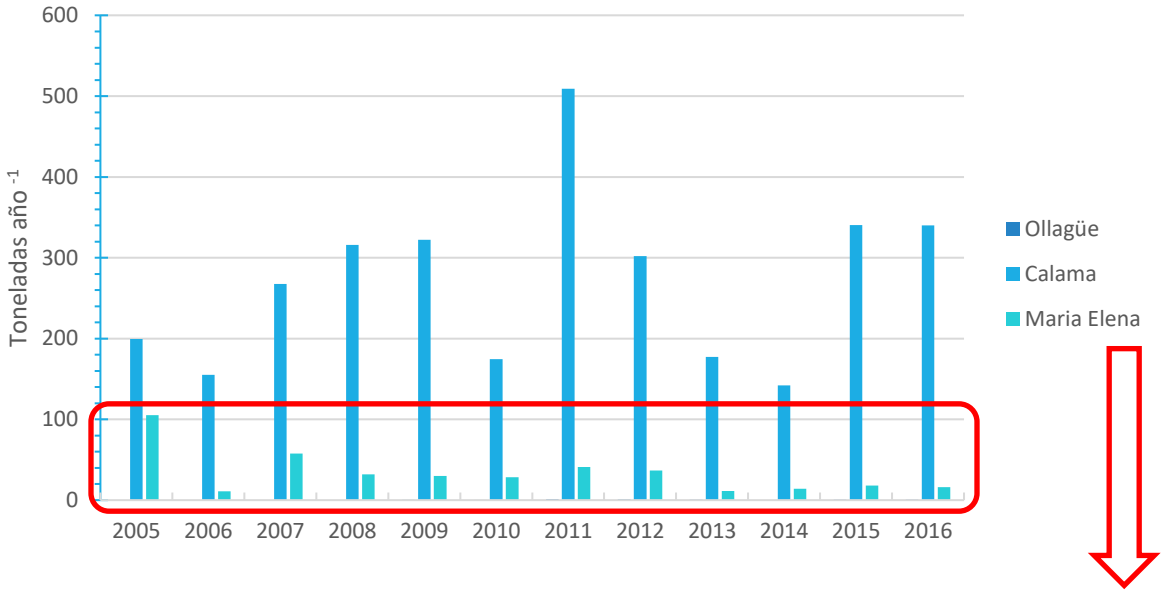


Figura 3.59. Emisiones de CO al medio receptor aire para el periodo 2005-2016. Fuente RETC 2018.

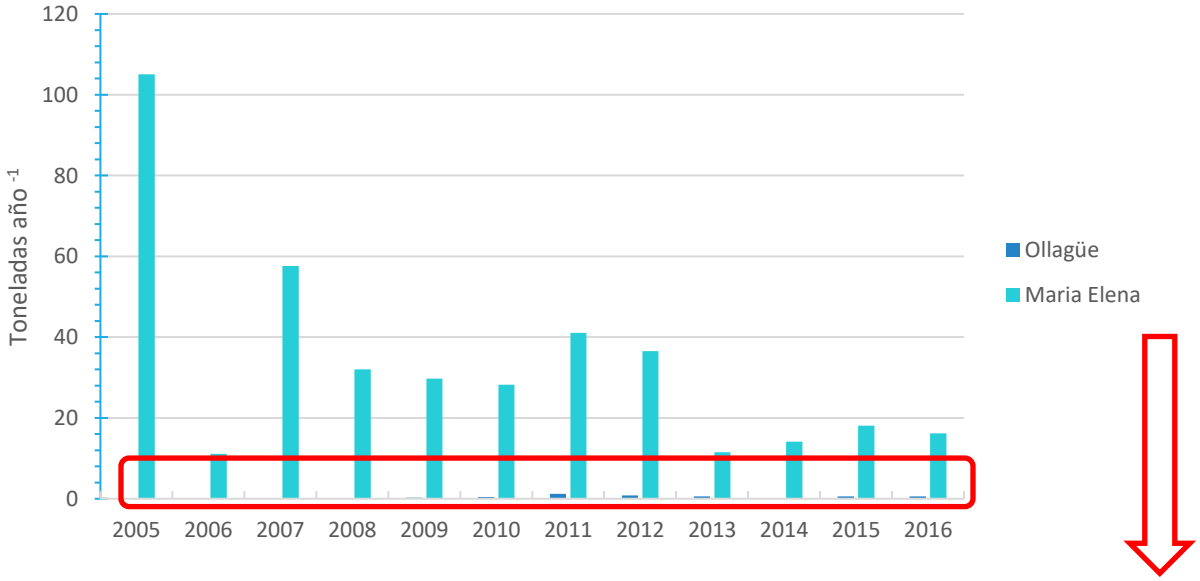


Figura 3.60. Emisiones de CO al medio receptor aire para el periodo 2005-2016. Fuente RETC 2018.

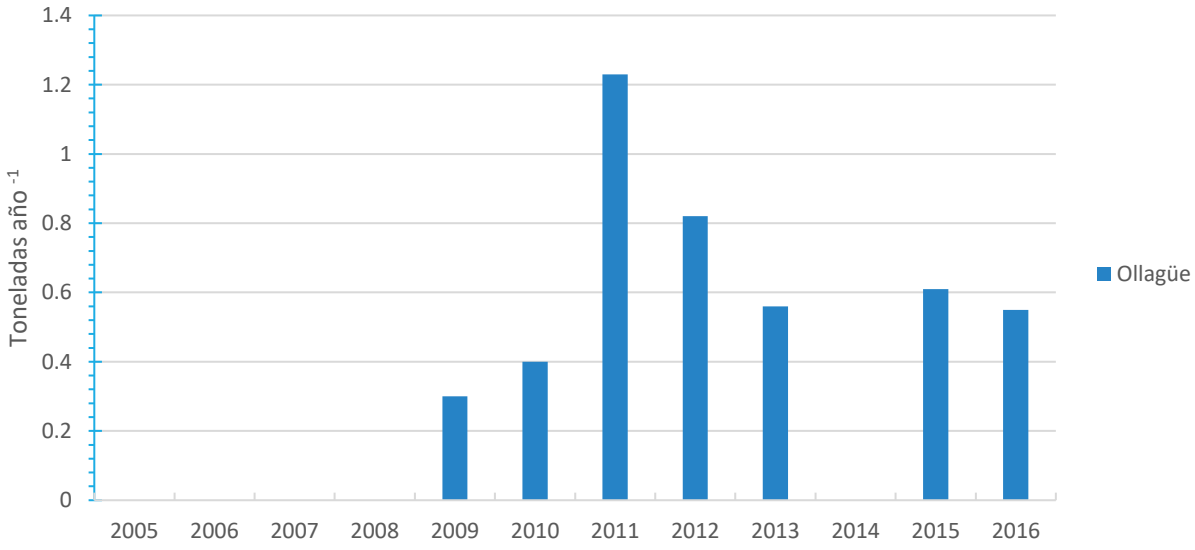


Figura 3.61. Emisiones de CO al medio receptor aire para el periodo 2005-2016. Fuente RETC 2018.

3.1.10.1.5 MP 10

Para las emisiones de MP10 la comuna que presenta el registro más alto es Calama con un valor cercano a las 34.000 toneladas para el año 2016. Para el mismo año Tocopilla presenta valores cercanos a las 16.000 toneladas, emisiones relacionadas principalmente a la producción primaria del cobre. El valor más alto para la comuna de María Elena tiene lugar en el periodo 2012 con 50 toneladas, mientras que en la comuna de Ollagüe se presentaron 0,2 toneladas durante el año 2011.

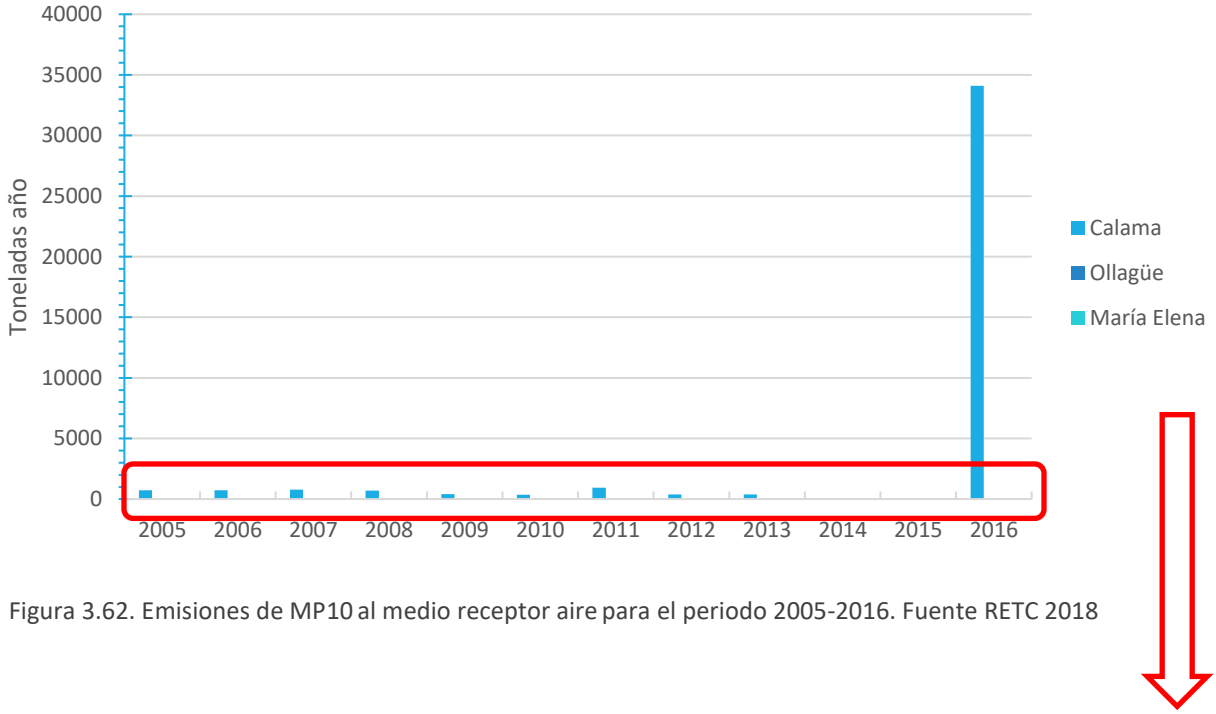


Figura 3.62. Emisiones de MP10 al medio receptor aire para el periodo 2005-2016. Fuente RETC 2018

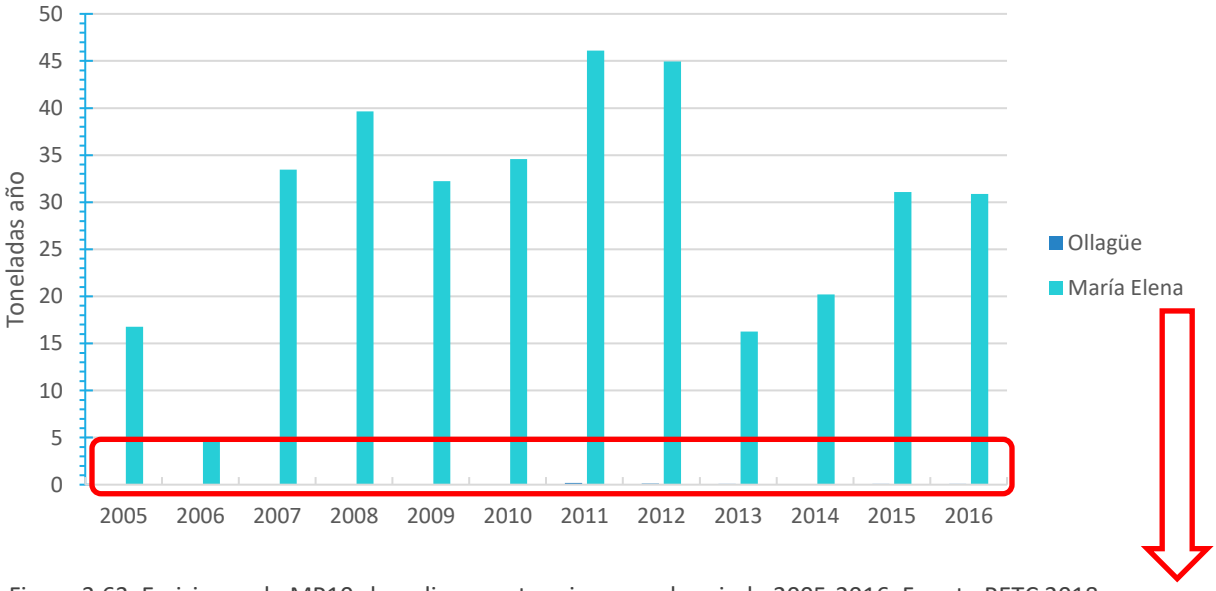


Figura 3.63. Emisiones de MP10 al medio receptor aire para el periodo 2005-2016. Fuente RETC 2018

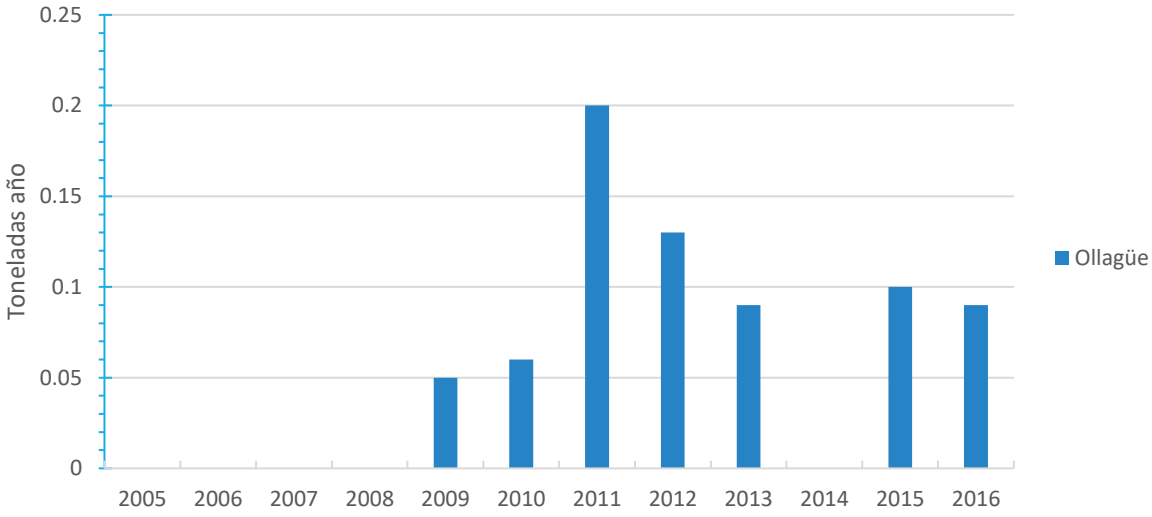


Figura 3.64. Emisiones de MP10 al medio receptor aire para el periodo 2005-2016. Fuente RETC 2018

3.1.10.2 Medio receptor agua

Para el medio receptor agua, se hizo el mismo ejercicio en el acápite anterior, integrando las emisiones de los sectores, agropecuarios, mineras, sanitarias y energético.

3.1.10.2.1 Sulfatos

Las emisiones registradas en el RETC para el parámetro sulfato solo presenta datos para la comuna de Calama. Los valores más altos del registro corresponden a 576,36 y 379,98 toneladas, correspondiente a los años 2011 y 2009 respectivamente.

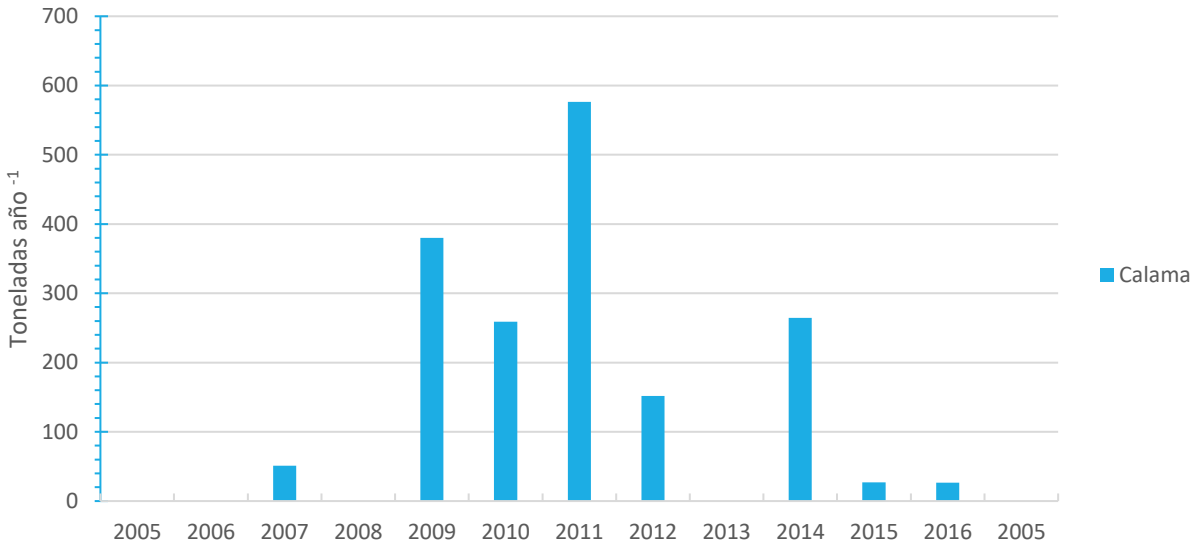


Figura 3.65 Emisiones de sulfatos al medio receptor agua. Fuente RETC 2018.

3.1.10.2.2 Boro

Para el caso del Boro, los valores mayores se presentan en los años 2012 y 2011 con 12,79 y 10,49 toneladas anuales respectivamente.

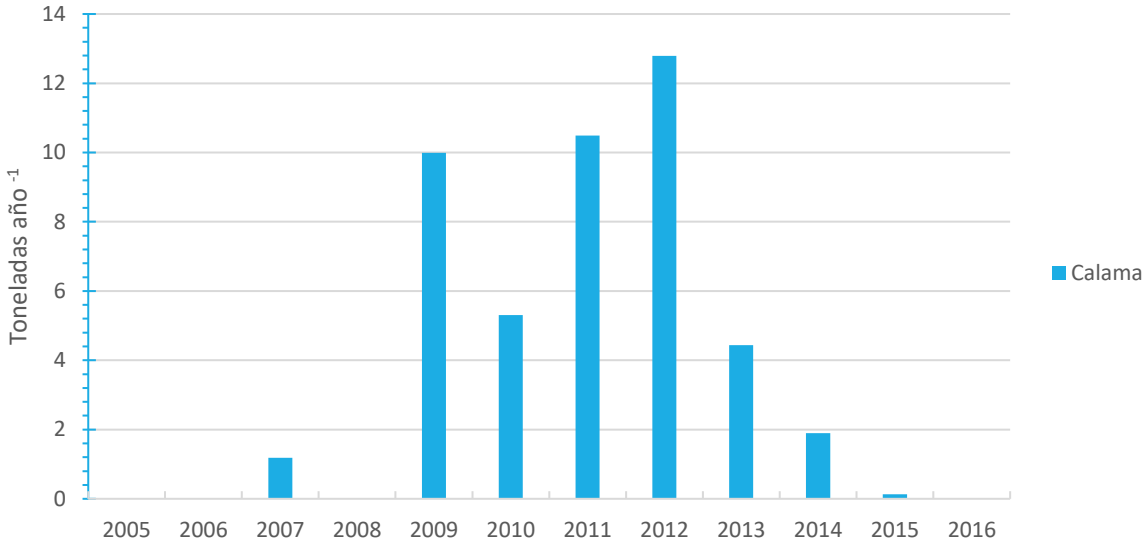


Figura 3.66. Emisiones de Boro al medio receptor agua. Fuente RETC 2018

3.1.10.2.3 Zinc

En el caso de las emisiones de Zinc para la comuna de Calama, los valores más altos se presentaron en los años 2011 y 2014 con valores del orden de 446,65 kilogramos y 279,84 kilogramos respectivamente, mientras que los registros que presentaron un menor valor se sucedieron en los años 2013 y 2015 con 0,88 y 8,33 kilogramos de emisiones de zinc respectivamente.

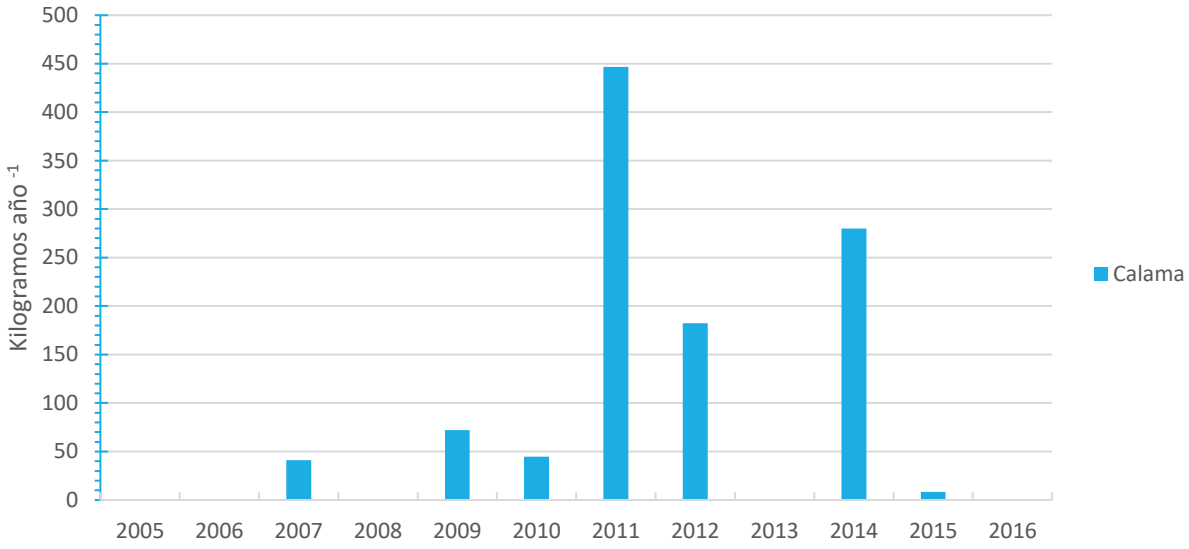


Figura 3.67. Emisiones de Zinc a medio receptor agua, Calama. Fuente RETC 2018

3.1.10.2.4 Cadmio

Para el caso de las emisiones de cadmio al medio receptor agua, la plataforma del RETC, sólo presenta registros para los periodos 2009-2012 y 2014-2015. El registro más alto se presenta en 2011 con 2,96 kilogramos, y el registro más bajo se presenta en 2014 con 0,07 kilogramos.

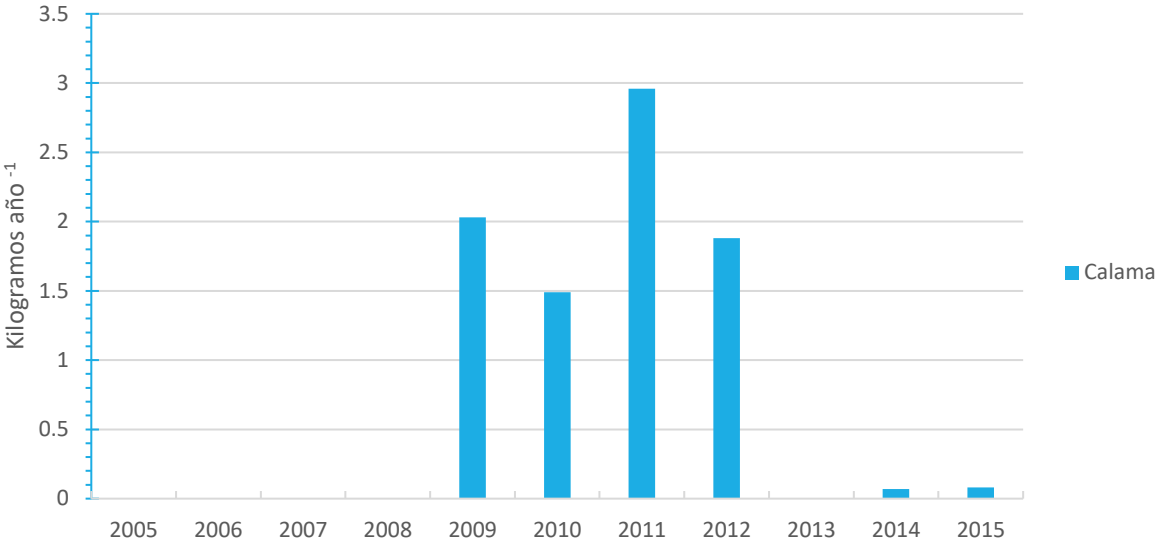


Figura 3.68. Emisiones de Cadmio a medio receptor agua, Calama. Fuente RETC 2018

3.1.10.2.5 Cloruro

Para este parámetro se registran emisiones en 2007 y el periodo 2009-2015, en el cual todos los registros superan las 2000 toneladas por año, presentando los mayores registros en 2012 y 2014 con 3304 y 3268 toneladas emitidas respectivamente. En 2007 el valor es significativamente menor a los registros de los años sucesivos, alcanzando solo 104,17 toneladas en su registro.

Figura 3.69. Emisiones de ión Cloruro a medio receptor agua. Fuente RETC 2018.

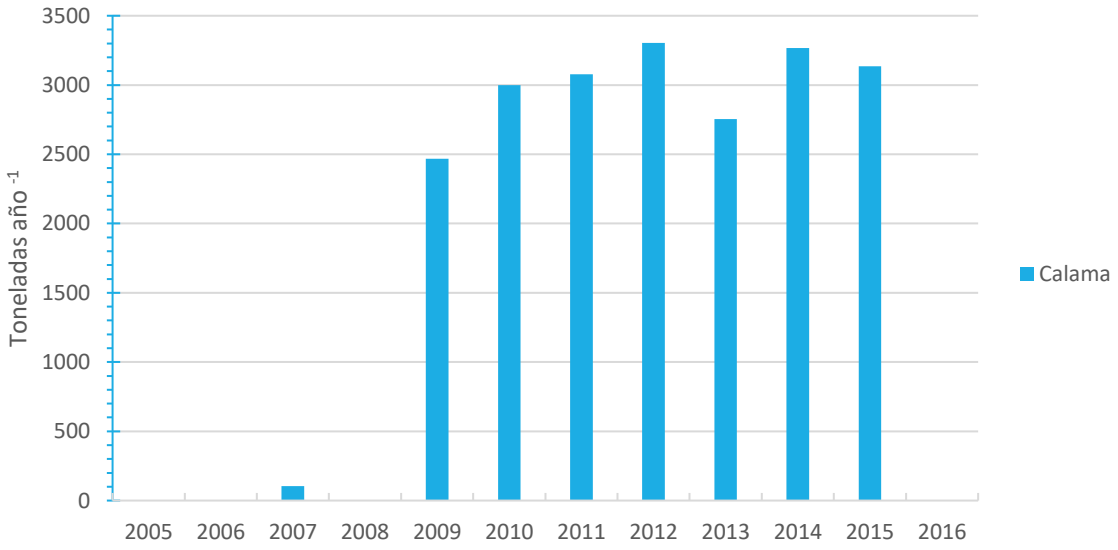


Figura 3.70. Emisiones de ión Cloruro a medio receptor agua. Fuente RETC 2018.

3.1.10.2.6 Cobre

Para el caso de las emisiones de cobre, ningún registro supera los 100 kilogramos por año, siendo el mayor valor registrado en 2011 con 96,55 kilogramos, mientras que el valor mínimo se presentó en 2014 con 4,72 kilogramos.

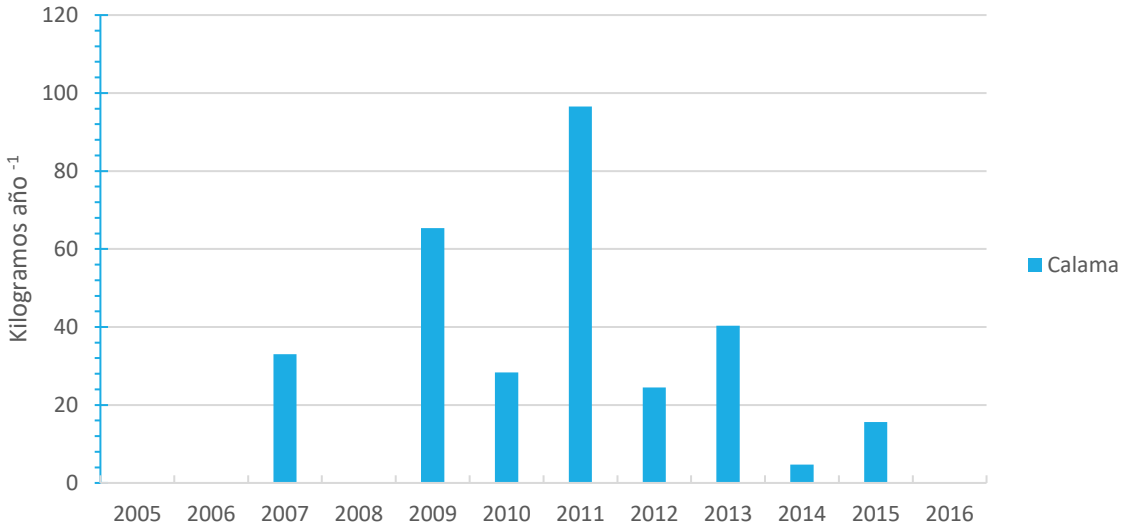


Figura 3.71. Emisiones de ion Cobre a medio receptor agua. Fuente RETC 2018.

3.1.10.2.7 Cromo hexavalente

Para el caso del cromo hexavalente los valores son sustancialmente menores al resto de los parámetros registrados en las emisiones a cuerpo receptor agua, sin embargo solo figuran dos valores en los registros del RETC, 2014 y 2015 con 0,7 kilogramos y 0,3 kilogramos respectivamente.

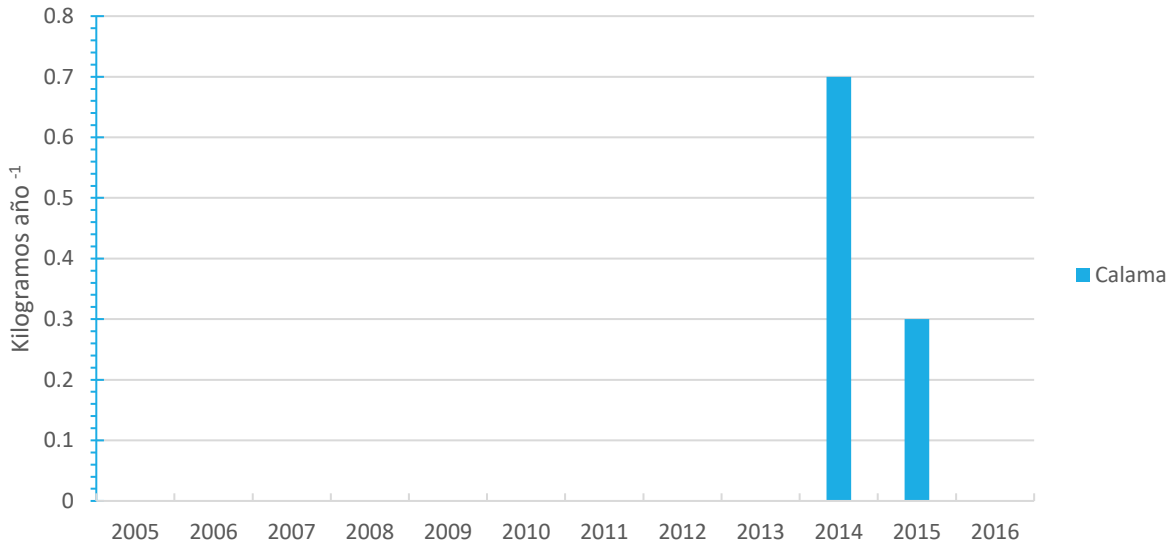


Figura 3.72 Emisiones de Cromo hexavalente a medio receptor agua. Fuente RETC 2018.

3.1.10.2.8 Cromo total

De las emisiones de cromo total registradas en la plataforma fue posible rescatar datos para el año 2008 el cual presentó el mayor valor correspondiendo a 16,01 toneladas y el periodo 2013 – 2016, en el cual no se superaron las 13 toneladas por año.

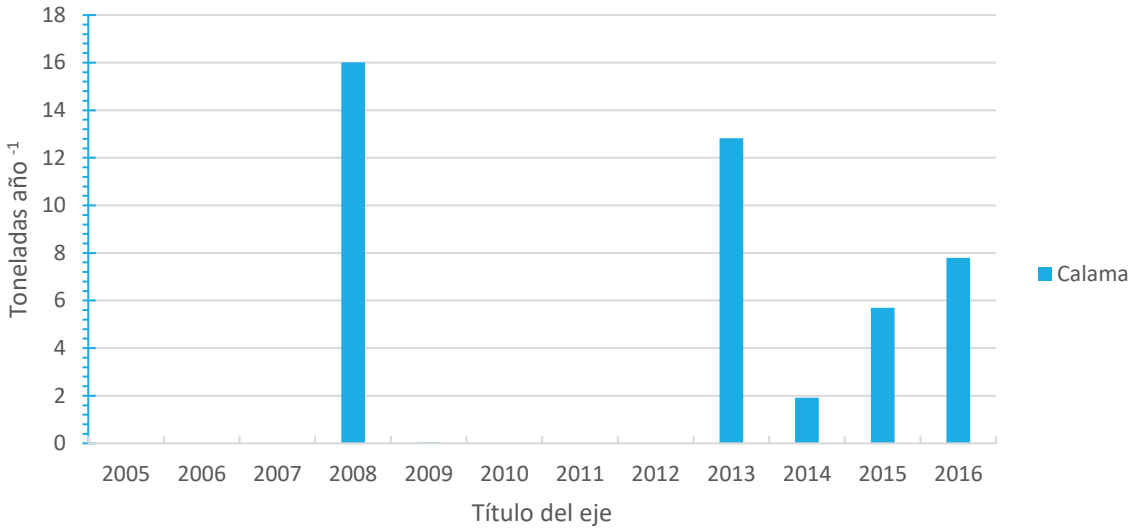


Figura 3.73. Emisiones de Cromo total a cuerpo receptor agua. Fuente RETC 2018

3.1.10.2.9 Arsénico

En la comuna de Calama el máximo aporte de arsénico se produjo el año 2005 con cerca de 92 kilogramos y el mínimo registro figura en el año 2013 16,29 kilogramos. En la comuna de María Elena los valores registrados son significativamente menores a los que se presentan en Calama, presentando las mayores emisiones al igual que en el caso anterior, en 2005 con 26,1 kilogramos y el menor registro corresponde al año 2013 con 2 toneladas.

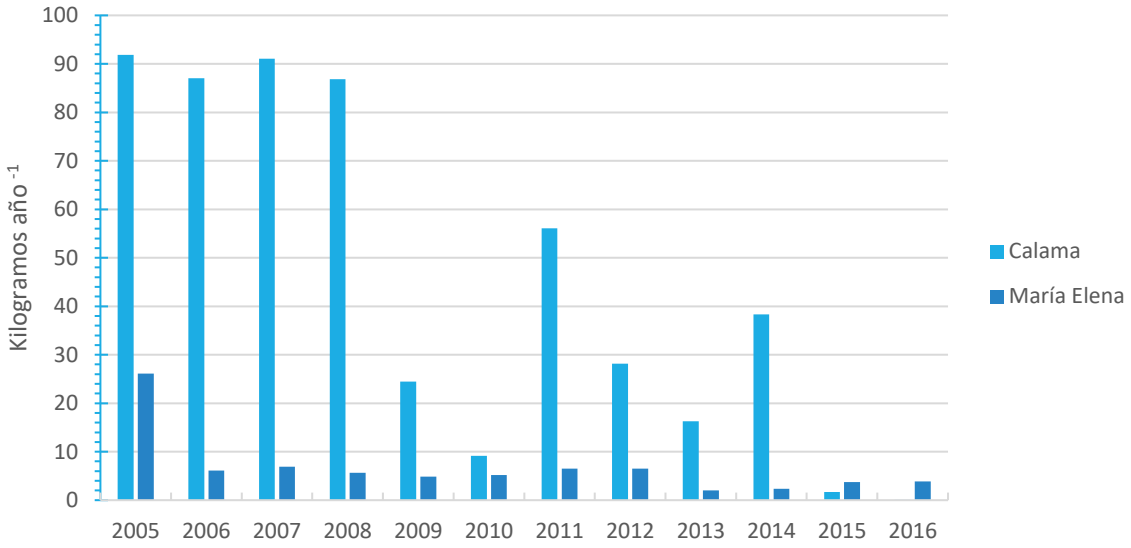


Figura 3.74. Emisiones de Arsénico a cuerpo receptor agua. Fuente RETC 2018.

3.1.10.2.10 Níquel

Para el caso de este elemento, en la plataforma digital del RETC se presentan registros en el año 2007 y en el periodo 2009 - 2015. El mayor registro se presenta en 2011 con 19,25 kilogramos, y el menor se presenta en 2015 con 0,5 kilogramos.

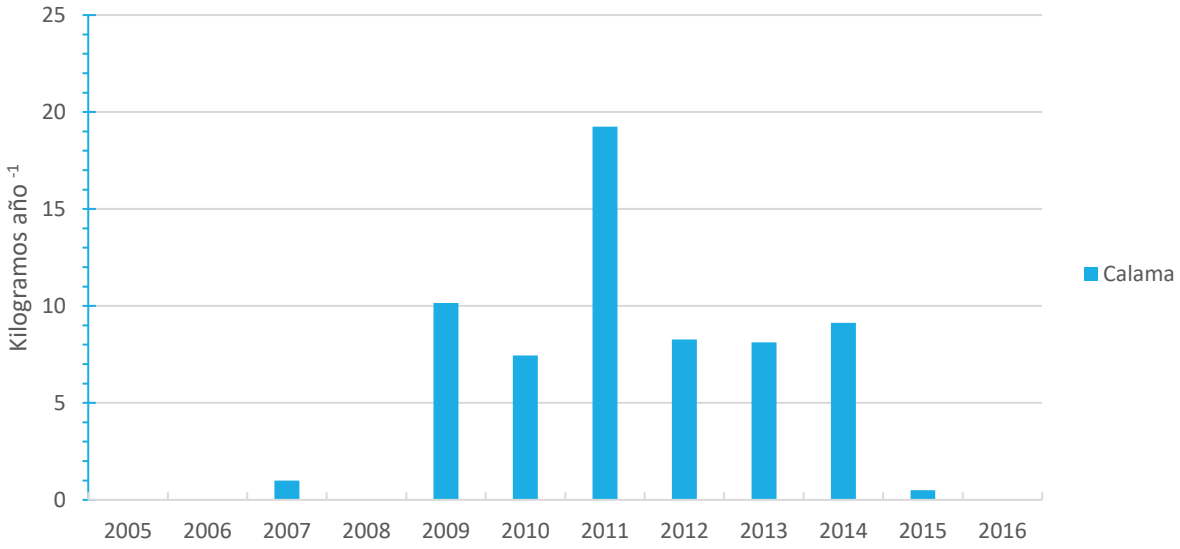


Figura 3.75 Emisiones de Níquel a cuerpo receptor agua. Fuente RETC 2018.

3.1.10.2.11 Nitritos y nitratos

Para el caso de nitritos y nitratos en la comuna de Calama según los registros del RETC el mayor valor registrado corresponde a 19,25 kilogramos para el año 2011.

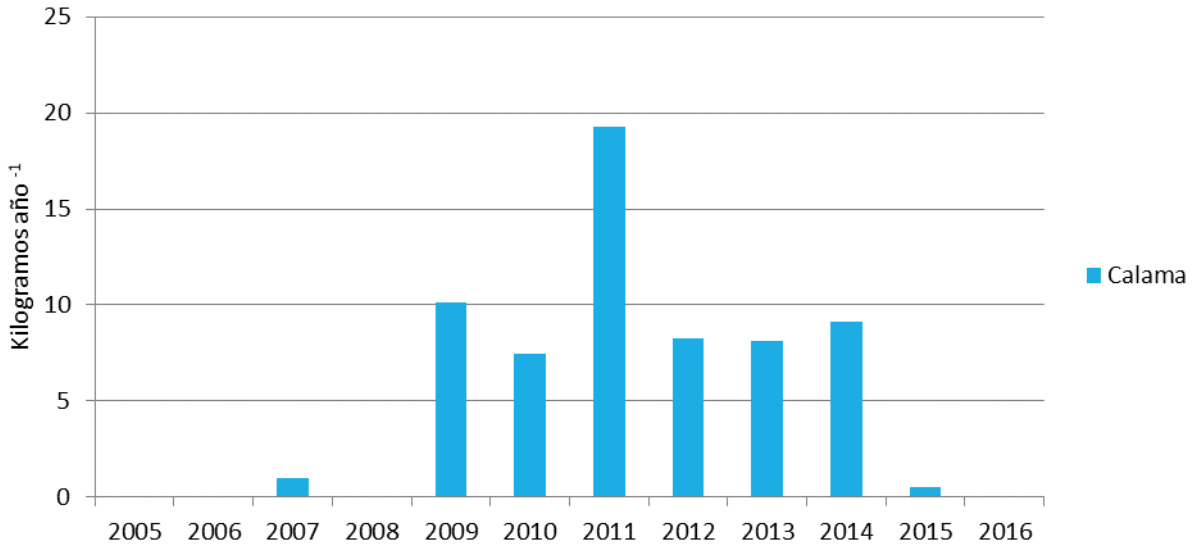


Figura 3.76. Emisiones de Nitritos y nitratos a cuerpo receptor agua. Fuente RETC 2018

3.1.10.2.12 Nitrógeno amoniacal (NH_3)

En relación a este componente la comuna de Calama presenta valores significativamente superiores a las comunas de María Elena y Ollagüe. El mayor valor corresponde al año 2011 en el caso de Calama con 197,7 kilogramos de nitrógeno amoniacal, en la comuna de María Elena el más alto registro se presenta en el año 2007 con 7,82 kilogramos y en 2011 con 9,97 kilogramos se presenta el mayor registro para la comuna de Ollagüe.

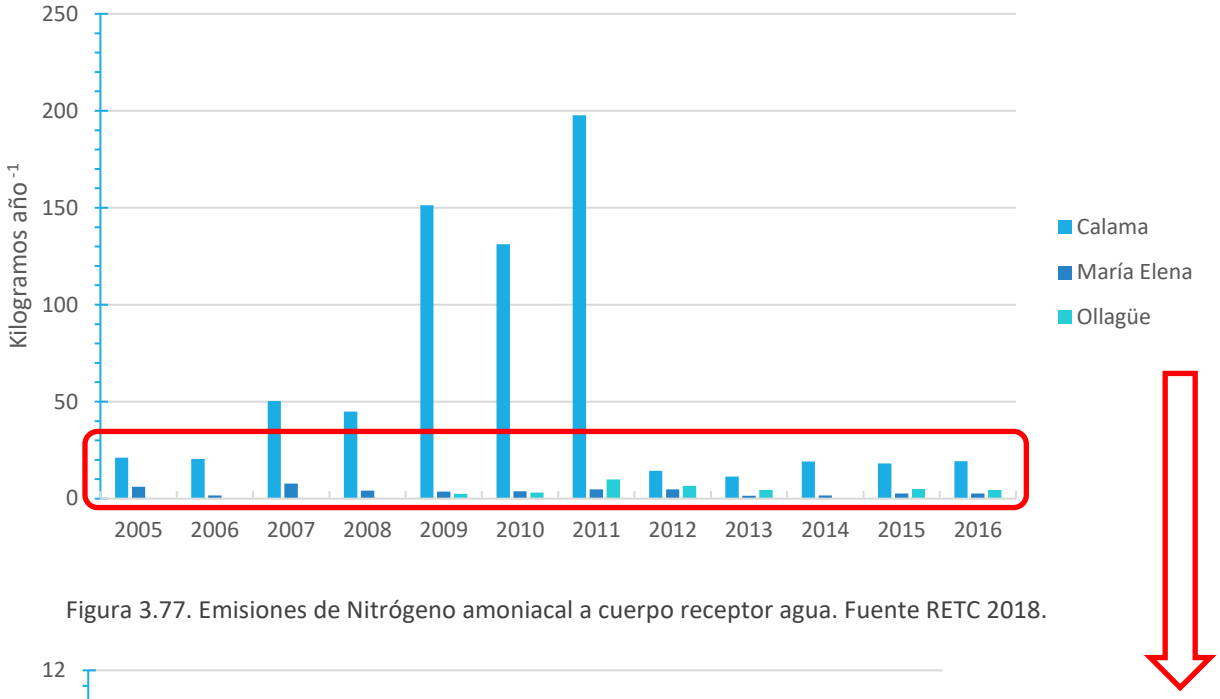


Figura 3.77. Emisiones de Nitrógeno amoniacal a cuerpo receptor agua. Fuente RETC 2018.

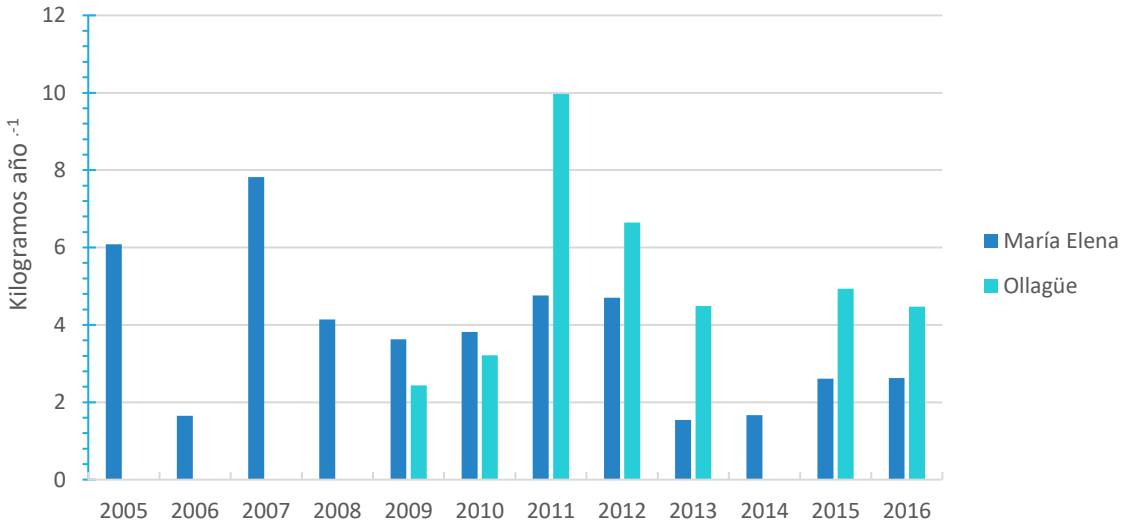


Figura 3.78. Emisiones de Nitrógeno amoniacal a cuerpo receptor agua. Fuente RETC 2018.

3.1.10.2.13 Nitrógeno total kjeldahl

Para este componente la plataforma digital presenta registro tanto para la comuna de Calama como la comuna de María Elena, siendo en la primera donde se regitraron los mayores valores, mientras que en el segundo caso los registros son sustancialmente menores. Durante el año 2005 ocurrieron las mayores emisiones de este elemento alcanzando 425,74 toneladas en Calama, mientras que el año con la mayor cantidad de emisiones en Maria Elena fue el 2007 con 7,82 kilogramos.

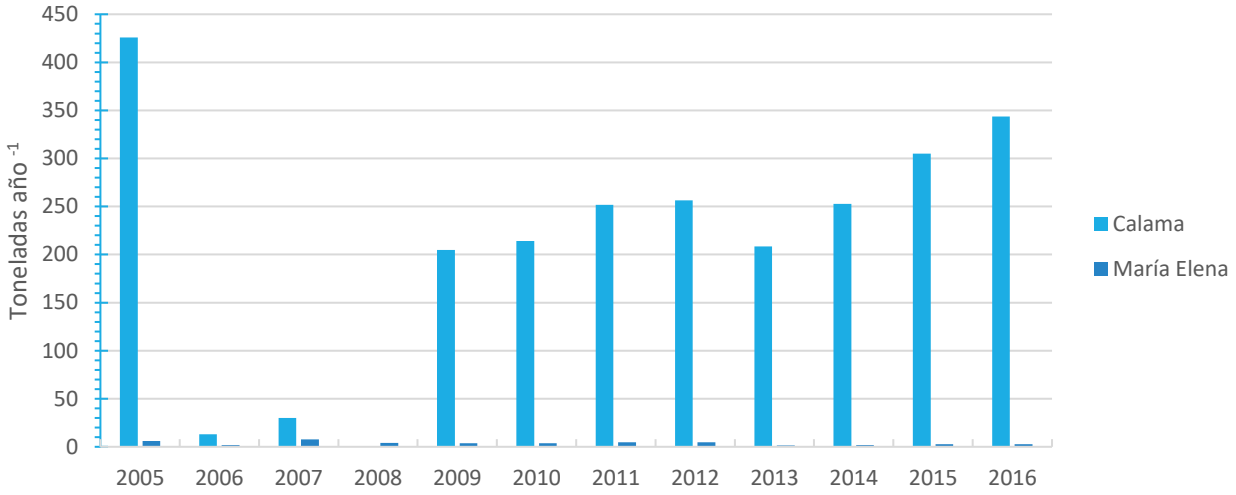


Figura 3.79. Emisiones de Nitrógeno total a medio receptor agua

3.1.10.2.14 Plomo

Para el caso del plomo al igual que en varios de los componentes ante mencionados, la comuna de Calama presenta valores significativamente superiores a los que se presentan en la comuna de María Elena durante todo el periodo de registro. Calama presenta las mayores emisiones de este componente en 2011 con cerca de 60 kilogramos ese año, mientras que en Maria Elena el mayor valor registrado corresponde al año 2007 con cerca de 800 gramos.

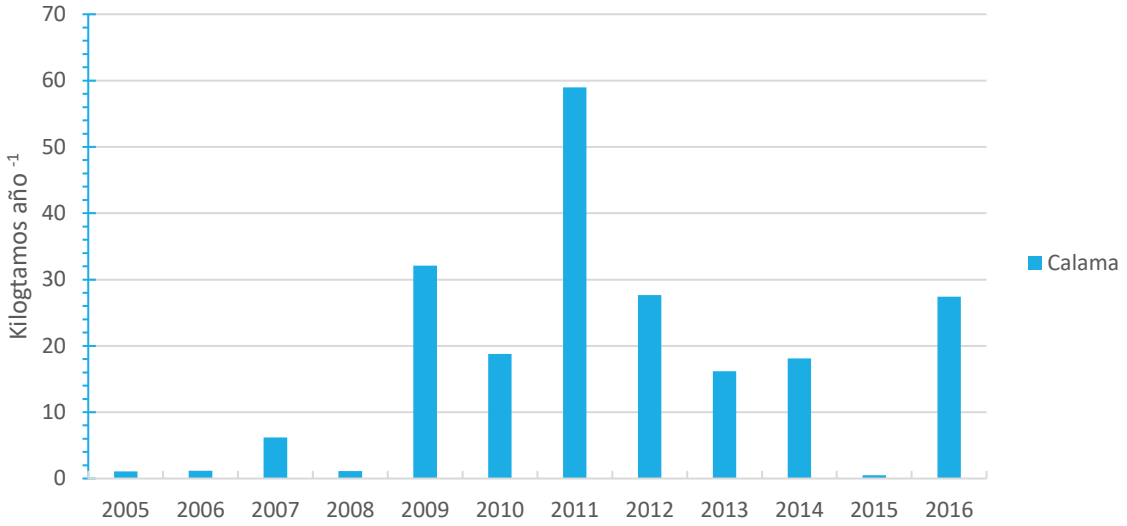


Figura 3.80. Emisiones de Plomo (kg/año) en medio receptor agua. Fuente RETC 2018.

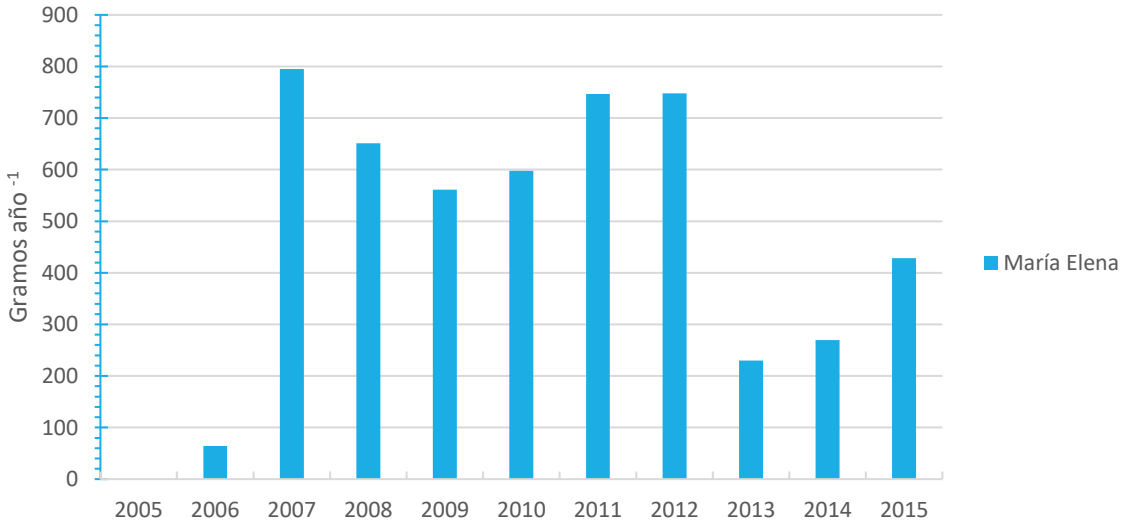


Figura 3.81. Emisiones de Plomo en medio receptor agua, María Elena. Fuente RETC 2018.

3.1.10.3 Suelo y transferencias

3.1.10.3.1 Cadmio, compuestos de cadmio

En el caso de este componente sólo un registro para la comuna de Calama supera las 1000 toneladas, particularmente el año 2008 donde el valor de las emisiones alcanza las 1126,96 toneladas, posterioremente durante el periodo 2011-2015 los valores se mantienten entre las 600 y 800 toneladas.

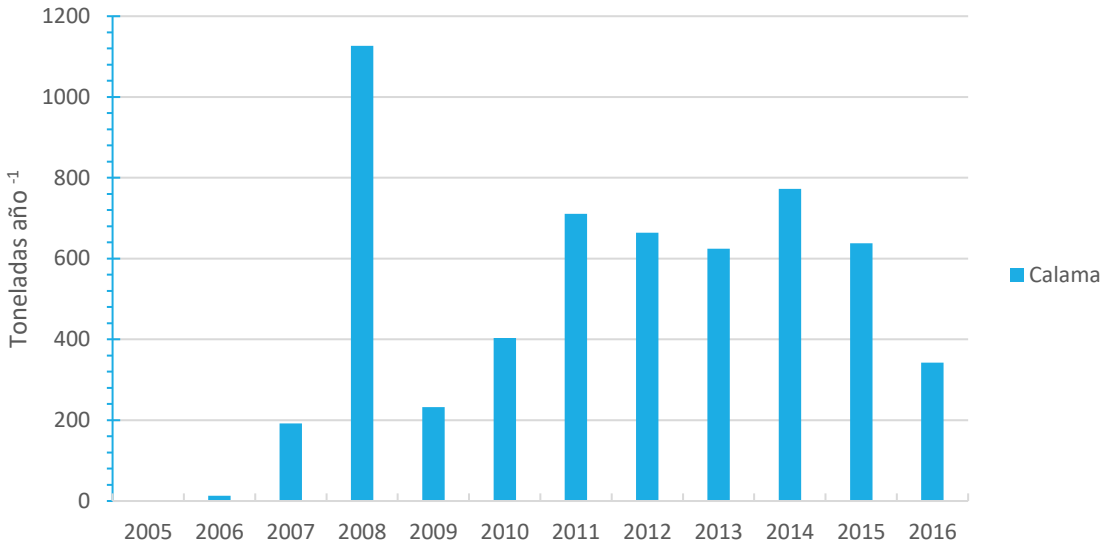


Figura 3.82. Emisiones de compuestos de cadmio medio receptor suelo. Fuente RETC 2018.

3.1.10.3.2 Cobre, compuestos de cobre

Para el caso de las emisiones de cobre a medio receptor suelo, se observan registros desde 2012 a 2016 para la comuna de Calama, por otra parte la comuna de María Elena solo presenta un registro en el año 2009, 0,15 toneladas. Los mayores valores se presentaron en Calama los años 2015 y 2016, 124,42 y 144,45 toneladas respectivamente.

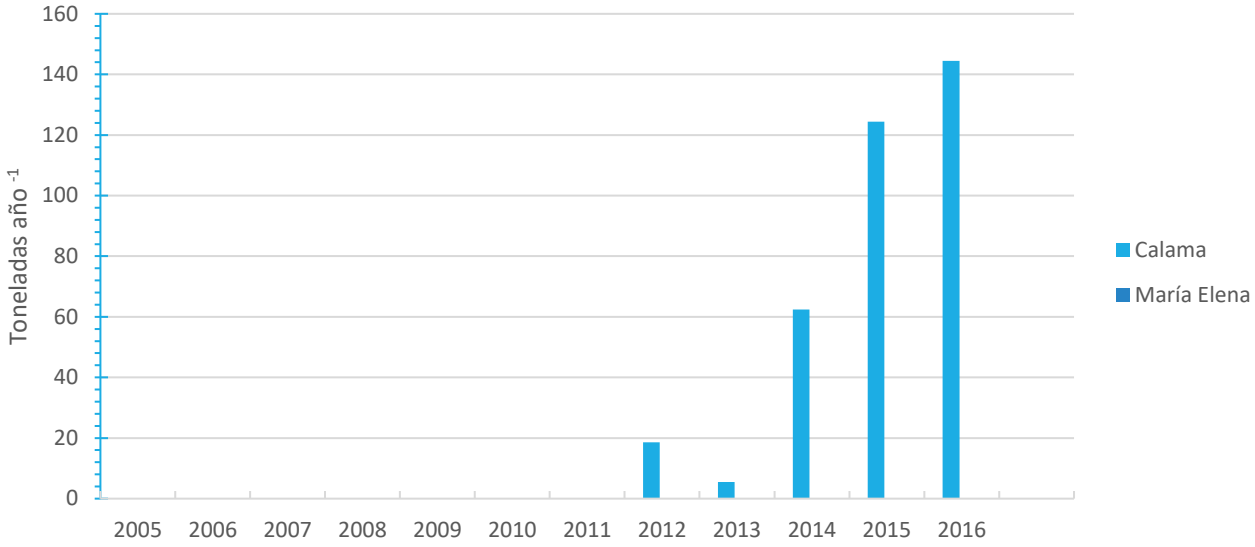


Figura 3.83. Emisiones de Cobre a medio receptor suelo. Fuente RETC 2018.

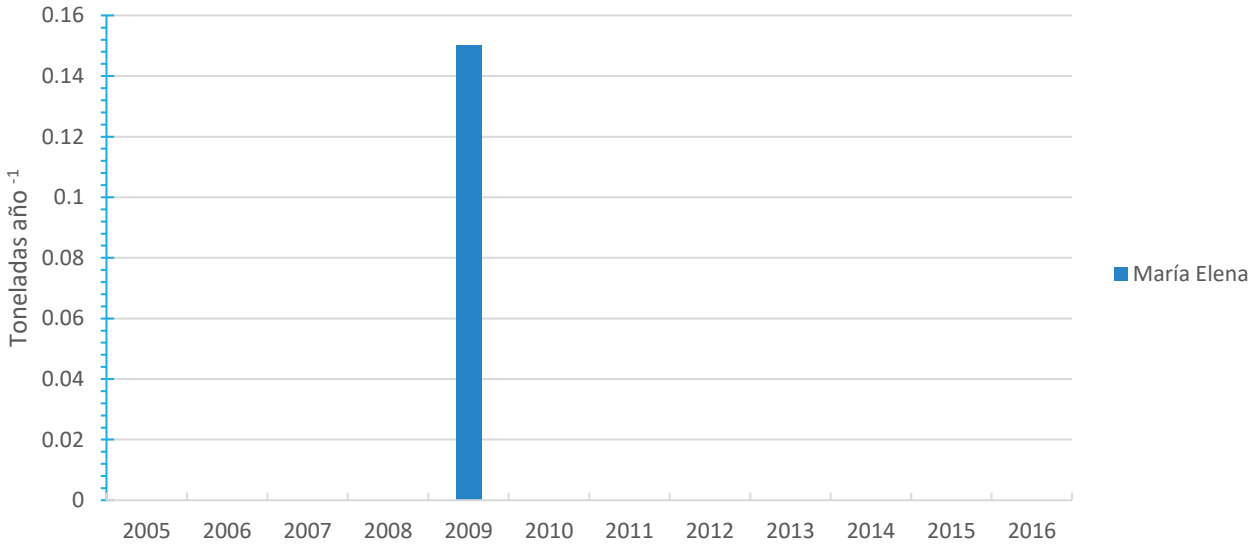


Figura 3.84. Emisiones de Cobre a medio receptor suelo. Fuente RETC 2018.

3.1.10.3.3 Cromo hexavalente, compuestos cromo hexavalente

Para el caso de Cromo hexavalente y compuestos derivados de este, se observa el mayor registro de emisiones para el año 2014, alcanzando más de 2.800 toneladas en la comuna de Calma. Mientras que la segunda comuna que presenta registros de este componente

en María Elena, pero con un aporte significativamente menor, alcanzando el registro máximo durante el año 2016 con 6,45 toneladas.

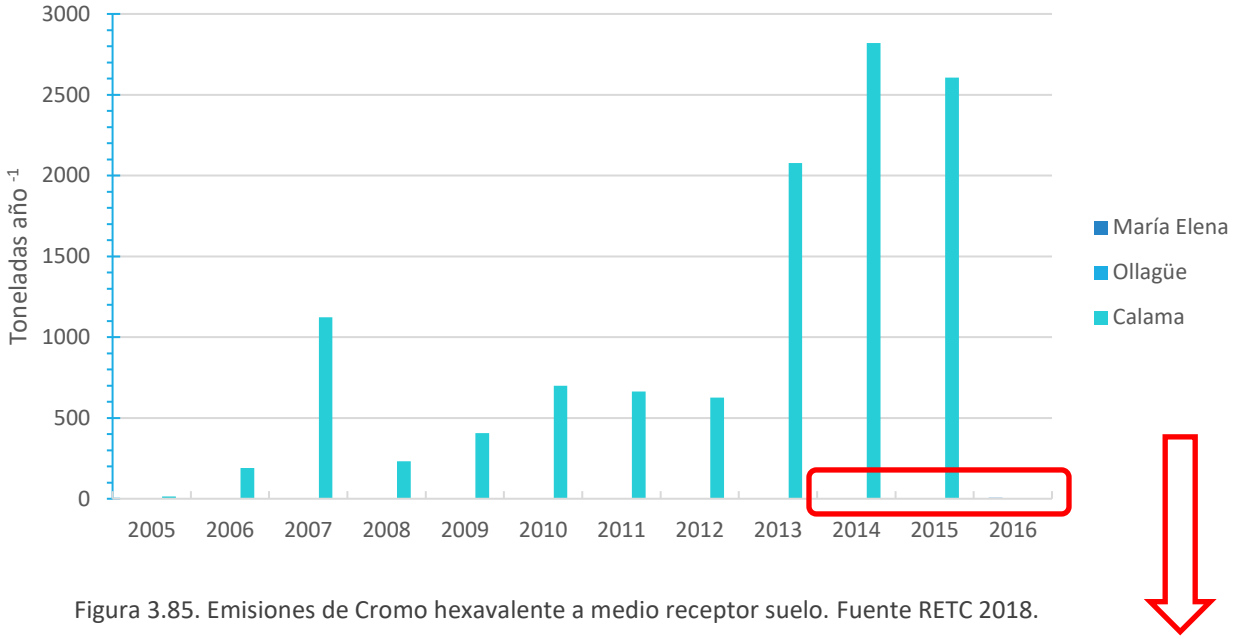


Figura 3.85. Emisiones de Cromo hexavalente a medio receptor suelo. Fuente RETC 2018.

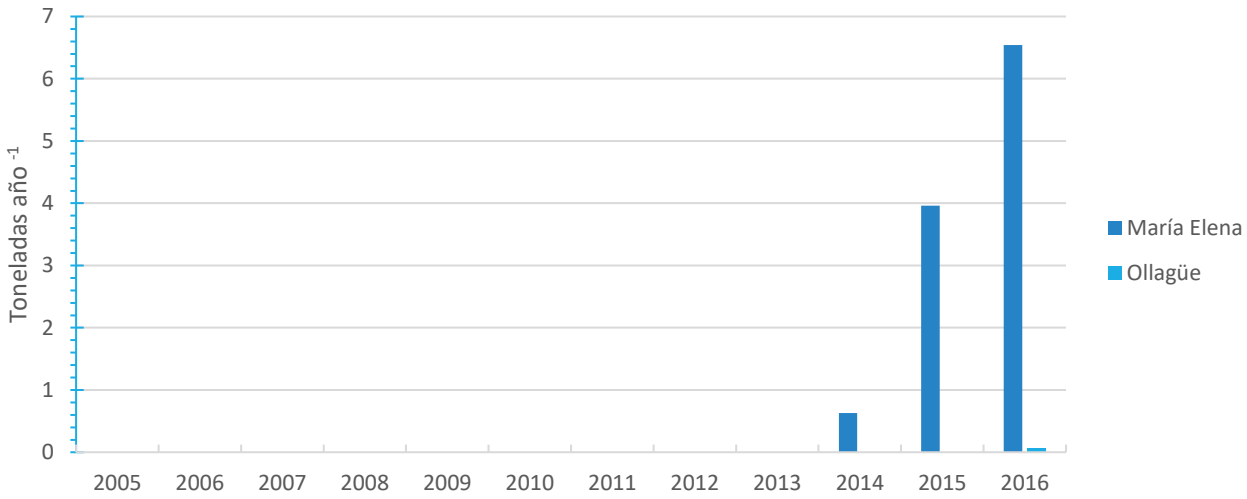


Figura 3.86. Emisiones de Cromo hexavalente a medio receptor suelo. Fuente RETC 2018.

3.1.10.3.4 Compuestos de Plomo

De las emisiones de compuestos de plomo a medio receptor suelo al igual que todos los otros componentes descritos, las mayores emisiones se registran en Calama, todas superando las 1500 toneladas por año, y cuyo mayor registro supera las 4500 toneladas

justamente en el año 2008. María Elena presenta su mayor registro en el año 2012 con 22,89 toneladas, mientra que el resto de los registros en esta comuna, no superan las 10 toneladas. Finalmente la comuna de Ollagüe solo presenta un registro correspondiente al año 2013 cuyo valor es 0,3 toneladas.

Figura 3.87. Emisiones de Plomo a medio receptor suelo. Fuente RETC 2018.

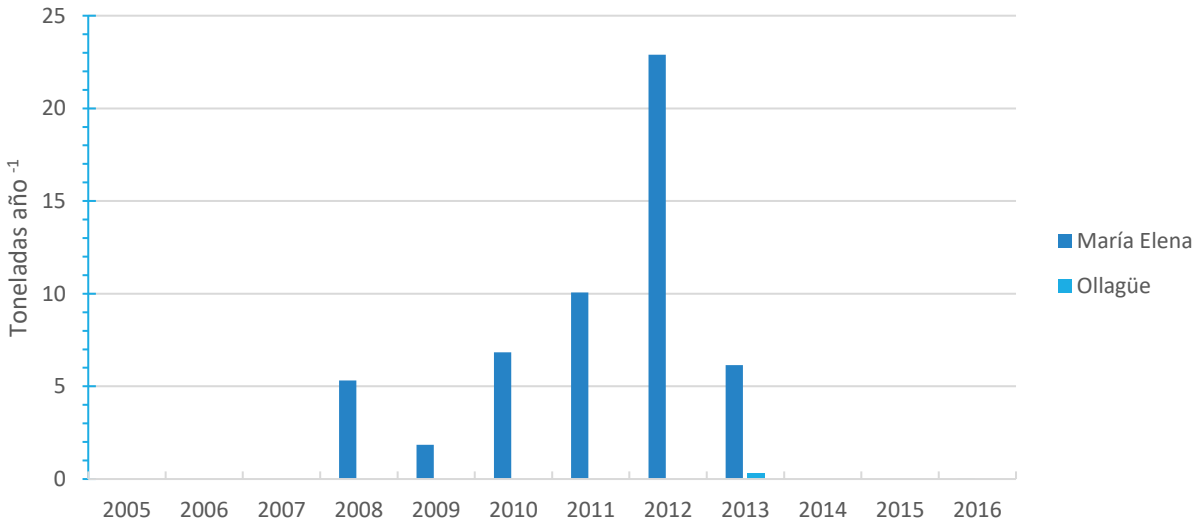


Figura 3.88. Emisiones de Plomo a medio receptor suelo. Fuente RETC 2018.

3.1.10.3.5 Compuestos de Zinc

Según los registros contenidos en la plataforma del RETC, para el caso de emisiones relacionadas con compuestos de Zinc, la comuna que presenta los valores más altos es María Elena, alcanzando 5 toneladas de este componente el año 2016, mientras que los registros de emisiones para la comuna de Ollagüe presentan el valor máximo en 2016 con 0,06 toneladas.

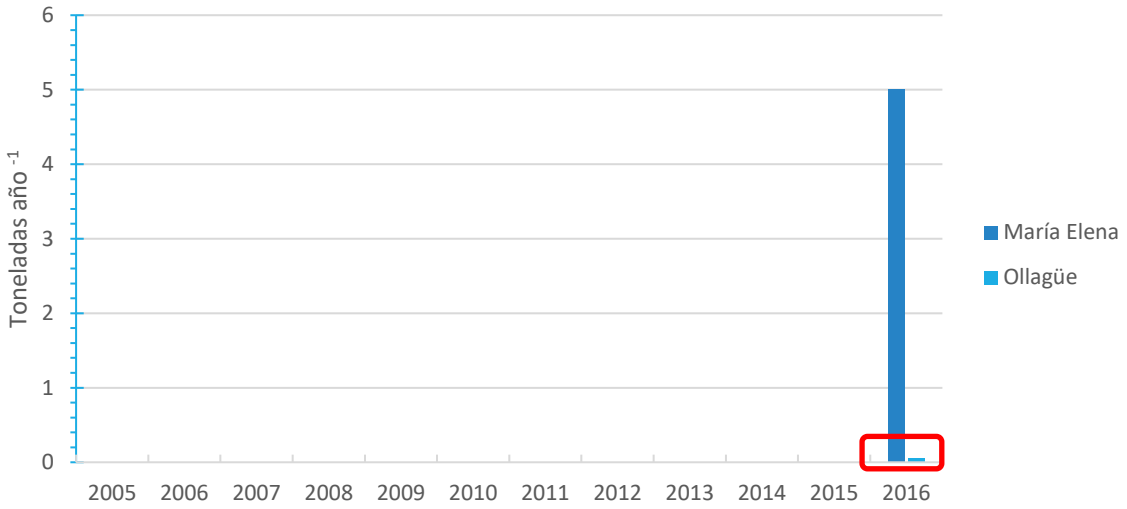


Figura 3.89 Emisiones de Plomo a medio receptor suelo. Fuente RETC 2018.

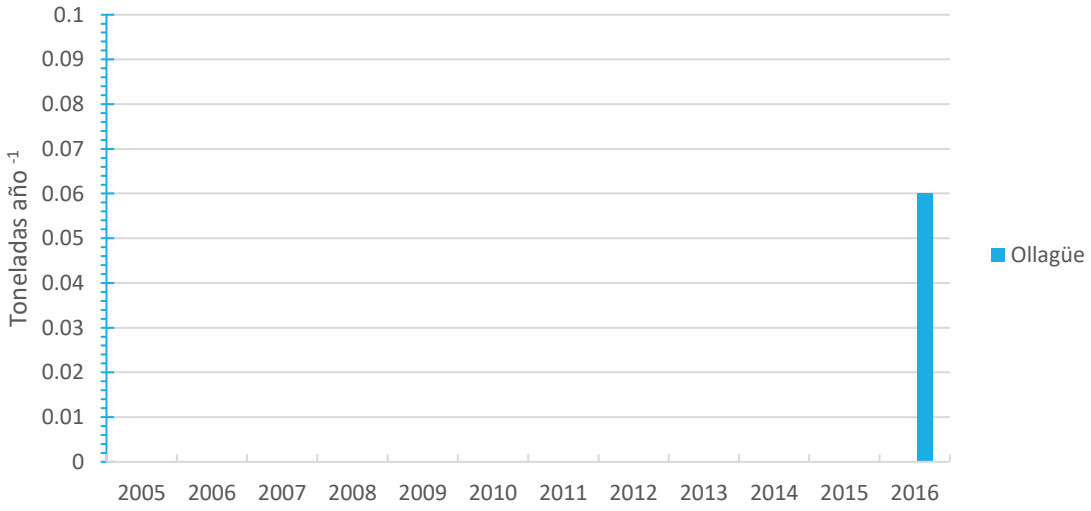


Figura 3.90. Emisiones de Plomo a medio receptor suelo. Fuente RETC 2018.

3.1.10.3.6 Compuestos de Arsénico

Para este componente solo se presentan registros en Calama a partir del 2009, cuyo menor valor se observa en el año 2014 con 9643,53 toneladas, mientras que el mayor valor registrado se presenta en 2016 con 95373,56 toneladas de arsénico emitido al medio receptor suelo.

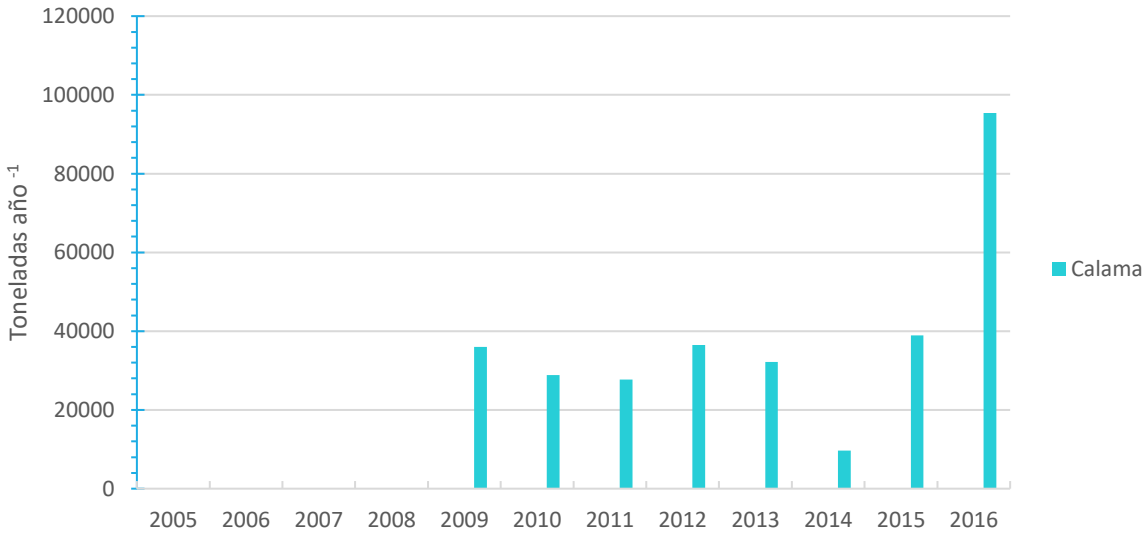


Figura 3.91. Emisiones de Arsénico a medio receptor suelo. Fuente RETC 2018.

3.1.11 Antecedentes topográficos

En el contexto del "Estudio de la inundación producida por caudales extremos vertidos desde el embalse Conchi, Región de Antofagasta", el Instituto Nacional de Hidráulica (INH), a solicitud de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) del Ministerio de Obras Públicas (MOP), realizó una campaña de terreno durante el mes de Marzo de 2015, en la cual se realizó un levantamiento topográfico, obteniéndose un perfil longitudinal y 24 perfiles transversales aguas abajo del embalse Conchi. La zona en la cual se desarrolló el levantamiento está comprendida entre el embalse Conchi, por el extremo aguas arriba, y en las cercanías de Chiu Chiu por el extremo aguas abajo. La ubicación de los perfiles transversales trazados se puede apreciar en la Figura 3.92.

Figura 3.92. Ubicación de perfiles transversales del levantamiento topográfico realizado por el INH-DOH. (Elaboración Propia a partir de datos INH-DOH)

3.2 Resultados de las campañas de muestreo

Como parte del diagnóstico ambiental de la cuenca del Río Loa, se consideró realizar un levantamiento de la información disponible, y a modo de complemento y validación, se realizaron, además de un levantamiento topobatimétrico, monitoreos físico, químico y biológico en todas las estaciones del año. El levantamiento topobatimétrico se realizó en 100 puntos abordando los distintos tramos y afluentes del río Loa, dando énfasis en los sectores con mayor potencial de ofrecer servicios ecosistémicos.

Tabla 3.39. Coordenadas de puntos de muestreo

Punto de monitoreo	Coordenadas UTM (WGS84 Huso 19)		Tipo de monitoreo
	Este	Norte	
S1_Rio_Loa	532469	7640132	Calidad de agua, zoobentos, fitobentos, fauna íctica reptiles, anfibios, vegetación ribereña y plantas acuáticas
S2_Rio_Loa	533083	7617237	Calidad de agua, zoobentos, fitobentos, fauna íctica reptiles, anfibios, vegetación ribereña y plantas acuáticas
S3_Rio_Loa	440947	7570933	Calidad de agua, zoobentos, fitobentos, fauna íctica reptiles, anfibios, vegetación ribereña y plantas acuáticas
S4_Rio_Loa	430939	7625704	Calidad de agua, zoobentos, fitobentos, fauna íctica reptiles, anfibios, vegetación ribereña y plantas acuáticas
S5_Quebrada_Amarga	420821	7631117	Calidad de agua, zoobentos, fitobentos, fauna íctica reptiles, anfibios, vegetación ribereña y plantas acuáticas
1_Rio_Loa	534984	7605268	Calidad de agua, zoobentos, fitobentos, fauna íctica reptiles, anfibios, vegetación ribereña y plantas acuáticas
2_Rio_Loa	540292	7589056	Calidad de agua, zoobentos, fitobentos, fauna íctica reptiles, anfibios, vegetación ribereña y plantas acuáticas
3_Rio_San_Pedro (Oficial)	550165	7573071	Calidad de agua, zoobentos, fitobentos, fauna íctica reptiles, anfibios, vegetación ribereña y plantas acuáticas
3_Rio_Loa (Alternativo) *	540346	7570066	Calidad de agua, zoobentos, fitobentos, fauna íctica reptiles, anfibios, vegetación ribereña y plantas acuáticas
4_Rio_Loa	539127	7563977	Calidad de agua, zoobentos, fitobentos, fauna íctica reptiles, anfibios, vegetación ribereña y plantas acuáticas
5_Rio_Loa	535749	7526811	Calidad de agua, zoobentos, fitobentos, fauna íctica reptiles, anfibios, vegetación ribereña y plantas acuáticas
6_Rio_Salado	536369	7526239	Calidad de agua, zoobentos, fitobentos, fauna íctica reptiles, anfibios, vegetación ribereña y plantas acuáticas
7_Rio_Loa	527000	7516301	Calidad de agua, zoobentos, fitobentos, fauna íctica reptiles, anfibios, vegetación ribereña y plantas acuáticas
8_Rio_Loa	511183	7517888	Calidad de agua, zoobentos, fitobentos, fauna íctica reptiles, anfibios, vegetación ribereña y plantas acuáticas
9_Rio_Loa	500986	7510906	Calidad de agua, zoobentos, fitobentos, fauna íctica reptiles, anfibios, vegetación ribereña y plantas acuáticas
10_Rio_Loa_	445607	7522999	Calidad de agua, zoobentos, fitobentos, fauna íctica reptiles, anfibios, vegetación ribereña y plantas acuáticas
11_Rio_San_Salvador	445953	7523068	Calidad de agua, zoobentos, fitobentos, fauna íctica reptiles, anfibios, vegetación ribereña y plantas acuáticas
12_Rio_Loa	441708	7528654	Calidad de agua, zoobentos, fitobentos, fauna íctica reptiles, anfibios, vegetación ribereña y plantas acuáticas
13_Rio_Loa	446382	7598572	Calidad de agua, zoobentos, fitobentos, fauna íctica reptiles, anfibios, vegetación ribereña y plantas acuáticas
14_Rio_Loa	443088	7607536	Calidad de agua, zoobentos, fitobentos, fauna íctica reptiles, anfibios, vegetación ribereña y plantas acuáticas

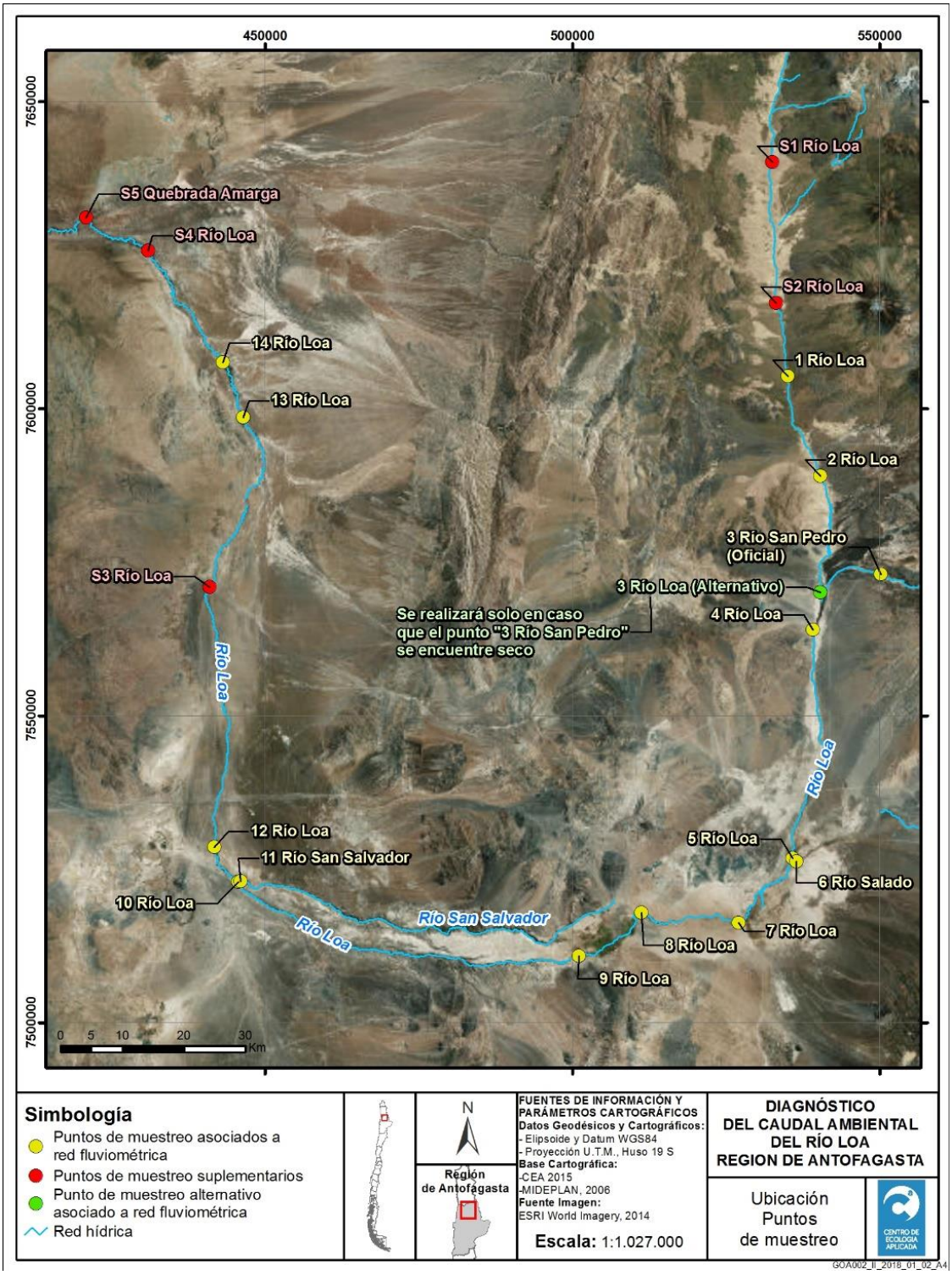


Figura 3.93. Distribución de las estaciones de muestreo de calidad de agua, biota y aforos, a realizarse a lo largo del río Loa. Los puntos amarillos son los asociados a estaciones fluviométricas y los rojos a sitios donde no existe información. El punto verde corresponde a una estación de muestreo alternativa.

3.2.1 Levantamiento de información de algunos componentes hidráulicos del río.

3.2.1.1 Perfiles batimétricos

Entre los días 28 de agosto y 6 de septiembre del 2018, se realizó una campaña de terreno de levantamiento de perfiles topobatimétricos a lo largo del río Loa. Mediante el uso de unos GPS Navcom, los cuales utilizan la señal de la red satelital Starfire y pueden autolocalizarse sin depender de una estación base (ver Figura 3.94).

Figura 3.94. Levantamiento topobatimétrico mediante GPS Navcom. Uso de móvil con señal Starfire.

Sin embargo, por la morfología del cauce del río Loa, el cual se encuentra encajonado en la mayor parte de su extensión, los GPS no adquirían buena señal al estar en las cercanías de los muros que delimitan el cajón. En estos casos fue necesario emplear el método RTK (Real Time Kinematic), utilizando dos GPS simultáneos, donde uno de ellos funciona como base fija en un lugar abierto y con buena recepción de señal satelital, mientras que el segundo GPS se utiliza como móvil geolocalizándose con respecto a la base fija instalada (ver Figura 3.95).

Bajo esta metodología descrita, fue posible realizar el trazado de 100 perfiles transversales al río a lo largo de su recorrido. La distribución espacial de estos perfiles se puede observar en la Figura 3.96.

En el sector comprendido entre el embalse Conchi y la localidad de Chiu Chiu, se dispone de perfiles topográficos levantados por la dirección de obras hidráulicas (DOH) del Ministerio de Obras Públicas, en el contexto del "Estudio de la inundación producida por caudales extremos vertidos desde el embalse Conchi, Región de Antofagasta". Dada la disponibilidad de estos perfiles, se priorizó otros sectores para hacer el levantamiento y solo se levantó algunos perfiles en este tramo para poder comparar y corroborar los datos.

Figura 3.95. Levantamiento topobatimétrico mediante GPS Navcom. Uso de base y móvil (RTK)

La metodología empleada por la DOH para realizar el levantamiento consistió en definir marcos de referencia (monolitos) distribuidos en el sector. Posteriormente, para la vinculación al sistema de referencia SIRGAS se utilizaron las coordenadas de referencia del PR EC-01 perteneciente al proyecto "Batimetría Embalse Conchi" y el PR RS- 58

Perteneciente al Proyecto “Control de Crecidas en la Hoya del Rio Salado. Para la vinculación planimétrica se realizó una red geodésica con vectores ajustados por mínimos cuadrados y referidos a los PR`s EC-01 y RS-58. La vinculación altimétrica de la Red geodésica se realizó por medio del EGM08, considerando como referencia las cotas geométricas de los PR`s de referencia y distribuyendo las diferencias respecto al modelo geoidal por medio de un ajuste por desniveles. Finalmente los perfiles transversales se realizaron por medio un levantamiento topográfico con Estación Total. El levantamiento topográfico en el Pueblo de Chiu Chiu y el levantamiento de elementos puntuales del terreno se realizaron por medio de metodología RTK.

Se levantó perfiles transversales no solo en el Río Loa, también se consideraron los principales afluentes a éste para efectos de la modelación. Es por esto que se incluyeron algunos perfiles en el Río Chela, Río San Pedro, Río Salado, Río San Salvador y Quebrada Amarga. La distribución de perfiles en los distintos tramos del río y tributarios se puede ver en la Tabla 3.40.

Tabla 3.40. Distribución de perfiles transversales levantados

Tramo	Cantidad de perfiles levantados
Río Chela	3
Río Loa aguas arriba de río San Pedro	8
Río San Pedro	4
Río Loa entre ríos San Pedro y Salado	7
Río Salado	8
Río Loa entre ríos Salado y San Salvador	33
Río San Salvador	8
Río Loa entre río San Salvador y Quebrada Amarga	27
Quebrada Amarga	2

En el Capítulo 8 de Anexos, se muestran graficados los perfiles realizados. Además, se detalla la información de los perfiles en Anexos digitales:

Anexos Digitales/OE 1 Recopilación y sistematización/ OE1_Campañas de Monitoreo / 0_Levantamiento_Perfiles_Topobatimétricos

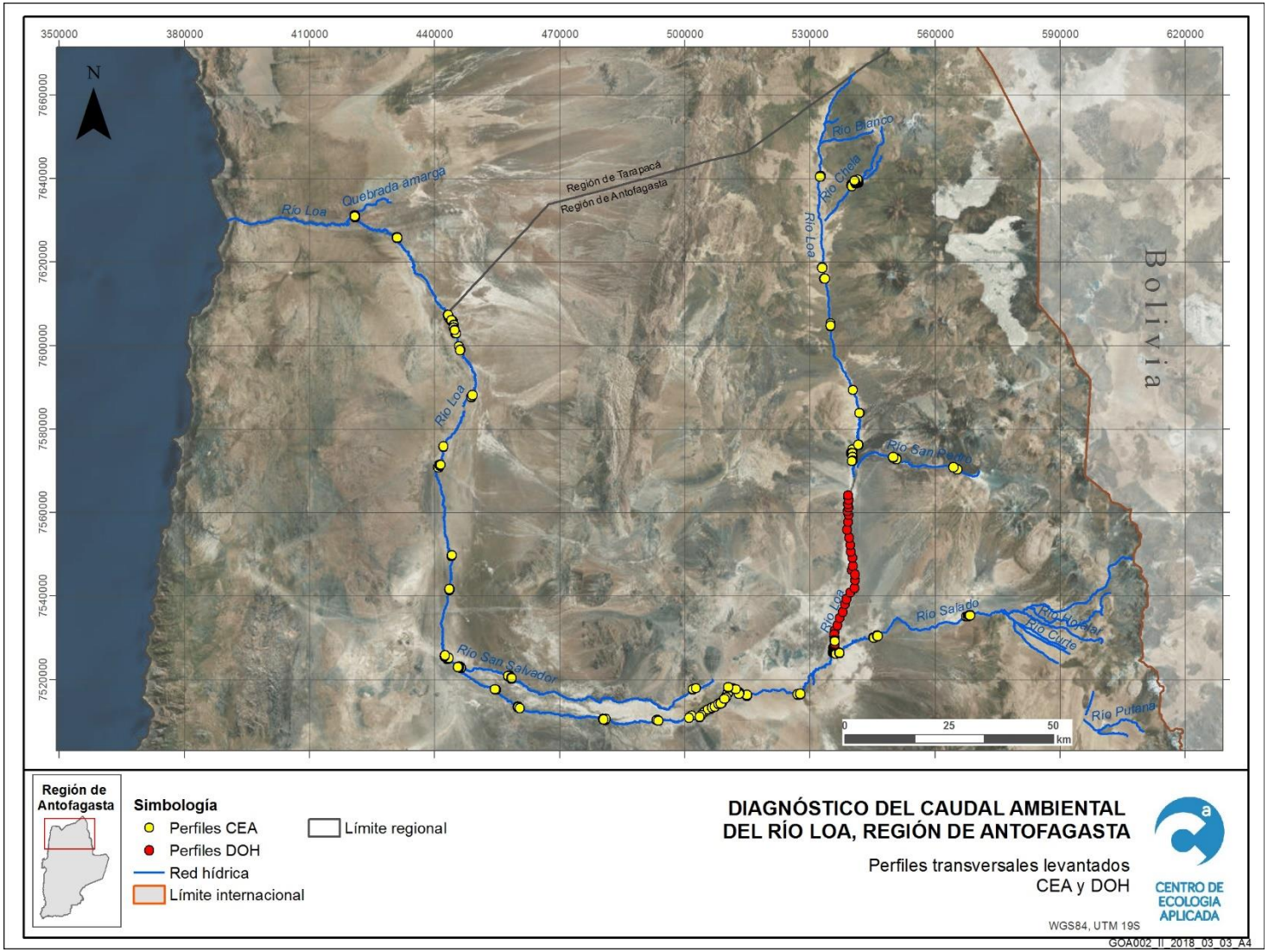


Figura 3.96. Perfiles trasversales levantados en terreno

3.2.1.2 Medición de Caudales

Como parte de la campaña de terreno de levantamiento de perfiles transversales al río, se realizaron aforos en 19 de los 100 perfiles trazados. Para ello se utilizó un correntómetro Global Water, modelo FP111, con el cual se midió las velocidades en distintas subsecciones del cauce, para posteriormente calcular el caudal (ver Figura 3.97).

Tabla 3.41. Aforos realizados en campaña de Topografía

Río	Sector	Coordenadas		Fecha	Hora
		Este (m)	Norte (m)		
Salado	Sifón Ayquina	567456	7535032	02-09-2018	11:30
San Pedro	Puente entre Parshall 1 y 2	564361	7570872	31-08-2018	11:15
Salado	Camino a Ayquina	545215	7529983	01-09-2018	15:10
Chela	Vega chela	541539	7639329	31-08-2018	12:10
Loa	Estación Fluviométrica Codelco	541531	7639322	31-08-2018	16:50
Loa	Taira	540252	7573317	31-08-2018	16:30
Loa	Arriba Lequena	533460	7616002	01-09-2018	14:00
Loa	Estación DGA Loa en Angostura	527109	7516412	29-08-2018	10:20
Loa	Ojo Opache	505456	7512675	29-08-2018	16:50
San Salvador	Ojo Opache	502589	7517863	29-08-2018	11:50
Loa	Finca	500930	7510817	28-08-2018	17:02
Loa	Arriba Bomba Vergara	460361	7513140	03-09-2018	13:40
Quebrada Amarga	Antes confluencia Río Loa	460358	7513140	05-09-2018	13:55
San Salvador	Antes confluencia Río Loa	446036	7523061	03-09-2018	12:08
Loa	Antes confluencia Río San Salvador	445596	7522998	03-09-2018	11:30
Loa	Quillagua, bajo puente Pichi-Quillagua	444597	7604930	06-09-2018	10:05
Loa	Entre Río San Salvador y Quillagua	440998	7570907	04-09-2018	11:55
Loa	Antes confluencia Quebrada Amarga	420916	7630847	05-09-2018	14:15

Conociéndose las alturas de escurrimiento y caudales en algunas secciones del río, es posible realizar una calibración del modelo hidráulico, por ello fue importante realizar aforos en los distintos tramos de río a modelar.

Figura 3.97. Aforo en el río Loa mediante correntómetro.

3.2.2 Monitoreo de los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua.

Se realizó la toma de muestras de agua en los puntos de monitoreo (coordenadas especificadas en Tabla 3.39), midiendo parámetros físicos, químicos, biológicos y de componentes bióticos asociados al sistema fluvial, en las 4 estaciones del año.

3.2.2.1 Calidad del agua.

La toma y preservación de las muestras de calidad de agua se realizó en base al Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22st Edition 2012 y las normas chilenas NCh410:1996, NCh411/3:2014, NCh411/11:1998, NCh-ISO 5667/1:2017, NCh-ISO 5667/4:2016, NCh-ISO 5667/6:2015. Para cumplir con el tiempo crítico de análisis (Holding time), estas se enviaron diariamente a los laboratorios seleccionados.

El análisis de las muestras se realizó en laboratorios acreditados en el sistema Nacional de Acreditación del Instituto Nacional de normalización, INN, bajo la norma ISO NCh.17025 en el área físico-química para aguas crudas. Los métodos analíticos de cada parámetro y el laboratorio seleccionado se detallan en la Tabla 3.42:

Tabla 3.42 Parámetros, metodologías y laboratorios. Calidad de agua río Loa. Septiembre 2018.

Parámetro	unidad	Metodología	Laboratorio
Arsénico disuelto	mg/L	STM, Método 3120 B.	CEA
Bicarbonato/Carbonato	mg/L	STM, Método 2320-B	CEA
Boro disuelto	mg/L	STM, Método 3120 B.	CEA
Cadmio disuelto	mg/L	STM, Método 3120 B.	CEA
Clorofila “a”	mg/L	STM, Método 10200 H2c.	ANAM
Cloruro	mg/L	STM, Método 4500 Cl- B.	CEA
Cobre disuelto	mg/L	STM, Método 3120 B.	CEA
Coliformes fecales	NMP/100 mL	STM, Método 9221 E.	HIDROLAB
Coliformes totales	NMP/100 mL	STM, Método 9221B.	HIDROLAB
Conductividad eléctrica y salinidad	mS/cm	PTL-24, basado en el Manual de Equipo Multiparamétrico P4 y Multi 340i y según STM, Método 2520 B.	CEA
Cromo disuelto	mg/L	STM, Método 3120 B.	CEA
DBO5	mg/L	STM, Método 5210 B	HIDROLAB
Fósforo Total	mg/L	STM, Método 4500-P B y E.	CEA
Mercurio disuelto	mg/L	STM, Método 3112 B	HIDROLAB
Níquel disuelto	mg/L	STM, Método 3120 B.	CEA
Nitrógeno Total	mg/L	STM, Método 4500NA (1)	HIDROLAB
Plomo disuelto	mg/L	STM, Método 3120 B.	CEA
RAS	-	NCh-1333 (2)	HIDROLAB
Silicio disuelto	mg/L	STM, Método 3120 B.	CEA
Solidos disueltos totales		STM, Método 2540 C.	HIDROLAB
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	STM, Método 2540 D.	CEA
Sulfato	mg/L	PTL-3, basado en STM, Método 4500-SO4-2 E.	CEA
Temperatura	°C	PTL-26, basado en el Manual de Equipo Multiparamétrico	CEA

Parámetro	unidad	Metodología	Laboratorio
		P4 y Multi 340i y según STM, Método 2550 B.	
Zinc disuelto	mg/L	STM, Método 3120 B.	CEA

STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater, 22nd Edition.2012

(1): Nitrógeno total corresponde a la suma de las especies nitrato, nitrito y nitrógeno Kjeldahl expresado como mg/L

(2): Razón de adsorción de sodio (RAS): medida del efecto del sodio dada por la relación entre las concentraciones de iones sodio, calcio y magnesio, expresadas en miliequivalentes por litro, de acuerdo con la expresión siguiente:

$$RAS = \frac{\mathrm{Na}}{\sqrt{\frac{\mathrm{Ca} + \mathrm{Mg}}{2}}}$$

A continuación, se muestran los datos de todas las campañas realizadas de manera consolidada. Donde cada dato corresponde a una muestra puntual (n=1).

i. Consolidado campañas realizadas

A continuación, entre la Figura 3.98 y Figura 3.130 se muestran graficados los datos consolidados de todas las campañas realizadas.

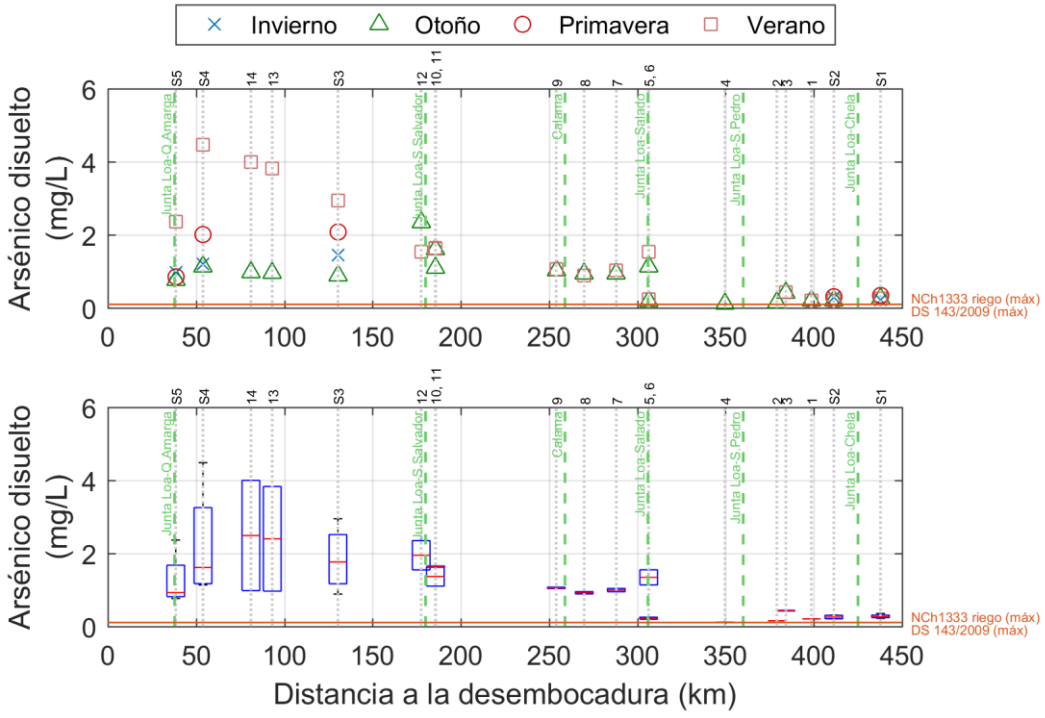


Figura 3.98. Contenidos de arsénico disuelto en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

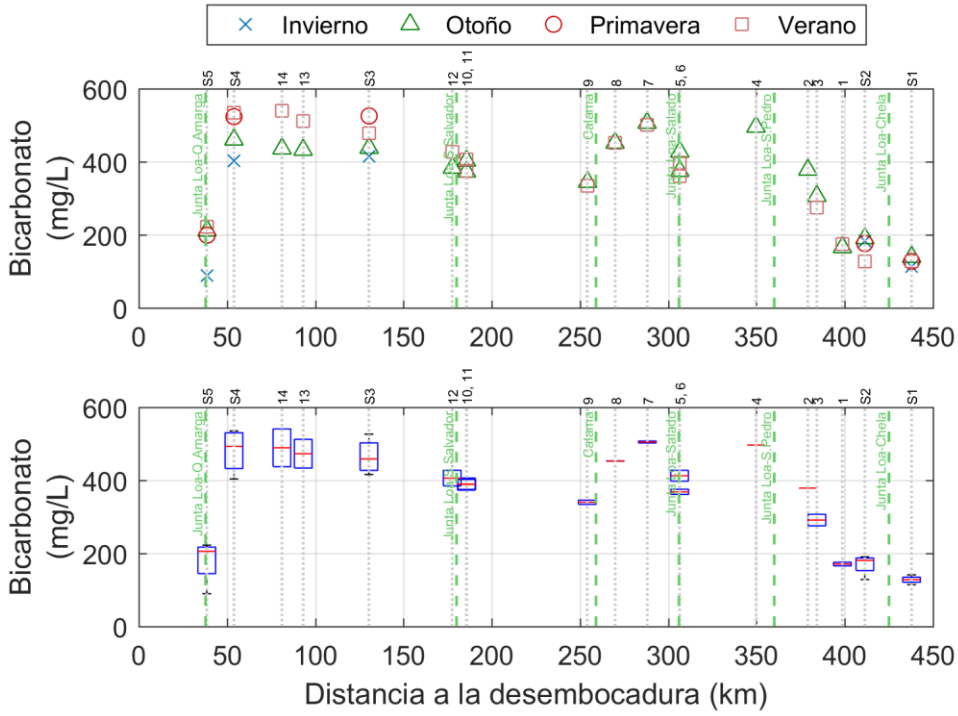


Figura 3.99. Contenidos de bicarbonato en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

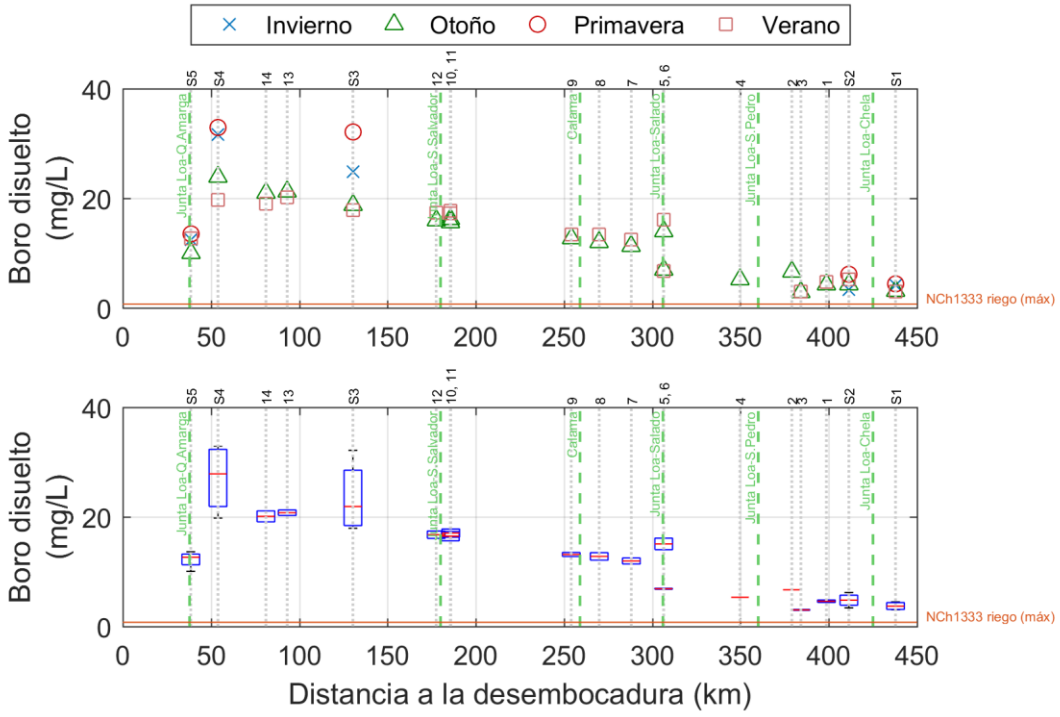


Figura 3.100. Contenidos de boro disuelto en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

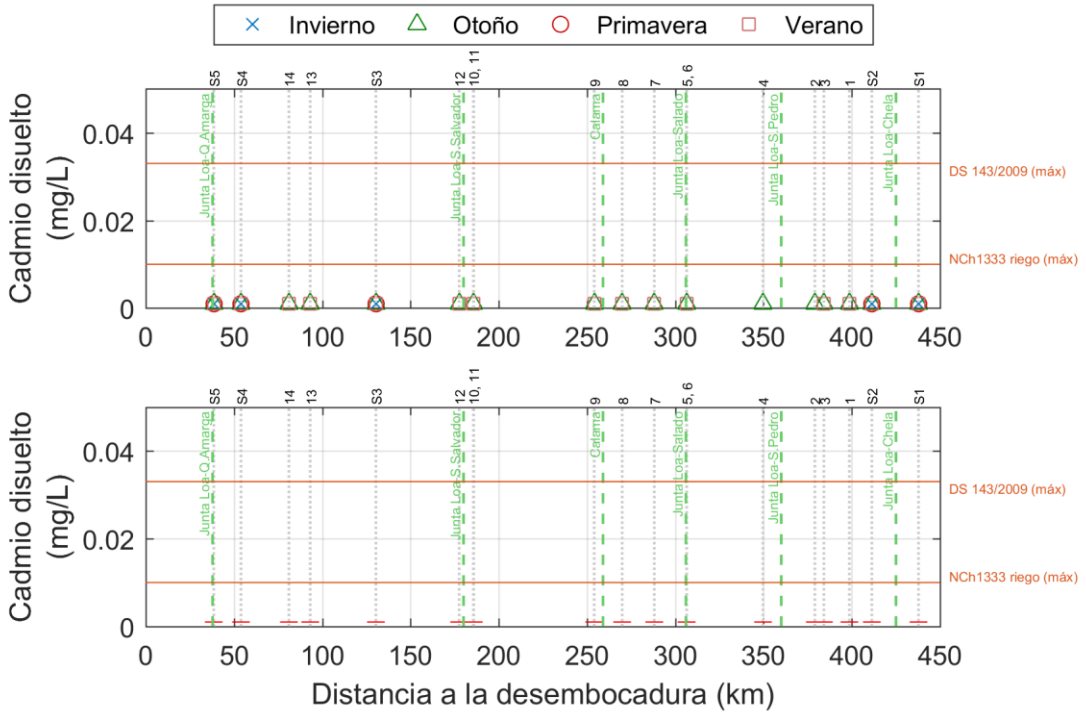


Figura 3.101. Contenidos de cadmio disuelto en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

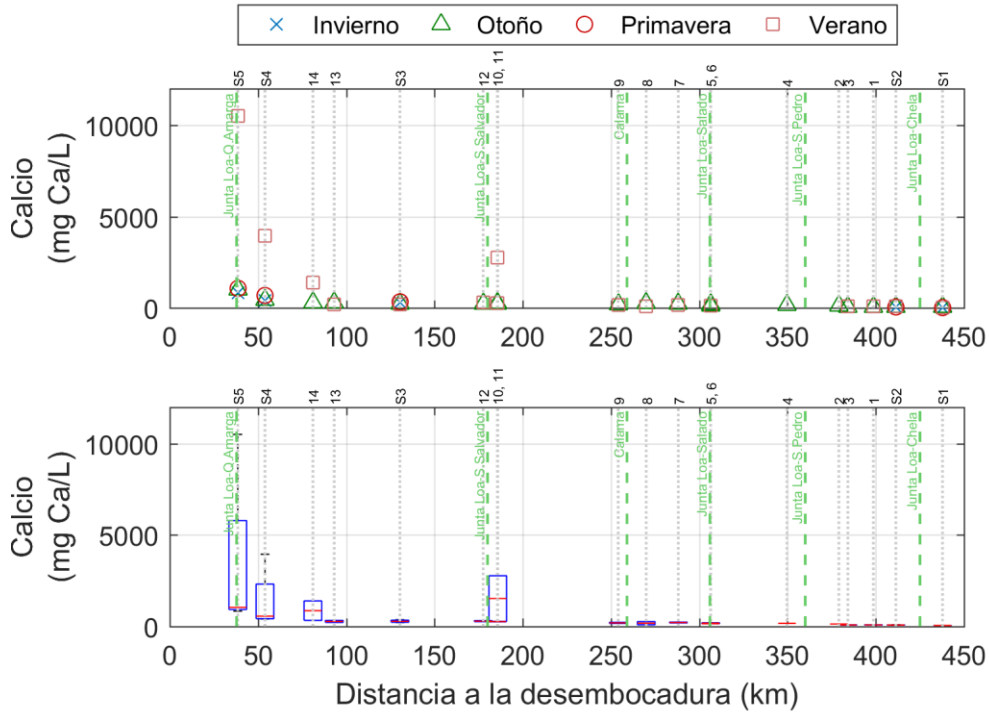


Figura 3.102. Contenidos de calcio en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

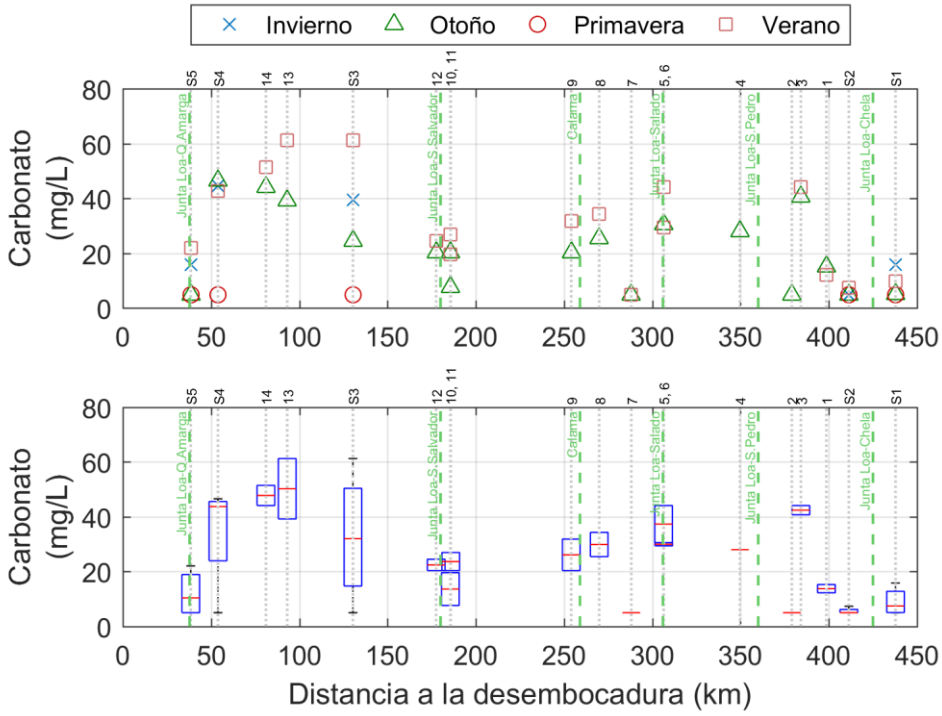


Figura 3.103. Contenidos de carbonato en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

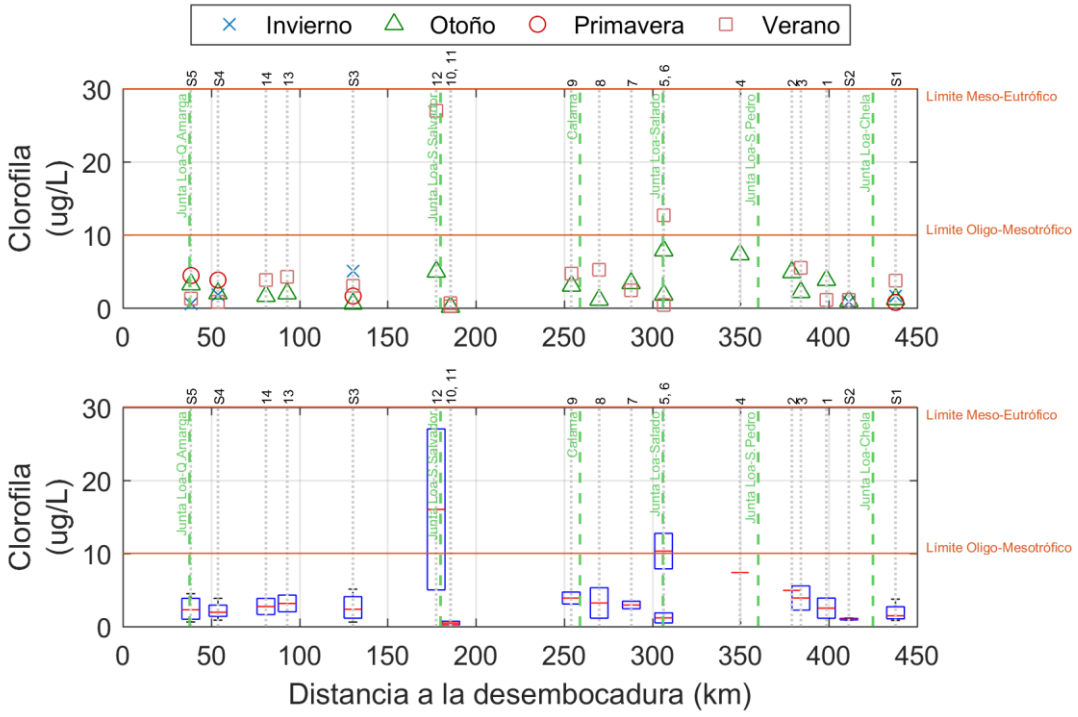


Figura 3.104. Contenidos de clorofila ‘a’ en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

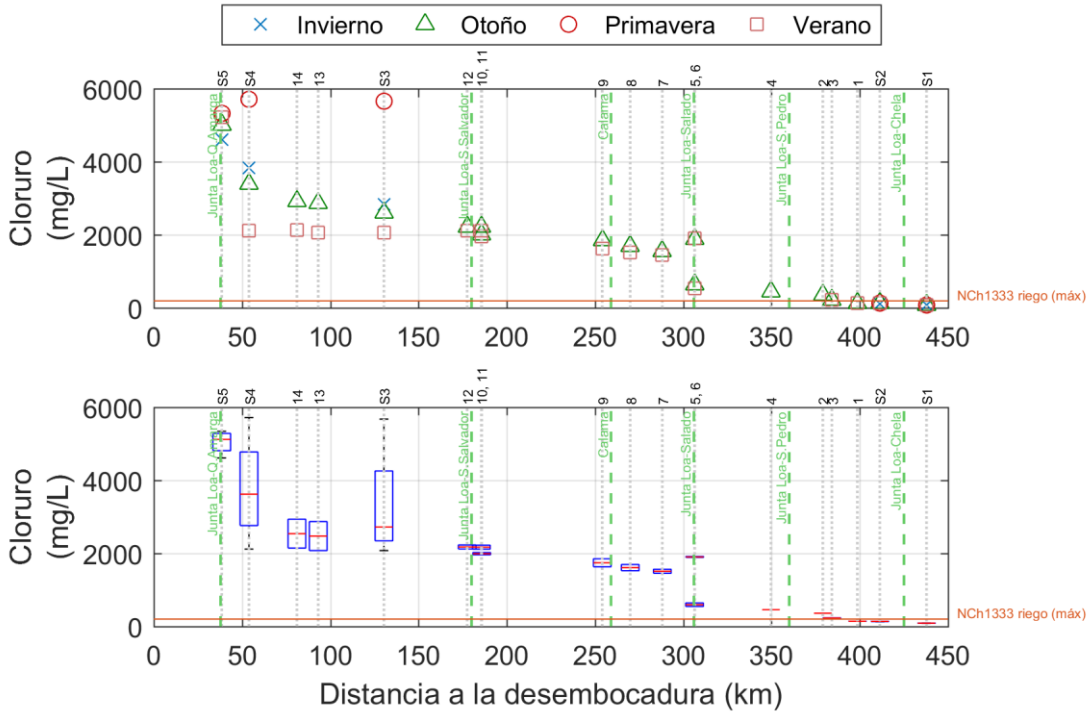


Figura 3.105. Contenidos de cloruro en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

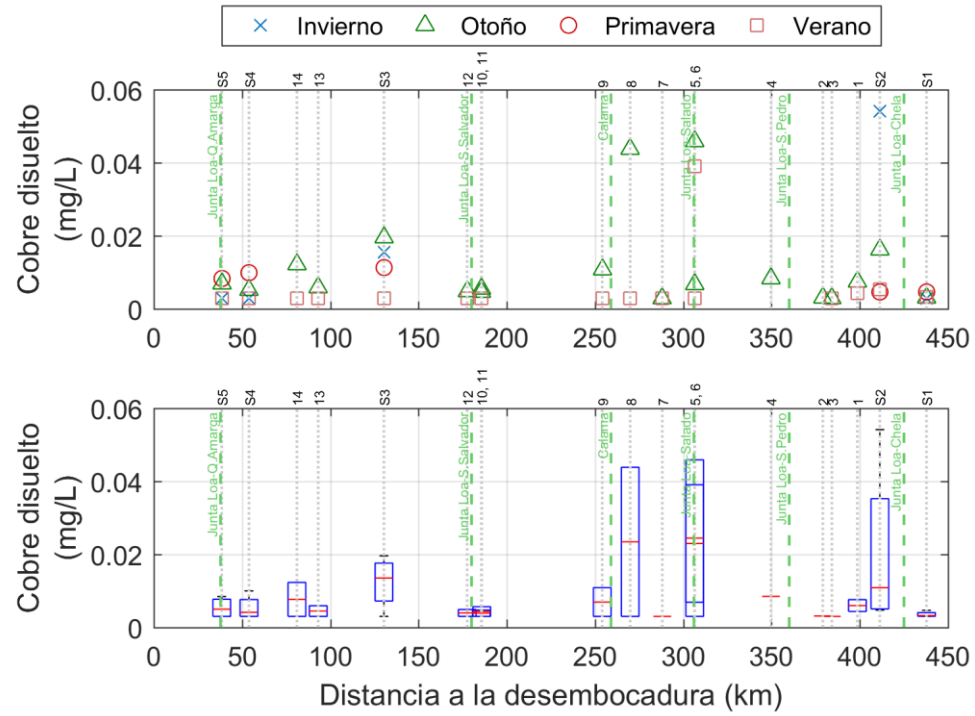


Figura 3.106. Contenidos de cobre disuelto en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

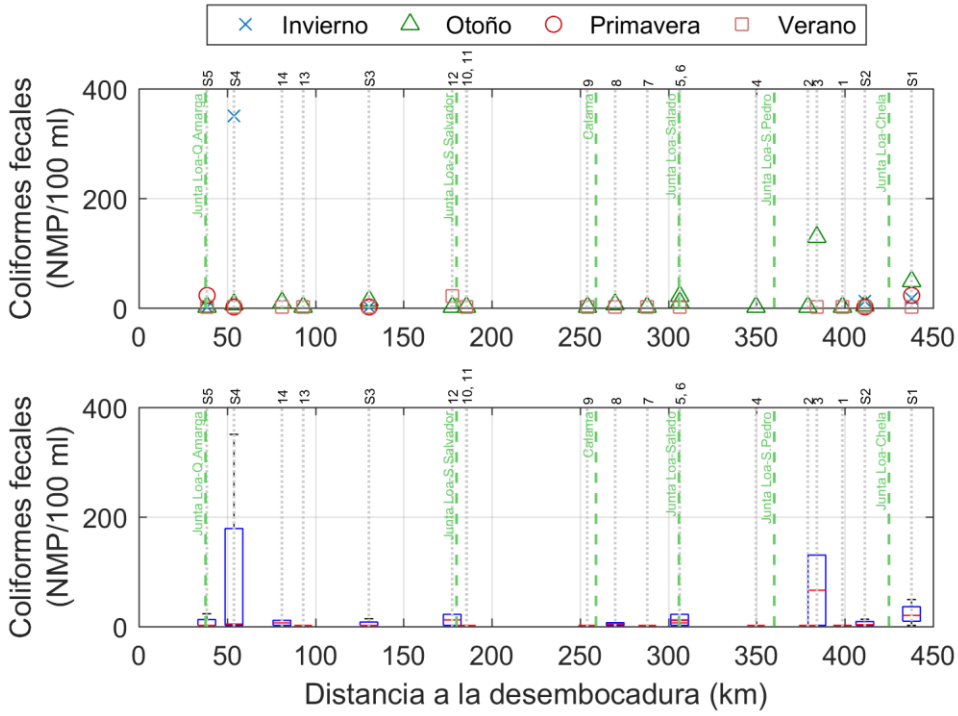


Figura 3.107. Contenidos de coliformes fecales en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

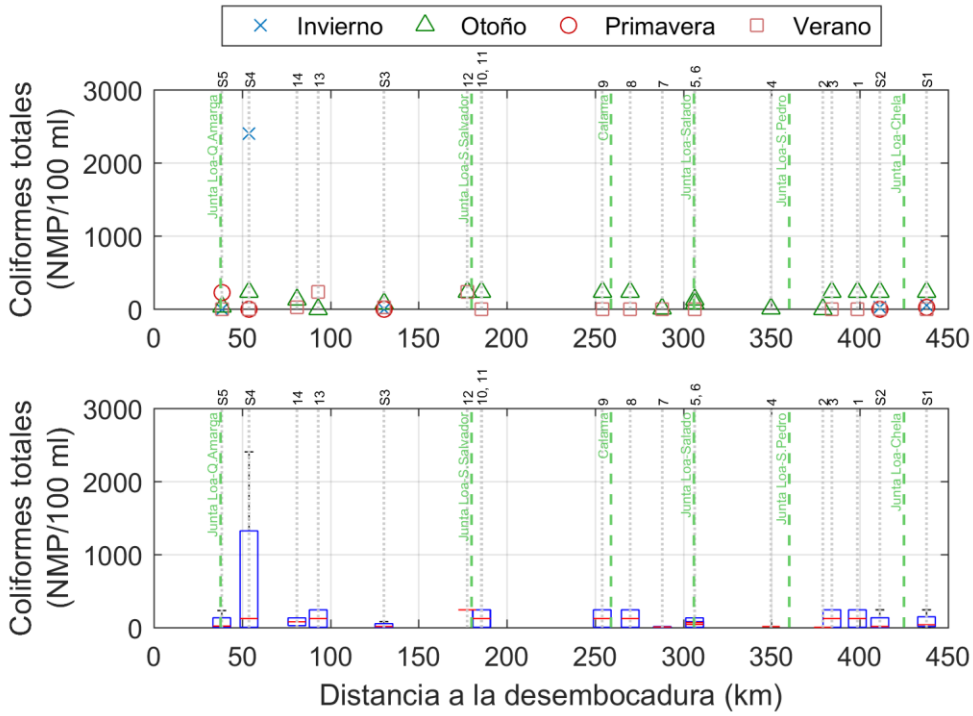


Figura 3.108. Contenidos de coliformes totales en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

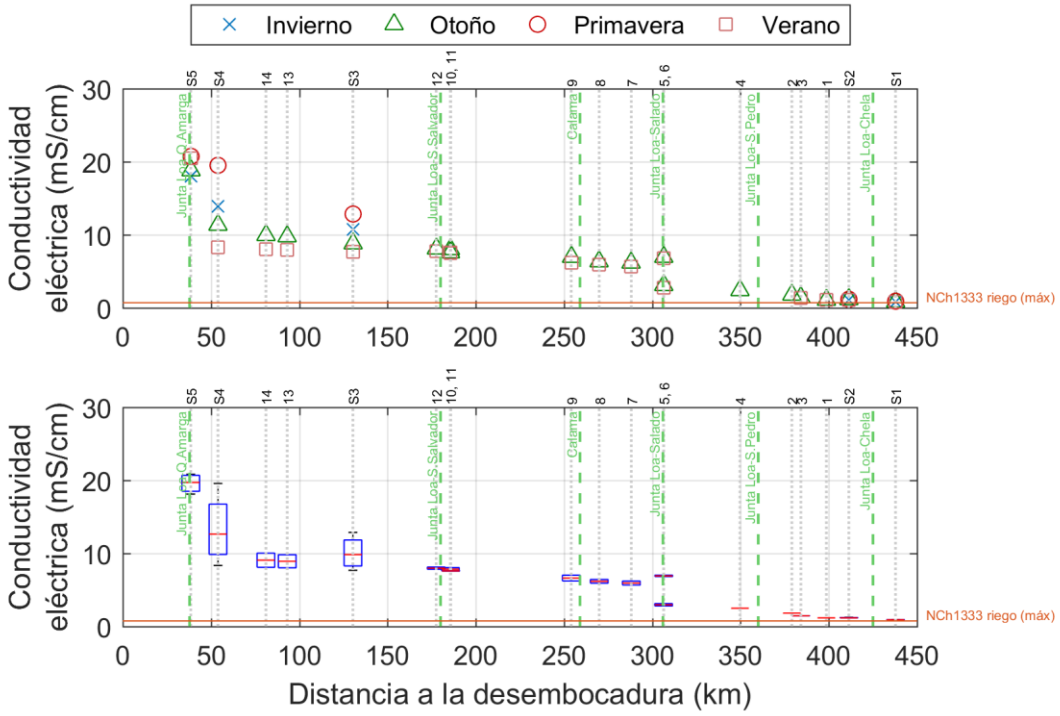


Figura 3.109. Conductividad eléctrica en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

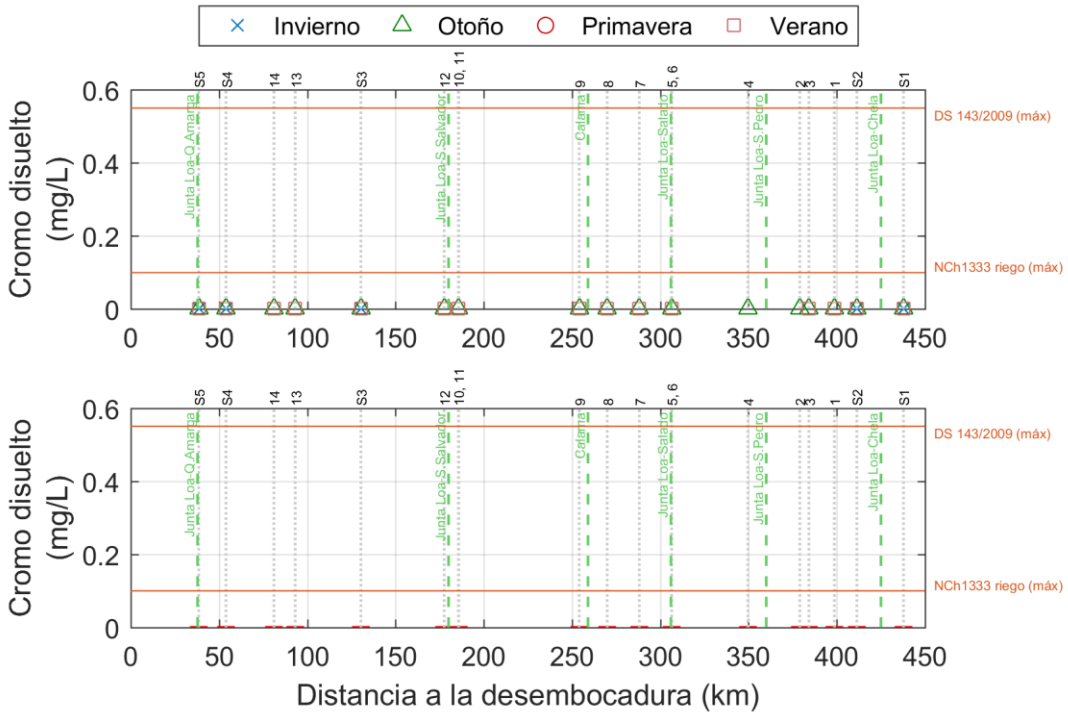


Figura 3.110. Contenidos de cromo disuelto en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

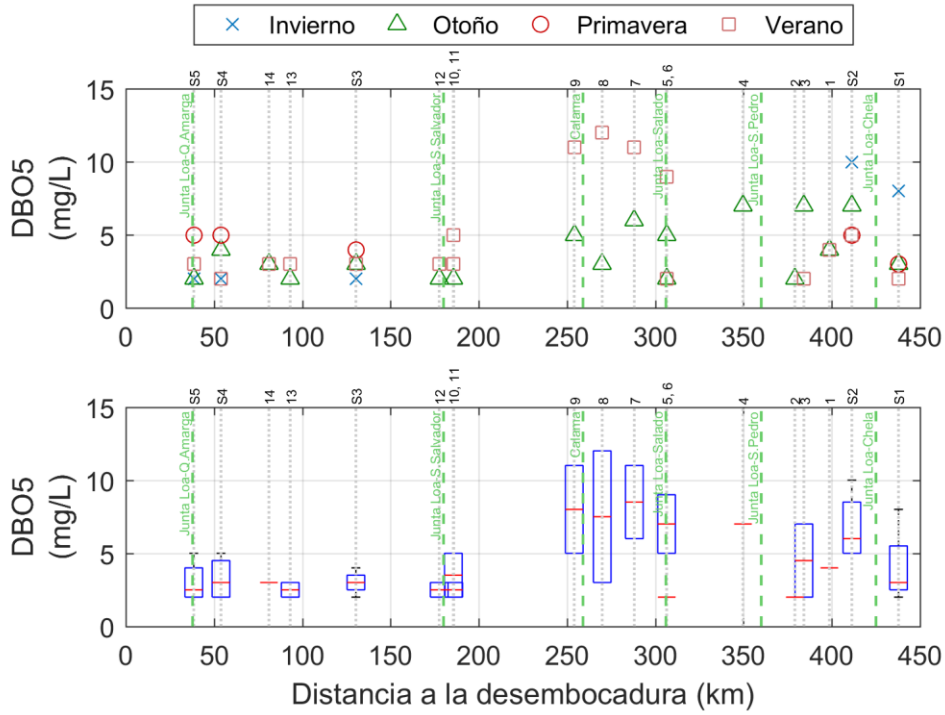


Figura 3.111. Demanda biolquímica de oxígeno en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

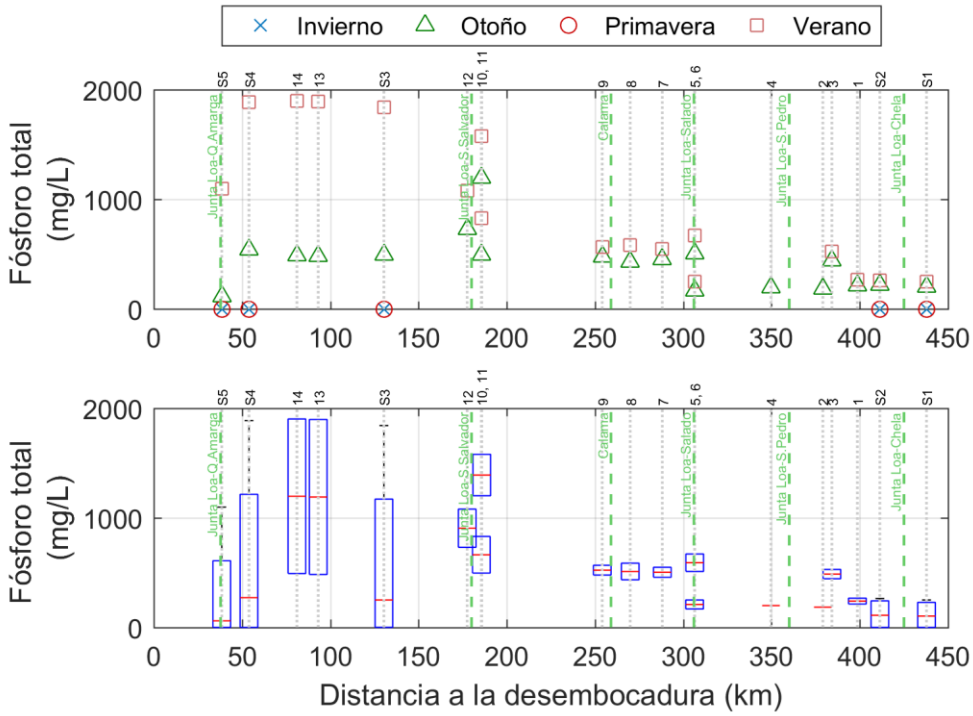


Figura 3.112. Contenidos de fósforo total en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

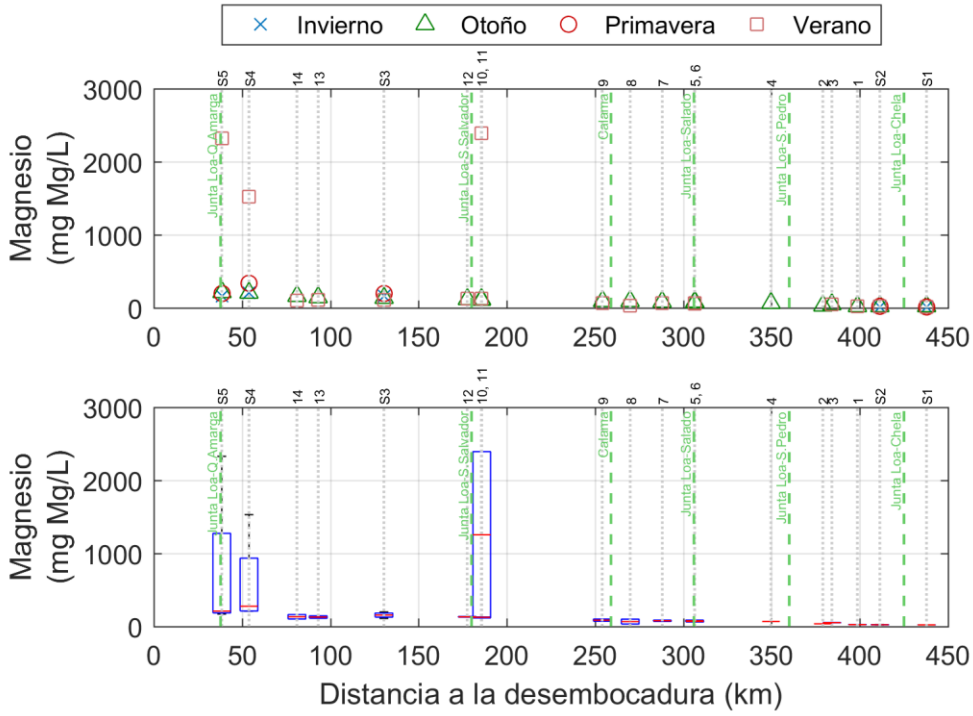


Figura 3.113. Contenidos de magnesio en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

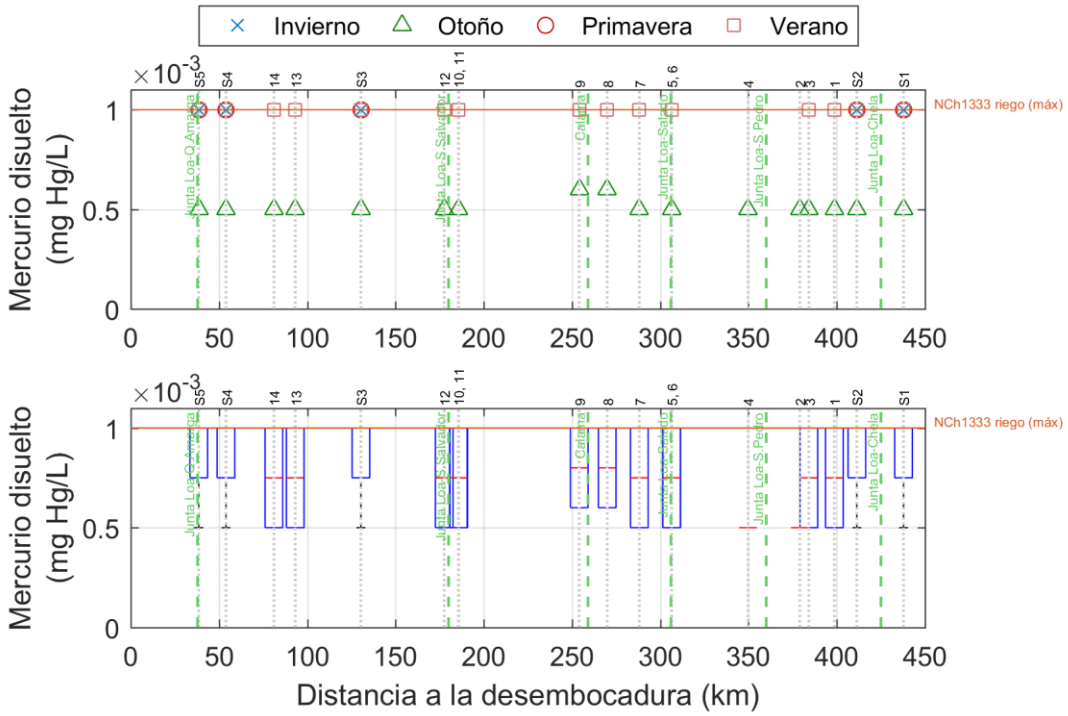


Figura 3.114. Contenidos de mercurio disuelto en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

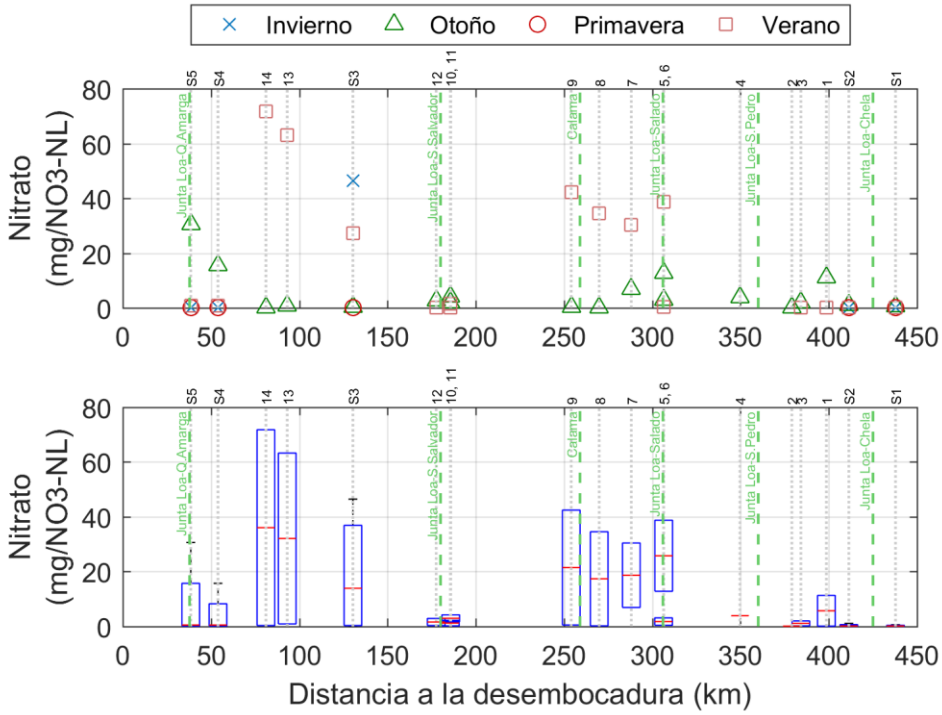


Figura 3.115. Contenidos de nitrato en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

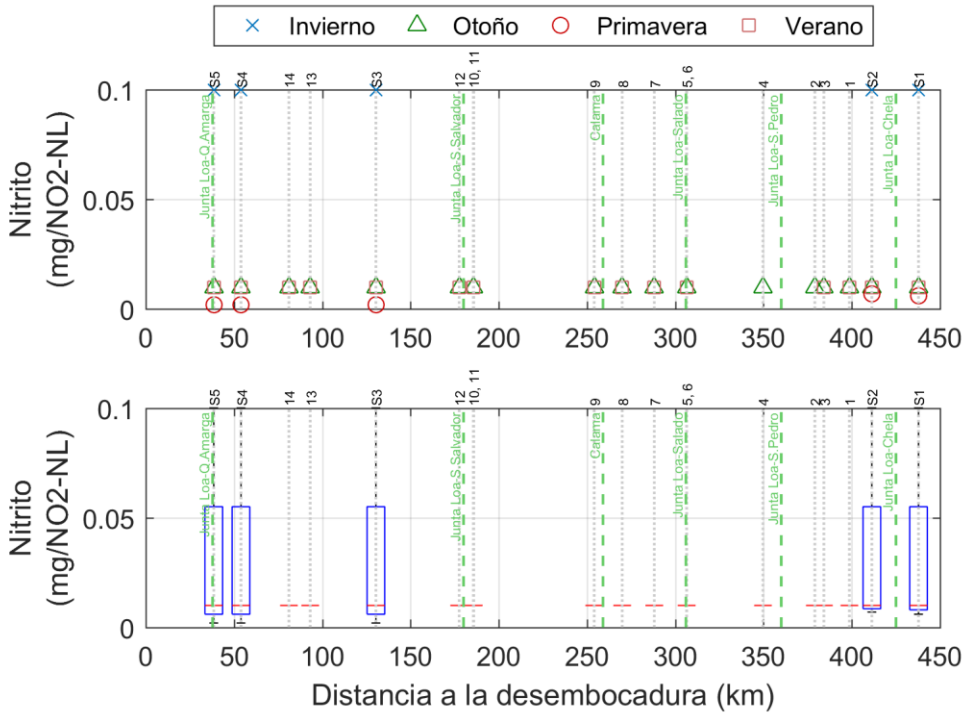


Figura 3.116. Contenidos de nitrito en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

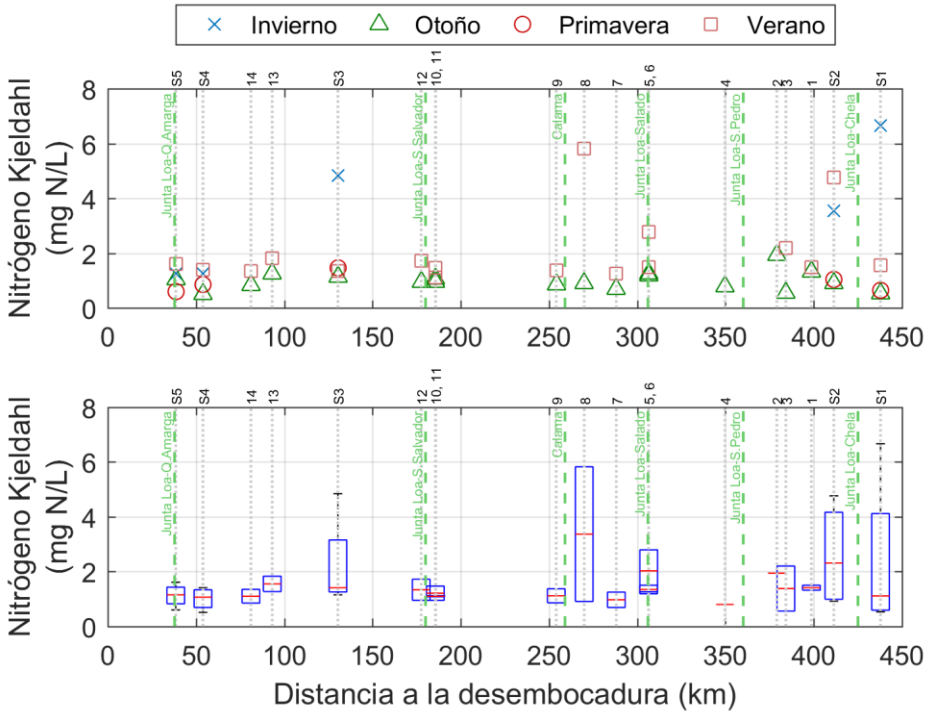


Figura 3.117. Contenidos de nitrógeno Kjeldahl en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

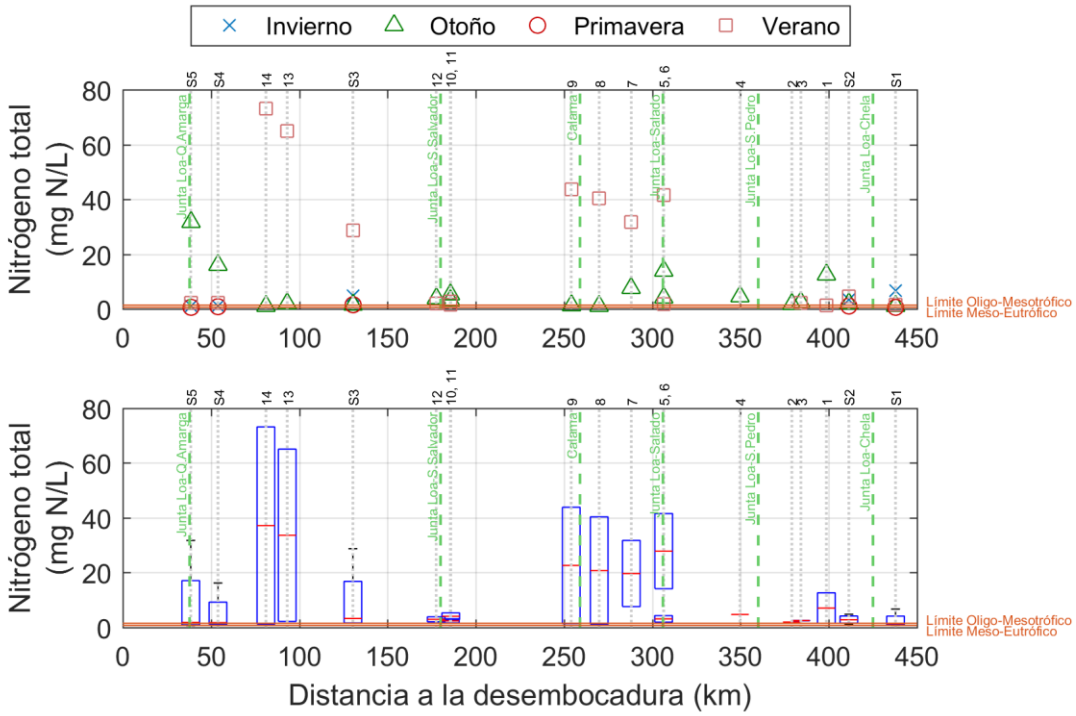


Figura 3.118. Contenidos de nitrógeno total en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

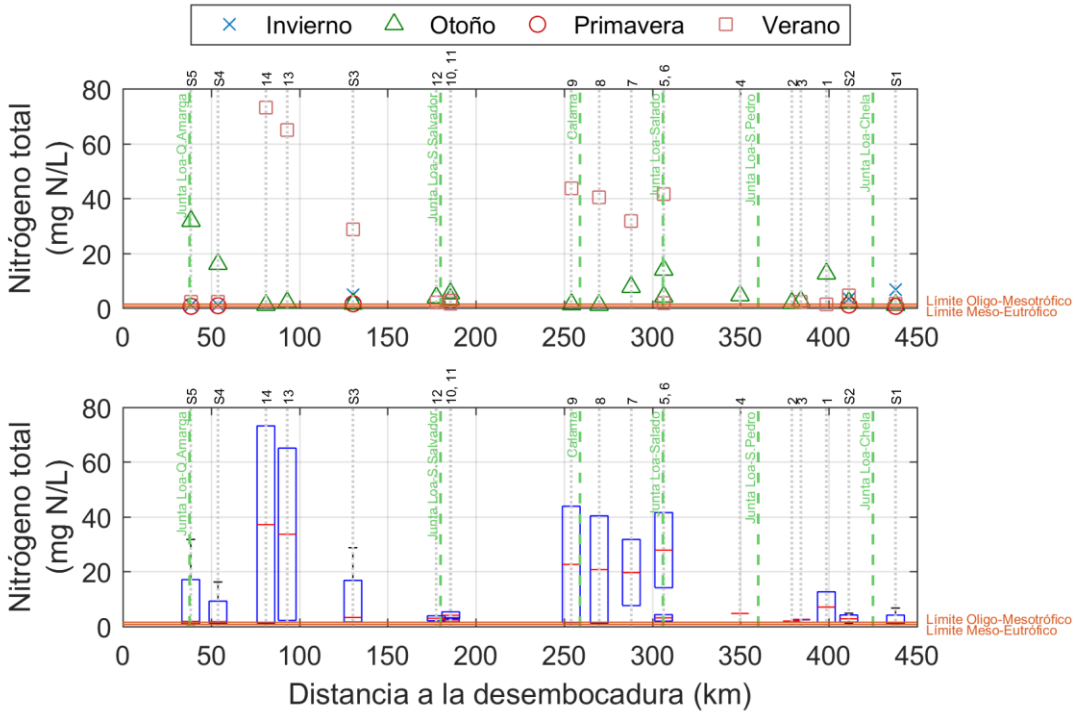


Figura 3.119. Contenidos de níquel disuelto en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

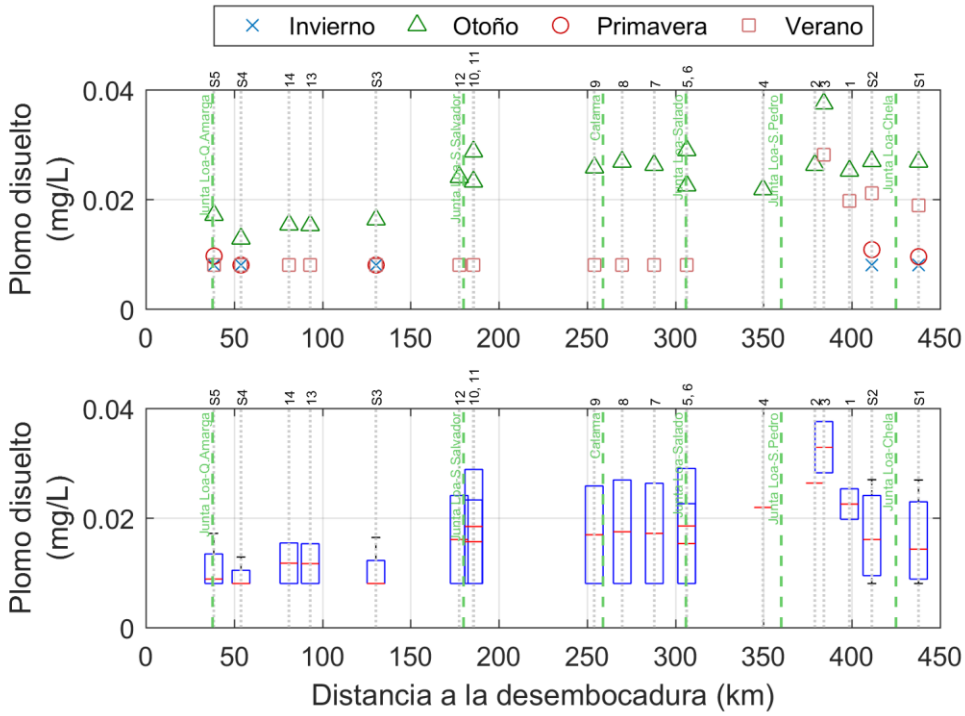


Figura 3.120. Contenidos de plomo disuelto en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

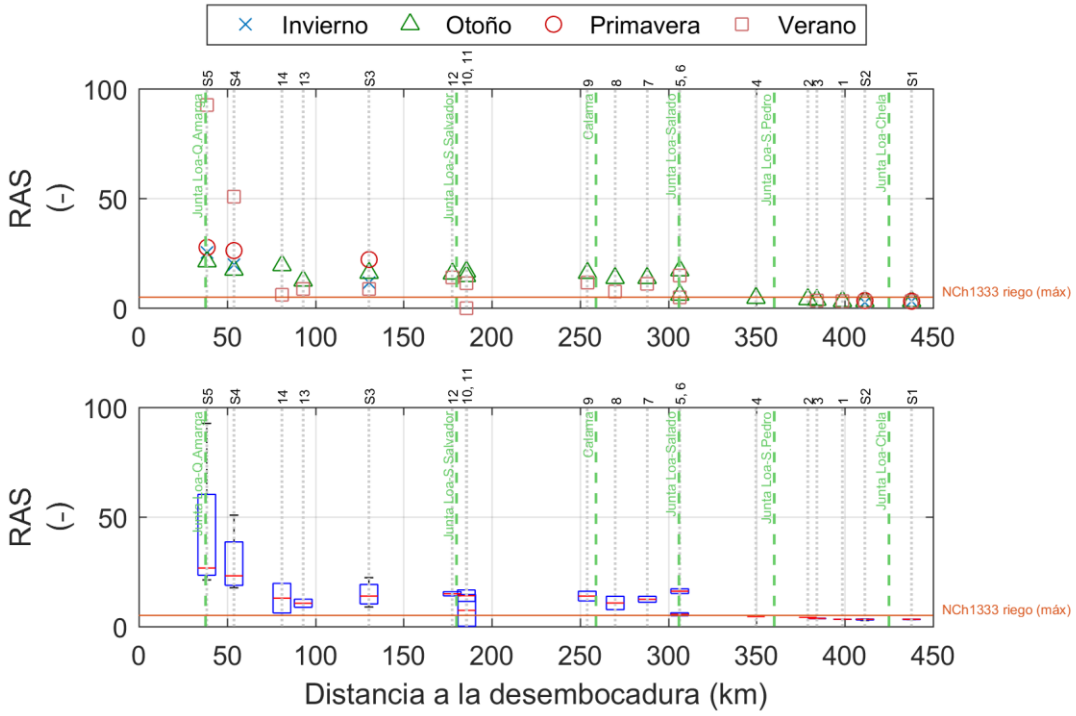


Figura 3.121. Razón de adsorsión de sodio en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

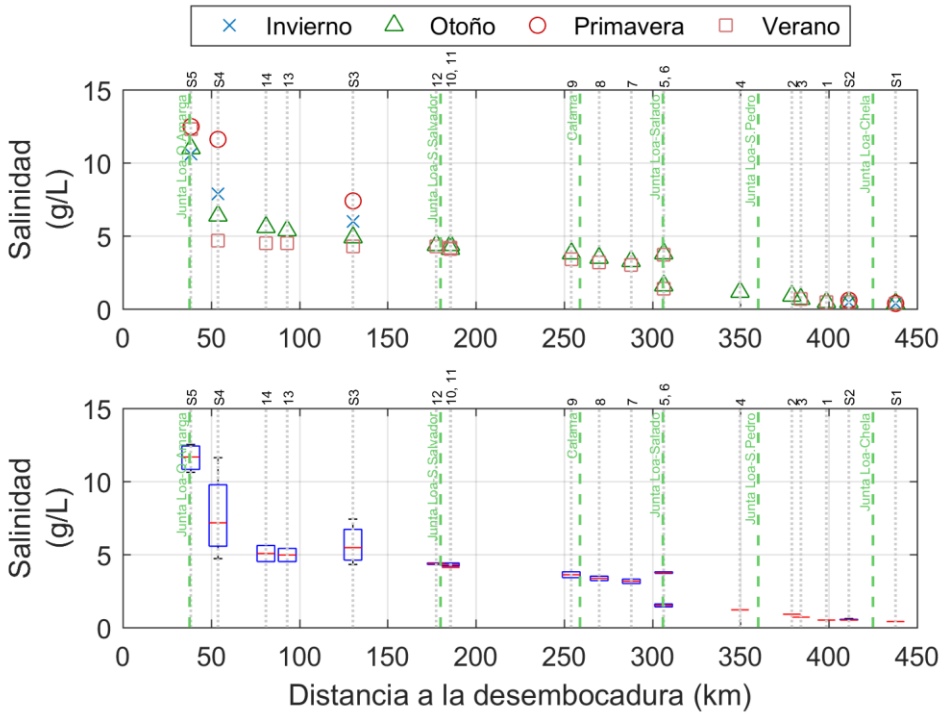


Figura 3.122. Salinidad en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

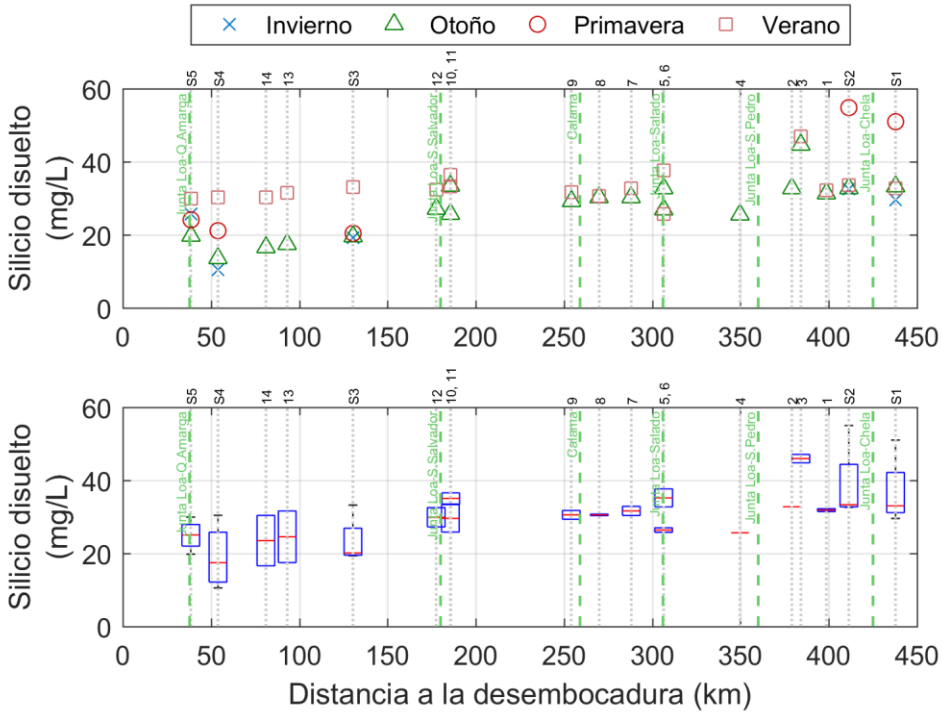


Figura 3.123. Contenidos de silicio disuelto en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

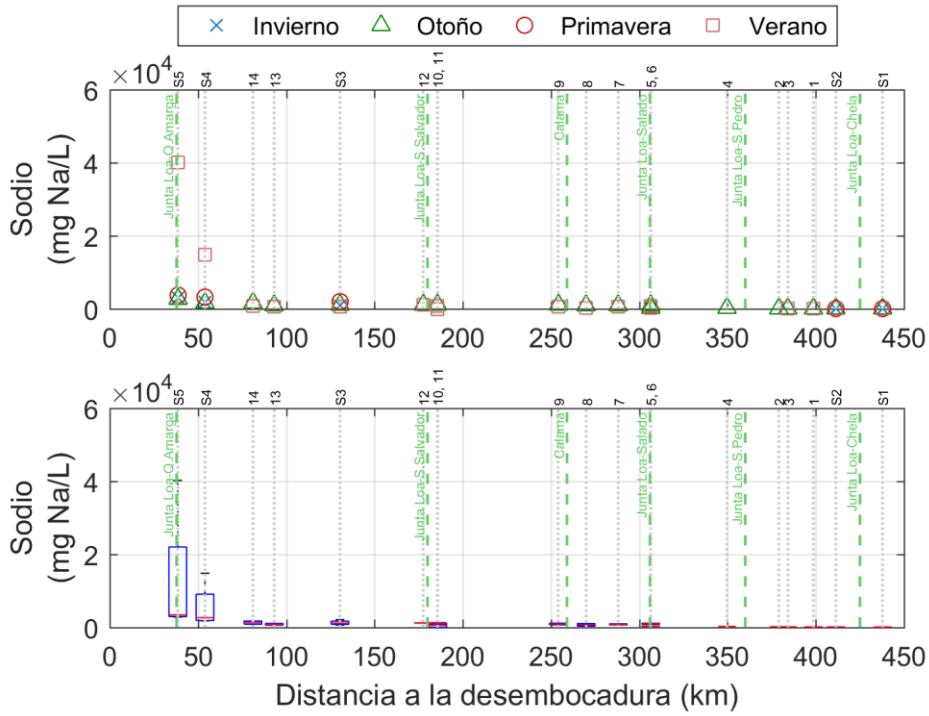


Figura 3.124. Contenidos de sodio en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

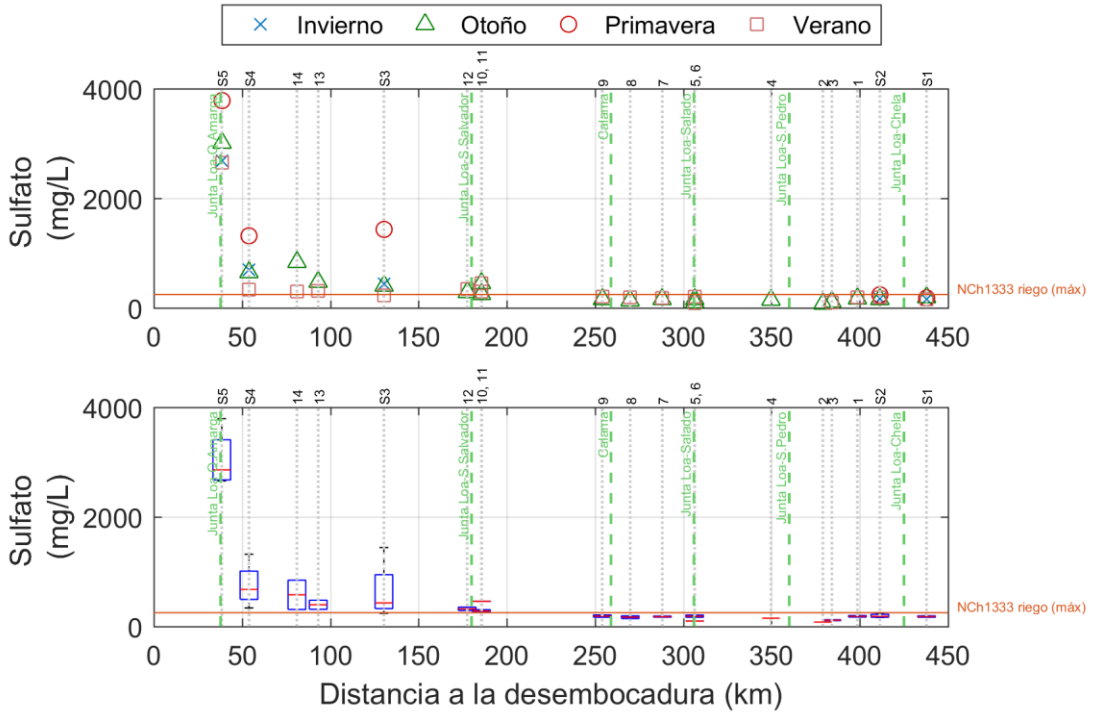


Figura 3.125. Contenidos de sulfato en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

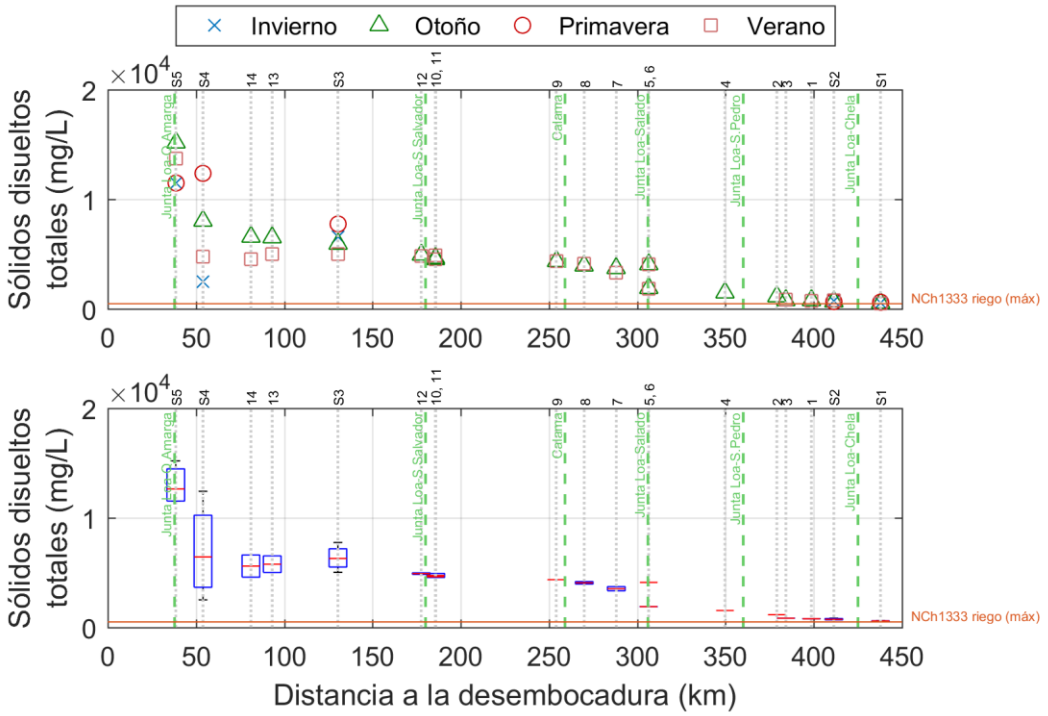


Figura 3.126. Solidos disueltos totales en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

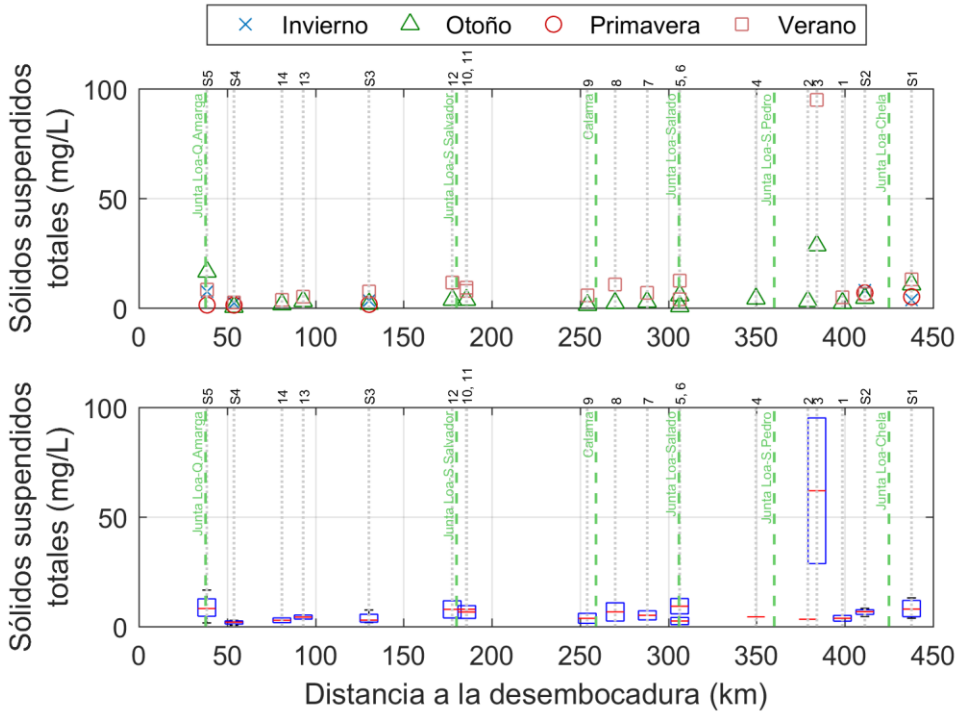


Figura 3.127. Sólidos suspendidos totales en el agua, obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

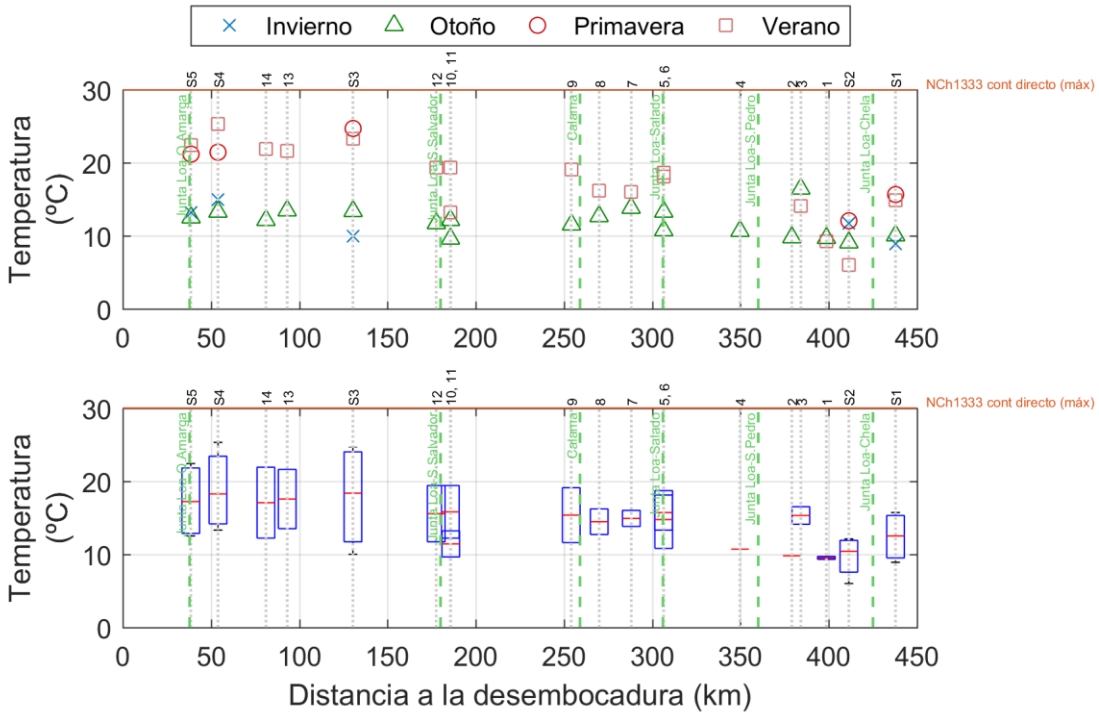


Figura 3.128. Temperatura del agua obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

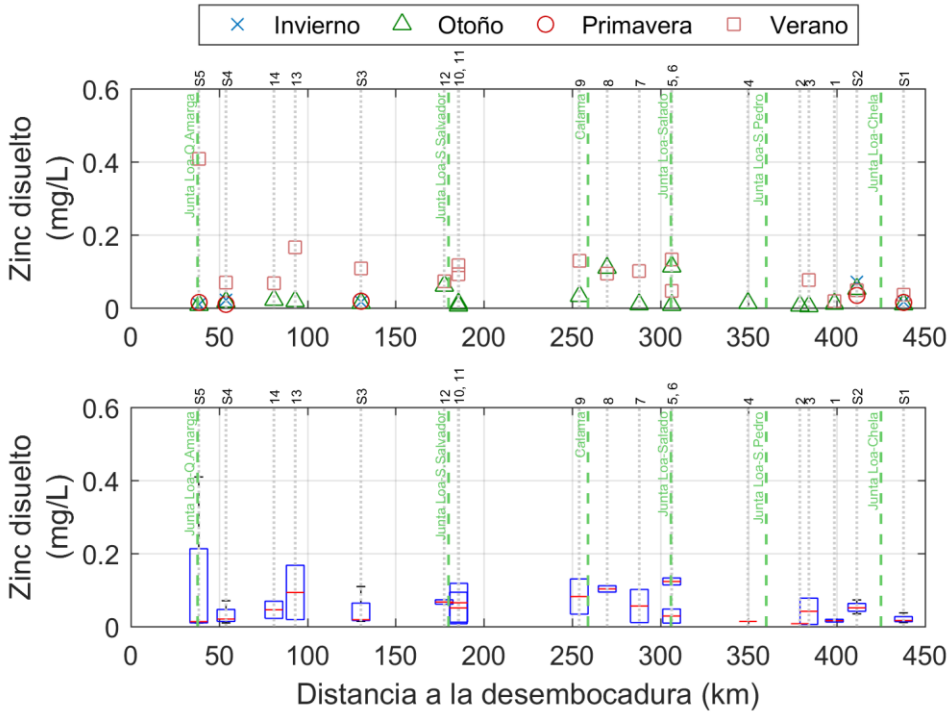


Figura 3.129. Contenidos de zinc disuelto en el agua obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

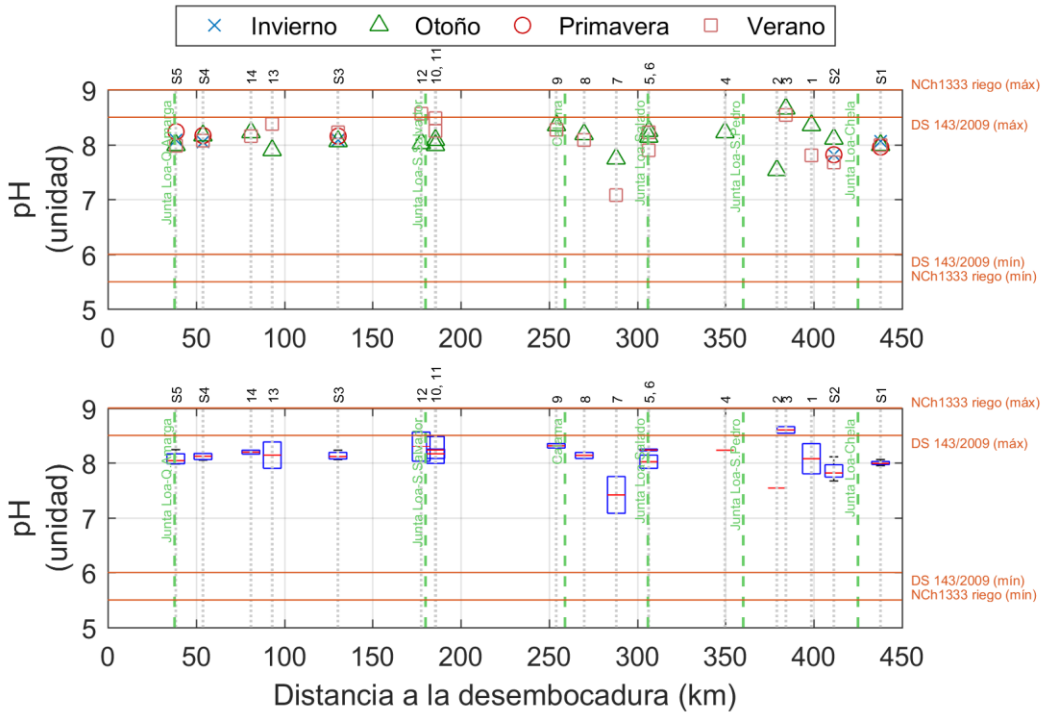


Figura 3.130. Resultados del ph del agua obtenido en las campañas realizadas por el CEA.

De los gráficos de las variables presentados, al hacer la comparación con la Norma NCh1333 (considerando los requisitos para riego y otros usos), se puede apreciar que algunos parámetros están dentro de los rangos de la norma, mientras que otros no. Por ejemplo, en temperatura, pH, coliformes, cobre, plomo y zinc se encuentran dentro de los rangos de la norma. Sin embargo, en conductividad eléctrica, RAS, arsénico, boro, cloruro, nitrógeno total y sulfato se tienen valores fuera de la norma. Se observa que los valores indican que empeora la calidad del agua hacia aguas abajo del río. Por otro lado, se comparan los valores de clorofila con la clasificación trófica, resultando en su mayor parte oligotrófico salvo dos puntos en los cuales se clasificaría como mesotrófico (ver acápite 3.3.4.3)

Es importante notar que, en los gráficos de Cobre disuelto, coliformes fecales y plomo disuelto no se graficó el valor de la norma NCh1333, ya que estaba por sobre los límites del gráfico, es decir, esos parámetros cumplen la norma. Los límites de la norma son 0,20 mg/, 1000 nmp/100ml y 5 mg/l respectivamente. Además, los valores de Cadmio fueron inferior al límite de detección (LD) en todos los casos (<0,001 mg/l), al igual que el Cromo (<0,002 mg/l), Mercurio (<0,001 ó <0,0005 mg/l), Niquel disuelto (<0,003 mg/l) y Nitrito en la mayoría de los casos (<0,1 ó 0,01 mg/l).

La parte superior del río Loa (S1-S2) presentó contenidos bajos de salinidad, sólidos totales disueltos y conductividad eléctrica, y los menores niveles de arsénico, boro, sulfato y cloruro pero, con valores igualmente altos por sobre la norma chilena de riego (NCh1333. Of78). De los nutrientes, el nitrógeno total es mayor respecto al fósforo total y en esta parte del Loa, las concentraciones son mas altas respecto al sector inferior.

En la parte inferior del río Loa (S3-S4) y Quebrada Amarga (S5) se observó un significativo aumento del boro, arsénico, cloruro, sulfato, salinidad, RAS, conductividad y sólidos totales disueltos. Los nutrientes son menores al sector alto y el pH fue moderadamente alcalino.

A lo largo del río Loa se registraron bajos niveles de cadmio, cromo, mercurio, níquel y plomo disuelto, con concentraciones bajo los límites de detección, los cuales no superaron la NCh 1333.Of78.

El aumento de las concentraciones de boro, arsénico y RAS en el sector inferior del río Loa, podría deberse a la influencia que tienen las vertientes termales, de origen volcánico y la presencia del campo geotermal El Tatio que incide sobre las concentraciones del río Salado (Neimeyer, Rojas *et. al* 2006), afluente del río Loa en el sector medio de la cuenca. Esto se corrobora con los resultados de los muestreos en este sector, y que muestra la influencia del río Salado llega al sector inferior del río Loa. Por otra parte, en esta zona (inferior) no hay una dilución por afluentes importantes y las condiciones son extremadamente áridas, con una alta tasa de evaporación. Por lo que el aumento en las concentraciones de boro y arsénico podría deberse a, aportes subterráneos provenientes de la Pampa del Tamarugal (Orellana, 1985); por la presencia de los tranques Sloman y

Santa Fe que contienen metales en sus sedimentos (Rojas *et. al* 2006); y a que el río Loa en esta sección corta unidades geológicas con abundante anhidrita (Rojas *et. al* 2006).

No debe descartase que los contenidos de ciertos elementos si bien tienen un origen natural dada las características geológicas de la zona, también podrían estar controladas por características climáticas de escasa precipitación y alta evaporación, así como una influencia de carácter antropogénica debido a las presiones que tiene el río Loa en la actualidad.

ii. Otra información relevante

Durante la primera campaña de monitoreo fue posible observar una posible contaminación generada por la descarga de aguas tratadas al río San Salvador. Se observaron sectores de aguas grisáceas y en la junta del río San Salvador con el río Loa, donde también se detectó grandes concentraciones de espumas, las cuales podrían generar una idea de la carga de materia orgánica, detergentes, aceites y grasas, tal como se observa en las siguientes Figuras:

Figura 3.131. Rio San Salvador en confluencia con río Loa.

En relación a este mismo tópico durante las reuniones de presentación del estudio, las diversas comunidades indígenas y rurales además de organizaciones civiles de la comuna de Calama declararon que el contexto de contaminación de las aguas tiene larga data y ha tenido un incremento gradual y continuo en conjunto con la incorporación de grandes proyectos asociados al ecosistema fluvial y al aumento de la población en las grandes ciudades, lo cual indica una relación inversamente proporcional entre el desarrollo económico y el desarrollo sustentable.

Figura 3.132. Rio San Salvador aguas arriba de confluencia con río Loa (Coordenadas UTM: 502689E,7517863N).

3.2.2.2 Componentes bióticos asociados al sistema fluvial.

3.2.2.2.1 Caracterización del hábitat

En terreno se realizó una caracterización general del hábitat de cada una de las estaciones de muestreo utilizando un modelo de "ficha descriptiva de hábitat" la cual considera los siguientes grupos de variables:

- *Características del sistema acuático:* considera el levantamiento de características físicas generales del cauce en el punto de muestreo, como son ancho y profundidad, tipo de sustrato, tipos morfológicos del río (rápidos, aguas corrientes, pozones, etc.) y obras de intervención en el cauce (canalización o represas), así como, características generales del agua en el punto de muestreo (olor, presencia de aceites, turbiedad, etc.) y sedimentos (olor, depósitos de material, contenido de materia orgánica gruesa, etc.).
- *Uso de suelo:* este ítem considera el levantamiento de información de características de la cuenca y de las actividades principales que se desarrollan en él.
- *Posibles fuentes de contaminación:* hace alusión a dos posibles fuentes de contaminación en el sistema acuático 1) Puntual: cuando la fuente de contaminación es claramente identificable espacialmente como pueden ser acopios de basura en las riveras, canales o ductos de entrada de riles al río, desagües, etc. 2) Difusa: cuando las fuentes de contaminación actúan en un

ámbito espacial mayor, sin poder ser precisadas en su localización espacial y en su acción temporal, por ejemplo actividades agrícolas donde el uso de fertilizantes y pesticidas en los cultivos son fuentes de contaminación al ser arrastrados a los ríos por las actividades de regadío o en eventos de lluvia donde la erosión puede arrastrar suelo contaminado a los sistemas fluviales, otros ejemplos de contaminación difusa son las actividades ganaderas y mineras en las cuencas. Cuando sea observado algunos de estos usos en la cuenca, se indica que podría existir contaminación difusa.

- *Erosión local*: para esta variable se definen las categorías de Ninguna, cuando las riberas están estabilizadas con vegetación, Moderada, cuando se presenta suelo desnudo con evidencias de erosión de hasta en un 50% del total del sector evaluado y Fuerte, cuando esta última característica se extiende más allá de un 50%.
- *Vegetación:* recoge información respecto del tipo y cobertura de la vegetación de ribera y acuática, además de la cobertura del dosel, entendida como el efecto de sombreo de la vegetación ribereña (cualquiera sea) sobre el curso de agua, en este último caso se describen las categorías de Abierto (0-25%), Semi-abierto (25 -50%), Semi-sombreado (50 – 75%) y Sombreado (75-100%).

El área de estudio presenta distintos tipos de hábitat funcionales para los organismos acuáticos. La parte alta de la cuenca se caracteriza por presentar sectores con condiciones de estructura de ritrón, con una marcada presencia de rápidos y una morfología más abrupta, existiendo solo un canal principal (cauce canalizado), donde además se observan zonas de erosión moderada en las laderas producto del paso del agua (rápidos) como también, tramos del río donde se registra una erosión fuerte producto de los eventos climáticos recientes ocurridos en la zona (lluvias altiplánicas). Mientras que en la sección media y baja del río Loa se observa un mosaico de hábitats generado por el gradiente de velocidad y caudal del agua, formándose pozas de acumulación de materiales y zonas de transición con aguas corrientes.

En general se observa que el sustrato está dominado en la parte alta por bolones y roca madre, mientras que en su sección media y baja se registra mayor ocurrencia de piedras, guijarros y fango.

La vegetación de ribera fue principalmente herbácea y arbustos con dosel abierto, mientras que la vegetación acuática se observan plantas enraizadas y emergentes bordeando las orillas del cauce, como también algas adheridas al sustrato. Esto principalmente en los sectores medios y altos del río Loa.

El detalle de la descripción del hábitat por punto de muestreo se presenta a continuación en tablas que componen “fichas de hábitat”.

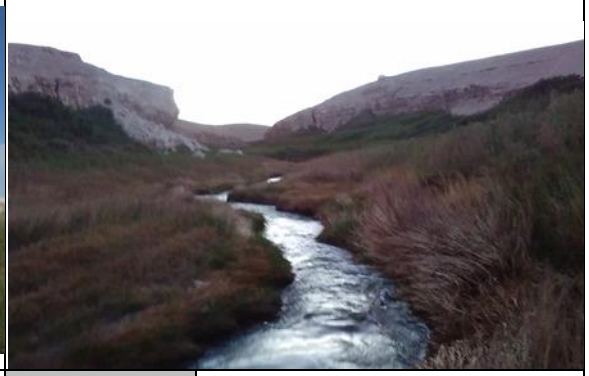
Cuenca	**Río Loa**		**Rio Loa**		**Rio Loa**
Código Punto	**S1_Río_Loa**		**S2_Río_Loa**		**S3_Río_Loa**
Descripción	**Río Loa en Vega Chela**		**Río Loa pared norte de roca madre**		**Río Loa en sector de camping**
Coord. UTM	**WGS84 Huso 19K**		**WGS84 Huso 19K**		**WGS84 Huso 19K**
Este	**532.469**		**533.083**		**440.947**
Norte	**7.640.132**		**7.617.237**		**7.570.933**
Caracterización del cuerpo de agua	Se observan aguas semi-turbias con una morfología del cauce canalizadas. El ancho es de 5 m y profundidad de la columna de agua es de 1,5 m. Presencia de rápidos (80%) y pozones (20%).	**Caracterización del cuerpo de agua**	Se observan aguas semi-turbias con una morfología del cauce homogéneo. El ancho es de 3,1 m con una profundidad de la columna de agua es de 1 m. Presencia de pozones (20%), aguas corrientes (40%) y rápidos (10%).	**Caracterización del cuerpo de agua**	Se observan aguas claras y una morfología del cauce canalizado. Con un ancho de 15 m y una profundidad de la columna de agua de > 1,5 m. Presencia de aguas corrientes (70%), pozones (20%) y rápidos (10%).
Cuenca	**Vegetación de ribera**	**Cuenca**	**Vegetación de ribera**	**Cuenca**	**Vegetación de ribera**
Uso natural, sin contaminación y moderada erosión local.	Herbáceas y arbustos con dosel cerrado.	Uso natural, sin contaminación y moderada erosión local.	Herbáceas y arbustos con dosel abierto.	Uso de camping y extracción de agua. Sin contaminación y moderada erosión loca.	Arbustos con dosel abierto.
Vegetación acuática	**Sustrato de fondo**	**Vegetación acuática**	**Sustrato de fondo**	**Vegetación acuática**	**Sustrato de fondo**
Se observan algas adheridas al sustrato y enraizadas sub-emergentes.	Dominado por guijarros, piedras y bolones.	Se observa vegetación enraizadas y emergentes.	Dominado por roca madre. Se observan depósitos de fango.	Se observan algas adheridas al sustrato.	Dominado por fango y piedras.

Cuenca	Río Loa	Rio Loa	Rio Loa
Código Punto	S4_Río_Loa	5_Río Loa	1_Río_Loa
Descripción	Río Loa	Río Loa en Chiuchiu	Rio Loa
Coord. UTM	WGS84 Huso 19K	WGS84 Huso 19K	WGS84 Huso 19K
Este	430939	420821	534984
Norte	7625704	7631117	7605268
Caracterización del cuerpo de agua	Se observan aguas claras con una morfología del cauce canalizado. El ancho es de 15 m y una profundidad de la columna de agua es de 1,20 m. Presencia de aguas corrientes (90%) y pozones (90%).	Caracterización del cuerpo de agua	Se observan aguas semi-turbias con una morfología del cauce homogéneo. El ancho es de 5 m y una profundidad de la columna de agua es de 0,30 m. Presencia de aguas corrientes (80%), pozones (10%) y rápidos (10%).	Caracterización del cuerpo de agua	Se observan aguas semi-turbias con una morfología del cauce homogéneo. El ancho es de 5 m con una profundidad de la columna de agua es de 0,50 m. Presencia de aguas corrientes (0%), pozones (10%) y rápidos (20%).

Cuenca	Vegetación de ribera	Cuenca	Vegetación de ribera	Cuenca	Vegetación de ribera
Uso natural, con sectores con contaminación puntual (basura) y moderada erosión local.	Herbáceas con dosel cerrado.	Uso ganadería y agricultura, sin contaminación y moderada erosión local.	Herbáceas y arbustos con dosel abierto.	Uso natural. Sin contaminación y moderada erosión loca.	Herbáceas con dosel abierto.
Vegetación acuática	**Sustrato de fondo**	**Vegetación acuática**	**Sustrato de fondo**	**Vegetación acuática**	**Sustrato de fondo**
Se observan algas adheridas al sustrato.	Dominado por grava y guijarros. Se observan depósitos de fango.	Se observa vegetación enraizadas y emergentes sin algas adheridas al sustrato.	Dominado por piedras y rodados. Se observan depósitos de arena.	Se observa vegetación enraizadas y emergentes con algas adheridas al sustrato.	Dominado por roca madre, rodados y guijarros. Se observan depósitos de arena.

Cuenca	**Río Loa**		**Rio Loa**		**Rio Loa**
Código Punto	**3_Río_San pedro**		**3_Río Loa (Alternativo)**		**S5_Quebrada_Amarga**
Descripción	**Río tributario**		**Río Loa en vado Santa Bárbara**		**Río Loa**
Coord. UTM	**WGS84 Huso 19K**		**WGS84 Huso 19K**		**WGS84 Huso 19K**
Este	**550165**		**540346**		**539127**
Norte	**7573071**		**7570066**		**7563977**
Caracterización del cuerpo de agua	Se observan aguas claras turbulentas con una morfología del cauce canalizado. El ancho es de 2 m con una profundidad de la columna de agua es > 1 m. Presencia de rápidos (100%).	**Caracterización del cuerpo de agua**	Se observan aguas semi-turbias con una morfología del cauce homogéneo. El ancho es de 10 m y la profundidad de la columna de agua es de 0,20 m. Presencia de aguas corrientes (60%), pozones (20%) y rápidos (20%).	**Caracterización del cuerpo de agua**	Se observan aguas claras con una morfología del cauce homogéneo. El ancho es de 4 m y la profundidad de la columna de agua es de 0,40 m. Presencia de aguas corrientes (100%).
Cuenca	**Vegetación de ribera**	**Cuenca**	**Vegetación de ribera**	**Cuenca**	**Vegetación de ribera**
Uso natural, sin contaminación y moderada erosión local.	Herbáceas y arbustos con dosel cerrado semi-sombreado.	Uso natural, sin contaminación y fuerte erosión local.	Escasas herbáceas con dosel abierto.	Uso natural. Sin contaminación y moderada erosión loca.	Herbáceas con dosel cerrado.
Vegetación acuática	**Sustrato de fondo**	**Vegetación acuática**	**Sustrato de fondo**	**Vegetación acuática**	**Sustrato de fondo**
Se observa vegetación enraizadas y emergentes sin algas adheridas al sustrato.	Dominado por roca madre.	Se observa vegetación enraizadas y emergentes sin algas adheridas al sustrato.	Dominado por piedras, rodados y grava. Se observan depósitos de arena.	Se observa vegetación enraizadas y emergentes con algas adheridas al sustrato.	Dominado por fango.

Cuenca	**Río Loa**	**Rio Loa**	**Rio Loa**
Código Punto	**8_Río_Loa**	**6_Río_Salado**	**7_Río_Loa**

Descripción	Río Loa en Calama	Tributario	Río Loa antes de Calama
Coord. UTM	WGS84 Huso 19K	WGS84 Huso 19K	WGS84 Huso 19K
Este	511183	536369	527000
Norte	7517888	7526239	7516301
			
Caracterización del cuerpo de agua	Se observan aguas claras con una morfología del cauce canalizado. El ancho es de 10 m y la profundidad de la columna de agua >1 m. Presencia de aguas corrientes (100%).	Caracterización del cuerpo de agua	Se observan aguas claras con una morfología del cauce canalizado. El ancho es de 5 m y la profundidad de la columna de agua es de 0,30 m. Presencia de aguas corrientes (100%).	Caracterización del cuerpo de agua	Se observa aguas turbias con una morfología del cauce homogéneo. El ancho es de 5 m y la profundidad de la columna de agua es de 1,60 m. Presencia de aguas corrientes (70%), pozones (20%) y rápidos (10%).
Cuenca	Vegetación de ribera	Cuenca	Vegetación de ribera	Cuenca	Vegetación de ribera
Uso residencial, se observa contaminación puntual y difusa y fuerte erosión local.	Herbáceas con dosel abierto.	Uso agricultura y ganadería, sin contaminación y moderada erosión local.	Herbáceas con dosel abierto.	Uso ganadería. Sin contaminación y moderada erosión local. Olor a aguas servidas, espumas y aceites en el sedimentos.	Herbáceas con dosel cerrado.
Vegetación acuática	Sustrato de fondo	Vegetación acuática	Sustrato de fondo	Vegetación acuática	Sustrato de fondo
Se observa vegetación enraizadas y emergentes con abundantes algas adheridas al sustrato.	Dominado por fango.	Se observa vegetación enraizadas y emergentes con abundantes algas adheridas al sustrato.	Dominado por fango.	Se observa vegetación enraizadas y emergentes con algas flotantes.	Dominado por fango.

Cuenca	Río Loa	Rio Loa	Rio Loa

Código Punto	9_Río_Loa	10_Río_Loa	11_Río_Salvador
Descripción	Río Loa	Río Loa	Estación DGA
Coord. UTM	WGS84 Huso 19K	WGS84 Huso 19K	WGS84 Huso 19K
Este	500986	445607	445953
Norte	7510906	7522999	7523068
Caracterización del cuerpo de agua	Se observan aguas turbias con una morfología del cauce canalizada. El ancho del cauce es de 5 m con una profundidad de la columna de agua > 1,5 m Presencia de aguas corrientes (60%) y pozones (40%).	Caracterización del cuerpo de agua: Se observan aguas claras con una morfología del cauce canalizada. El ancho es del cauce es de 15 m y la profundidad de la columna de agua es de 1,5 m. Presencia de aguas corrientes (100%).	Caracterización del cuerpo de agua: Se observan aguas semi-turbias con una morfología del cauce canalizada. El ancho es de 2 m con una profundidad de 0,70 m. Presencia de rápidos (70%) y aguas corrientes (30%).
Cuenca	Vegetación de ribera	Cuenca	Vegetación de ribera	Cuenca	Vegetación de ribera
Uso camping, se observa contaminación puntual y moderada erosión local.	Herbáceas con dosel abierto.	Uso natural, no se observa contaminación y presenta una moderada erosión local.	Herbáceas con dosel abierto.	Uso natural. Sin contaminación y moderada erosión local.	Herbáceas y arbustos con dosel abierto semi-sombreado. .
Vegetación acuática	Sustrato de fondo	Vegetación acuática	Sustrato de fondo	Vegetación acuática	Sustrato de fondo
Se observan algas adheridas al sustrato.	Dominado por arena y fango.	Se observan algas adheridas al sustrato.	Dominado por fango.	Se observa vegetación enraizadas y emergentes con algas flotantes.	Dominado por piedras y arena.

Cuenca	Río Loa	Rio Loa	Rio Loa
Código Punto	12_Río_Loa	13_Río_Loa	14_Río_Loa
Descripción	Río Loa	Río Loa Bocatoma	Río Loa

Coord. UTM	WGS84 Huso 19K	WGS84 Huso 19K	WGS84 Huso 19K
Este	441708	446382	443088
Norte	7528654	7598572	7607536
Caracterización del cuerpo de agua	Se observan aguas semi-turbias con una morfología del cauce canalizada. El ancho del cauce es de 5 m con una profundidad de la columna de agua > 1,5 m Presencia de aguas corrientes (90%) y pozones (10%).	**Caracterización del cuerpo de agua**	Se observan aguas claras con una morfología del cauce canalizada. El ancho es del cauce es de 25 m y la profundidad de la columna de agua es de 1,20 m. Presencia de aguas corrientes (70%), pozones (25%) y rápidos (5%).	**Caracterización del cuerpo de agua**	Se observan aguas claras con una morfología del cauce canalizada. El ancho es de 20 m con una profundidad de 0,80 m. Presencia de aguas corrientes (100%).
Cuenca	**Vegetación de ribera**	**Cuenca**	**Vegetación de ribera**	**Cuenca**	**Vegetación de ribera**
Uso camping, se observa contaminación puntual y difusa con moderada erosión local. Olor del sedimento a aguas servidas.	Arbustos con dosel abierto.	Uso sector de bocatoma de agua, no se observa contaminación y presenta una moderada erosión local.	Arbustos con dosel abierto.	Uso camping. Presenta Sectores con contaminación puntual y difusa, con una moderada erosión local.	Arbustos y herbáceas con dosel abierto.
Vegetación acuática	**Sustrato de fondo**	**Vegetación acuática**	**Sustrato de fondo**	**Vegetación acuática**	**Sustrato de fondo**
Se observan algas adheridas al sustrato.	Dominado por arena y fango.	Se observan algas adheridas al sustrato.	Dominado por piedras y arena.	Se observa vegetación enraizadas y emergentes, con algas adheridas al sustrato.	Dominado por fango.

3.2.2.2.2 Fauna Íctica

i. Campaña Invierno

Simultáneamente con el muestreo de calidad de agua, en los mismos 5 puntos, cuyas coordenadas son especificadas en la Tabla 3.39, se realizó la toma de muestras biológicas. Se realizó pesca eléctrica y se tomaron muestras de agua y sedimentos para posteriormente ser enviados a laboratorio y poder analizar la composición y abundancia de fitobentos, zoobentos e ictiofauna. El protocolo de muestreo respectivo se detalla en la Tabla 3.43.

Tabla 3.43. Protocolo de muestreo biológico

Laboratorio	Componente	Parámetro	Preservante
CEA	Fitobentos (Diatomeas)	Composición y abundancia	Formalina 4%
	Zoobentos (macroinvertebrados bentónicos)	Composición y abundancia	Alcohol 70%
	Fauna Íctica (Pesca Eléctrica)	Composición y abundancia	Formalina 10%

Los resultados del análisis de la ictiofauna en cuanto a su composición y abundancia en la campaña de invierno se resumen en la Tabla 3.44. Durante esta campaña,realizada en septiembre de 2018, se evaluaron solo 5 puntos de muestreo, se reportó sólo la especie íctica introducida *Oncorhynchus mykiss* (ver Figura 3.133), la que no fue capturada, sino que avistada en los puntos S1 y S2 en la cuenca alta del río Loa por lo que se reporta como presencia en la Tabla 3.44. En los restantes puntos de muestreo no hubo ni avistamientos ni colectas efectivas de peces con el arte de la pesca eléctrica. La trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) corresponde a una especie introducida que, según gente residente en la zona, fue “cultivada hace bastantes años”.

Tabla 3.44. Presencia de peces (+) en puntos de muestreo en el área de estudio de la cuenca del río Loa. septiembre 2018.

Taxa / Puntos de muestreo	Loa Alto		Loa Bajo		
	S1	S2	S3	S4	S5
Oncorhynchus mykiss	+	+			
Riqueza	1	1	0	0	0
Abundancia	-	-	0	0	0

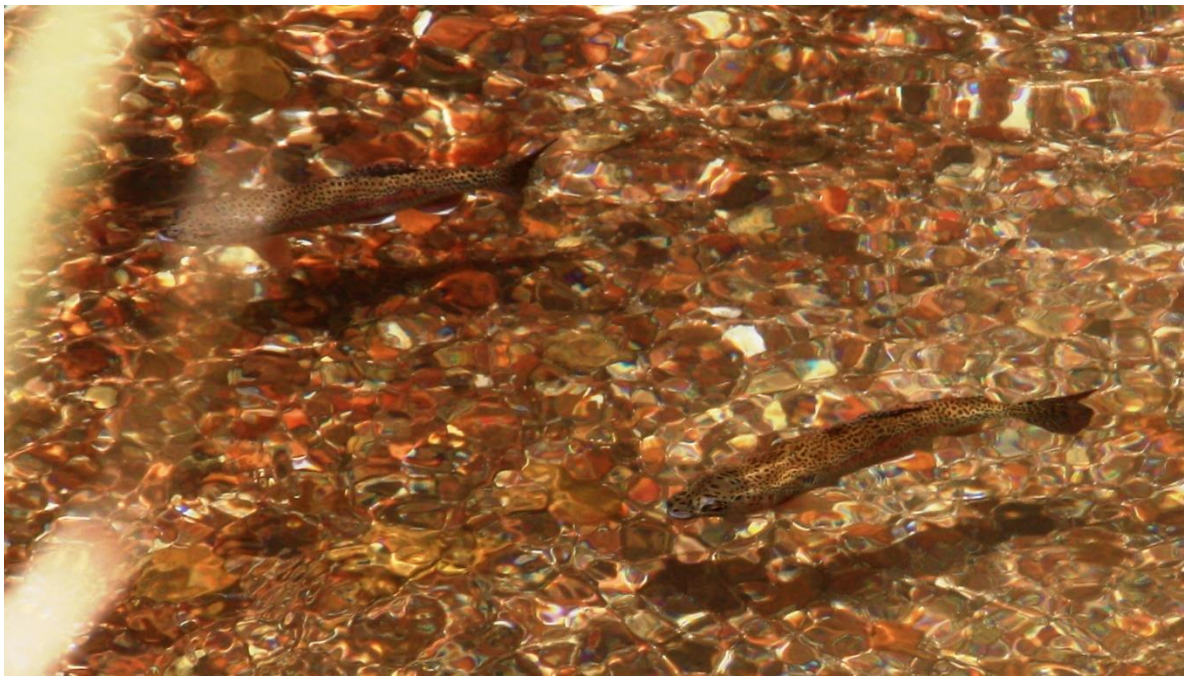


Figura 3.133. *Oncorhynchus mykiss* observadas en el punto "S2_Río Loa".

ii. Campaña Verano (Caudal Alto)

Los resultados del análisis de la ictiofauna en cuanto a su composición y abundancia en la campaña de verano (marzo 2019), se resumen en la Tabla 3.46. Por otra parte, la Tabla 3.45 resume los datos de la morfometría de los peces capturados, la longitud total, peso total y factores de condición de los ejemplares, este último un índice de la robustez o gordura de los peces.

En esta campaña, realizada en marzo de 2019, nuevamente hubo avistamientos sin colecta de peces de *O. mykiss*, adicionándose en este caso también avistamientos sin colecta de una segunda especie introducida, *Gambusia affinis*, aunque esta última especie si presentó colectas efectivas en algunos de los puntos de muestreo (Tabla 3.46). La especie *O. mykiss* se segregó hacia la cuenca media a alta, con presencia en los puntos S1, S2 y 7, mientras que *G. affinis* se segregó hacia la cuenca media a baja, con presencia en los puntos 10, 12, S3, 14, S4 y S5. Entre los puntos donde hubo colectas efectivas de peces (12, S3 y S4) destacó el punto 12 donde se reportó la mayor captura por unidad de esfuerzo (CPUE), un total de 0,20 ind/m^2 correspondiente a la captura exclusiva de *G. affinis* en este punto.

Tabla 3.45. Morfometría de peces capturados en la campaña de marzo de 2019. LT = Longitud total (cm), PT = Peso total (g), K = Factor de condición.

Especie	LT (cm)	PT (g)	K	Estación	Arte de pesca
Oncorhynchus mykiss	-	-	-	1-Río Loa	Avistamiento
Oncorhynchus mykiss	-	-	-	S1-Río Loa	Avistamiento
Gambusia affinis	1,5	<0,1	-	S3-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	1,6	<0,1	-	S3-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	2,9	0,3	12,3	S4-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	2,1	0,1	10,8	S4-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	2,2	0,1	9,4	S4-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	2,3	0,1	8,2	S4-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	-	-	-	10-Río Loa	Avistamiento
Gambusia affinis	1,4	<0,1	-	12-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	1,5	<0,1	-	12-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	1,7	<0,1	-	12-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	1,7	<0,1	-	12-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	1,8	<0,1	-	12-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	1,9	<0,1	-	12-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	1,9	0,1	14,6	12-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	2,0	0,1	12,5	12-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	2,1	0,1	10,8	12-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	2,4	0,1	7,2	12-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	-	-	-	14-Río Loa	Avistamiento
Gambusia affinis	-	-	-	S5-Qda Amarga	Avistamiento
Oncorhynchus mykiss	-	-	-	9-Río Loa	Avistamiento

Tabla 3.46. Presencia (+) o abundancia de peces (ind/m^2) en puntos de muestreo en el área de estudio de la cuenca del río Loa. Marzo 2019.

Especie /	Loa Alto								Loa Medio						Loa Bajo				
Puntos muestreo	S1	S2	1	2*	3**	4*	5	6	7	8	9	10	11	12	S3	13	14	S4	S5
Gambusia affinis												+		0,20	0,03		+	0,08	+
Oncorhynchus mykiss	+		+						+										
Riqueza	1	0	1	-	0	-	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1
Abundancia	-	0,0	-	-	0,0	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	-	0,0	0,20	0,03	0,0	-	0,08	-

*Puntos 2 y 4 sin evaluación en marzo 2019.

** Punto 3 punto alternativo de muestreo en río Loa

iii. Campaña Otoño (Caudal Bajo)

Los resultados del análisis de la ictiofauna en cuanto a su composición y abundancia en la campaña de otoño (mayo 2019), se resumen en la Tabla 3.47. Por otra parte, la Tabla 3.48 resume los datos de la morfometría de los peces capturados, la longitud total, peso total y factores de condición de los ejemplares, este último un índice de la robustez o gordura de los peces.

Figura 3.134. *Gambusia affinis* observadas en terreno.

En la última campaña otoño, realizada en mayo 2019, se registraron 3 especies de peces, las especies introducidas *O. mykiss* y *G. affinis* ya descritas en al menos una de las campañas previas y la especie nativa *Basilichthys semotilus* reportada por primera vez en esta campaña en el punto 10 (Tabla 3.47). Nuevamente se observó segregación con *O. mykiss* reportado hacia la cuenca media a alta, con presencia en los puntos S1, S2, 1, 2 y 9, y *G. affinis* hacia la cuenca media a baja, con presencia en los puntos 10, S3 y S5, mientras que *B semotilus* fue detectado exclusivamente en el punto 10. Entre los puntos de muestreo destacó el punto S1 y el punto 10, el primero con la mayor abundancia total de peces, una densidad de 1,03 ind/m^2, determinada exclusivamente por colectas de *O. mykiss* y el segundo por ser el único punto donde se detectaron dos especies de peces, destacando en particular la presencia *B. semotilus* que corresponde a una especie nativa de Chile y Perú con una categoría de conservación en Chile correspondiente a “En Peligro” de acuerdo al Decreto Supremo N° 51 (DS 51/ 2008 MINSEGPRES).

Es importante mencionar que la especie nativa *Basilichthys semotilus*, se ha sido cuestionada por diversos autores. *La población existente en el Río Loa es considerada una nueva especie, hermana de las demás especies del grupo semotilus y está en proceso de descripción* (DYER, 1997, 2000). Esto mismo es discutido también por Veliz et al (2012).

Tabla 3.47. Presencia (+) o abundancia de peces (ind/m^2) en puntos de muestreo en el área de estudio de la cuenca del río Loa. Mayo 2019.

Especie /	Loa Alto								Loa Medio						Loa Bajo				
Puntos muestreo	**S1**	**S2**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11***	**12**	**S3**	**13**	**14**	**S4**	**S5**
Basilichthys semotilus												0,03							
Gambusia affinis												0,10			0,17				0,12
Oncorhynchus mykiss	1,03	0,10	0,05	0,78							+								
Riqueza	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	2	-	0	1	0	0	0	1
Abundancia	1,03	0,10	0,05	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,13	-	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,12

*Punto 11 sin evaluación en mayo 2019.

Tabla 3.48 Morfometría de peces capturados en la campaña de mayo de 2019. LT = Longitud total (cm), PT = Peso total (g), K = Factor de condición.

Especie	LT (cm)	PT (g)	K	Estación	Arte de pesca
Oncorhynchus mykiss	11,9	16,2	9,6	S2-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	10,6	13,1	11,0	S2-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	25,0	175,0	11,2	S2-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	19,3	88,0	12,2	S2-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	11,6	19,2	12,3	S2-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	14,7	38,2	12,0	S2-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	16	36,8	9,0	S2-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	10,5	14,2	12,3	S2-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	9,5	9,0	10,5	1-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	9,9	7,8	8,0	1-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	9,2	8,8	11,3	1-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	18,5	78,0	12,3	1-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	18,5	71,4	11,3	1-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	15,9	51,2	12,7	2-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	8,7	7,5	11,4	2-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	9,4	9,0	10,8	2-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	11,6	19,2	12,3	2-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	14,7	38,2	12,0	2-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	8,6	5,8	9,1	2-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	10,5	14,2	12,3	2-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	11,7	17,9	11,2	2-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	18,5	71,4	11,3	2-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	15,7	44,9	11,6	2-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	15,7	44,9	11,6	S1-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	20,8	107,1	11,9	S1-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	17,6	52,7	9,7	S1-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	12,5	22,8	11,7	S1-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	10,3	12,4	11,3	S1-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	12	19,4	11,2	S1-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	12,6	23,6	11,8	S1-Río Loa	P. eléctrica

Especie	LT (cm)	PT (g)	K	Estación	Arte de pesca
Oncorhynchus mykiss	9,5	9,3	10,8	S1-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	14,2	31,8	11,1	S1-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	18,7	73,5	11,2	S1-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	13,6	31,0	12,3	S1-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	15	36,3	10,8	S1-Río Loa	P. eléctrica
Oncorhynchus mykiss	-	-	-	9-Río Loa	Avistamiento
Basilichthys semotilus	1,5	<0,1	-	10-Río Loa	P. eléctrica
Basilichthys semotilus	1,6	<0,1	-	10-Río Loa	P. eléctrica
Basilichthys semotilus	1,8	<0,1	-	10-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	1,6	<0,1	-	10-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	1,7	<0,1	-	10-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	1,7	<0,1	-	10-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	1,5	<0,1	-	10-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	1,7	<0,1	-	10-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	1,7	<0,1	-	10-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	1,7	<0,1	-	10-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	1,7	<0,1	-	10-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	1,8	<0,1	-	10-Río Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	6,5	3,6	13,1	S3-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	2,9	0,3	12,3	S3-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	2,9	0,2	8,2	S3-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	3,0	0,3	11,1	S3-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	3	0,2	7,4	S3-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	3,2	0,3	9,2	S3-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	3,7	0,4	7,9	S3-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	3,9	0,7	11,8	S3-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	4	0,7	10,9	S3-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	4	0,7	10,9	S3-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	4,1	0,7	10,2	S3-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	4,2	0,7	9,4	S3-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	4,2	0,5	6,7	S3-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	4,4	1,0	11,7	S3-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	4,4	0,8	9,4	S3-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	4,5	0,9	9,9	S3-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	4,5	1,0	11,0	S3-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	9,0	10,0	13,7	S5-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	7,3	3,6	9,3	S5-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	8,8	8,6	12,6	S5-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	3,7	0,4	7,9	S5-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	3,9	0,7	11,8	S5-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	4	0,7	10,9	S5-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	4	0,7	10,9	S5-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	4,1	0,7	10,2	S5-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	4,2	0,8	10,8	S5-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	4,2	0,5	6,7	S5-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	4,4	0,8	9,4	S5-Rìo Loa	P. eléctrica
Gambusia affinis	4,4	0,8	9,4	S5-Rìo Loa	P. eléctrica

iv. Campaña Primavera

Los resultados del análisis de la ictiofauna en cuanto a su composición y abundancia en la campaña de primavera (noviembre 2019), se resumen en la Tabla 3.49. Por otra parte, la Tabla 3.50 resume los datos de la morfometría de los peces capturados, la longitud total, peso total y factores de condición de los ejemplares, este último un índice de la robustez o gordura de los peces.

Figura 3.135. Hábitat de *Basilichthys semotilus* observados en Ojo de Opache.

En la última campaña correspondiente a la estación de primavera, se registraron 3 especies de peces, las especies introducidas *O. mykiss* y *G. affinis* ya descritas en al menos una de las campañas previas y la especie nativa *Basilichthys semotilus* reportada por primera vez en la campaña de otoño, esta vez en el sector de Ojo de Opache (Tabla 3.49). Este sector se realizó de manera extraordinaria en esta campaña, ya que por comentarios recibidos de personas locales, existía la posibilidad de encontrar pejerreyes. Nuevamente se observó segregación con *O. mykiss* reportado hacia la cuenca alta, con presencia en el punto S1, y *G. affinis* hacia la cuenca media a baja, con presencia en los puntos S3 y S4, mientras que *B semotilus* fue detectado exclusivamente en el punto Ojo de Opache, el cual no fue capturado en esta campaña.

Tabla 3.49. Presencia (+) o abundancia de peces (ind/m^2) en puntos de muestreo en el área de estudio de la cuenca del río Loa. Noviembre 2019.

Especie / Puntos muestreo	Loa Alto		Loa Bajo			Ojo Opache (Adicional cuenca media)
	S1	S2	S3	S4	S5	
Basilichthys semotilus						0,75
Gambusia affinis			0,38	0,23		
Oncorhynchus mykiss	0,03					
Riqueza	1	0	1	1	0	1
Abundancia	0,03	0,00	0,38	0,23	0,00	0,75

Tabla 3.50 Morfometría de peces capturados en la campaña de mayo de 2019. LT = Longitud total (cm), PT = Peso total (g), K = Factor de condición.

Especie	LT (cm)	PT (g)	K	Estación	Arte de pesca
Gambusia_affinis	5.7	2.4	12.96	S3_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	5.8	2.9	14.86	S3_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	5.9	3.5	17.04	S3_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	6.6	4.6	16.00	S3_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	6.2	3.1	13.01	S3_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	5.8	2.5	12.81	S3_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	5.6	2.5	14.24	S3_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	5.8	2.8	14.35	S3_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	5.6	2.4	13.67	S3_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	6.3	3.4	13.60	S3_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	5.6	2.7	15.37	S3_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	5.1	1.7	12.82	S3_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	5.5	2.1	12.62	S3_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	4.9	1.8	15.30	S3_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	5.6	2.5	14.24	S3_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	4.6	1.4	14.38	S3_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	4.7	1.5	14.45	S3_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	5.8	2.7	13.84	S3_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	5	1.6	12.80	S3_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	4.8	1.3	11.75	S3_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	4.1	0.7	10.16	S3_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	2.7	0+	-	S3_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	4.6	1.1	11.30	S4_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	4.6	1.4	14.38	S4_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	4.5	1.3	14.27	S4_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	4.7	2.0	19.26	S4_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	4.0	0.9	14.06	S4_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	4.4	1.1	12.91	S4_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	4.3	1.0	12.58	S4_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	4.2	1.0	13.50	S4_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	4.2	1	13.50	S4_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	4.5	1.1	12.07	S4_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	4.5	1	10.97	S4_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	4.6	1.5	15.41	S4_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	3.4	0.2	5.09	S4_Río_Loa	Captura manual
Gambusia_affinis	2.7	0+	-	S4_Río_Loa	Captura manual
Oncorhynchus_mykiss	15.5	19	5.10	S1_Río_Loa	Pesca eléctrica
Oncorhynchus_mykiss	16.5	43	9.57	S1_Río_Loa	Pesca eléctrica
Basilichthys semotilus	-	-	-	Ojo_Opache	Avistamiento

En la Tabla 3.51, se presenta un resumen de los avistamientos de especies de la totalidad de las campañas realizadas por el CEA en el marco de este estudio.

Tabla 3.51. Presencia (X) de peces en puntos de muestreo en el área de estudio de la cuenca del río Loa.

Especie /	Loa Alto								Loa Medio							Loa Bajo				
Puntos muestreo	S1	S2	1	2	3	4	5	6	7	8	Ojo Opache	9	10	11	12	S3	13	14	S4	S5
Basilichthys semotilus											x		x							
Gambusia affinis													x		x	x		x	x	x
Oncorhynchus mykiss	x	x	x	x					x			x								

*X: Avistamiento en al menos una campaña de monitoreo.

A continuación, presentan gráficamente los avistamientos de peces en la cuenca, donde además se incluyen los avistamientos de antecedentes bibliográficos:

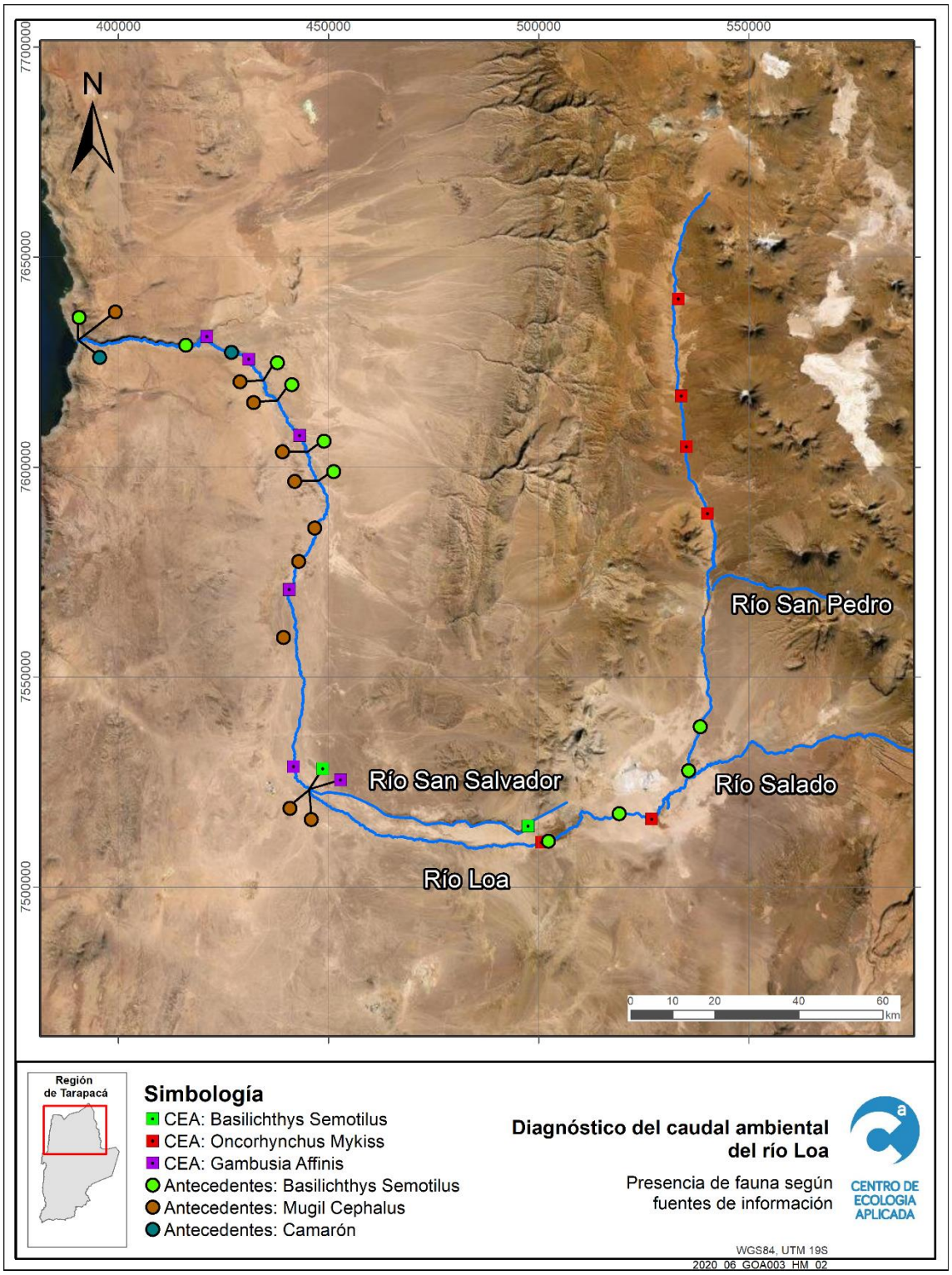


Figura 3.136. Presencia de fauna íctica, recopilada de bibliografía y terrenos CEA.

3.2.2.2.3 Fitobentos

i. Campaña Invierno

Los resultados del análisis del fitobentos en cuanto a su composición y abundancia en la campaña de invierno (septiembre 2018) evaluadas en el área de estudio se resumen en la Tabla 3.52**.** Durante esta campaña, se evaluaron solo 5 puntos de muestreo, en los cuales se reportó un total de 53 especies de diatomeas (Tabla 3.52). *Nitzschia spp.* fue el taxa mejor representado al estar presente en todos los puntos de muestreo y presentar la mayor abundancia promedio en los puntos, un total de 437,9 cél/mm^2. Entre los puntos de muestreo el punto S1 destacó como el más pobre en fitobentos al presentar la menor riqueza y abundancia de diatomeas, 14 especies y 77,3 cél/mm^2 respectivamente. Por otra parte, el punto S2 destacó como aquel con la mayor riqueza, 22 especies, mientras que el punto S3 fue aquel con la mayor abundancia, una densidad total de 2939,6 cél/mm^2.

Tabla 3.52. Abundancia de taxa fitobentónicos (cél/mm^2) en puntos de muestreo en el área de estudio de la cuenca del río Loa. Septiembre 2018.

Especies / Puntos muestreo	Loa Alto		Loa Bajo		
	S1	S2	S3	S4	S5
Achnanthes coarctata		7,1			
Achnanthidium gracillimum		14,1			
Achnanthidium minutissimum		384,9			13,6
Aulacoseira subarctica	4,5				
Caloneis sp.			58,8		
Campylodiscus bicostatus			5,0		
Cocconeis euglypta	6,5	25,0	5,0	6,9	314,3
Cocconeis placentula					2,7
Cocconeis sp.					42,0
Cyclotella sp.			14,6		2,7
Cymbella pusilla			139,0	22,7	31,1
Denticula sp.					2,7
Denticula subtilis			5,0		59,5
Diploneis sp.				2,4	31,1
Encyonopsis sp.		28,2			
Gomphonema augur		7,1			
Gomphonema sp.		28,2			
Halamphora carvajaliana				6,5	
Halamphora coffeaeformis			61,5	109,4	
Halamphora sp.			11,0	46,5	113,6
Haloroundia speciosa				4,5	
Hyalodiscus sp.			5,0	13,4	
Luticola sp.	2,2	6,0			
Mastogloia elliptica				161,9	
Mastogloia smithii				2,4	

Especies / Puntos muestreo	Loa Alto		Loa Bajo		
	S1	S2	S3	S4	S5
Melosira varians		14,1			
Navicula cryptotenella		5,4		2,2	13,6
Navicula gregaria	1,6	32,0			
Navicula salinicola		7,1			
Navicula sp.		12,5	9,9		13,6
Navicula tripuntacta	3,8	20,1			2,7
Navicula veneta		7,1			
Navicula viridula	2,4	42,3			
Nitzschia commutata		13,0			
Nitzschia dissipata					2,7
Nitzschia inconspicua		27,1	24,9		2,7
Nitzschia spp.	21,0	507,0	1580,5	6,5	74,5
Nitzschia vitrea	1,6	35,3			
Pinnularia sp.	6,7	6,0			
Placoneis sp.			21,7		
Planothidium delicatulum		7,1	139,2		
Planothidium frequentissimum	2,2	138,4			
Planothidium lanceolatum	10,5	77,6	23,0		5,4
Planothidium sp.	0,8				
Pseudostaurosira brevistriata			101,9		8,1
Rhoicosphenia abbreviata		7,1			
Rhopalodia musculus			620,0	734,1	
Rhopalodia sp.			5,0		
Staurosirella pinnata	11,1		9,6		
Surirella sella				2,2	
Tabellaria fenestrata					2,7
Tabularia fasciculata			99,0	6,7	85,2
Ulnaria ulna	2,5	21,2			2,7
Riqueza	**14**	**26**	**20**	**15**	**21**
Abundancia	**77,3**	**1480,9**	**2939,6**	**1128,3**	**827,4**

ii. Campaña Verano (Caudal Alto)

Los resultados del análisis del fitobentos en cuanto a su composición y abundancia en la campaña de verano (marzo 2019) evaluadas en el área de estudio se resumen en la Tabla 3.53. En esta campaña, con una evaluación de 17 de los 19 puntos propuestos (no se pudo acceder a los puntos 2 y 4 del río Loa) se registraron un total de 90 especies (Tabla 3.53). Nuevamente Nitzschia spp. fue el taxa mejor representado al presentarse en todos los puntos evaluados y presentar la mayor abundancia promedio en los puntos, un total de 1325,2 cél/mm2. Por otra parte, los puntos 1 y 5 destacaron como los más pobres en cuanto al número de especies descritas, con 12 y 11 especies respectivamente, mientras que los puntos 6 y 7 fueron los más ricos con 27 especies cada uno de ellos. En cuanto a la abundancia, el punto 8 fue aquel que reportó el menor valor en el área de estudio con una densidad de 82,9 cél/mm2, mientras que la máxima abundancia se reportó en el punto 13 con 26380,0 cél/mm2.

Tabla 3.53. Abundancia de taxa fitobentónicos (cél/mm^2) en puntos de muestreo en el área de estudio de la cuenca del río Loa. Marzo 2019.

Especies / Puntos muestreo	Loa Alto								Loa Medio						Loa Bajo				
	S1	S2	1	2*	3	4*	5	6	7	8	9	10	11	12	S3	13	14	S4	S5
Achnanthidium exiguum	0,8												1,7						
Achnanthidium minutissimum		85,5	2,2				85,5	1,3		13,2	132,1	54,3	152,9	227,4	13,8	174,8	108,6		59,7
Achnanthidium rivulare	9,0				184,6					3,1									
Achnanthidium sp.		5,2	6,4						21,7	1,6			12,2					2,7	
Amphora indistincta					369,1														
Amphora spp.	58,3	5,2			222,6														
Caloneis bacillum												54,3							
Campylodiscus bicostatus																	208,3		
Centrales indet.														1041,5	759,8	1405,6	59,7	3,0	
Cocconeis euglypta	53,2		2,3						597,1	1,6		108,6	13,1						488,6
Cocconeis lineata	96,4	2,6			374,6			1,7	1362,6	1,6	3,8	54,3	1,7	359,8		174,8	470,9		271,4
Cocconeis sp.	45,1		1,8					4,9	1764,3	1,6	63,7	460,8	16,6	397,8	27,6	197,5	54,3	2,7	559,1
Craticula cuspidata									59,7										
Craticula sp.											7,6								
Cyclotella meneghiniana			4,7					2,4		1,6	15,2	189,4		796,2	13,8	786,4	696,2	36,3	
Cyclotella sp.																			
Denticula sp.		6,0						2,4	59,7								54,3	10,6	336,6
Denticula valida								4,9											380,0
Diatoma ehrenbergii															13,8				
Diatoma moniliformis		2,6					15,6			6,0			0,9						
Diploneis smithii var dilatata								0,6									208,3		
Encyonema silesiacum					92,3		7,8												
Epithemia adnata								6,1	21,7										

Especies / Puntos muestreo	Loa Alto								Loa Medio						Loa Bajo				
	S1	S2	1	2*	3	4*	5	6	7	8	9	10	11	12	S3	13	14	S4	S5
Epithemia sp.								3,7											
Epithemia turgida								0,6											
Fragilaria spp.		5,2			184,6		15,6	4,9	260,6			189,4	0,9		13,8				
Fragilaria vaucheriae									200,9	6,2		108,6	0,9	38,0					
Fragilariopsis sp.			2,3					2,4											
Gomphonema angustatum													6,1						
Gomphonema augur					184,6														
Gomphonema gracile											3,8								
Gomphonema pseudoaugur	24,7				352,9														
Gomphonema sp.					92,3		7,8			0,8		162,9			27,6				
Gyrosigma sp.								1,2						170,4			262,6	6,0	325,7
Halamphora atacamae																22,8			439,7
Halamphora coffeaeformis									59,7		3,8	54,3	0,9	2291,5		961,1	2,7	3,8	
Halamphora sp.					276,9			1,1	59,7		15,2			170,4	623,6	1926,1	473,6	11,9	439,7
Hantzschia amphioxys											170,1			76,0		87,4			
Hantzschia sp.	0,8																		
Hyalodiscus sp.								10,3	342,0					170,4				6,8	
Lemnicola hungarica					114,0														
Luticola aff. andina	9,0													38,0					
Luticola incana	15,7																		
Mastogloia elliptica								0,5				731,0			13,8		262,6	6,5	
Mayamaea atomus		6,0																	
Melosira varians							31,1												
Navicula capitatoradiata		12,1					7,8			0,8	38,0			530,2		87,4		2,7	

Especies / Puntos muestreo	Loa Alto								Loa Medio						Loa Bajo				
	S1	S2	1	2*	3	4*	5	6	7	8	9	10	11	12	S3	13	14	S4	S5
Navicula cincta	15,7										3,8	54,3							
Navicula cryptotenella					184,6						81,8		7,9		69,1				
Navicula radiosa																			597,1
Navicula salinicola					92,3			3,3		1,6						174,8			
Navicula spp.	47,9	2,6			200,9		7,8	4,9	59,7	1,0				246,4	27,6	634,4		16,8	711,1
Navicula tripuntacta	9,0	6,0			54,3										33,5	174,8			1845,7
Navicula veneta	0,8				184,6		23,3	0,5	141,1	2,3						155,8			
Navicula viridula	18,7	20,7					15,6												
Navicymbula pusilla								7,3	119,4			271,4	0,9		27,6	174,8		16,0	108,6
Nitzschia acicularis			2,3																
Nitzschia dissipata													1,7						
Nitzschia fonticola		2,6			3501,4				59,7		80,9		6,1	170,4	41,4	1796,9	116,7	68,8	494,0
Nitzschia halloyii															13,8				
Nitzschia inconspicua	176,6							2,4		0,8			0,9						
Nitzschia linearis		2,6										162,9							
Nitzschia pusilla					12708,2														
Nitzschia spp.	245,5	104,2	88,8		2421,1		381,0	48,7	559,1	27,7	220,6	297,9	7,0	6060,5	3850,3	6982,5	808,9	38,5	385,4
Pennada indet.									1058,6	0,8									
Pinnularia sp.													0,9						
Planothidium delicatulum	9,7												1,7	76,0					
Planothidium frequentissimum		12,1																	
Planothidium hauckianum									59,7		38,0								
Planothidium lanceolatum	0,8																		
Planothidium spp.	110,7	26,7	6,8		206,3			1,1	200,9	3,4	45,6	162,9	3,5	76,0	546,7	110,2	262,6	3,0	

Especies / Puntos muestreo	Loa Alto								Loa Medio						Loa Bajo				
	S1	S2	1	2*	3	4*	5	6	7	8	9	10	11	12	S3	13	14	S4	S5
Psammothidium helveticum		2,6			206,3								2,6						
Pseudostaurosira brevistriata					678,6			9,0	3848,8	4,9	56,1	352,2	2,6	227,4		22,8	416,6		54,3
Pseudostaurosira elliptica																	2,7		
Pseudostaurosira sp.					532,0				59,7						41,4		54,3		
Rhoicosphenia abbreviata	31,4		1,8																
Rhopalodia gibba								2,3	59,7										
Rhopalodia musculus								8,4	260,6				0,9	170,4		771,2	1578,2	40,9	
Stauroneis legleri																		3,8	
Staurosira elliptica									59,7										
Staurosira sp.					92,3				59,7										
Staurosirella pinnata													0,9					2,7	
Staurosirella sp.													7,9						
Surirella angusta															19,7				
Surirella roba	0,8										18,1								
Tabellaria fenestrata			356,3																
Tabularia fasciculata								0,5	119,4	2,6			0,9	549,2	1113,1	9558,2	111,3	3,0	54,3
Tryblionella compressa																		3,8	
Tryblionella hungarica	15,7	6,0									76,0				19,7			3,8	271,4
Ulnaria ulna	9,0		4,7									243,7		492,7	27,6				
Riqueza	**24**	**19**	**12**	**-**	**24**	**-**	**11**	**27**	**27**	**20**	**19**	**18**	**26**	**22**	**22**	**21**	**20**	**22**	**18**
Abundancia	**1005,1**	**316,5**	**480,5**	**-**	**23511,0**	**-**	**598,8**	**137,6**	**11535,6**	**82,9**	**1074,1**	**3712,9**	**254,3**	**14376,8**	**7339,5**	**26380,0**	**6213,3**	**294,0**	**7822,5**

iii. Campaña Otoño (Caudal Bajo)

Los resultados del análisis del fitobentos en cuanto a su composición y abundancia en la campaña de otoño (marzo 2019) evaluadas en el área de estudio se resumen en la Tabla 3.54. En esta campaña, con una evaluación de 18 de los 19 puntos (por razones de seguridad no se pudo acceder al punto 11 del río Loa para la evaluación de su biota acuática) se registraron un total de 90 especies (Tabla 3.56). Al igual que en las dos campañas previas Nitzschia spp. fue el taxa más representativo del área de estudio, presentándose en todos los puntos evaluados además de exhibir la mayor abundancia promedio en los puntos, un 6450,7 cél/mm2. En cuanto a los puntos de muestreo el rango de valores de la riqueza se definió en los puntos S3 y 12, el primero con un mínimo de 11 especies y el segundo con un máximo de 30 especies. Por otra parte, para la abundancia el rango de valores osciló entre 530,0 cél/mm2 y 94033,9 cél/mm2, valores que se observaron en los puntos S2 y 5.

Tabla 3.54. Abundancia de taxa fitobentónicos (cél/mm^2) en puntos de muestreo en el área de estudio de la cuenca del río Loa. Mayo 2019.

Especies / Puntos muestreo	Loa Alto								Loa Medio						Loa Bajo				
	S1	S2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11*	12	S3	13	14	S4	S5
Achnanthes brevipes														298,6					
Achnanthidium gracillimum			245,0															11,2	
Achnanthidium minutissimum	3,4	77,5	210,4	5,3	107,3	47,2			14,2	5,3	223,4			38,0	26,7	106,9	76,7	26,2	
Achnanthidium rivulare			22,8																
Achnanthidium sp.		36,2	74,1							5,3	46,0					53,5		3,7	
Adlafia minuscula		2,9																	
Amphora sp.	24,8				132,6		387,0				42,8						54,3		
Anomoeoneis sphaerophora								162,9											
Centrales indet.				5,3										542,9			49,6		
Cocconeis euglypta																	153,4		793,7
Cocconeis lineata	68,2		8,4	10,7	290,4		526,1	1644,8	164,0	19,9	3,4	542,9		997,0			76,7		80,5
Cocconeis sp.	57,8				416,6			1807,7	99,4	36,8				517,5	26,7				187,2
Craticula sp.						188,7								181,0					
Cyclotella meneghiniana			5,9	74,8						8,6	6,1	1140,0		3041,8			324,5	3,7	
Cymbella helvetica																		26,2	
Denticula valida														298,6					280,4
Diatoma ehrenbergii					56,8														
Diatoma moniliformis								162,9			12,8					53,5			
Diploneis oblongella										5,1									76,0
Encyonema silesiacum			11,4	10,7							3,4							3,7	
Encyonema ventricosum				16,0															
Epithemia adnata										5,3							49,6		
Epithemia sp.										10,5									
Eunotia sp.							57,4												

Especies / Puntos muestreo	Loa Alto								Loa Medio						Loa Bajo				
	S1	S2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11*	12	S3	13	14	S4	S5
Fragilaria sp.	30,8	11,1	401,1	37,4		187,1	1028,0		50,5	38,0									
Fragilaria vaucheriae	137,8		444,3	74,8	63,1	1641,7	6035,7		228,7	14,6								11,2	
Gomphonema affine	3,4																		
Gomphonema angustatum	9,6		134,6			94,4	988,9												
Gomphonema angustum			7,6																
Gomphonema clavatum					44,2				14,2	5,1									
Gomphonema olivaceum								162,9										33,7	
Gomphonema pseudoaugur		5,5		5,3	372,4	226,1	816,6		97,7	5,3									
Gomphonema sp.			59,7		101,0			325,7										3,7	
Gyrosigma sp.									14,2								49,6	23,5	114,0
Halamphora coffeaeformis		3,1							14,2	29,6	30,6	217,1		2593,0	64,1	53,5	225,4	10,7	156,5
Halamphora veneta		11,4									121,2								
Hantzschia amphioxys						125,5													
Hippodonta capitata									164,0										
Hyalodiscus sp.																		12,8	38,0
Luticola aff. andina												542,9							
Luticola incana									50,5										
Luticola mollis					63,1														
Luticola mutica					63,1														
Mastogloia elliptica												54,3		181,0		53,5	148,7	5,3	
Mayamaea atomus	9,6		2,5			94,4													
Melosira varians	4,8	5,5		171,0		1774,3	6220,8		252,5	10,5		488,6		1800,5					
Navicula cryptocephala																106,9	126,3	26,7	
Navicula cryptotenella										5,3							99,1	5,3	473,0
Navicula gregaria	9,6	75,7	11,8	32,1	113,6		2155,9		48,9	27,6				298,6					

Especies / Puntos muestreo	Loa Alto								Loa Medio						Loa Bajo				
	S1	S2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11*	12	S3	13	14	S4	S5
Navicula salinicola					56,8			1140,0	50,5			54,3		257,0			522,8		38,0
Navicula spp.	11,9		8,4				6443,5	1845,7		38,0	80,9	977,1			37,4				76,0
Navicula tripuntacta	20,1						272,2								26,7				691,1
Navicula veneta				144,3	157,8	5208,5		722,0				1085,7		219,0			49,6	5,3	
Navicula viridula	4,8	75,0	5,9			37,4	2077,7	2909,7	141,8	5,1		54,3		1590,6	26,7	427,6	347,0		
Navicymbula pusilla								1606,8				1574,3				534,5	247,8	82,9	
Nitzschia chilensis														336,6					
Nitzschia commutata					56,8	31,2								38,0					
Nitzschia fonticola							761,7												
Nitzschia halloyii	4,8	2,9																	
Nitzschia inconspicua	152,6	15,2		21,4		9387,9	12023,9		101,0	27,6	530,3			1085,7	53,5				256,8
Nitzschia latens									50,5										
Nitzschia linearis		5,5		10,7															
Nitzschia sigma								162,9				542,9							
Nitzschia spp.	250,8	74,1	234,8	181,7	795,3	1749,1	51713,6	17610,1	791,9	280,7	57,6	27414,1		13413,9	336,8	106,9	401,2	105,3	594,3
Pantocsekiella ocellata								162,9										3,7	
Pinnularia sp.					44,2	179,0		342,0		10,5	6,1								
Placoneis clementis	3,4																		
Planothidium delicatulum	4,8			10,7					275,9										
Planothidium frequentissimum	25,1	11,1	17,7	187,1	164,1	5224,5		162,9	348,6					38,0			99,1		
Planothidium hauckianum	5,2	11,1			56,8	210,1			202,0	45,7				298,6			49,6		
Planothidium lanceolatum				5,3															
Planothidium spp.	67,7	69,6	8,4	865,9	63,1	2086,7	272,2		28,3	25,7				38,0	37,4	53,5	27,1		
Psammothidium helveticum	9,6	30,8			113,6						6,1								

Especies / Puntos muestreo	Loa Alto								Loa Medio						Loa Bajo				
	S1	S2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11*	12	S3	13	14	S4	S5
Pseudostaurosira brevistriata	14,9			42,8	2120,9	122,0	1263,6	488,6	165,7	30,8		977,1		597,1					
Pseudostaurosira sp.	3,4				1167,8					15,2		1085,7		336,6					
Pseudostaurosira trainorii	10,1																		
Rhoicosphenia abbreviata		5,5	5,9			37,4	272,2												
Rhopalodia acuminata												54,3							
Rhopalodia gibba								2008,6	14,2	209,4		6297,1		181,0			49,6		
Rhopalodia musculus				69,5				5075,7		141,0	3,6	14059,9		593,5	8483,0	29024,9	1032,6	1143,4	228,0
Scoliopleura peisonis																53,5			
Stauroneis atacamae									48,9										
Staurosira construens	3,4																		
Staurosirella pinnata	16,8				277,7									181,0					
Staurosirella sp.					145,2														
Surirella roba						31,2			156,0										
Tabellaria fenestrata									293,1										
Tabularia fasciculata						141,5		342,0	200,4	55,1	6,7	488,6		2625,6	53,5	2351,9	126,3		456,0
Tryblionella hungarica						235,9			149,9	20,8		1520,0		257,0					266,0
Ulnaria ulna	3,4			21,4		206,6	716,7							1022,4					
Riqueza	**29**	**19**	**20**	**22**	**25**	**24**	**19**	**20**	**29**	**29**	**16**	**20**	**-**	**30**	**11**	**13**	**23**	**20**	**17**
Abundancia	**972,5**	**530,0**	**1920,8**	**2004,5**	**7044,5**	**29268,5**	**94033,9**	**38846,5**	**4231,3**	**1138,2**	**1181,2**	**59171,0**	**-**	**33897,5**	**9172,5**	**32980,4**	**4386,5**	**1548,5**	**4805,4**

*Punto 11 sin evaluación en mayo 2019.

iv. Campaña Primavera

Los resultados del análisis del fitobentos en cuanto a su composición y abundancia en la campaña de primavera (noviembre 2019) evaluadas en el área de estudio se resumen en la Tabla 3.57**.** Durante esta campaña, se evaluaron solo 5 puntos de muestreo, en los cuales se reportó un total de 42 especies de diatomeas Tabla 3.57).

Tabla 3.55. Abundancia de taxa fitobentónicos (cél/mm^2) en puntos de muestreo en el área de estudio de la cuenca del río Loa. Septiembre 2018.

Especies / Puntos muestreo	Loa Alto		Loa Bajo		
	S1	S2	S3	S4	S5
Achnanthidium minutissimum		0.1		2.0	
Achnanthidium sp.		0.1			
Amphora sp.	13.1				
Cocconeis euglypta	58.3	0.1			4891.8
Cocconeis lineata	8.7				349.3
Cocconeis sp.	50.9				1202.2
Denticula sp.					1202.2
Denticula valida					
Diploneis oblongella					933.0
Diploneis smithii var dilatata					157.2
Encyonema silesiacum					
Fragilaria sp.	59.6	0.2			
Fragilaria vaucheriae	7.4	0.3			
Gomphonema parvulum	4.4				
Gomphonema pseudoaugur	8.7				
Gyrosigma sp.			28.2	0.9	
Halamphora coffeaeformis		11.7	21.8	4.7	
Halamphora sp.			8.5	11.9	3337.4
Halamphora veneta	4.4				
Hyalodiscus sp.				1.9	
Karayevia ploenensis					349.3
Lemnicola hungarica	4.4				
Mastogloia smithii					426.5

Especies / Puntos muestreo	Loa Alto		Loa Bajo		
	S1	S2	S3	S4	S5
Navicula cryptotenella					915.5
Navicula gregaria	20.5		2.1		
Navicula sp.					426.5
Navicula tripuntacta	39.2				583.7
Navicula viridula	7.4	0.8			
Navicymbula pusilla			23.9	0.9	
Nitzschia fonticola					
Nitzschia inconspicua	24.8	0.1			
Nitzschia pusilla	8.7				
Nitzschia sp.	27.0		26.0	8.0	2404.5
Nitzschia spp.	121.8				
Planothidium delicatulum	13.1				
Planothidium sp.	13.1	0.9			
Planothidium spp.	34.8		39.4		
Rhoicosphenia abbreviata	24.8			2.0	
Rhopalodia constricta		0.7	740.7	124.4	2966.2
Rhopalodia musculus			31.8	11.4	852.9
Rhopalodia sp.			39.4	2.8	
Tabularia fasciculata			29.6		
Riqueza	**21.0**	**10.0**	**11.0**	**11.0**	**15.0**
Abundancia	**554.8**	**15.1**	**991.3**	**171.1**	**20998.2**

3.2.2.2.4 Zoobentos

i. Campaña Invierno

Respecto del zoobentos, la Tabla 3.56 resume los resultados en cuanto a la composición y abundancia de este componente en la campaña de invierno (septiembre 2018). En esta campaña, con 5 puntos de muestreo, se reportó un total de 17 taxa zoobentónicos (Tabla 3.56). Los dípteros Chironomidae fueron el taxa más destacado en cuanto a su abundancia promedio a través de los puntos de muestreo (874,1 ind/m^2), destacando además por su recurrencia en los puntos ya que se presentaron en cuatro de los cinco puntos evaluados. Entre los puntos de muestreo el S2 destacó como el menos diverso, presentando sólo 4 taxa descritos, por el contrario, el punto S1 fue el más diverso describiéndose 12 taxa en él. En cuanto a la abundancia el mismo punto S1 destacó como aquel con la menor abundancia, 955,6 ind/m^2, mientras que el punto S2 concentró la mayor abundancia, una densidad total de 3333,3 ind/m^2.

ii. Campaña Verano (Caudal Alto)

Respecto del zoobentos, la Tabla 3.57 resume los resultados en cuanto a la composición y abundancia de este componente en la campaña de verano (marzo 2019). En esta campaña, la segunda campaña evaluada, se registraron un total de 34 taxa (Tabla 3.57). El taxón más representativo fue en este caso fue el coleóptero Elmidae indet. al presentarse en la mayoría de los puntos evaluados (11 de 17 puntos evaluados) y exhibir la mayor abundancia promedio en los puntos, un total de 782,6 ind/m2. Por otra parte, en los puntos aquellos de Loa Alto, S1 y S2, destacaron como los más diversos, con 10 taxa descritos cada uno de ellos, por el contrario, los puntos 8 y 10 fueron los más pobres en cuanto a taxa descritos, con solo 1 de ellos en cada punto. En tanto, para la abundancia el punto 9 destacó como aquel donde se describió el mayor valor de esta variable, una densidad total de 12916,7 ind/m2, mientras que el punto 13 fue el que exhibió la menor, sólo 18,5 ind/m2.

Tabla 3.56. Abundancia de taxa zoobentónicos (ind/m^2) en puntos de muestreo en el área de estudio de la cuenca del río Loa. septiembre 2018.

Taxa / Puntos de muestreo	Loa Alto		Loa Bajo		
	S1	S2	S3	S4	S5
Acari					
Acari indet.	7,4				
Gastropoda					
Physa sp.	3,7				
Cochliopidae indet.			114,8	1207,4	155,6
Coleoptera					
Dytiscidae indet.			11,1	3,7	
Elmidae indet.	40,7		11,1	63,0	848,1
Diptera					
Ceratopogonidae indet.	3,7				7,4
Chironomidae indet.	40,7	3000,0	1325,9	3,7	
Simulidae indet.	544,4				
Tipulidae indet.	7,4				
Ephemeroptera					
Andesiops sp.	203,7				
Plecoptera					
Gripopterygidae indet.	40,7				
Trichoptera					
Hydroptilidae indet.	40,7				
Metrichia sp.					14,8
Amphipoda					
Hyalella sp.		166,7		3,7	229,6
Oligochaeta					
Lumbriculidae indet.		83,3	214,8	185,2	18,5
Ostracoda					
Ostracoda indet.	11,1	83,3			
Platyhelminthes					
Dugesiidae indet.	11,1				
Riqueza	**12**	**4**	**5**	**6**	**6**
Abundancia	**955,6**	**3333,3**	**1677,8**	**1466,7**	**1274,1**

Tabla 3.57. Abundancia de taxa zoobentónicos (ind/m^2) en puntos de muestreo en el área de estudio de la cuenca del río Loa. Marzo 2019.

Taxa / Puntos muestreo	Loa Alto								Loa Medio						Loa Bajo				
	S1	S2	1	2*	3**	4*	5	6	7	8	9	10	11	12	S3	13	14	S4	S5
Acari																			
Acari indet.	3,7	7,4	59,3				7,4						7,4					166,7	
Gastropoda																			
Physa sp.							7,4	14,8											
Cochliopidae indet.													3,7		18,5			83,3	
Hirudinea																			
Hirudinea indet.											166,7								
Coleoptera																			
Elmidae indet.	70,4	218,5	411,1		600,0		325,9	48,1	333,3	83,3	11000,0		129,6	83,3					
Diptera																			
Ceratopogonidae indet.																3,7	833,3	750,0	250,0
Chironomidae indet.	7,4	51,9	14,8		70,4			207,4	250,0		250,0	83,3	374,1	83,3	14,8		83,3		
Empididae indet.	7,4	18,5	25,9																
Muscidae indet.													7,4						
Pelecorhynchidae indet.																3,7			
Simulidae indet.	155,6	3,7	55,6		40,7		7,4	33,3					2611,1		3,7				
Ephemeroptera																			
Andesiops sp.	107,4	459,3	311,1		611,1		92,6				250,0		2351,9		11,1	7,4		166,7	
Meridialaris sp.		103,7																	
Odonata																			
Gomphidae indet.								11,1											
Plecoptera																			
Limnoperla jaffueli	3,7	396,3	18,5																

Taxa / Puntos muestreo	Loa Alto								Loa Medio						Loa Bajo				
	S1	S2	1	2*	3**	4*	5	6	7	8	9	10	11	12	S3	13	14	S4	S5
Trichoptera																			
Cailloma sp.	3,7																		
Amphipoda																			
Hyalella sp.		3,7	96,3					1374,1			583,3		359,3						
Nematoda																			
Nematoda indet.	3,7																		
Oligochaeta																			
Lumbriculidae indet.		33,3									666,7				25,9	3,7		83,3	333,3
Ostracoda																			
Ostracoda indet.	3,7																		
Platyhelminthes																			
Dugesiidae indet.							7,4						40,7						
Riqueza	**10**	**10**	**8**	**-**	**4**	**-**	**6**	**6**	**2**	**1**	**6**	**1**	**9**	**2**	**5**	**4**	**2**	**5**	**2**
Abundancia	**366,7**	**1296,3**	**992,6**	**-**	**1322,2**	**-**	**448,1**	**1688,9**	**583,3**	**83,3**	**12916,7**	**83,3**	**5885,2**	**166,7**	**74,1**	**18,5**	**916,7**	**1250,0**	**583,3**

*Puntos 2 y 4 sin evaluación en marzo 2019.

** Punto 3 punto alternativo de muestreo en río Loa

iii. Campaña Otoño (Caudal Bajo)

Respecto del zoobentos, la Tabla 3.58 resume los resultados en cuanto a la composición y abundancia de este componente en la campaña de otoño (mayo 2019). En esta campaña, donde se pudo acceder a 18 de los 19 puntos (el punto 11 del río Loa no pudo ser evaluado respecto de su biota acuática), se registraron un total de 26 taxa (Tabla 3.58). Al igual que en la primera campaña, los dípteros Chironomidae fueron el taxa más destacado en cuanto a su abundancia promedio a través de los puntos de muestreo (3336,8 ind/m2), destacando además por su recurrencia en los puntos ya que se presentaron en 17 de los 18 puntos evaluados. En relación con los puntos de muestreo el rango de valores de la riqueza se definió en los puntos 3 y S2, el primero con un mínimo de 2 taxa y el segundo con un máximo de 15 taxa. Por otra parte, para la abundancia el rango de valores osciló entre 500,0 ind/m2 y 25000 ind/m2, valores que se observaron en los puntos 3 y 6.

Tabla 3.58. Abundancia de taxa zoobentónicos (ind/m^2) en puntos de muestreo en el área de estudio de la cuenca del río Loa. Mayo 2019.

Taxa / Puntos muestreo	Loa Alto								Loa Medio						Loa Bajo				
	S1	S2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11*	12	S3	13	14	S4	S5
Acari																			
Acari indet.	233,3	22,2	40,7	48,1			14,8			14,8	29,6								
Gastropoda																			
Physa sp.							118,5	1500,0	22,2	14,8									
Cochliopidae indet.							3,7		48,1	3,7		916,7			59,3	3,7	250,0	74,1	
Hirudinea																			
Hirudinea indet.		48,1						166,7	3,7					250,0					
Coleoptera																			
Dytiscidae indet.								83,3	40,7	18,5		83,3			14,8	3,7		7,4	
Elmidae indet.	144,4	874,1	11,1	1481,5		11,1	400,0		63,0	177,8	1344,4	83,3			3,7			7,4	
Diptera																			
Ceratopogonidae indet.	77,8									7,4		83,3				3,7		77,8	18750,0
Chironomidae indet.	951,9	466,7	818,5	2433,3	416,7	122,2	1003,7	19750,0	614,8	2855,6	5733,3	19333,3		2333,3	2359,3	388,9	333,3	148,1	
Dolichopodidae indet.																		7,4	
Empididae indet.				22,2						7,4	11,1								
Ephydridae indet.	11,1	33,3	14,8			3,7	14,8											107,4	
Simulidae indet.	3,7	333,3	5792,6	874,1		3,7	37,0			7,4	122,2				7,4				
Tabanidae indet.		18,5		11,1		3,7													
Tipulidae indet.																			1000,0
Ephemeroptera																			
Andesiops sp.	422,2	433,3	240,7	200,0	83,3	7,4	81,5		11,1		211,1								
Meridialaris laminata		85,2																	
Odonata																			
Gomphidae indet.											3,7								

Taxa / Puntos muestreo	Loa Alto								Loa Medio						Loa Bajo				
	S1	S2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11*	12	S3	13	14	S4	S5
Plecoptera																			
Limnoperla jaffueli		374,1	25,9			3,7													
Trichoptera																			
Metrichia sp.		433,3		22,2			3,7				40,7								83,3
Sericostomatidae indet.		18,5								11,1									
Amphipoda																			
Hyalella sp.	7,4	100,0	14,8			3,7		2583,3	570,4		14,8					3,7		11,1	
Nematoda																			
Nematoda indet.	3,7	3,7		3,7															
Oligochaeta																			
Nais sp.						2196,3									3,7				
Lumbriculidae indet.			3,7				11,1		7,4	7,4	3,7					270,4	416,7	63,0	166,7
Ostracoda																			
Ostracoda indet.	237,0	14,8	3,7	3,7			18,5	916,7	1037,0	18,5				750,0					
Platyhelminthes																			
Dugesiidae indet.							3,7												
Riqueza	**10**	**15**	**10**	**10**	**3**	**9**	**12**	**7**	**10**	**12**	**10**	**5**	**-**	**4**	**6**	**7**	**4**	**9**	**5**
Abundancia	**2092,6**	**3259,3**	**6966,7**	**5100,0**	**500,0**	**2355,6**	**1711,1**	**25000,0**	**2418,5**	**3144,4**	**7514,8**	**20500,0**	**-**	**3333,3**	**2448,1**	**674,1**	**1000,0**	**503,7**	**20000,0**

*Punto 11 sin evaluación en mayo 2019.

iv. Campaña Primavera

Tabla 3.59. Abundancia de taxa zoobentónicos (ind/m^2) en puntos de muestreo en el área de estudio de la cuenca del río Loa. noviembre 2019.

Taxa / Puntos de muestreo	Loa Alto		Loa Bajo		
	S1	S2	S3	S4	S5
Acari indet.	562.3	86.6	0		33.9
Physa sp.	281.2		0		
Heleobia sp.	281.2		254.4	41694.6	795.6
Hirudinea indet.			0		
Austrolimnius sp.	35706.6	2360.1	3816.2		
Elmidae adulto indet.	281.2	324.8	0		
Athericidae indet.		21.7	0		
Ceratopogonidae indet.		21.7	508.8	3395.9	13339.0
Chironominae	30083.5		0		
Tanypodinae	7310.0		32310.9	14149.8	203.1
Empididae indet.		65.0	0		
Ephydridae indet.			0		16.9
Simulidae indet.	281.2	1970.4	0		
Tipulidae indet.			0		135.4
Andesiops sp.	17150.4	736.2	0		
Meridialaris sp.		43.3	0		
Limnoperla jaffueli		1169.2	0		
Metrichia sp.	2811.5	671.2	0	754.7	3842.6
Neotrichia sp.	43297.8	65.0	0		
Oxyethira sp.	281.2		0		
Hyalella sp.		43.3	3307.4	188.7	253.9
Lumbriculidae indet.			0	188.7	609.4
Candona sp.	26428.5		0		
Herpetocypris sp.	101215.6		0		
Riqueza de Taxa	**14.0**	**13.0**	**5.0**	**6.0**	**9.0**
Abundancia	**265972.2**	**7578.4**	**40197.8**	**60372.3**	**19229.8**

3.2.2.2.5 Vegetación ripariana y flora acuática

i. Vegetación ribereña o ripariana

Transectos lineales

En la campaña de primavera se monitorearon cinco puntos de muestreo, donde se establecieron transectos lineales de 20 metros paralelos a la ribera del río con el objeto de estudiar la composición y cobertura de las especies presentes (Ver Figura 3.137). La ubicación de cada transecto fue la misma que en las campañas anteriores. En la última campaña se añadió un nuevo punto de monitoreo, ubicado en Ojos de Opache.

Tabla 3.60. Coordenadas de transectos lineales en los sectores monitoreados, durante las campañas de primavera 2019.

Tran.	Punto de muestreo asociado	Campaña primavera (2019)				
		Coordenadas Inicio		Coordenadas fin		Altura (m)
		Norte (m)	Este (m)	Norte (m)	Este (m)	
TS01A	S1_Rio_Loa	7640648	532484	7640614	532469	3693
TS02	S2_Rio_Loa	7617210	533097	7617226	533087	3402
TS03	S3_Rio_Loa	7570875	440966	7570878	440987	1016
TS04	S4_Rio_Loa	7625794	430905	7625798	430924	665
TS05	S5_Quebrada_Amarga	7607574	443087	7631138	420837	581

a) S1_Río_Loa

En el sector S1 se registró un total de cinco especies (*D. humilis*, *Eleocharis* sp., *F. hypsophyla, J. balticus y Scirpus* sp.) en los transectos en el transcurso de todas las campañas. En relación con el ultimo monitoreo, las coberturas vegetacionales se mantuvieron similares en comparación a lo observado en otoño, en donde, la especie *F. hypsophyla* registró la mayor participación con una cobertura de 63%, seguidas de *J. balticus* y *D. humilis* con 13,6 % y 9,9% de cobertura, cabe mencionar, que en primavera se observó la presencia de individuos del género *Eleocharis* con dos contactos a través del transecto. En relación con el factor abiótico solo se observó la unidad suelo con una cobertura de 9,9%. (Ver Tabla 3.61).

Tabla 3.61. Riqueza taxonómica y cobertura vegetal (%) de las especies registradas en los transectos monitoreados en el punto de muestreo S1_Río_Loa, en las campañas de invierno, verano, otoño y primavera.

Componente de contacto	Inv-18	Ver-19	Oto-19	Ver- 19
	T1 (%)	T2 (%)	T2 (%)	T2 (%)
Suelo	9,9	12,3	11,1	9,9
Total factores abióticos	**9,9**	**12,3**	**11,1**	**9,9**
Distichlis humilis	42,0	12,3	13,6	11,1
Eleocharis sp.	0	0	0	2,5
Festuca hypsophyla	19,8	65,4	64,2	63
Juncus balticus	25,9	13,6	13,6	13,6
Scirpus sp.	2,5	0	0	0
Total cobertura vegetacional	**90,2**	**91,4**	**90,1**	**90.1**
Riqueza de especies	**4**	**3**	**3**	**3**

b) S2_Río_Loa

De la Tabla 3.62 se desprende que la riqueza florística de los transectos ejecutados durante las cuatro campañas corresponde a *C. speciosa*, especies terrestre asociada a cursos de agua. En primavera se observó una cobertura vegetacional de 86,4%. Por otro lado, los factores abióticos registraron porcentajes de 3,7 y 9,9 en el caso de la unidad agua y suelo respectivamente.

Tabla 3.62. Riqueza taxonómica y cobertura vegetal (%) de las especies registradas en los transectos monitoreados en el punto de muestreo S2_Río_Loa, en las campañas invierno, verano., otoño y primavera.

Componente de contacto	Inv-18	Ver- 19	Oto- 19	Pri- 19
	T1 (%)	T2 (%)	T2 (%)	T2 (%)
Roca	0	4,9	4,9	3,7
Suelo	59,3	12,3	11,1	9,9
Total factores abióticos	**59,3**	**17,3**	**16,0**	**13,6**
Cortaderia speciosa	40,7	82,7	83,9	86,4
Total cobertura vegetacional	**40,7**	**82,7**	**83,9**	**86,4**
Riqueza de especies	**1**	**1**	**1**	**1**

c) S3_Río_Loa

Durante las cuatro campañas de monitoreo se registraron coberturas vegetacionales de 79,1% en invierno, 102,5% en verano, 101,2% en otoño y 98,8% en primavera. La hierba perenne *D. spicata* alcanzó las máximas coberturas, en primavera obtuvo una participación de 48,1%, seguido de la hierba helófita *S. americanus* (23,4%) y las plantas terrestres *Atriplex* (14,9%) y *Prosopis* (12,3%). Con respecto al factor abiótico, suelo, éste registró una participación de 8,6% para la campaña de primavera (Tabla 3.63).

Tabla 3.63. Riqueza taxonómica y cobertura vegetal (%) de las especies registradas en los transectos monitoreados en el punto de muestreo S3_Río_Loa, en las campañas invierno, verano, otoño y primavera.

Componente de contacto	Inv-18	Ver- 19	Oto- 19	Pri- 19
	T1 (%)	T2 (%)	T2 (%)	T2 (%)
Suelo	21	9,9	8,6	8,6
Total factores abióticos	**21**	**9,9**	**8,6**	**8,6**
Atriplex atacamensis	9,9	18,5	16,0	14,9
Distichlis spicata	55,6	34,6	39,5	39,5
Schoenoplectus americanus	13,6	4,9	13,6	16,0
Prosopis flexuosa	0	12,3	12,3	12,3
Rastrojo *Distihlis*	0	12,3	7,4	8,6
Rastrojo *Schoenoplectus*	0	19,8	12,3	7,4
Total cobertura vegetacional	**79,1**	**102,5**	**101.2**	**98,8**
Riqueza de especies	**4**	**4**	**4**	**4**

d) S4_Río_Loa

Dentro del transecto S4_Río_Loa se registró una riqueza taxonómica de cuatro especies en invierno y tres en los monitoreos siguientes a lo largo del transecto T2. En cuanto a la cobertura vegetal, las especies que alcanzaron mayores abundancias fueron *P. australis* con 40,7% y *D. spicata* con 33,3% en T1. En T2 destacaron las hierbas *S.americanus* y *D. spicata* durante las tres últimas campañas, en el caso del monitoreo de primavera las coberturas alcanzadas fueron de 53,1% y 37,0% respectivamente. En relación con la cobertura vegetal en T2 ésta fue superior al 100%. Por cierto, el factor abiótico presente fue la unidad de suelo, más específicamente, arena abarcando el 5% en campañas de primavera (Ver Tabla 3.64).

Tabla 3.64. Riqueza taxonómica y cobertura vegetal (%) de las especies registradas en los transectos monitoreados en el punto de muestreo S4_Río_Loa, en las campañas invierno, verano, otoño y primavera.

Componente de contacto	Inv-19	Ver- 19	Oto-19	Pri- 19
	T1 (%)	T2 (%)	T2 (%)	T2 (%)
Suelo	8,6	7,4	7,4	4,9
Total factores abióticos	**8,6**	**7,4**	**7,4**	**4,9**
Atriplex atacamensis	6,2	11,1	**11,1**	11,1
Distichlis spicata	33,3	27,2	35,8	37,0
Phragmites australis	40,7	0	0	0
Schoenoplectus americanus	11,6	45,7	46,9	50,6
Rastrojo *Distihlis*	0	9,9	0	0
Rastrojo *Schoenoplectus*	0	4,9	6,2	2,5
Total cobertura vegetacional	**91,8**	**98,8**	**100,0**	**101,2**
Riqueza de especies	**4**	**3**	**3**	**3**

e) S5_Quebrada_Amarga

De acuerdo con la Tabla 3.65, se desprende que a través de los transectos lineales se registraron coberturas vegetacionales de 68,3%, 100% y 103,7% en las campañas de invierno, verano, otoño y primavera. La riqueza taxonómica fue de tres especies; *B. juncea*, *D. spicata* y *S. americanus,* siendo esta última, la hierba con mayor participación porcentual en el sector S5. En relación con las otras dos especies, éstas presentaron coberturas similares a lo largo de T2. El factor abiótico suelo, solo fue registrado en el transecto T1.

Tabla 3.65. Riqueza taxonómica y cobertura vegetal (%) de las especies registradas en los transectos monitoreados en el punto de muestreo S5_Quebrada_Amarga, en las campañas invierno, verano y otoño.

Componente de contacto	Inv-18	Ver- 19	Oto- 19	Pri-19
	T1 (%)	T2 (%)	T2 (%)	T2 (%)
Suelo	31,8	0	0	0
Total factores abióticos	**31,8**	**0**	**0**	**0**
Baccharis juncea	5,9	12,3	11,1	14,8
Distichlis spicata	22,4	13,6	14,8	13,6
Schoenoplectus americanus	40	63,0	77,8	75,3
Rastrojo *Schoenoplectus*	0	11,1	0	0
Total cobertura vegetacional	**68,3**	**100**	**103,7**	**103,7**
Riqueza de especies	**3**	**3**	**3**	**3**

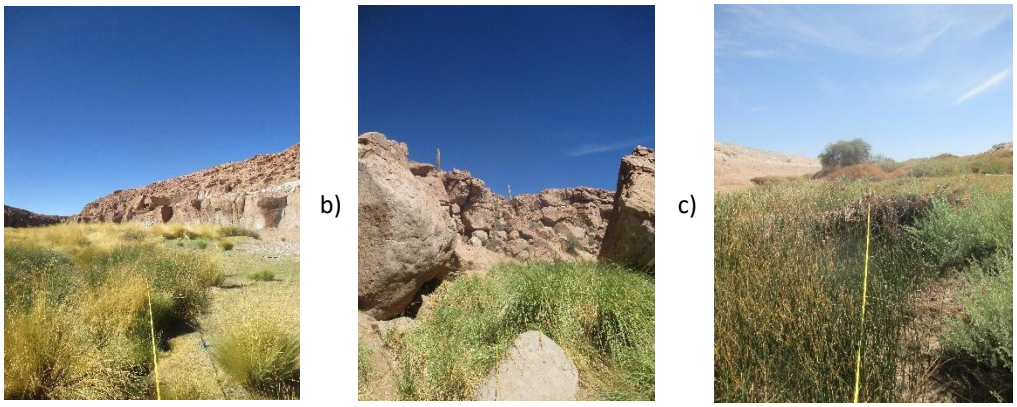
f) Ojos de Opache

En el sector Ojos de Opache se observó principalmente especies características de matorral arbustivo tales como *B. calliprinos* y *T. absinthioides* con abundancias sobre el 25%, además de la presencia de uno o dos individuos de *S. molle* y *A. atacamensis*. En relación con las plantas macrófitas se registró la especie *S. americanus* con una abundancia entre 5% y 25%. (Tabla 3.66).

Tabla 3.66. Abundancia florística relativa en el sector Ojos de Opache

Especie	Cobertura
Baccharis calliprinos	25- 50%
Tessaria absinthioides	25- 50%
Baccharis juncea	5- 25%
Schoenoplectus americanus	5- 25%
Scinus molle	r
Atriplex atacamensis	r

a) b) c)



d) e)

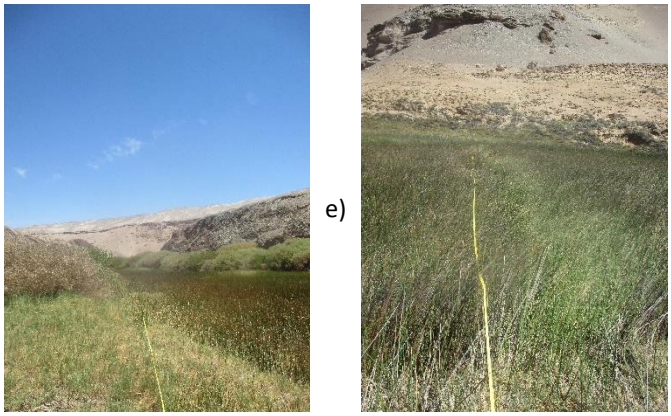


Figura 3.137. Transectos para vegetación ripariana, primavera. a) S1_Río_Loa b) S2_Río_Loa c) S3_Río_Loa d) S4_Río_Loa e) S5_Quebrada_Amarga.

ii. Muestreo de plantas acuáticas

Adicionalmente a los transectos realizados, se muestrearon las plantas acuáticas presentes, a través de un cuadrante de PVC de 0,5 m^2 con una grilla de 100 puntos. Las coordenadas específicas donde se instaló el cuadrante se muestran en la Tabla 3.67.

Tabla 3.67. Coordenadas de muestreo de las plantas acuáticas en los sectores monitoreados en la cuenca del río Loa, durante las campañas 2018- 2019.

Sector de monitoreo	Campaña primavera		Campaña otoño		Campaña verano		Campaña invierno	
	Coordenadas		Coordenadas		Coordenadas		Coordenadas	
	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)	Este (m)
S1_Rio_Loa	7640643	532460	7640648	532481	7640645	532480	7640694	532444
S1_Rio_Loa							7640650	532473
S2_Rio_Loa	7617233	533092	7617219	533094	7617217	533099	7571330	441076
S3_Rio_Loa	7631136	420838	7570862	440907	7570878	440989	7625768	430931
S4_Rio_Loa	7625781	430930	7625786	430920	7625787	430921	7631127	420853
S5_Qda_Amarga	7631136	420838	7631137	420839	7631135	420830	7631127	420853

De acuerdo con la Tabla 3.63, en los puntos muestreados (S1, S2, S3, S4 y S5) durante todas las campañas de terreno (verano, otoño, invierno y primavera), se identificaron un total de once especies macrófitas, de las cuales, siete corresponden a hierbas hidrófitas y cuatro a hierbas helófitas y una a individuos de la familia Characeae.

En el punto de muestreo S1_Río_Loa, se encontró un total de cuatro especies para la campaña de invierno, de las cuales dos son introducidas (*Nasturtium officinale* y *Potamogetum pusillus*), además de individuos de los géneros *Chara* sp. y *Werneria* sp. En la campaña de verano, se identificó un total de tres especies, *N. officinale*, *Myriophyllum* sp. y *Lilaeopsis macloviana*, siendo esta última una hierba perenne de origen nativo. En la temporada de otoño, se identificaron tres especies vegetales en total, dos corresponden a repeticiones de monitoreos anteriores (*L. macloviana* y *Myriophyllum quitense*) y la tercera especie corresponde a individuos del género *Erythranthe* sp., las que alcanzaron una cobertura de 70%. Para el último en el monitoreo de primavera se observó nuevamente la presencia de individuos del género *Erythranthe* sp (70%) y *Lialilopsis* (5%), además se registró por primera vez la participación de la especie *Veronica anagallis-aquatica* (15%) (Tabla 3.68).

En la campaña de invierno 2018 para el punto S2_Río_Loa, se identificó dos especies, individuos del género *Chara* sp. y de la hierba anual *Veronica anagallis-aquatica* con una cobertura del 70%. Para la campaña de verano se encontraron individuos de género *Myriophyllum* sp. y de la especie *Schoenoplectus americanus*, mientras que en el último monitoreo solo se encontraron individuos de *S. americanus*, con una participación porcentual de 20%. A esto se le debe sumar lo registrado en primavera, en donde, se observaron solo coberturas de ejemplares de *Veronica anagallis-aquatica* (Tabla 3.68).

En el caso del punto S3_Río_Loa en las tres campañas se encontró individuos de *S. americanus* con coberturas de 55%, 70% y 100% en invierno, verano y otoño respectivamente (Tabla 3.68). A esta cobertura se debe agregar para el monitoreo 2018, la presencia de la especie *Ruppia filifolia* con un 45% de cobertura y para el último monitoreo de primavera una cobertura de 60%.

En el punto S4_Río_Loa para la campaña de invierno se identificó dos especies, *Ruppia marítima* y *S. americanus* con coberturas de 65% y 35% respectivamente. En las campañas de verano y otoño solo se registró la presencia de *S. americanus* con un 90% de representatividad y 80% respectivamente, por último, monitoreo se presenció nuevamente la hierba *Ruppia*.

En el caso del punto S5_Quebrada_Amarga el panorama es el mismo en todas campañas, con la presencia de la especie *S. americanus* con coberturas de 95% en invierno y 100% para el resto de los monitoreos.

Tabla 3.68. Composición taxonómica, abundancias totales y relativas de las parcelas acuáticas en los puntos monitoreados durante las campañas 2018 y 2019, en la cuenca del río Loa.

Especie\Punto muestreo	S1_Río_Loa				S2_Río_Loa				S3_Río_Loa				S4_Río_Loa				S5_Qda_Amarga			
	P	I	V	O	P	I	V	O	P	I	V	O	P	I	V	O	P	I	V	O
Chara sp.		5				22														
Distichlis spicata																		5		
Erythranthe sp.	70			10																
Lilaeopsis macloviana	5		5	40																
Myriophyllum sp.			25	20			5													
Nasturtium officinale		68	5																	
Potamogeton pusillus		25																		
Ruppia filifolia									60	45										
Ruppia marítima													15	65						
Schoenoplectus americanus							30	20		55	70	100		35	90	80	100	95	100	100
Veronica anagallis-aquatica	15				65	48														
Werneria sp.		2																		
TOTAL (%)	**90**	**100**	**35**	**70**	**65**	**70**	**35**	**20**	**60**	**100**	**70**	**100**	**15**	**100**	**90**	**80**	**100**	**100**	**100**	**100**

iii. Flora y vegetación integrado

La riqueza florística identificada en los puntos muestreados fue de 36 especies la que fue posible registrar a través de los transectos vegetacionales y del recorrido pedestre al interior de cada uno de ellos. Del total del listado florísticos, 26 son de origen nativo (3 endémicas), cinco son introducidas y cinco no están definidos debido a que taxonómicamente solo se determinó el género. La flora se encuentra distribuida en 19 familias, siendo Asteraceae y Poaceae, las más representativas, con cinco especies cada una (Tabla 3.69).

Del total de especies identificadas en estos ambientes ribereños, 18 corresponden a plantas terrestres, mientras que, 14 pertenecen a especies macrófitas, de las cuales siete taxa son plantas acuáticas (hidrófita) y las otras siete son consideras plantas palustres (helófita), además de la presencia de algas de la familia Characeae (*Chara* sp.)

La mayoría de las plantas consisten en hierbas perennes representada en 20 especies, le sigue la forma de vida arbustiva con 8 especies, además se observó la presencia de una especie suculenta, *Echinopsis atacamensis*, registrada en el área aledaña al transecto efectuado.

Respecto al estado de conservación de las especies registradas, dos especies han sido clasificadas como Vulnerable, *P. tamarugo* (13/2013 MMA) y *P. flexuosa* (13/2013 MMA) y una como Casi Amenazada, *E. atacamensis* (21/2011 MMA).

Tabla 3.69. Catálogo florístico, origen fitogeográfico y estado de conservación, a lo largo de la de los transectos ejecutado en la cuenca del río Loa.

Nombre científico	Nombre común	Familia	Forma de vida	Macrófita	Origen	ECC
Atriplex atacamensis Phil.	Cachiyuyo	Chenopodiaceae	Arbusto	T	Endémica	N/D
Atriplex imbricata (Moq.) D. Dietr. var. Imbricata	Cachiyuyo	Chenopodiaceae	Sub arbusto	T	Nativa	N/D
Baccharis calliprinos Griseb.	Chilca	Asteraceae	Arbusto	T	Nativa	N/D
Baccharis juncea (Cass.) Desf	Suncho	Asteraceae	Hierba perenne	T	Nativa	N/D
Chara sp.		Characeae			Indeterminada	N/A
Chenopodium petiolare Kunth	Yuyo	Chenopodiaceae	Hierba perenne	T	Nativa	N/D
Cistanthe amarantoides (Phil.) Carolin ex Hershkovitz	Anojarjinchu	Montiaceae	Hierba perenne	T	Endémica	N/D
Cistanthe salsoloides (Barnéoud) Carolin ex Hershkovitz	Congonilla	Montiaceae	Hierba anual	T	Nativa	N/D
Cortaderia speciosa (Nees & Meyen) Stapf	Espural	Poaceae	Hierba perenne	T	Nativa	N/D
Distichlis humilis Phil.		Poaceae	Hierba perenne (hemicriptófito)	He	Nativa	N/D
Distichlis spicata (L.) Greene	Grama	Poaceae	Hierba perenne (hemicriptófito)	He	Nativa	N/D
Echinopsis atacamensis (Phil.) Friedrich & G.D. Rowley	Pasakana		Árbol suculento	T	Nativa	NT

Nombre científico	Nombre común	Familia	Forma de vida	Macrófita	Origen	ECC
Eleocharis sp.		Cyperaceae	Hierba perenne		Indeterminada	N/A
Ephedra americana Humb. & Bonpl. ex Willd.	Pingo-pingo	Ephedraceae	Arbusto	T	Nativa	N/D
Erythranthe sp.		Phrymaceae	Hierba (criptófito)	He	Indeterminada	N/A
Festuca hypsophyla Phil.		Poaceae	Hierba perenne	T	Nativa	N/D
Juncus balticus Willd.	Huinquillo	Junaceae	Hierba perenne (hemicriptófito)	He	Nativa	N/D
Lilaeopsis macloviana (Gand.) A.W. Hill	Isru	Apiaceae	Hierba perenne (hemicriptófito)	Hi	Nativa	N/D
Lycium humile Phil.	Jume	Solanaceae	Arbusto	T	Nativa	N/D
Muhlenbergia asperifolia (Nees & Meyen ex Trin.) Parodi		Poaceae	Hierba perenne	T	Nativa	N/D
Myriophyllum quitense Kunth	Lorama	Haloragaceae	Hierba perenne (criptófito)	Hi	Nativa	N/D
Nasturtium officinale R. Br.		Brassicaceae	Hierba perenne (criptófito)	Hi	Introducida	N/D
Parastrephia lucida (Meyen) Cabrera	Tola	Asteraceae	Arbusto	T	Nativa	N/D
Potamogeton pusillus L.	Espiga de agua	Potamogetonaceae	Hierba anual (criptófito)	Hi	Introducida	N/D
Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steud.	Carrizo		Hierba perenne		Introducida	N/A
Prosopis flexuosa DC. var. *Flexuosa*	Algarroba	Fabaceae	Arbusto	T	Nativa	VU
Prosopis tamarugo Phil.	Tamarugo	Fabaceae	Árbol	T	Endémica	VU
Rumex crispus L.		Polygonaceae	Hierba perenne (hemicriptófito)	He	Introducida	N/A
Ruppia filifolia (Phil.) Skottsb.	Pelo de marisma	Ruppiaceae	Hierba perenne (criptófito)	Hi	Nativa	N/D
Ruppia maritima L.		Ruppiaceae	Hierba perenne (criptófito)	Hi	Nativa	N/D
Schinus areira L	Molle	Anacardiaceae	Árbol	T	Nativa	N/D
Schoenoplectus americanus (Pers.) Volkart ex Schinz & R. Keller	Junco	Cyperaceae	Hierba perenne (hemicriptófito)	He	Nativa	N/D
Scirpus sp.		Cyperaceae	Hierba perenne		Indeterminada	N/A
Tessaria absinthioides (Hook. & Arn.) DC.	Brea	Asteraceae	Arbusto	T	Nativa	N/D
Veronica anagallis-aquatica L.		Plantaginaceae	Hierba annual (criptófito)	Hi	Introducida	N/A
Werneria sp.		Asteraceae	Hierba perenne (criptófito)	He	Indeterminada	N/A

Simbología: **Macrófita (M)**: He= helófita, Hi= Hidrófita, T=terrífitos.**Estados de Conservación (ECC)**: CR = En peligro crítico, DD = Datos insuficientes, EN = En Peligro, EW= Extinta en estado silvestre, EX = Extinta, FP = Fuera de Peligro, IC = Insuficientemente Conocida, LC = Preocupación menor, NT = Casi amenazada, R = Rara, VU = Vulnerable. N/D = no determinado, N/A: No aplica. **Fuentes**: (1) = Decretos Supremos que oficializan los procesos de clasificación de especies.

iv. Índice de cobertura vegetacional acuático

Para la definición de este índice, como parte del cálculo del IHF (ver sección 3.3.5.2.5), la vegetación acuática se agrupa en tres grupos:

- Plocon: Incluye organismos vegetales fijados en el sustrato (*Cladophora* o algas como las *zygnematals*).
- Pecton: Incluye tallos aplanados, laminares o esféricos. Se reconocen debido a que forman finas costras o recubrimientos sobre el sustrato. (Ejemplos: *Nostoc, Hildenbradia*, *Rivulariácieas*).
- Fanerógamas y charales: Las fanerógamas son los grupos de plantas que presentan flores visibles. Actualmente el término más utilizado para denominarlas es el de espermatofitos. En ambientes fluviales las más comunes pertenecen a los géneros *Potamogeton*, *Ranunculus*, *Ceratophyllum*, *Apium*, *Lemma*, *Myriophyllum*, *Zannichellia* o *Rorippa*. Las charales son un grupo de algas consideradas como el único grupo de algas verdes realmente macroscópicas que se dan en aguas continentales.

En función a la participación de cada grupo vegetacional en el cauce se asigna una determinada puntación. En el caso de la ausencia total de cualquier tipo de vegetación acuática se establece una puntuación de cero puntos (Tabla 3.70).

Tabla 3.70. Valoración cobertura de vegetación acuática (Fuente: Pardo et al, 2002)

Categoría		Puntuación
%plocon+ briophyta	10- 50%	10
	<10% o >50%	5
%pecton	10- 50%	10
	<10% o >50%	5
% fanerógamas y charales	10- 50%	10
	<10% o >50%	5

Para los sectores muestreados (S1, S2, S3, S4 y S5) durante las cuatro campañas de monitoreo, se registró 12 géneros de plantas acuáticas, pertenecientes a la categoría Fanerógamas. De la Tabla 3.71, se desprende que la especie con mayor porcentaje de participación en el cauce corresponde a *Shoenoplectus americanus* con coberturas que oscilaron entre 3 y 25%, por otro lado, las coberturas totales por sector presentaron rangos entre el 10% y 50%, por lo mismo la puntuación asociada para cada muestreo fue de 10 puntos.

Tabla 3.71. Participación porcentual de los géneros pertenecientes a la categoría Fanerógamas, en los sectores monitoreados en las cuatro campañas.

Género	S1_Río_Loa	S2_Río_Loa	S3_Río_Loa	S4_Río_Loa	S5_Río_Loa
Chara sp.	0.3	1.4			
Distichlis spicata					0.3
Erythranthe sp.	5.6				
Lilaeopsis macloviana	3.1				
Myriophyllum sp.	2.8	0.3			
Nasturtium officinale	4.6				
Potamogeton sp.	1.6				
Ruppia filifolia			6.6		
Ruppia marítima				5	
Schoenoplectus americanus		3.1	12.8	12.8	24.7
Veronica anagallis-aquatica	0.9	7.1			
Werneria sp.	0.1				
Total	**19.1**	**11.9**	**19.4**	**17.8**	**25**
Puntuación	**10**	**10**	**10**	**10**	**10**

En los sectores monitoreados durante las campañas de verano y otoño, las coberturas de las plantas acuáticas sobre el cauce alcanzaron una puntuación de 10, en donde los porcentajes oscilaron entre 10 y 24,8%. En el caso de los sectores 2_Río_Loa, 3_Río_San_Pedro y 11_Río_San_Salvador las coberturas de participación en el cauce fueron de 1,3%, 4,4% y 5,0% respectivamente, en donde, la puntuación alcanzada corresponde a 5 puntos (Tabla 3.72).

Tabla 3.72. Participación porcentual de los géneros pertenecientes a la categoría Fanerógamas, en los sectores monitoreados en dos campañas (verano y otoño).

Sector/Especie	Erythranthe sp.	Myriophyllum sp.	Potamogeton sp.	*Schoenoplectus americanus*	Total	Puntuación
1_Río_Loa		19.4			19.4	10
2_Río_Loa	1.3				1.3	5
3_Río_San_Pedro		3.8		0.6	4.4	5
4_Río_Loa			10.0		10.0	10
5_Río_Loa		0.6	4.4	12.5	17.5	10
6_Río_Salado		6.9	11.9	3.8	22.5	10
7_Río_Loa		16.9			16.9	10
8_Río_Loa		2.5		7.5	10.0	10
9_Río_Loa				18.8	18.8	10
10_Río_Loa				22.5	22.5	10
11_Río_San_Salvador				5.0	5.0	5
12_Río_Loa			1.9	10.0	11.9	10
13_Río_Loa			10.0	6.3	16.3	10
14_Río_Loa				23.8	24.8	10

3.2.2.2.6 Reptiles y Anfibios

La Región de Antofagasta en su mayor extensión, constituye de acuerdo con sus características climáticas de hiperdesierto, el límite distribucional norte de especies vegetales y fauna de otras regiones más productivas del sur del territorio. Grandes extensiones de esta región están fuertemente influidas por la actividad de extracción de minerales; existe ademas una tremenda presión sostenida sobre los recursos hídricos de la zona, tanto en las faenas de extracción mineral como para los requerimientos de la población humana. El agua es el elemento clave para el asentamiento de formas de vida en estas regiones áridas y semiáridas (Veloso 1998). El conocimiento de la fauna de una determinada región del territorio constituye un aporte fundamental, posible de proyectar a diversos planos de actividad tanto básica como aplicada, relevante para estudios de diversidad biológica, conocimiento de la biología de los taxa y al manejo de sus recursos renovables (Marquet, 1998).

La zona altoandina al sur de la linea del ecuador cuenta con una rica y extensa radiacion de ranas acuaticas altoandinas del genero *Telmatobius* (aproximadamente 63 especies entre Ecuador, Peru Bolivia Argentina y Chile) (Frost, 2013) altitudinalmente se encuentran a sobre los 2200 metros sobre el nivel del mar hasta los 4600 msnm aproxiamdamente. Para el altiplano chileno se reconocen las siguientes especies: *T. halli* y *T. peruvianus*. *T. marmoratus*, *T. pefauri* y T. *zapahuirensis*. *T. philippii* y *T. fronteriensis*. *T. chusmisensis*. *T. vilamensis* y *T. dankoi*. Siendo solo *T. marmoratus* compartido con Bolivia. (Saes 2017) Gran parte de ellos se encuentran solo en su tierra tipica por lo que se les considera especies micro endémicas. Los *Telmaotbius* de Chile son principalmente acuaticos y habitan, rios, vertientes, lagunas y vegas altoandinas de la cordillera de los Andes (De La Riva 2017).

a) Anfibios potenciales y metodología de monitoreo

La revisión bibliográfica considerada para el área de estudio muestra que existen tres especies de anfibios potencialmente presentes dentro de la cuenca del rio Loa. Sin embargo, prospecciones como estas podrian aumnetar los sitios con presencia de anfibios. En la siguiente Tabla se detallan las especies y su respectivo estado de conservación:

Tabla 3.73 Listado potencial de anfibios en el área de estudio y el estado de conservación.

Nombre Científico	Nombre común	Estado de Conservación
Rhinella spinulosa	Sapo espinoso	Preocupación menor
Telmatobius dankoi	Sapo de Danko	En Peligro Crítico
Telmatobius vilamensis	Rana de Vilama	En Peligro Crítico

En las campañas de monitoreo de la cuenca del Rio Loa se realizó muestreo enfocado en anfibios mediante transectos de largo variable entre 100 y 300 m, 5 m de ancho a cada lado de la línea de proyección. Se realizaron búsquedas activas (revisión bajo potenciales refugios (piedras, terrones, troncos o madera incluyendo basura si se encontraba) arbustos y bordes de cuerpos de agua (rios, vertientes y lagunas). Las exploraciones de terreno fueron realizadas tratando de cubrir el máximo de áreas posibles y toda la diversidad de ambientes que ofrecia cada zona. Los transectos de anfibios se prospectaron con chunguillo de mano de 80 cm de largo y una boca 30 cm de ancho con malla fina para capturar potenciales larvas de anfibios y/o posturas de huevos. Los transectos en el rio se hicieron en profundidas que variaban entre los 30 cm de agua y 1 mts. Las prospecciones se hicieron a lo largo del río Loa como en pequeñas lagunas y pozas temporales ubicadas aledañas al rio para aumentar la detectabilidad de las larvas y post metamórficos. Las porspecciones se hicieron tre las 09:30 y las 20:00 horas despues de la caida del sol ya que en elcas de *Rhinella spinulosa* son de actividad principalmente nocturna.

Ademas se instalo un sistema de grabaciones de cantos de anfibios (Song Meter) para detectar cantos de sapos y ranas en puntos de monitoreo donde no fue posible hacerlo de manera presencial (ver Figura 3.138).

Figura 3.138. Sistema de grabación de sonidos instalado para la deteccion de cantos de anfibios

b) Reptiles potenciales y metodología de monitoreo

La revisión bibliográfica considerada para el área de estudio muestra que existen 17 especies de reptiles potencialmente presentes. En la siguiente figura se detallan las especies y su respectivo estado de conservación:

Tabla 3.74 Listado potencial de reptiles en el área de estudio y el estado de conservación.

Nombre Científico	Nombre común	Estado de Conservación
Liolaemus atacamensis	Lagartija de Atacama	Preocupación menor
Liolaemus constanzae	Lagartija de Constanza	Preocupación menor
Liolaemus erguetae	Lagartija de Ergueta	-
Liolaemus fabiani	Lagartija de Fabián	Rara
Liolaemus foxi	Lagartija de Fox	-
Liolaemus jamesi	Jararanco de James	Rara
Liolaemus molinai	Lagartija de Molina	-
Liolaemus ornatus	Lagartija ornamentada	Datos insuficientes
Liolaemus paulinae	Lagartija de Paulina	Vulnerable
Liolaemus platei	Lagartija de Plate	Preocupación menor
Liolaemus torresi	Dragón de Torres-Mura	-
Liolaemus pachecoi	Lagarto de Pacheco	Rara
Liolaemus audituvelatus	Dragón de pído cubierto	Vulnerable
Tachymenis chilensis	Culebra de cola corta	Preocupación menor
Microlophus theresioides	Corredor de Tereza o de Pica	Preocupación menor
Microlophus quadrivittatus	Corredor de cuatro bandas	Preocupación menor
Phykkidactykus gerrhopygus	Salamanqueja del Norte grande	Preocupación menor

En las campañas de monitoreo de la cuenca del Río Loa para el muestreo de reptiles se han realizado transectos de largo variable entre 100 y 350 mts 15 m de ancho a cada lado de la línea de proyección. Se realizaron búsquedas activas (revisión bajo potenciales refugios (piedras, terrones, troncos o madera incluyendo basura en el caso de que hubiera) sobre troncos, corteza de arboles, ramas, arbustos y bordes de cuerpos de agua (rios, vertientes y lagunas). Las exploraciones de terreno fueron realizadas tratando de cubrir la mayor cantidad de áreas posibles y toda la diversidad de ambientes que ofrecia cada zona (laderas de cerro, zonas rocosas, costras salinas oasis, etc.) para esto se uso solo deteccion visual de los individuos ya que no existia el permiso de captura otorgado por el SAG, para poder identificar los individuos como macho o hembra o medirlos (medicion hocico-cloaca o peso).

i. Campaña Invierno

En esta primera campaña se realizó muestreo enfocado en ambos grupos mediante transectos de largo variable y 3 m de ancho a cada lado de la línea de proyección. Se realizó búsqueda activa (revisión de piedras, arbustos y bordes de cuerpos de agua) en los respectivos ambientes donde se buscaron reptiles y anfibios. Para estos últimos, además, se realizó playback en horario crepuscular en tres puntos de muestreo (debido a restricciones por seguridad).

En total se muestrearon cinco puntos, la ubicación espacial de éstos se ilustra en la Figura 3.93 (en color rojo) y además se detalla las metodologías realizadas en cada uno de ellos en la siguiente tabla:

Tabla 3.75. Ubicación de los puntos de muestreo y metodología de anfibios y reptiles en la cuenca del Río Loa.

Punto de monitoreo	Coordenadas UTM		Cota (m.s.n.m.)	Transecto Reptiles	Transecto Anfibios	Playback Anfibios
	Este (m)	Norte (m)				
S1_Rio_Loa	532396	7640484	3689	X	X	X
S2_Rio_Loa	533080	7617231	3392	X	X	X
S3_Rio_Loa	440964	7570828	1010	X	X	X
S4_Rio_Loa	430796	7625976	661	X	X	
S5_Quebrada_Amarga	420856	7631120	579	X	X	

Todos los puntos de muestreo están asociados al Río Loa, a excepción del punto “S5_Quebrada_Amarga”, el cual está asociado a la Quebrada Amarga. El detalle de las características de los ambientes de cada uno de los puntos se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 3.76. Descripción del ambiente de los puntos de monitoreo

Punto de monitoreo	Fecha	Condición Meteorológica	Sustrato	Tipo vegetacional dominante	Cobertura Vegetacional	Intervención antrópica
S1_Rio_Loa	07-09-2018	Despejado	Arenoso	Herbácea	Media	Alta
S2_Rio_Loa	04-09-2018	Despejado	Rocoso	Herbácea	Alta	Baja
S3_Rio_Loa	06-09-2018	Despejado	Arenoso	Herbácea	Alta	Baja
S4_Rio_Loa	05-09-2018	Despejado	Arenoso	Herbácea	Alta	Baja
S5_Quebrada_Amarga	05-09-2018	Despejado	Costra Salina	Herbácea	Alta	Baja

Del total de especies potenciales, dos fueron registradas en terreno. El anfibio *Rhinella spinulosa* y el reptil *Microlophus theresioides.* El detalle de la especie y número de individuos por punto de muestreo se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 3.77 Riqueza y abundancia por punto de muestreo en la cuenca del Río Loa.

Punto de Monitoreo	Especie	Nombre común	Abundancia
S1_Rio_Loa	Rhinella spinulosa	Sapo espinoso	2
S2_Rio_Loa	Rhinella spinulosa	Sapo Espinoso	2
S3_Rio_Loa	Microlophus theresioides	Corredor de Pica	3
S4_Rio_Loa	Microlophus theresioides	Corredor de Pica	2
S5_Quebrada_Amarga	Microlophus theresioides	Corredor de Pica	3

Adicionalmente, se considera relevante indicar que en el punto "S3_Rio_Loa" se escucharon vocalizaciones de anfibios que no estaban dentro de los registros reproducidos durante la actividad de playback y no fue posible su identificación *in situ*. Sin embargo, se considerará este hallazgo como antecedente para la siguiente campaña de muestreo. En las siguientes figuras se muestran fotografías de las especies registradas.

Figura 3.139 Ejemplar de *Microlophus theresioides* (juvenil) registrado en el Punto S5_Quebrada_Amarga.

Figura 3.140 Ejemplar de *Rhinella spinulosa* registrado en el punto S2_Rio_Loa.

ii. Campaña Verano (Caudal Alto)

En la campaña de Caudal Alto de verano 2019 se realizaron transectos diurnos de 200 metros de extensión, los que fueron realizados en las estaciones de monitoreo de fauna definidas. Cabe señalar que parte de las estaciones no contaron con acceso adecuado ni condiciones para la realización de las mediciones en transectos. De los transectos realizados, las estaciones '1 Rio Loa', '3 Rio San Pedro (Oficial)', '5 Rio Loa', '6 Rio Salado', 'S1 Rio Loa' y 'S2 Rio Loa', no presentaron reptiles durante el monitoreo diurno.

De los transectos con registro de reptiles, solamente se registraron dos especies, correspondientes a *Microlophus theresioides* (ver Figura 3.141) y *Liolaemus constanzae.* Para la primera especie se registraron abundancias que fueron entre 1 a 25 individuos por transecto, mientras que para *L. constanzae* solamente se registró un individuo de esta especie en el Punto S5, el cual se encuentra asociado a la Quebrada Amarga (Ver Tabla 3.78). Los registros fotográficos de las condiciones de terreno en las estaciones levantadas en la campaña de terreno se muestran en las Figura 3.142 a Figura 3.156.

Para esta campaña no se registraron anfibios mediante metodología de transectos, ni mediante los registros de playback.

Figura 3.141. *Microlophus theresioides*

Tabla 3.78 Registro de fauna avistado en Campaña de Caudal alto de verano 2019.

Punto de Muestreo	Condición Meteorológica	Tipo de Sustrato	Vegetación dominante	Cobertura vegetacional	Intervención antrópica	Largo de Transecto	Grupo Taxonómico	Especie	Abundancia
1 Rio Loa	Despejado	Rocoso	Herbáceas	Alta	Baja	200		Sin Registro de fauna	
3 Rio San Pedro (Oficial)	Despejado	Rocoso	Herbáceas	Media	Alta	200		Sin Registro de fauna	
5 Rio Loa	Despejado	Arenoso	Herbáceas	Media	Alta	200		Sin Registro de fauna	
6 Rio Salado	Despejado	Arenoso	Herbáceas	Alta	Baja	200		Sin Registro de fauna	
S1 Rio Loa	Despejado	Arenoso	Herbáceas	Media	Alta	200		Sin Registro de fauna	
10 Rio Loa	Despejado	Arenoso	Herbáceas	Alta	Media	200	Reptiles	*Microlophus theresioides*	25
11 Rio San Salvador	Despejado	Arenoso	Herbáceas	Alta	Media	200	Reptiles	*Microlophus theresioides*	2
12 Rio Loa	Despejado	Terroso	Herbáceas	Alta	Alta	200	Reptiles	*Microlophus theresioides*	1
13 Rio Loa	Nubes dispersas	Arenoso	Herbáceas	Media	Alta	200	Reptiles	*Microlophus theresioides*	22
14 Rio Loa	Despejado	Arenoso	Herbáceas	Alta	Alta	200	Reptiles	*Microlophus theresioides*	16
S2 Rio Loa	Despejado	Rocoso	Herbáceas	Alta	Baja	200		Sin Registro de fauna	
S3 Rio Loa	Despejado	Terroso	Herbáceas	Alta	Baja	200	Reptiles	*Microlophus theresioides*	17
S4 Rio Loa	Despejado	Pedregoso	Herbáceas	Alta	Baja	200	Reptiles	*Microlophus theresioides*	1
S5 Quebrada Amarga	Despejado	Costra Salina	Herbáceas	Media	Baja	200	Reptiles	*Liolaemus constanzae*	1
S5 Quebrada Amarga	Despejado	Costra Salina	Herbáceas	Media	Baja	200	Reptiles	*Microlophus theresioides*	9
7 Rio Loa	Despejado	Terroso	Herbáceas	Alta	Alta	200	Reptiles	*Microlophus theresioides*	2
9 Rio Loa	Despejado	Arenoso	Herbáceas	Alta	Media	200	Reptiles	*Microlophus theresioides*	6

Figura 3.142. Registro fotográfico de las condiciones de terreno en estación 9 Río Loa.

Figura 3.143. Registro fotográfico de las condiciones de terreno en estación S5 Quebrada Amarga.

Figura 3.144 Registro fotográfico de las condiciones de terreno en estación S4 Río Loa.

Figura 3.145. Registro fotográfico de las condiciones de terreno en estación 14 Río Loa.

Figura 3.146. Registro fotográfico de las condiciones de terreno en estación 13 Río Loa.

Figura 3.147. Registro fotográfico de las condiciones de terreno en estación S3 Río Loa.

Figura 3.148. Registro fotográfico de las condiciones de terreno en estación 10 Río Loa.

Figura 3.149. Registro fotográfico de las condiciones de terreno en estación 11 Río San Salvador.

Figura 3.150. Registro fotográfico de las condiciones de terreno en estación 12 Río Loa.

Figura 3.151. Registro fotográfico de las condiciones de terreno en estación 7 Río Loa.

Figura 3.152. Registro fotográfico de las condiciones de terreno en estación S1 Río Loa.

Figura 3.153. Registro fotográfico de las condiciones de terreno en estación 3 Río San Pedro (Oficial).

Figura 3.154. Registro fotográfico de las condiciones de terreno en estación 1 Río Loa.

Figura 3.155. Registro fotográfico de las condiciones de terreno en estación S2 Río Loa.

Figura 3.156. Registro fotográfico de las condiciones de terreno en estación 5 Río Loa.

iii. Campaña Otoño (Caudal Bajo)

Del total de especies potenciales, dos fueron registradas en terreno: Larvas de anfibio Sapo espinoso (*Rhinella spinulosa)* y Corredor de Pica (*Microlophus theresioides).* El detalle de la especie y número de individuos por punto de muestreo se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 3.79. Riqueza y abundancia por punto de muestreo en la cuenca del Río Loa.

Punto de Monitoreo	Especie	Nombre común	Abundancia
S1_Rio_Loa	*Rhinella spinulosa*	Sapo espinoso	350 Larvas
S2_Rio_Loa	*Microlophus theresioides*	Corredor de Pica	27
S3_Rio_Loa	*Microlophus theresioides*	Corredor de Pica	23
S4_Rio_Loa	*Microlophus theresioides*	Corredor de Pica	25
Quebrada_Amarga	*Microlophus theresioides*	Corredor de Pica	3

Las larvas encontradas fueron fotografiadas con Camara Canon 5D Mark III y contadas en la fotografia en la pantalla de un PC. Además, se revisaron los playbacks de las grabaciones obtenidas del sistema de song meters instalados y no se obtuvieron registros de la presencia de anfibios vocalizando en el lugar durante la noche durante las fechas de las prospecciones.

Figura 3.157. *Microlophus theresioides*

Figura 3.158. Individuo de *Microlophus theresiodes*

Figura 3.159. Larvas de *Rhinella spinulosa*

iv. Campaña Primavera

Tras la búsqueda activa y la realización de los transectos de observación en las 6 estaciones de monitoreo solo fue registrada una especie de reptil, correspondiente a *Microlophus theresioides* (Corredor de Pica). En total, se identificó un total de 49 individuos de esta especie, siendo más abundantes en el sector de Ojo de Opache y encontrándose en una menor cantidad en el punto S4. Ver Tabla 3.80 para detalle por punto de monitoreo, y en las Figura 3.160, Figura 3.161 y Figura 3.162 para fotografías de individuos.

No se registraron especies de anfibios, ni adultos ni en estado larvario. Además, se revisaron los playbacks de las grabaciones obtenidas del sistema de song meters instalados y no se obtuvieron registros de la presencia de anfibios vocalizando en el lugar durante la noche durante las fechas de las prospecciones. A pesar de haberse realizado un traslado de ejemplares de la especie *Telmatobius dankoi* en el mes de junio desde el sector de Las Cascadas, éstos no fueron encontrados en el lugar.

Tabla 3.80. Riqueza y abundancia por punto de muestreo en la cuenca del Río Loa. Primavera 2019.

Punto de Monitoreo	Especie	Nombre común	Abundancia
S1_Rio_Loa	Microlophus theresioides	Corredor de Pica	5
S2_Rio_Loa	Microlophus theresioides	Corredor de Pica	4
S3_Rio_Loa	Microlophus theresioides	Corredor de Pica	14
S4_Rio_Loa	Microlophus theresioides	Corredor de Pica	1
S5_Quebrada_Amarga	Microlophus theresioides	Corredor de Pica	5
Ojo de Opache	Microlophus theresioides	Corredor de Pica	20

Figura 3.160. Individuo de *Microlophus theresiodes* en punto S3.

Figura 3.161. Individuo de *Microlophus theresiodes* en punto S5.

Figura 3.162. Individuos de *Microlophus theresiodes* en punto Ojo de Opache.

3.2.2.2.7 Puntos adicionales monitoreados

i. Río San Salvador bajo Quetena

En la campaña de verano de 2019, a solicitud de la contraparte técnica del estudio, se incluyó el punto de monitoreo "SS bajo Quetena". Este punto ubicado en el río San Salvador aguas abajo de la confluencia con la Quebrada Quetena, fue monitoreado aproximadamente a las 16:00 hrs del 13 de marzo de 2019, en las coordenadas 501718 m E, 7517562 m S (UTM Huso 19K). En este punto, se realizó un muestreo de la calidad de aguas, cuyos resultados se presentan a continuación:

Tabla 3.81. Parámetros fisicoquímicos medidos en Río San Salvador bajo Quetena

Parámetro	Unidad	Valor	Parámetro	Unidad	Valor
Arsénico disuelto	mg/L	0,103	Mercurio disuelto	mg Hg/L	<0,001
Bicarbonato	mg/L	274	Níquel disuelto	mg/L	<0,003
Boro disuelto	mg/L	6,415	Nitrato	mg N/L	7,3
Cadmio disuelto	mg/L	<0,001	Nitrito	mg N/L	0,185
Calcio	mg Ca/L	97,3	Nitrógeno Kjeldahl	mg N/L	15,4
Carbonato	mg/L	12	Nitrógeno Total	mg N/L	22,9
Clorofila 'a'	ug/L	11,69	pH	unidad	7,59(25,0°C)
Cloruro	mg/L	477	Plomo disuelto	mg/L	<0,008
Cobre disuelto	mg/L	<0,003	RAS	-	6,46
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	<1,8	Salinidad	g/L	1,3
Coliformes Totales	NMP/100 ml	<1,8	Silicio disuelto	mg/L	31
Conductividad eléctrica (25ºC)	mS/cm	2,49	Sodio	mg Na/L	284
Cromo disuelto	mg/L	<0,002	Sólidos disueltos totales	mg/L	1504
DBO5	mg/L	12	Sólidos suspendidos totales	mg/L	48,6
Fósforo total	ug/L	1860	Sulfato	mg/L	223
Magnesio	mg Mg/L	30,0	Zinc disuelto	mg/L	0,117

Al realizar una comparación entre los valores de los parámetros físicoquímicos del punto "Río San Salvador bajo Quetena" y los valores de los puntos de monitoreos oficiales en el sector medio de la cuenca, se aprecia que en general las condiciones son similares. Se puede notar algunas diferencias, presentando este punto menores concentraciones de bicarbonato, boro disuelto, cloruro, coliformes totales, conductividad electrica, mercurio disuelto, salinidad y solidos disueltos totales, sin presentar diderencias de gran magnitud. Sin embargo, se pudo notar algunos parámetros que presentaron concentraciones mayores al resto de los puntos del sector, como lo son la clorofila 'a' con una concentración de 11,69 ug/L cuando el resto de los puntos presenta valores en torno a los 5 ug/L. Junto con esto, los valores de fósforo total, nitrito, nitrógeno Kjeldahl y sólidos suspendidos totales tambiés presentaron valores más elevados que el resto.

ii. Ojo de Opache

Durante la campaña de otoño de 2019, el equipo de terreno, en la búsqueda del Pejerrey del Norte (*Basilichthys semotilus*), recibió la información que éste había sido visto en el sector de Ojo de Opache. Por lo cual, se visitó el lugar para corroborar su presencia. Efectivamente se pudo realizar el avistamiento de la especie, pudiendo además capturar algunos ejemplares mediante pesca eléctrica, para medir su tamaño y posteriormente devolverlos a su hábitat. La ubicación del avistamiento fue en las coordenadas 497784 m E, 7513268 m S (UTM Huso 19K), en un pozón con agua corriente en el cual se estima había aproximadamente 40 individuos.

Figura 3.163. Registro fotográfico de los ejemplares de *Basilichthys semotilus* observados en Ojo de Opache.

A continuación, en la Tabla 3.82, se presenta la morfometría de los ejemplares capturados:

Tabla 3.82. Morfometría de peces capturados en Ojo de Opache en la campaña de otoño de 2019. LT = Longitud total (cm), PT = Peso total (g), K = Factor de condición.

Especie	LT (cm)	PT (g)	K	Estación	Arte de pesca
Basilichthys semotilus	15	27,0	8,0	Ojo de Opache	P. eléctrica
Basilichthys semotilus	12	11,2	6,5	Ojo de Opache	P. eléctrica
Basilichthys semotilus	13,5	18,9	7,7	Ojo de Opache	P. eléctrica
Basilichthys semotilus	12	11,9	6,9	Ojo de Opache	P. eléctrica

iii. Prospección Sector Las Cascadas

En el marco de esta esta prospección se hizo una visita a el punto reportado para *Telmatobius dankoi* ubicado en el sector de Las Vertientes aledaños a zona recreativa de Calama Las Cascadas descrito por Ramón Formas 1999 en la Revista Chilena de Historia Natural.

La especie esta descrita fuera del curso del río Loa, en una vertiente natural usada como canal de regadío por la comunidad ubicada aproximadamente a unos 160 mts de la cuenca del río Loa. Este sector corresponde a una zona de tomas de terrenos en el desierto, ubicada a unos 8 km de la ciudad de Calama. La idea de esta prospección en el sitio era la de integrar ese punto a los futuros muestreos del estudio de la cuenca del río Loa.

El día 11 de junio se realizo un transecto de unos 500 m y se pudo observar que todo el canal estaba completamente seco y no había señales de anfibios vivos o carcasas de ranas muertas en el sector por lo que se procedió a hacer una búsqueda intensiva con chinguillos y pesca eléctrica en el curso del Río Loa frente al sector de las vertientes por un tiempo aproximado de 45 minutos a las 19:00 horas sin encontrarse absolutamente nada.

Esto representaba una situacion alarmante y muy seria para la especie ya que es conocida solo en ese sitio y se le considera una especie micro endémica para Chile. Al regreso al sector un par de semanas después, uno de los integrates del equipo de terreno (Andrés Charrier) dio aviso a su colega Gabriel Lobos con quien habían estado trabajando en la zona tanto en el 2013 y el 2015 y decidieron hacer una campaña de prospección a la zona de las vertientes para el dia 14 de junio en conjunto con Hugo Salinas.

Ese dia en conjunto con personal del Museo de Historia Natural de Calama y de una comunidad indigena que vive en las cercanias de el sector de las Cascadas, se hizo una prospeción al sitio de las Vertientes. En dicha ocasión se hizo un transecto todo a lo largo del canal de regadio hasta llegar al origen de la vertiente (aporximadamente de 1,5 km de largo) constatando que estaba completamente seco. En el origen de la vertinte se encontró una pequeña laguna de unos 4 mts de largo por 2,5 metros de ancho y de apenas unos 30 cm de profundidad con gran cantidad de sedimento, barro y cubierto por una gruesa capa de algas, que correspondia a todo el habitat restante de la rana del Rio Loa.

En dicho lugar se procedio a bsucar anfibios en dicho lugar con botas waders y chinguillos de mano. Después de aproximadamente 20 minutos aparecieron los primeros *Telmatobius dankoi*. Despues de 2 horas de intensa busqueda en el lugar aparecieron en total 63 individuos de *dankoi* con bajisimo estado caroporal, esqueleticos y muy desnutridos. Se encontraron en dicha oportunidad solo adultos, no había larvas ni juveniles de esta especie.

Los animales fueron puestos en una botella de plastica de 3 litros (13 ranas) y el resto en un balde de 25 litros (50 ranas). Luego estas ranas fueron llevadas a un sector llamado Ojos de Opache, ubicado aproximadamente 6 km de el sector de las vetientes, donde se habían hecho prospecciones años atrás para buscar anfibios y se habian encontrado solo peces en el lugar. Los 63 anfibios fueron liberados en ese sitio para salvaguardar la especie.

Un mes despues se realizo una nueva prospeccion con personal de Ministerio de Medio ambiente (Roberto Villablanca) al sector de Las Vertientes para conocer un poco más en detalle la condicion del lugar. En dicha ocasión se encontro un poco más de agua en la vertiente encontrando un poco de agua en unos 100 m desde el inicio de la vertiente por con una columna de agua de 10 cm por 40 cm de año aproximadamente. En dicha oportunidad se hizo un esfuerzo de muestreo de 90 minutos aproximadamente. En dicha oportunidad se pudieron rescatar 12 animales que fueron puestos en contenedores plásticos de 40x30 cm y llevados al museo de Calama para su posterior envio a Santiago.

Al día siguiente se hizo una prospección en el sitio de liberacion en Ojos de Opache con chinguillo de aproximadamente 90 m y se encontraron solo 2 animales de los 63 que se habian liberado en el lugar un mes atrás.

Hoy dia, según herpetólogo Andrés Charrier, debieran quedar al menos 61 *T. dankoi* en el sector de Ojos de Opache en vida libre, esto sumado a la presencia de pejerrey del Loa (*Basilichthys semotilus*) hacen del lugar un sitio de alta alta importancia cientifica por lo que será integrado a la red de puntos de monitoreo de este estudio, para poder hacer un seguimiento de estas especies en el lugar la siguiente campaña de primavera de 2019.

Es importante que en el marco de este estudio se sigan monitoreando en el futuro el area de Las Vertientes y de Ojos de Opache para poder hacer un seguimiento de los anfibios y peces presnetes en dicho lugar.

Finalmente es importante señalar que la situacion que afecta a *T. dankoi* en el sector de la Vertientes hoy dia es la misma que afecta a los otros *Telmatobius* de la Región de Antofagasta: *T. vilamensis*, en el estero Vilama en San Pedro de Atacama, *T. phillipi* de la quebrada de Amincha cercanias de Ollague, *T. fronteriensis* en la estación de Puquios y los *Telmaotbius spp* de salar de Ascotan y salar de Carcote, respectivamente.

3.3 Diagnóstico integrado del estado ambiental actual de la cuenca del río Loa y sus tributarios

3.3.1 Análisis geomorfológico de la cuenca del río Loa y sus tributarios

El desarrollo de la caracterización geomorfológica de un río consiste en un análisis morfológico en diferentes niveles de escala, estableciendo posiciones jerárquicas de organización topográfica y litológica de las características del río. La escala definida por magnitudes físicas del orden de 100 metros a 100 kilómetros de longitud del tramo del río es el nivel "Macroescala" y entre magnitudes físicas del orden de 10 a 100 metros de longitud de tramo de río es el nivel "Mesoescala".

3.3.1.1 Caracterización a nivel de Macroescala

La clasificación a nivel de macroescala, depende de metodologías del tipo morfológicas y del tipo Eco-hidrológicas, para el caso del tipo morfológicas se utiliza el método de Rosgen y para el caso del tipo Eco-hidrológica se emplea la metodología "River environment classification" (REC).

3.3.1.1.1 Método Rosgen (1994)

Método que consiste en una clasificación en función a niveles de resolución y alcance de la interpretación visual, estableciendo la siguiente jerarquía:

- Caracterización morfológica general (Nivel I): Se evalúa el tipo, forma de relieve tramo de estudio, de acuerdo con la pendiente longitudinal, sinuosidad y sección transversal (Figura 3.164) definiendo nueve tipos de ríos (*A, Aa+, B, C, D, DA, E, F, G*).
- Descripción morfológica (Nivel II): Se detalla el tipo de rio, ya establecido en el nivel I, en subcategorías (N°1, 2, 3, 4, 5, 6) que relacionan la pendiente, sinuosidad, material predominante en el lecho, ancho de la superficie libre y la relación ancho y profundidad (Figura 3.165).

A pesar de que el método de Rosgen posee una clasificación de cuatro niveles, se consideran los primeros dos, "por motivos de la brevedad y la claridad, se centra en los dos primeros niveles, porque incorpora el carácter general de la forma del canal y las interpretaciones relacionadas" (Rosgen, 1994, P. 173).

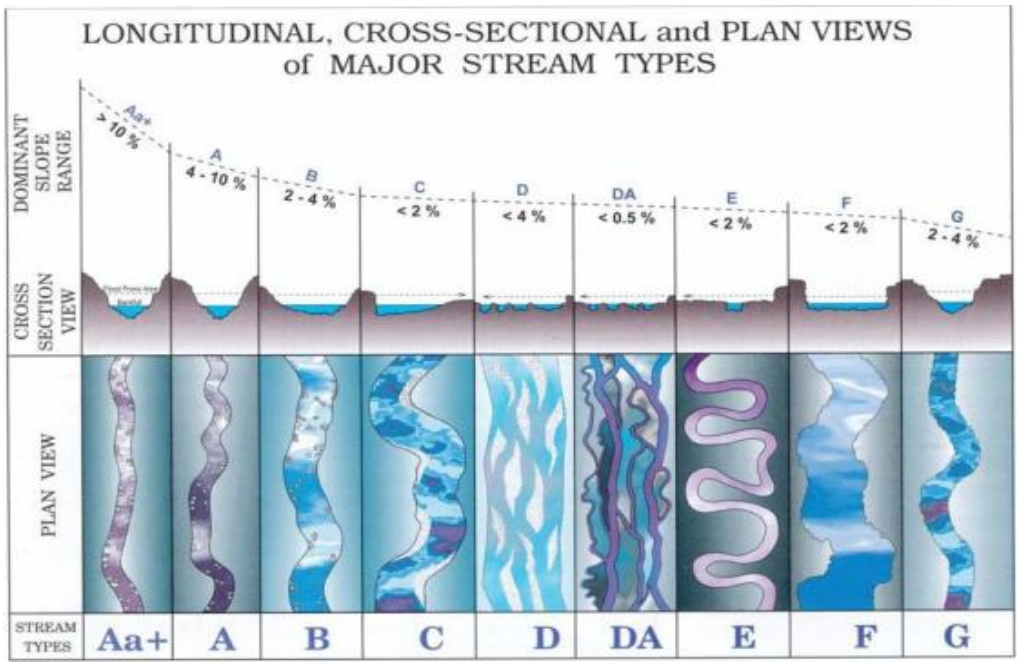


Figura 3.164. Método de Rosgen, caracterización morfológica general (Nivel I) (Rosgen, D., 1994).

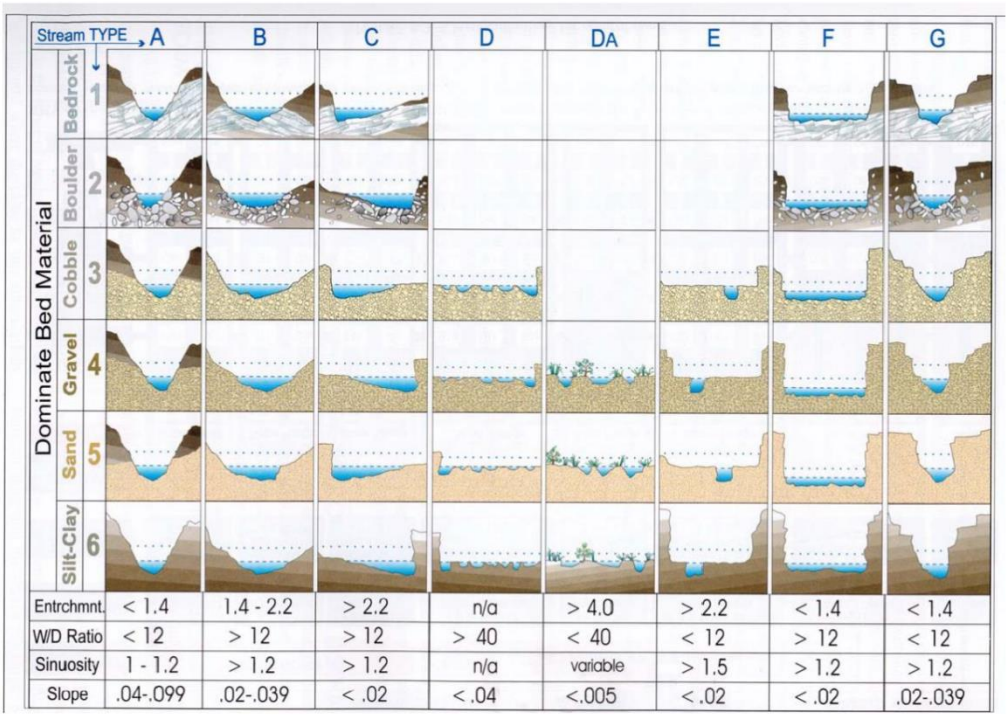


Figura 3.165. Método de Rosgen, descripción morfológica genera (Nivel II) (Rosgen, D., 1994).

3.3.1.1.2 Método “River environment classification” (REC)

La clasificación eco-hidrologicas se realizan en función a la geografía particular de la región de estudio, incluyendo las necesidades del ecosistema y se desarrolla de acuerdo con la metodología “River environment classification” (REC), la cual se basa en la jerarquía de factores controlados por patrónes hidrológicos. Ahora bien, considerando que el río en estudio se ubica en el país, “se ha desarrollado una clasificación eco-hidrológica de los ríos de Chile (REC-Chile) basada en una superposición jerárquica de factores controladores del patrón hidrológico en Chile. REC-Chile es multiescalar, permitiendo según los factores controladores seleccionados representar distintos patrones fluviales a diversas escalas espaciales.” (Peredo-Parada, 2011, P. 26).

“Los factores de control seleccionados para la implementación de REC-Chile se basan en aquellos utilizados en la REC desarrollada por Snelder y Biggs (2002) para Nueva Zelanda, adaptada a las condiciones climáticas y ambientales de Chile. Los factores de control seleccionados fueron: clima, fuente de flujo, geología, posición relativa de captación, uso de la tierra y pendiente de alcance. Cada uno de estos se subdivide en categorías según el significado de los factores de control.” (Peredo-Parada, 2011, P. 28).

Tabla 3.83. Niveles de clasificación de la REC-Chile, sus categorías y reglas de asignación (Peredo-Parada.2011)

Nivel	Factor	Categoría	Notación	Regla de asignación		Fuente
				M.a.e.p. (mm)		
1	Climate	Arid	Ar	≤ 250		
		Semi-arid	Sa	250 – 500		
		Mid-wet	Mw	500 - 1000		(1)
		Wet	W	1000 – 2000		
		Very wet	Vw	2000		
				P.a.p. (%)	Elevation (masl)	
2	Source of flow	Low elevation	L	≤ 25	300	
		Valley	V	25 -40	300 - 1000	(2)
		Mid-mountain	Mn	40 -75	1000 - 2400	
		Mountain	M	75 >	2400 - 4200	
		Eternal snows	Es	Without liquid rainfall	≥ 4200	
		Lakes	La	Lake influence index ≥ 0.020		
		Regulation	Rg	Assignes manually		
		Glaciers	G	Glacier area > 20% Watershed area		(3)
3	Geology	Deposit non consolided	Al			
		Plutonic and hipabisal	Pl			
		Volcanic	Vc			(4)
		Sed. and mix sed-volc.	Mx			
		Metam. and sedimentary	Ms			
		Fractured volcanic	Vf			
		Carbonate	Ca			
		Area without information	Ni			

Nivel	Factor	Categoría	Notación	Regla de asignación	Fuente
				Accumulated catchment (% basin area)	
4	Catchment relative position	Headwater	Hw	≤ 7,5	
		Upper reach	Ur	7,5 – 25	
		Middle reach	Mr	25 - 70	(2)
		Low reach	Lr	≥ 70	
		Endorreic	E	Basin without flow outlet to the sea	(5)
		International	I	International basin	(5)
5	Land Use	City	Ci		
		Agriculture	Ag		
		Prairie and shrubs	Ps		
		Woods	Wo		
		Area without vegetation	Nv		
		Reservoir	R		
		Wetlands	Wt		(6)
		Snow and glaciers	Sg		
		Area without information	Ni		
				Slope (%)	
6	Slope	High	Hi	> 0,04	
		Medium	Md	0,04 – 0,02	(3)
		Low	Lw	≤ 0,02	

*M.a.e.p	Mean annual effective precipitation.
** P.a.p	Percentage of accumulate precipitation.
(1)	Climate classification of Blair.
(2)	Own construction.
(3)	Snelder *et al.* (2005).
(4)	Lithology (DGA).
(5)	Hydrological network (DGA).
(6)	Land Use (DGA).

3.3.1.2 Caracterización a nivel de Mesoescala

El nivel de mesoescala, es aquella considera la forma fluvial del cauce, la presencia de fauna íctica nativa o de especies especiales y la actividad antrópica relevante de la zona. Por consiguiente, esta metodología describe dos tópicos relevantes, los cuales son: la morfología del cauce y el tipo de hábitat del tramo de río. En el caso de describir la morfología del cauce, los factores que determinan su clasificación son la forma vista en planta y la sección transversal que presenten, los cuales pueden denominarse tramos rectos, meandrosos, trenzados o alguna combinación de ellos (Figura 3.166).

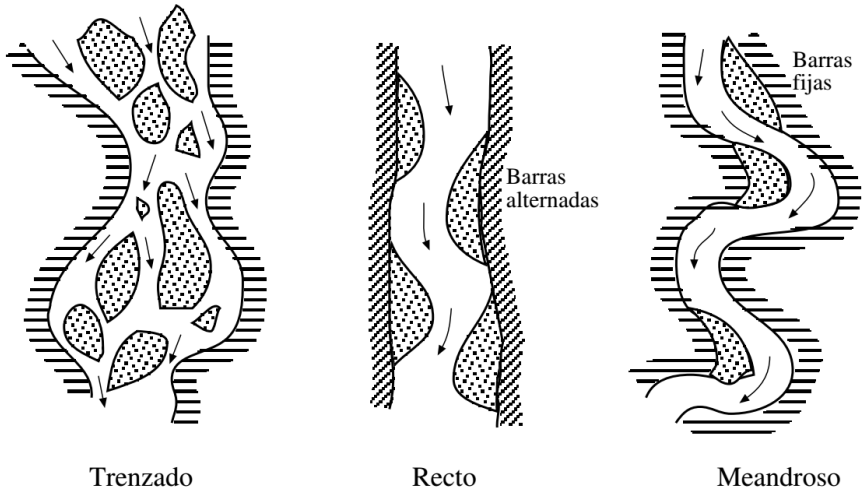


Figura 3.166. Patrones morfológicos típicos de ríos (Higginson & Johnston., 1988).

Con respecto a la identificación de los diferentes hábitats presentes en un tramo de rio a nivel de mesoescala se denomina unidades hidromorfológicas o mesohábitat. Se consideran las metodologías de Montgomery & Buffington (1997)(Figura 3.167; Tabla 3.84) y de Parasiewicz (2007), las cuales realizan una clasificación en función de la morfología del cauce con su perfil longitudinal y las características de escurrimiento respectivamente.

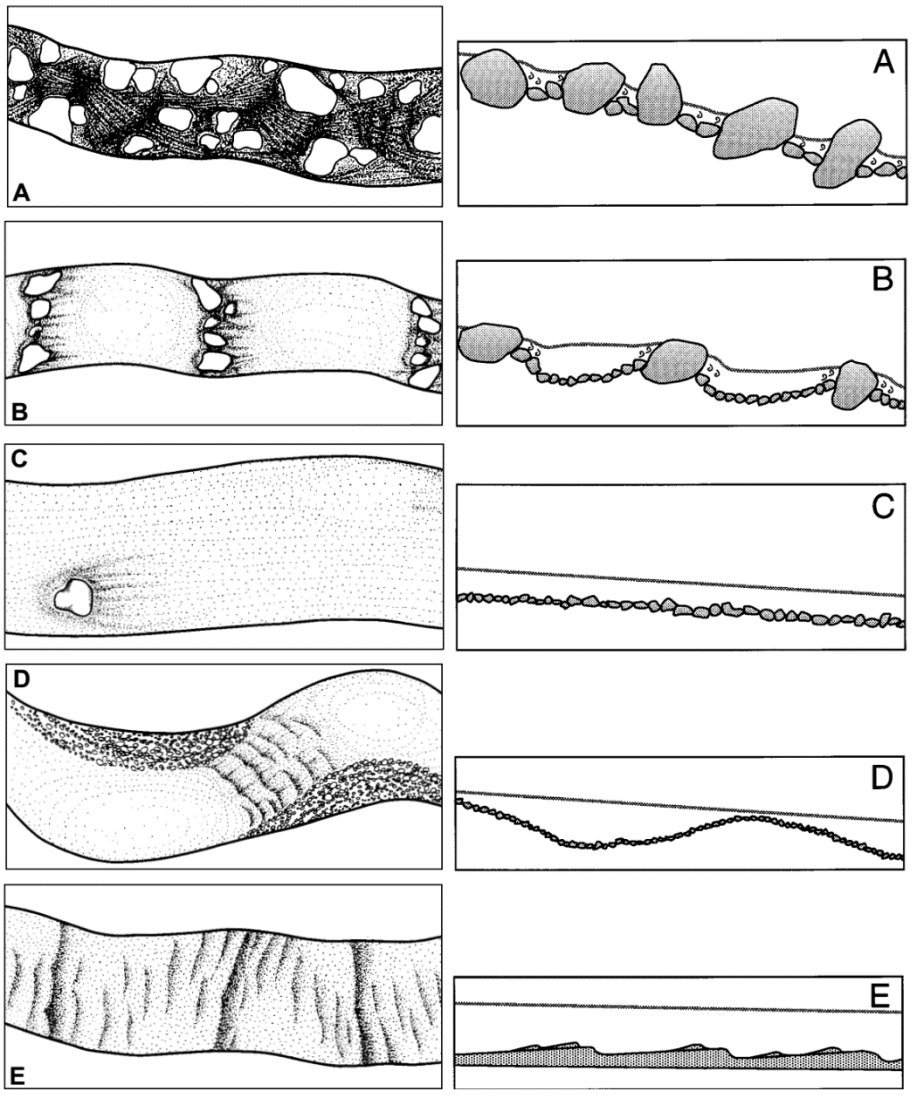


Figura 3.167. Clasificación por perfiles transversales y longitudinales de mesohábitats (Montgomery & Buffington, 1997).

Tabla 3.84. Simbología para clasificación de mesohábitats (Montgomery & Buffington, 1997)

Simbología	Clasificación
A	Cascada.
B	Secuencia de saltos y pozas.
C	Lechos planos.
D	Secuencia de corrientes y pozas.
E	Cauce de Duna con ondulación.

Tabla 3.85. Descripción de unidades hidromorfológicas o mesohábitat (Parasiewicz., 2007)

Tipo de Mesohábitat	Definición de Unidad Hidromorfológica	Características
Rápidos	Riffle	Escurrimiento somero- Velocidad moderada- Superficie turbulenta-Pendiente alta- Forma lecho convexo.
	Rapid	Tramo de gradiente elevado-Velocidad alta-Mayor superficie turbulenta-forma lecho convexo- presencia sustrato grueso.
	Cascade	Rápidos escalonados-caídas de agua bajas-pozas de agua pequeñas detrás de rocas.
	Run	Flujo permanente- Talweg definido- Cauce longitudinalmente plano y lateralmente cóncavo.
	Ruffle	Transición entre "Rápidos" (Para Run o Riffle).
	Fast Run	Flujo rapido uniforme.
Lentos	Pool	Aguas profundas por obstrucción parcial o total- Velocidad baja- Forma lecho cóncava.
	Plunge Pool	Flujo sobre obstrucción completa- con caída vertical aguas abajo.
	Backwater	Velocidad baja en márgenes del cauce por vórtices aguas debajo de obstrucción.,
	Glide	Flujo laminar en aguas someras- Sin presencia de turbulencia- Forma de lecho plano
Otros	Side Arm	Cauces alrededor de islas, menores que la mitad del ancho del rio- Con frecuencia a distintas elevaciones.

Para favorecer la precision de la estimacion de la clasificacion geomorfologica del área de estudio se estableció un desglose de acuerdo al cauce principal y sus afluentes, a saber, el rio Loa y los rios Chela, San Pedro, Salado, San Salvador y Quebrada Amarga respectivamente, tal como se describe en la siguiente ilustración:

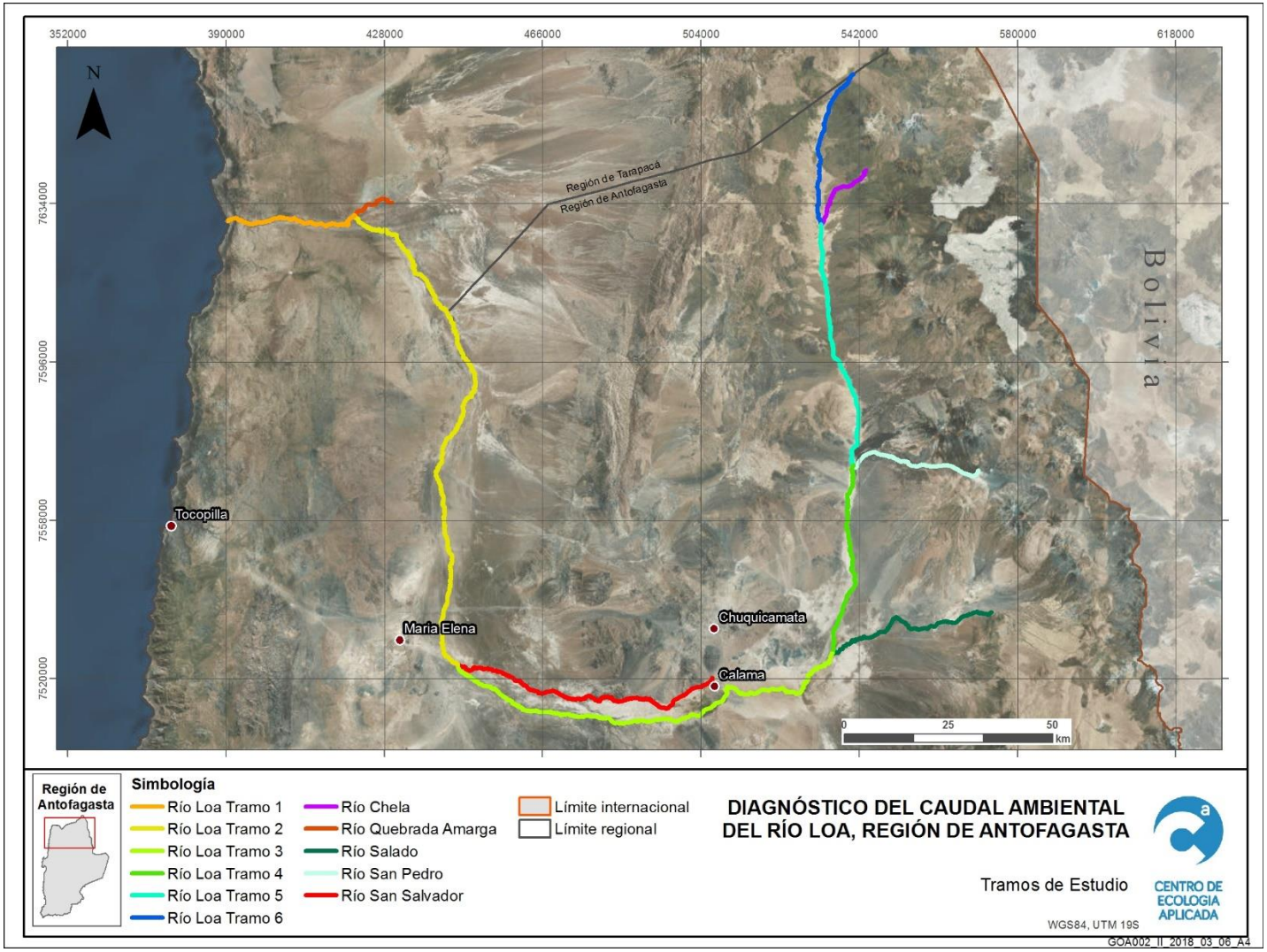


Figura 3.168.Tramos considerados para caracterización geomorfológica

Por medio de los atributos batimétricos pertenecientes a cada tramo de estudio, se desprenden los perfiles transversales, longitudinales y pendientes, además, considerando la taxonomia de los suelos de la region de Antofagasta (CIREN, 2016), se realiza la caracterizacion a nivel de macroescala por el metodo de Rosgen. Al presentar valores de pendiente menores al 2% y morfologías longitudinales sinuosas, la clasificación del primer nivel Rosgen se encuentra en los tipos “C”, “DA” y “E”. Por consiguiente, esa clasificación se subdivide por medio de su segundo nivel, ya que por los tipos de suelos característicos de la zona, los tramos de estudio se encuentran lechos de estratos arcillosos, gravosos de distinto tamaño, con simbología numérica “6”, ”3” y “4”, como se describen el la Tabla 3.86

Tabla 3.86. Caracterización a nivel de macroescala, método de Rosgen

Río	Tramo (T)	Pendiente (m/m)	Rosgen nivel I	(*) Taxonomía de Suelo	Rosgen nivel II
Rio Loa (RL)	T6 RL	0.0126	C	Molisoles	C-6
	T5 RL	0.0073	C	Molisoles	C-6
	T4 RL	0.0099	C	Molisoles-Aridisoles	C-6 y C-4
	T3 RL	0.0076	C	Entisoles	C-3
	T2 RL	0.0039	C	Entisoles	C-3
	T1 RL	0.0041	C	Entisoles	C-3
Rio Chela (RC)	T RC	0.0015	C	Molisoles	C-6
Rio San Pedro (SP)	T SP	0.0123	C	Molisoles	C-6
Rio Salado (RS)	T RS	0.0007	DA	Molisoles-Aridisoles	DA-6 y DA-4
Rio San Salvador (SS)	T SS	0.0015	E	Entisoles	E-3
Rio Quebrada Amarga (QA)	T QA	0.0087	F	Entisoles	F-3

(*) Taxonomía de Suelo (Centro de información de recursos naturales-CIREN, 2016).

La siguiente metodologia para desarrollar la caracterizacion a nivel de macroescala es la del River environment classification, REC-Chile. Los aspectos relevantes de la caracterizacion en los tramos de estudio por medio de este metodo, son: que poseen generalmetne climas aridos (“Ar”), pendientes bajas (“Lw”), flujos motañosos (“M” y “Mn”), suelos metamorficos - sedimentarios y volcanicos (“Ms” y “Vc”), usos de suelo entre areas con vegetacion y zonas urbanas (“Nv” y “Ci”) y tramos de captacion medios-altos (“Mr” y “Lr”), cabe destacar que para su desarrollo se requirió información pluviometrica, geologica (CIREN, 2016) y vizualización por imagenes satelitales de Google Earth además de las características topográficas del terreno (Tabla 3.87. Caracterización a nivel de macroescala, método River environment classification, REC-Chille.Tabla 3.87).

Tabla 3.87. Caracterización a nivel de macroescala, método River environment classification, REC-Chille.

Río	Tramo (T)	Clima	Fuente del flujo	Geología	Tramo de captación	Uso de suelo	Pendiente
Rio Loa (RL)	T6 RL	Ar	M	Mx	Lr	Sg	Lw
	T5 RL	Ar	M	Vc – Mx	Mr	Nv	Lw
	T4 RL	Sa	M	Ms	Mr	R - Ci	Lw
	T3 RL	Ar	Mm	Ms	Mr	Ci - Wt	Lw
	T2 RL	Ar	V	Mx-Ms	Mr	Ci	Lw
	T1 RL	Ar	L	Ms	E	Nv	Lw
Rio Chela (RC)	T RC	Ar	M	Mx	Lr	Sg	Lw
Rio San Pedro (SP)	T SP	Ar	M	Vf	Lr	Sg	Lw
Rio Salado (RS)	T RS	Sa	M	Vf	Lr	Nv	Lw
Rio San Salvador (SS)	T SS	Ar	Mm	Ms	Lr	Ci - Nv	Lw
Rio Quebrada Amarga (QA)	T QA	Ar	V	Ms	E	Nv	Lw

A nivel de mesoescala, la caracterizacion comprendio las metodologias de Montgomery & Buffington y de Paraseiwicz, de las cuales su clasificacion esta en funcion de la hidromorfologia del cauce en los tramos de estudio, inicialmente se identifica una preponderacia de mesohabitats con “Secuencias de corrientes y pozas” para el caso del metodo de Montgomery & Buffington, del cual se infiere su clasificion producto de sus perfiles longitudinales y de las imagenes en terreno de la campaña en el area de estudio del Centro de Ecologia Aplicada, la identificación se expresa en la siguiente tabla:

Tabla 3.88. Caracterización a nivel de mesoescala, método Montgomery & Buffington

Rio	Tramo (T)	Clasificación del Mesohábitat
Rio Loa (RL)	T6 RL	Lechos Planos (C)
	T5 RL	Secuencia de Corrientes y Pozas (D)
	T4 RL	Secuencia de Corrientes y Pozas (D)
	T3 RL	Secuencia de Corrientes y Pozas (D)
	T2 RL	Secuencia de Corrientes y Pozas (D)
	T1 RL	Lechos Planos (C)
Rio Chela (RC)	T RC	Lechos Planos (C)
Rio San Pedro (SP)	T SP	Secuencia de Corrientes y Pozas (D)
Rio Salado (RS)	T RS	Secuencia de Corrientes y Pozas (D)
Rio San Salvador (SS)	T SS	Secuencia de Corrientes y Pozas (D)
Rio Quebrada Amarga (QA)	T QA	Cauce de Duna con ondulación (E)

Asi pues, en el metodo de Paraseiwicz, su caracterizacion se encuentra asociada al tipo de escurrimiento predominante en cada tramo, por lo que por medio del estudio hidráulico desarrollado en el software Hec-Ras, se logra determinar el valor del numero adimensional de Froude, el cual indica el estado del flujo hidraulico y por lo tanto su predominancia de la hidromorfologia en los tramos de estudio es de mesohabitats “Rapidos”, tales como “Run”, “Cascade” o “Riffle”.

Tabla 3.89. Caracterización a nivel de mesoescala, método Paraseiwicz.

Río	Tramo (T)	Clasificación del Mesohábitat
Rio Loa (RL)	T6 RL	"Glide"
	T5 RL	"Riffle"
	T4 RL	"Cascade"
	T3 RL	"Rapid"
	T2 RL	"Ruffle"
	T1 RL	"run"
Rio Chela (RC)	T RC	"Fast Run"
Rio San Pedro (SP)	T SP	"Backwater"
Rio Salado (RS)	T RS	"Rapid"
Rio San Salvador (SS)	T SS	"Glide"
Rio Quebrada Amarga (QA)	T QA	"Run"

En comparación a nivel de macroescala, la caracterización por REC-Chile, posee criterios de evaluación que incluyen atributos pluviometricos como su precipitación o topograficos como la elevacioń del terreno y por tener una modelación aplicada en los rios del pais, presenta una mayor discriminación que el metodo de Rosgen, el cual tiene una clasificacion visual de acerdo a los criterios establecidos por el autor, considerando solamente la forma y la pendiente del tramo de estudio.

A su vez, a nivel de mesoescala, la caracterización con respecto al metodo de Paraseiwicz, considera caraceteristicas hidráulicas que se desprenden de la informacion fluviometrica de los tramos de estudio, además de diferenciar en mayor numero de subcategorías los mesohabitats caracteristicos, a diferencia del metodo de Montgomery & Buffington, el cual solo realiza una evaluación visual de la morfologia transversal y longitudinal de los tramos de estudio.

3.3.2 Análisis geográfico de presiones

Por definición una presión corresponde a cualquier actividad humana que incida sobre el estado ambiental de las aguas (Infante et al 2009), mientras el ministerio del medio ambiente lo define como factores o variables directas que afectan el estado de los componentes del medio ambiente de manera individual o colectiva. Estas presiones pueden ser de orden antrópico o procesos naturales (MMA, 2018). Estas presiones pueden generar un cambio en el estado del ecosistema que generan impactos desde el bienestar humano, en bienes y servicios, en el ecosistema en general:

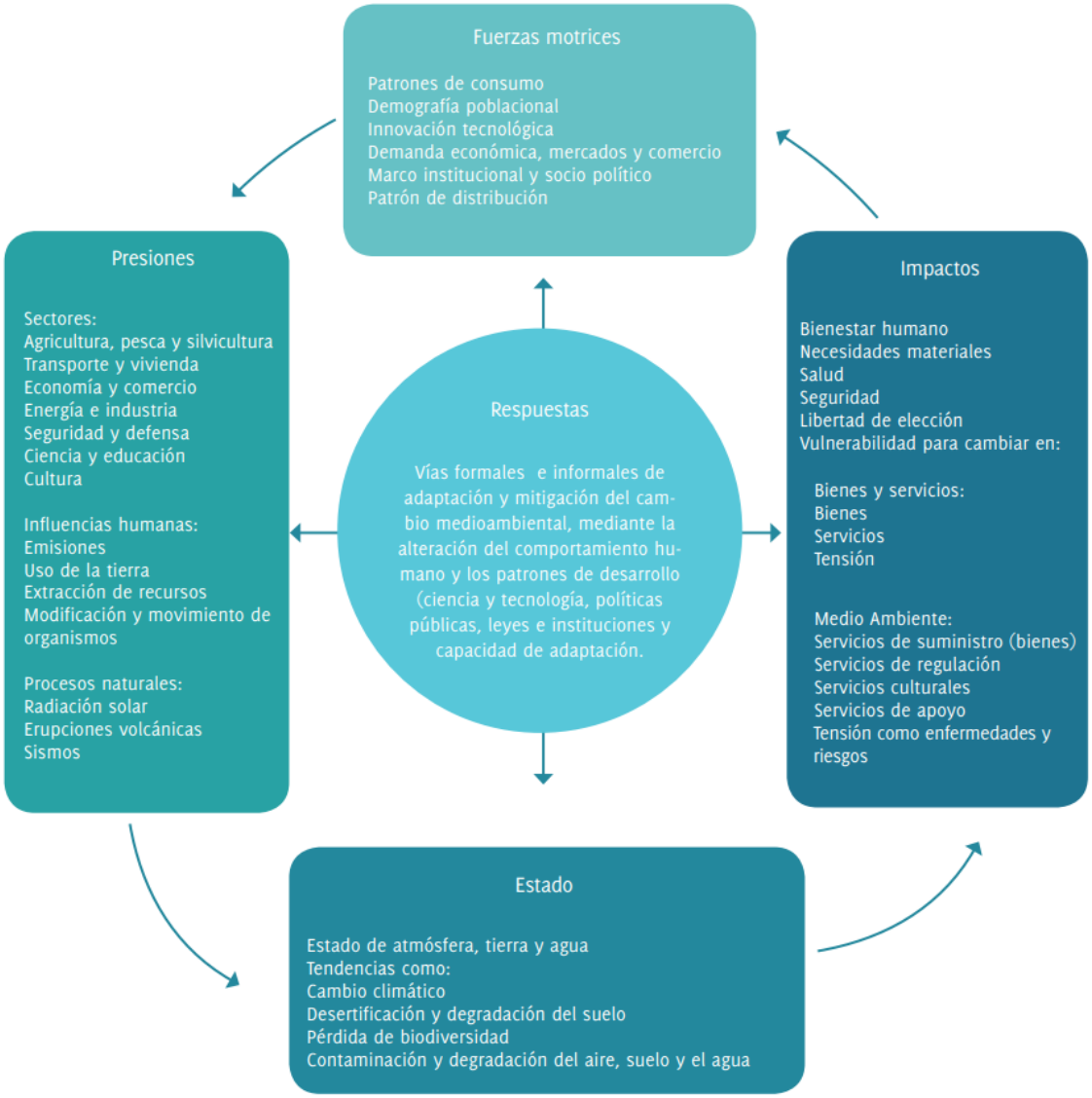


Figura 3.169. Presiones su interacción y consecuencias. (Fuente: MMA, 2018).

En el caso particular de la cuenca del río Loa, coexisten diversas actividades humanas e industriales que constituyen presiones directas sobre el ecosistema fluvial. Tanto los asentamientos urbanos, cómo la actividad económica y cultural integran presiones que afectan al mismo ecosistema. Y es que la región de Antofagasta se caracteriza por ser un actor relevante en el aporte al PIB nacional, alcanzando los $14.591 mil millones de pesos en el año 2015. Esta cifra representa un 10,2% del PIB nacional total. Cabe destacar, que el PIB de la Región de Antofagasta es el segundo mayor, después del de la Región Metropolitana. En cuanto al PIB silvoagropecuario, este alcanza, en el año 2015, el valor de $3 mil millones y representa un 0,1% (ODEPA, 2017).

Las actividades económicas más relevantes en la región son minería con un 55,7%, seguida en menor medida por construcción (12%), transporte y telecomunicaciones (5,5%), servicios personales (5%), e indusria manufacturera (4,6%) (INE, 2017). Sin embargo, de todas estas en relación con el uso del agua, la minería cobra un papel protagónico, además de los usos de agua potable para satisfacer a grandes ciudades de la región, el uso agrícola también encuentra su desarrollo en la cuenca gracias a sus aguas. Todos estos usos ejercen una presión importante sobre el ecosistema fluvial.

El 24 de enero del año 2000, fueron declaradas agotadas las aguas superficiales del río Loa y sus afluentes, a través de la resolución DGA N° 197, por lo que ya no se constituyeron nuevos derechos de aprovechamiento de aguas de ejercicio permantente (DGA 2005). Así mismo la región de concentra la mayor superficie protegida con 122 acuíferos resguardados, lo que equivale a 5.304 km2, incluyendo los acuíferos que alimentan vegas y bofedales dentro de la cuenca (DGA, 2016). No obstante, a pesar de estos antecedentes las aguas del río y de acuíferos son utilizadas en ordenes de mágnitud importantes, y presenta un ecosistema alejado de su condición natural.

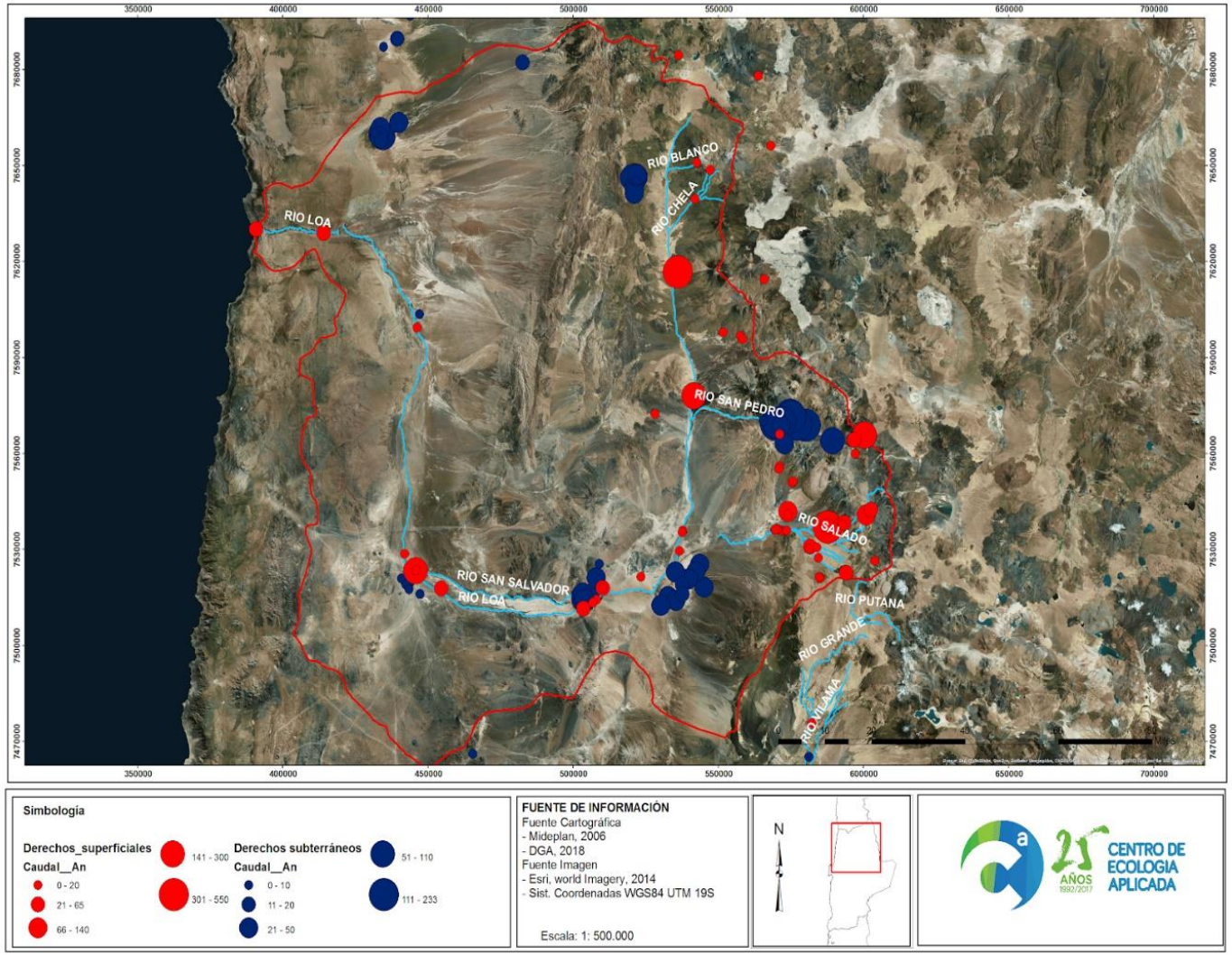


Figura 3.170. Derechos de agua superficiales y subterráneos en la cuenca del río Loa, Fuente DGA.

Tabla 3.90. Derechos de aguas subterráneos otorgados en la cuenca del río loa. Fuente DGA 2019.

Nombre Solicitante	Tipo Derecho	Clasificación Fuente	Uso del Agua	Ejercicio del Derecho	Caudal l/s Anual Prom	UTM Norte Captación (m)	UTM Este Captación (m)	Fecha de registro
COMPAÑIA MINERA PHOENIX S.A.	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	31	7.522.986,30	535.302,54	30/07/1996
LUIS FELIX Y JUAN MAURICIO URRUTICOECHEA E.	Consuntivo	Acuifero		Permanente y Continuo	1,4000	7.696.890,00	443.925,00	30/03/1995
COMINOR S.A.	Consuntivo	Acuifero		Permanente y Continuo	0,0140	0,00	0,00	27/05/1988
COMPAÑIA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	65,8000	7.515.039,00	504.218,00	26/01/2001
SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A.	Consuntivo	Acuifero		Permanente y Continuo	60	7.660.011,99	433.787,32	24/06/1999
SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A.	Consuntivo	Acuifero		Permanente y Continuo	65	7.659.096,34	434.559,66	24/06/1999
SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A.	Consuntivo	Acuifero		Permanente y Continuo	35	7.661.977,00	433.595,34	24/06/1999
SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A.	Consuntivo	Acuifero		Permanente y Continuo	30	7.663.593,41	439.902,29	24/06/1999
SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A.	Consuntivo	Acuifero		Permanente y Continuo	31	7.658.924,20	433.144,51	24/06/1999
SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A.	Consuntivo	Acuifero		Permanente y Continuo	19	7.657.992,30	433.844,15	24/06/1999
SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A.	Consuntivo	Acuifero		Permanente y Continuo	4,7000	7.660.336,92	431.761,69	23/06/1999
COMPAÑIA MINERA FLOMAX	Consuntivo	Acuifero		Permanente y Continuo	0,3000	7.466.230,00	465.465,00	22/08/1990
SOCIEDAD IMPORTACIONES NORTEAMERICANA LIMITADA Y COMPAÑIA C.P.A.	Consuntivo	Acuifero		Permanente y Continuo	60	7.761.200,00	432.350,00	21/10/1993
CODELCO CHILE DIVISION RADOMIRO TOMIC	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	30	7.521.343,00	508.002,00	19/06/2003
COMPAÑIA DE SERVICIOS DE AGUAS YALQUI LIMITADA	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	40	7.525.516,00	543.655,00	19/01/2004
COMPAÑIA DE SERVICIOS DE AGUAS YALQUI LIMITADA	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	20	7.519.133,00	537.591,00	19/01/2004
COMPAÑIA DE SERVICIOS DE AGUAS YALQUI LIMITADA	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	50	7.515.374,09	532.640,77	19/01/2004
COMPAÑIA DE SERVICIOS DE AGUAS YALQUI LIMITADA	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	35	7.514.189,06	535.386,75	19/01/2004

Nombre Solicitante	Tipo Derecho	Clasificación Fuente	Uso del Agua	Ejercicio del Derecho	Caudal l/s Anual Prom	UTM Norte Captación (m)	UTM Este Captación (m)	Fecha de registro
COMPAÑIA DE SERVICIOS DE AGUAS YALQUI LIMITADA	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	20	7.516.119,00	537.638,00	19/01/2004
COMPAÑIA DE SERVICIOS DE AGUAS YALQUI LIMITADA	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	34	7.520.852,00	539.662,00	19/01/2004
COMPAÑIA DE SERVICIOS DE AGUAS YALQUI LIMITADA	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	30	7.512.629,00	530.295,00	19/01/2004
COMPAÑIA DE SERVICIOS DE AGUAS YALQUI LIMITADA	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	50	7.518.293,00	545.064,00	19/01/2004
COMPAÑIA DE SERVICIOS DE AGUAS YALQUI LIMITADA	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	40	7.523.060,00	542.236,00	19/01/2004
INMOBILIARIA DEL INCA S.A.	Consuntivo	Acuifero		Permanente y Continuo	3	7.465.261,00	581.233,00	18/07/2007
CODELCO CHILE DIVISION RADOMIRO TOMIC	Consuntivo	Acuifero	Otros Usos	Permanente y Continuo	2	7.525.654,00	509.045,00	18/04/2008
SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A.	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	2,6800	7.517.660,00	443.480,00	15/09/1992
SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A.	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	8	7.517.760,00	443.470,00	15/09/1992
EMPRESA DE SERVICIOS SANITARIOS DE ANTOFAGASTA S.A.	Consuntivo	Acuifero	Bebida/Uso Domestico/Saneamiento	Permanente y Continuo	9	0,00	0,00	15/05/1992
EMPRESA DE SERVICIOS SANITARIOS DE ANTOFAGASTA S.A.	Consuntivo	Acuifero	Bebida/Uso Domestico/Saneamiento	Permanente y Continuo	11	0,00	0,00	15/05/1992
EMPRESA DE SERVICIOS SANITARIOS DE ANTOFAGASTA S.A.	Consuntivo	Acuifero	Bebida/Uso Domestico/Saneamiento	Permanente y Continuo	15	0,00	0,00	15/05/1992
EMPRESA DE SERVICIOS SANITARIOS DE ANTOFAGASTA S.A.	Consuntivo	Acuifero	Bebida/Uso Domestico/Saneamiento	Permanente y Continuo	10	0,00	0,00	15/05/1992
EMPRESA DE SERVICIOS SANITARIOS DE ANTOFAGASTA S.A.	Consuntivo	Acuifero	Bebida/Uso Domestico/Saneamiento	Permanente y Continuo	9	0,00	0,00	15/05/1992
ACF MINERA S.A.	Consuntivo	Acuifero		Permanente y Continuo	5	7.687.124,00	434.689,00	15/04/1996
MINERA NUEVA VICTORIA S.A.	Consuntivo	Acuifero		Permanente y Continuo	12,5000	7.689.666,00	439.360,00	15/04/1996

Nombre Solicitante	Tipo Derecho	Clasificación Fuente	Uso del Agua	Ejercicio del Derecho	Caudal l/s Anual Prom	UTM Norte Captación (m)	UTM Este Captación (m)	Fecha de registro
CODELCO CHILE DIVISION RADOMIRO TOMIC	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	40	7.568.679,00	571.553,00	15/02/1993
BAIX EBRE S.A.	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	7	7.516.203,72	447.211,81	14/07/2000
SOQUIMICH COMERCIAL S.A.	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	16	7.520.222,66	443.105,46	14/07/2000
COMPAÑIA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	45	7.516.370,00	503.227,00	13/02/1998
CODELCO CHILE DIVISION RADOMIRO TOMIC	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	150	7.569.678,00	571.544,00	13/01/1994
CODELCO CHILE DIVISION RADOMIRO TOMIC	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	233	7.568.937,00	580.164,00	12/01/1990
CODELCO CHILE DIVISION RADOMIRO TOMIC	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	58	7.564.078,00	589.391,00	12/01/1990
CODELCO CHILE DIVISION RADOMIRO TOMIC	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	7	7.570.448,00	565.523,00	12/01/1990
CODELCO CHILE DIVISION RADOMIRO TOMIC	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	30	7.563.157,00	572.767,00	12/01/1990
CODELCO CHILE DIVISION RADOMIRO TOMIC	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	90	7.569.175,00	569.693,00	12/01/1990
CODELCO CHILE DIVISION RADOMIRO TOMIC	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	200	7.569.187,00	569.683,00	12/01/1990
CODELCO CHILE DIVISION RADOMIRO TOMIC	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	220	7.569.216,00	577.122,00	12/01/1990
CODELCO CHILE DIVISION RADOMIRO TOMIC	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	220	7.571.998,00	574.819,00	12/01/1990
CODELCO CHILE DIVISION RADOMIRO TOMIC	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	200	7.571.692,00	575.157,00	12/01/1990
COMPAÑIA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	49	7.515.083,00	504.057,00	11/07/1995
COMPAÑIA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	50	7.515.864,00	502.771,00	11/07/1995
COMPAÑIA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	18	7.515.513,00	504.530,00	11/07/1995
COMPAÑIA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	47	7.516.070,00	505.550,00	11/07/1995
SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A.	Consuntivo	Acuifero		Permanente y Continuo	0,2600	7.747.131,62	408.593,99	09/08/1994

Nombre Solicitante	Tipo Derecho	Clasificación Fuente	Uso del Agua	Ejercicio del Derecho	Caudal l/s Anual Prom	UTM Norte Captación (m)	UTM Este Captación (m)	Fecha de registro
S.Q.M. NITRATOS S.A.	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	5	7.519.102,57	442.436,24	08/10/2003
JULIO PALAPE GUAJARDO	Consuntivo	Acuifero	Riego	Permanente y Continuo	0,5800	7.603.649,00	447.113,00	08/10/2003
SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A.	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	9,5000	7.521.081,43	440.879,26	08/09/2003
SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A. SQM S.A.	Consuntivo	Acuifero		Permanente y Continuo	1	7.330.000,00	413.446,00	08/04/1991
SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A. SQM S.A.	Consuntivo	Acuifero		Permanente y Continuo	2,7000	7.326.242,00	411.939,00	08/04/1991
INVERSIONES DON JUAN LIMITADA	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	16,5000	7.515.041,00	503.053,00	07/08/2006
COMPAÑIA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	73,2000	7.514.581,00	503.644,00	05/02/2004
CODELCO CHILE DIVISION RADOMIRO TOMIC	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	35	7.641.335,00	521.016,00	03/10/2002
CODELCO CHILE DIVISION RADOMIRO TOMIC	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	110	7.646.475,00	521.530,00	03/10/2002
CODELCO CHILE DIVISION RADOMIRO TOMIC	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	50	7.644.159,00	521.207,00	03/10/2002
CODELCO CHILE DIVISION RADOMIRO TOMIC	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	50	7.642.786,00	521.016,00	03/10/2002
CODELCO CHILE DIVISION RADOMIRO TOMIC	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	9	7.645.239,00	521.930,00	03/10/2002
CODELCO CHILE DIVISION RADOMIRO TOMIC	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	30	7.647.247,00	521.927,00	03/10/2002
CODELCO CHILE DIVISION RADOMIRO TOMIC	Consuntivo	Acuifero	Uso Minero	Permanente y Continuo	60	7.646.220,00	520.448,00	03/10/2002
SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA SEPTENTRION	Consuntivo	Acuifero		Permanente y Continuo	12	7.682.350,00	482.590,00	02/08/2004
EMBOTELLADORA IQUIQUE S.A.	Consuntivo	Acuifero		Permanente y Discontinuo	5	7.767.676,00	380.579,00	01/08/1996

3.3.2.1 Uso agrícola

El rubro principal de este usuario son los cultivos forrajeros, que corresponden a un 45,5% en la región (ODEPA, 2018), y su riego se hace principalmente por inundación, utilizando cerca de un 8,5% del gasto total del agua en la cuenca (Arrau ingenieros consultores, 2012), Los oasis son preferentemente los lugares donde se desarrolla esta actividad, ya que presenta condiciones favorables para el desarrollo agrícola, sin embargo según representantes de la asociación de agricultores de Calama, el rendimiento solo alcanza a un 30% del potencial, debido a una calidad de aguas deficiente.

A continuación se presentan los canales de regadío presentes en la cuenca del río Loa, información facilitada por la comisión nacional de riego.

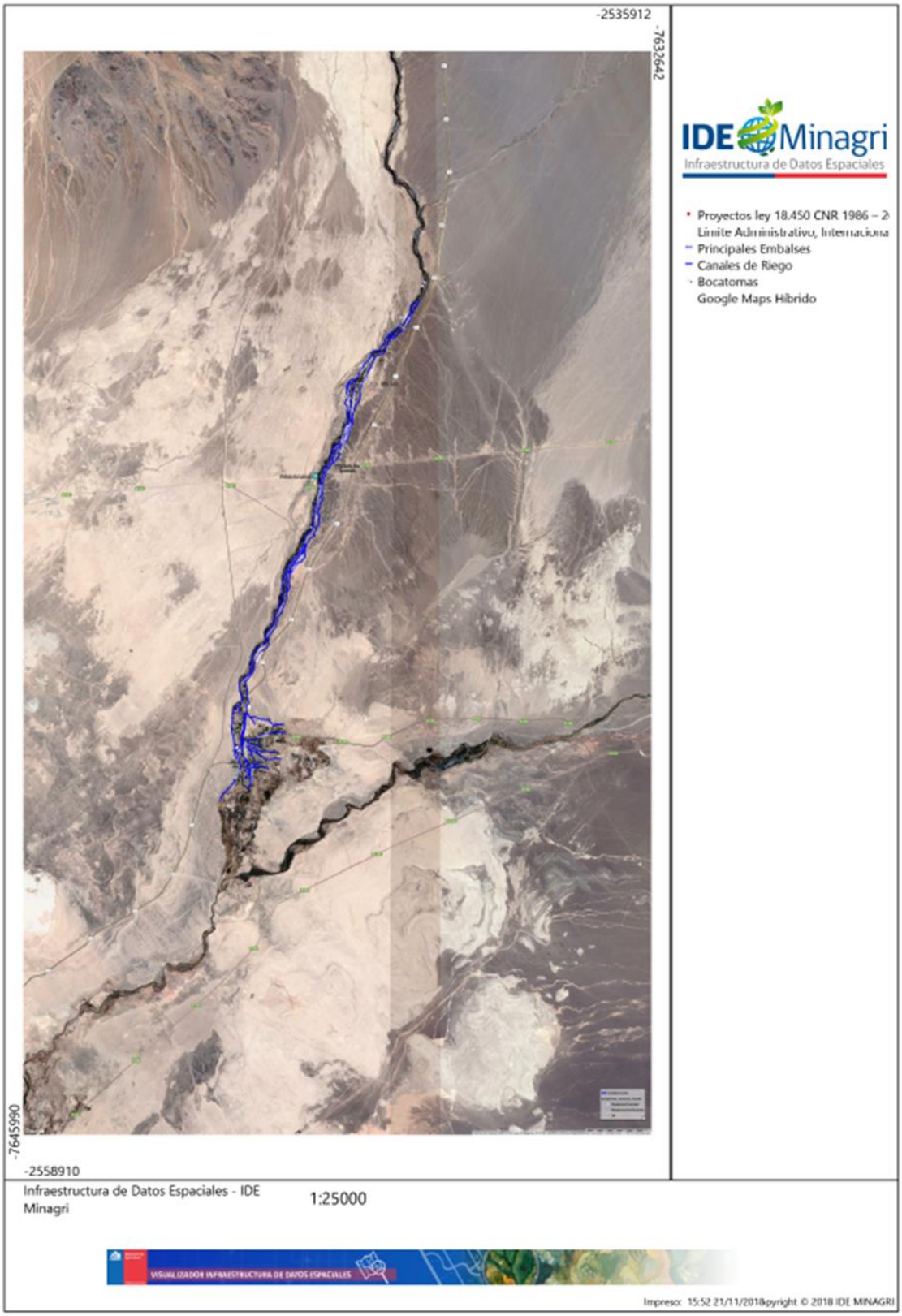


Figura 3.171. Canales de regadío, presentes en Calama, Lasana y Chiu Chiu. Fuente Ministerio de Agricultura.

En muchos casos la agricultura es una actividad de subsistencia para muchas de las comunidades indígenas que habitan en la región, en donde el uso del recurso hídrico es primordial. A pesar de la importancia de esta actividad, la superficie cultivada en la región ha disminuido (ARCADIS, 2016). Adicionalmente, los beneficios económicos que presenta la minería influyen en que las personas tiendan a realizar venta de sus derechos y no puedan ejercer dicha actividad. O bien se han dado otras situaciones, como es el caso de los agricultores de Quillagua, que, producto del episodio de contaminación del río ocurrido en 1997, se vieron en la obligación de vender sus derechos de agua a SQM (ARCADIS, 2016)

3.3.2.2 Uso Minero

La gran minería es un actor protagonista en el uso de aguas en la cuenca, cuyo uso alcanza un 46% de la demanda total (Arrau ingenieros consultores, 2012). 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. Según datos de la DGA para el uso consuntivo minero, existen derechos de hasta 1160 l/seg en el caso de aprovechamiento de aguas superficiales y 404 litros por segundo por concepto de aguas subterráneas.

Se añade en anexos digitales, el archivo “Derechos_Concedidos_II_Region.xls” que contiene el catastro de los derechos de aprovechamiento de aguas concedidos en la II Región, actualizado en octubre de 2019 por la DGA.

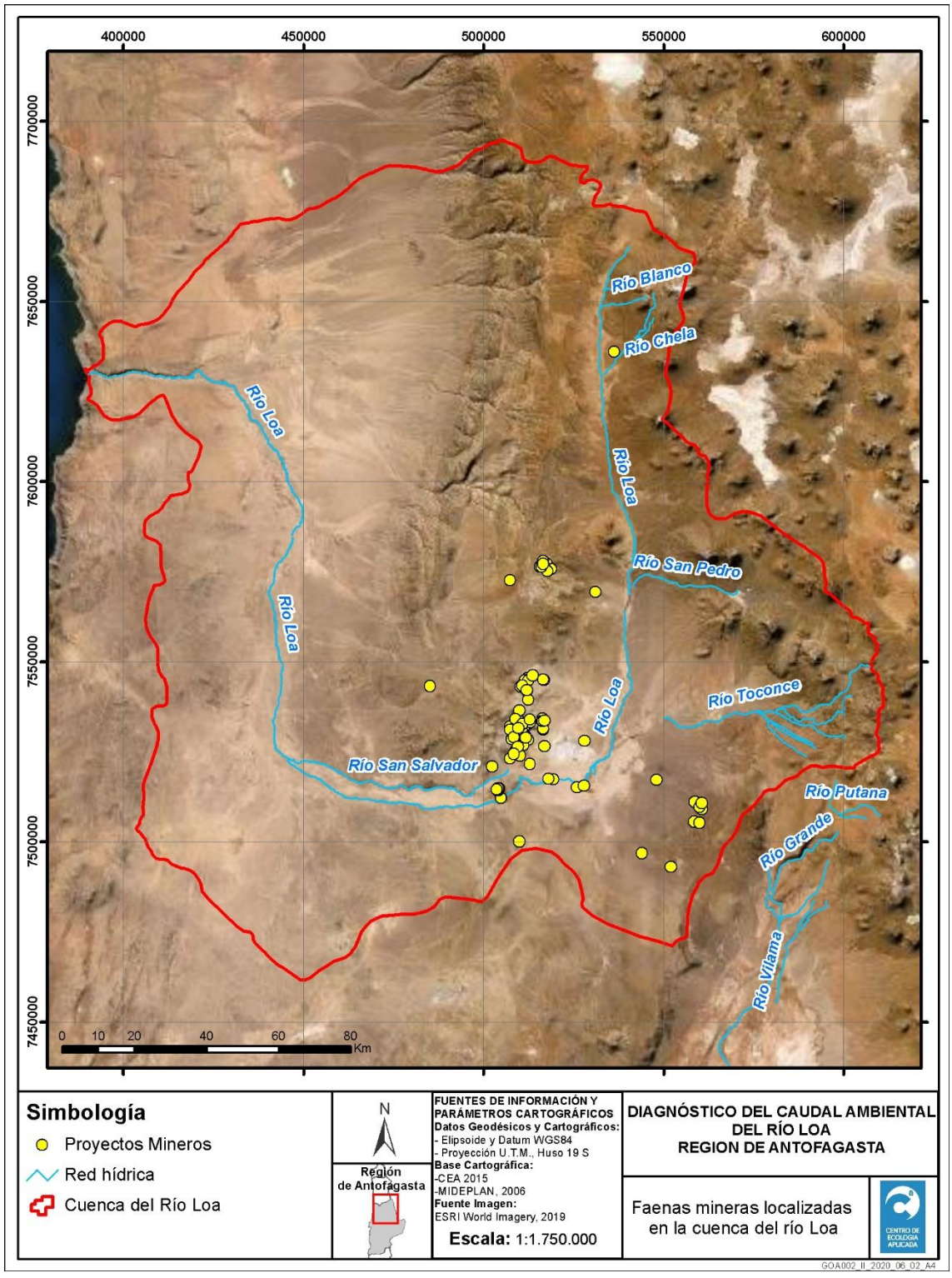


Figura 3.172. Faenas mineras localizadas en la cuenca del río Loa. Fuente: elaboración propia.

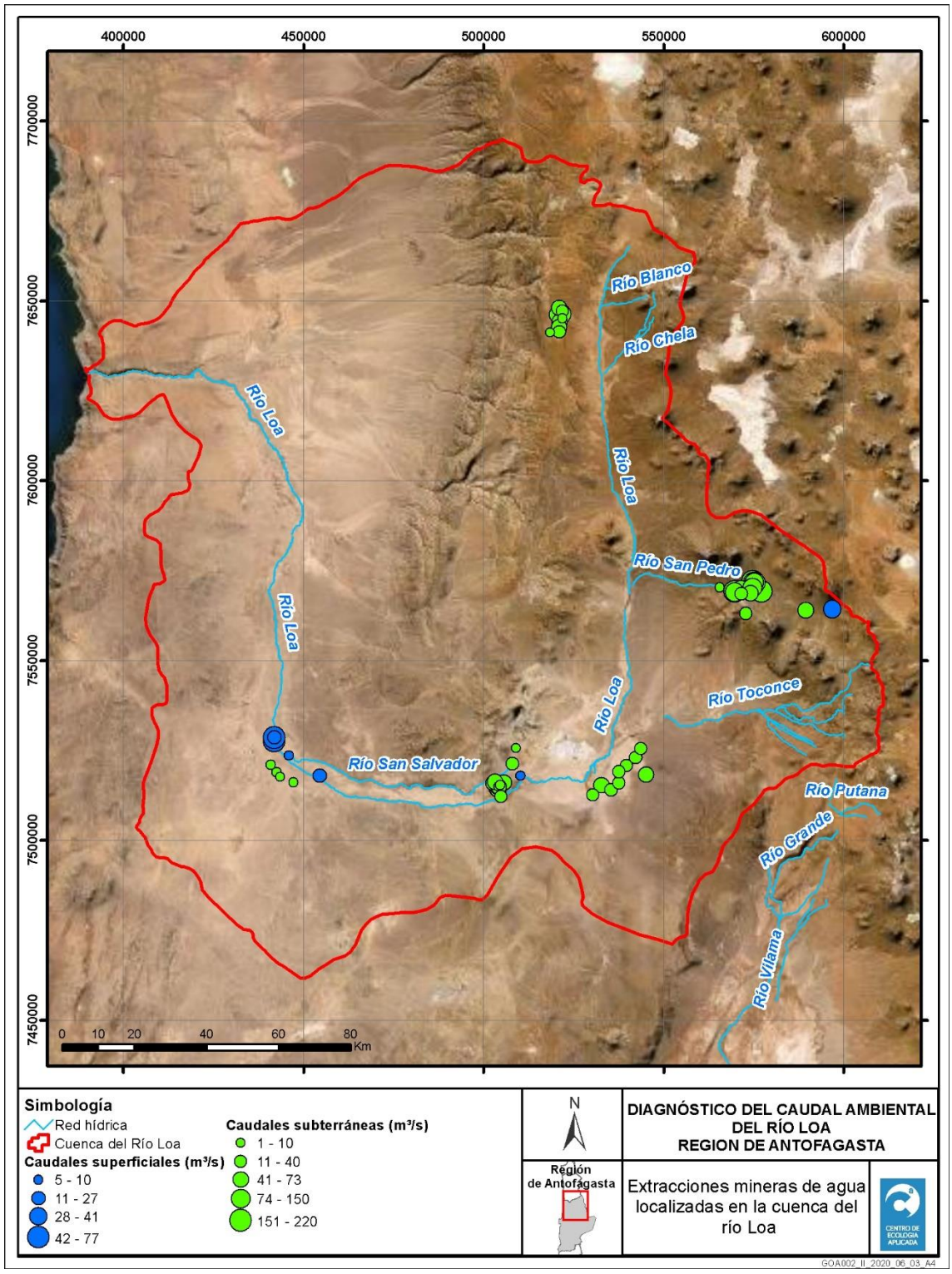


Figura 3.173. Extracciones mineras de agua localizadas en la cuenca del río Loa. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.91. Proyectos mineros presentes en el área de estudio. MMA 2015, complementado con datos DGA 2019.

Nombre	Titular	UTM Este	UTM Norte	Nº RCA
Actividad de Exploración Proyecto Mansa Mina	División Ministro Hales de Codelco Chile	509056.02	7525587	087/2001
Ampliación Lixiviación Secundaria de Ripios	Corporación Nacional del Cobre de Chile, División Radomiro Tomic	516713.01	7544958	0132/2012
Ampliación Planta Santa Margarita	Minera Cerro Dominador S.A.	525813	7515134	0082/2004
Ampliación y Desarrollo de Faenas Mineras en Tuina	Explotadora Minera del Cerro S.A	560561.99	7509134	0078/2008
Aumento de la Capacidad de Producción de Sulfuros de Baja Ley	Codelco Chile, División Chuquicamata	512336.02	7528435	055/2002
Aumento de la Producción de Sulfato de Cobre Cristalizado	Sulfatos del Norte S.A.	558562.31	7511134.2	0217/2005
Botadero de Lastre 2	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA EL ABRA	517620.71	7577235.6	066/2002
Campamento Proyecto Súlfuros RT Fase I División Codelco Norte	División Ministro Hales de Codelco Chile	507859.98	7528630	0174/2010
Cantera Zorro 8 y zorro9 de Mármoles San Márino	Juan Antonio iribarren Diaz	519422.02	7517349	0067/2004
Captación y Abatimiento de Arsénico en Gases Fugitivos de Horno Flash	Codelco Chile, División Chuquicamata	511746.63	7532366.9	47/1999
Continuidad Operacional Planta PRECO - 2	Codelco Chile, División Chuquicamata	516606.03	7531238	0372/2008
Expansión Radomiro Tomic	Codelco Chile División Radomiro Tomic	510306.03	7543187	06/1998
Exploración Minera Andes Centrales II Región	WMC Chile S.A.	485193.01	7543269	205/2000
Exploración Tuina	Inversiones North (Chile) Ltda.	548020.08	7517288.3	114/1998
Explotación Mina Dinko	BCJ Servicios Mineros Ltda	558409.03	7505632	0340/2007
Explotación Subterranea Mina Rulita	Minera Antares S.A.	559911.99	7509734	0272/2009
Explotación y Transporte de Mineral desde los Yacimientos Mineros San José y San Martín hasta la Planta Santa Margarita	Minera Cerro Dominador S.A.	559902.04	7505359.9	0016/2005
Extracción y Movimiento de Minerales Mina Radomiro Tomic Quinquenio 2008-2012	División Ministro Hales de Codelco Chile	511999.99	7542000	0309/2008
Lixiviación de mineral de baja ley, ROM II	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA EL ABRA	536266.03	7636044	0068/2005
Lixiviación de Minerales de Baja Ley Dump 2	Codelco Chile División Radomiro Tomic	512240.98	7545613	0216/2002
Lixiviación de Minerales de Baja Ley, Dump 2, Fase III	División Ministro Hales de Codelco Chile	511502.04	7544959	0276/2006
Lixiviación de Minerales de Baja Ley, Dump 2, Fases IV-V	División Ministro Hales de Codelco Chile	512343.05	7544849	0418/2009
LIXIVIACIÓN DE SULFUROS SULFOLIX	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA EL ABRA	531016.97	7569421	0114/2008
MANEJO Y TRATAMIENTO GASES PLANTA DE TOSTACIÓN DE MOLIBDENITA	Codelco Chile, División Chuquicamata	511844.98	7532763	0163/2003
Mansa Mina	División Ministro Hales de Codelco Chile	512830.01	7521679	0311/2005
Mina Chuquicamata Subterránea	Codelco Chile, División Chuquicamata	516812.98	7526634	0288/2010
Mina El Abra	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA EL ABRA	518672.97	7575807	048/1995
Mina Pampita	Minera Cerro Dominador S.A.	560554.02	7510951	246/2012
Modernización Planta de Reactivos Concentradoras A-0 A-1 y A-2	Codelco Chile, División Chuquicamata	510657.02	7532583	093/2001
Modificación Actividades de Exploración Proyecto Mansa Mina: "Extracción y Transporte Temporal de Muestras de Mineral de Mansa Mina para pruebas de	División Ministro Hales de Codelco Chile	507313	7523134	0200/2003

Nombre	Titular	UTM Este	UTM Norte	Nº RCA
biolixiviación en Planta Prototipo de ACL"				
Modificación de la lixiviación de depósitos de baja ley, ROM I	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA EL ABRA	516801.96	7576559	0224/2007
Modificación Proyecto El Abra Lixiviación Depósito de Baja Ley (ROM)	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA EL ABRA	517733.96	7575247	036/2001
Modificaciones Mina Ministro Hales	División Ministro Hales de Codelco Chile	509535.97	7527110	0240/2010
Nuevo Escenario Operacional de Procesamiento de Concentrado de la División Ministro Hales	Corporación Nacional Del Cobre de Chile	508000.03	7528843	0057/2013
Optimización Concentradora A-2	Codelco Chile, División Chuquicamata	508462.97	7532814	047/2002
Optimización de la capacidad de la Concentradora A-0 a Través de la Reutilización de sus Equipos Existentes	Codelco Chile, División Chuquicamata	508539.97	7532728	0400/2002
Optimización Faena Minera Lomas Bayas Pozo CMG-1	Compañía Minera Xstrata Lomas Bayas	504770.05	7512280	298/2001
Optimización Integral Concentradora A-2	Codelco Chile, División Chuquicamata	507313.03	7532134	0055/2003
Optimización Sistema de Conducción y Distribución de Relave en Tranque Talabre	Codelco Chile, División Chuquicamata	528000.02	7527999.9	126/2000
Planta de Abatimiento de Arsénico y Antimonio para el Tratamiento de Polvos de Fundición y Efluentes de Refinería	Ecometales Limited Agencia en Chile	516349.01	7533613	0086/2009
Planta de Recuperación de Molibdeno	Ecometales Limited Agencia en Chile	516461.04	7534269	074/2012
Planta Prototipo BioCOP	Ecometales Limited Agencia en Chile	516276.99	7533594.9	239/2001
Planta Tratamiento Minerales Pila	Codelco Chile, División Chuquicamata	511456.02	7529337	0097/2003
Procesamiento de Óxidos DMH	Corporación Nacional Del Cobre de Chile	510000.05	7524000	0237/2012
Prospección Minera Explotación Subterranea Yacimiento Chuquicamata	Codelco Chile, División Chuquicamata	509893	7536450	0386/2008
Prospecto de Exploración Manto Rojo	Minera Cyprus Amax Chile Ltda.	507293.05	7572723	108/98
Prospecto de Exploración Moctezuma	Minera Cyprus Amax Chile Ltda.	509877.99	7500292	ago-99
Proyecto de Inversiones Mineras Mármol Travertino	Standard Uno S.A.	517973.04	7517484	ene-02
Proyecto Mina Radomiro Tomic	Codelco Chile División Radomiro Tomic	512400	7539468	0015/1996
PROYECTO QUETENA	Codelco Chile, División Chuquicamata	502363.05	7520905	dic-13
Reinicio de la Operación de la Planta de Renio. Subgerencia de Concentración	Codelco Chile, División Chuquicamata	507859.98	7528630	0301/2010
Santa Margarita	Minera Cerro Dominador S.A.	527813.04	7515634	ago-04
Sondajes de Prospección Ingenieria de Detalle Explotación Subterránea del Yacimiento Chuquicamata	Codelco Chile, División Chuquicamata	509946.99	7533563	0352/2009
Sondajes de Prospección Proyecto MMH Profundo	División Ministro Hales de Codelco Chile	507956.03	7528782	0350/2008
Sondajes de Prospección y Exploración Distrito Codelco Norte	Codelco Chile, División Chuquicamata	507859.98	7528630	0195/2010
Transformación Planta de Escorias	Codelco Chile, División Chuquicamata	510715.99	7532670	165/2001
Traslado Estación de Chancado E4 a Banco 2445	Codelco Chile, División Chuquicamata	508773.95	7534151	178/2001
Tratamiento de Impurezas en Ánodos y Cátodos de División Codelco Norte	Codelco Chile, División Chuquicamata	511302.99	7532297	0435/2008
Tratamiento Fracción Gruesa Relaves Frescos en Planta de Tratamiento de Residuos Mineros	Ecometales Limited Agencia en Chile	516563.04	7531490	087/2013

Nombre	Titular	UTM Este	UTM Norte	Nº RCA
Tratamientos Ripios Aglomerados Mina Sur	Codelco Chile, División Chuquicamata	509106.96	7530816	385/1995
Ampliación Planta de Extracción y Procesamiento de Áridos en Pozo Lastrero	Morteros y Áridos Dry Mix Ltda.	543902	7497022	0331/2013
Modificación del Botadero de Lastre N°2	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA EL ABRA	515719.99	7576477	0253/2007
Planta Industrial de Biolixiviación	Ecometales Limited Agencia en Chile	516350.04	7533614	0215/2005
Lixiviación Secundaria de Ripios	Codelco Chile División Radomiro Tomic	513570	7546319	115/1998
RT Sulfuros	Codelco Chile División Radomiro Tomic	516614	7545063	0022/2016
Continuidad de sondajes de prospección y exploración División Ministro Hales	División Ministro Hales de Codelco Chile	507837	7528561	0428/2014
Aumento Áreas de Lixiviación, sector Quebrada Portezuelo	Codelco Chile, División Chuquicamata	513010	7533459	0397/2015
Aumento Capacidad de Tratamiento de Efluentes de Fundición	Codelco Chile, División Chuquicamata	507393	7531195	0640/2014
Botadero de Estériles en Interior Extensión Norte Mina sur (ENMS)	Codelco Chile, División Chuquicamata	510650	7531198	0603/2014
Continuidad Operacional PTMP: Lixiviación de Ripios y Procesamiento de Nuevos Recursos	Codelco Chile, División Chuquicamata	510943	7527255	0018/2015
Mejoramiento Matriz de Sustentabilidad de Recursos Geológicos, Actualización Modelo Geometalurgicos y Geotécnicos.	Codelco Chile División Radomiro Tomic	510775	7543469	0209/2015
Reposición Planta Tratamiento de Escorias	Codelco Chile, División Chuquicamata	510740	7532742	0500/2015
Extracción y Procesamiento de Áridos Sector Aguada de la Teca	Áridos San Pedro SpA	551955	7493182	0163/2016
Proyecto Ampliación Botadero de Lastre 02	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA EL ABRA	516614	7578033	0501/2015
Lixiviación de Ripios y Recursos Artificiales	Codelco Chile, División Chuquicamata	511007	7527028	0325/2016
Plan de Sondaje Delineamiento Quinquenal Exploratorio DMH	División Ministro Hales de Codelco Chile	508440	7529082	012/2017
Optimización Procesamiento División Ministro Hales	División Ministro Hales de Codelco Chile	509422	7526489	0424/2016
Lixiviación de concentrados	Ecometales Limited Agencia en Chile	516780	7533741	0276/2016
Aumento Capacidad de Beneficio en Planta de Tostación	División Ministro Hales de Codelco Chile	511631	7529020	0335/2017
Adecuaciones Constructivas y Operacionales del PMCHS	Codelco Chile, División Chuquicamata	512831	7533992	0473/2017
Modificaciones al Proyecto Extracción y Movimiento de Minerales Mina Radomiro Tomic	Codelco Chile División Radomiro Tomic	511962	7542189	0207/2018
Botadero de Lastre Cerro Turquesa	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA EL ABRA	516034	7576523	0087/2019
Optimización Planta Tratamiento Minerales en Pila (PTMP)	Codelco Chile, División Chuquicamata	509623	7531589	0066/2019
Plan Integral de Sondajes Exploratorios DMH 2019 - 2029	División Ministro Hales de Codelco Chile	508377	7524557	0044/2019
Modificación del Depósito de Baja Ley, ROM I	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA EL ABRA	516571	7577277	0162/2019
ANTOFAGASTA MINERALS S.A.	ANTOFAGASTA MINERALS S.A.	504023	7514329	2244/2018
ANTOFAGASTA MINERALS S.A.	ANTOFAGASTA MINERALS S.A.	503895	7514520	2256/2018
ANTOFAGASTA MINERALS S.A.	ANTOFAGASTA MINERALS S.A.	504277	7514962	2257/2018
ANTOFAGASTA MINERALS S.A.	ANTOFAGASTA MINERALS S.A.	503891	7514881	2258/2018
ANTOFAGASTA MINERALS S.A.	ANTOFAGASTA MINERALS S.A.	503644	7514581	2259/2018

Estas importantes extracciones generan una baja en el caudal, lo que tiene como consecuencia una merma en la calidad de agua, aumentando la salinidad y favoreciendo el estancamiento de ésta en algunos sectores de la cuenca.

3.3.2.3 Uso para agua potable

Este usuario en la cuenca realiza un uso del 18% del total de la demanda (Arrau ingenieros consultores, 2012), y es usada principalmente para abastecer a las ciudades de la región de Antofagasta.

La empresa encargada de este uso cuenta con un sistema de abastecimiento de agua superficial el que se denomina Gran Sistema Norte (GSN), el cual satisface la demanda de las ciudades de la región de Antofagasta. El Gran Sistema Norte está formado por 4 captaciones; la Captación Toconce ubicada en la zona alta recibe además los caudales provenientes de las cuencas Hojalar y Linzor y el resto de las captaciones Lequena, Quinchamale y Puente Negro se encuentran en el río Loa. Además de estas captaciones se dispone de dos entregas de agua por parte de la empresa CODELCO, denominada San Pedro de Inacaliri I y II. Aguas Antofagasta tiene un total de derechos de aproximadamente 1.666 l/s, correspondientes a fuentes actuales de la empresa (CONIC-BF, 2015).

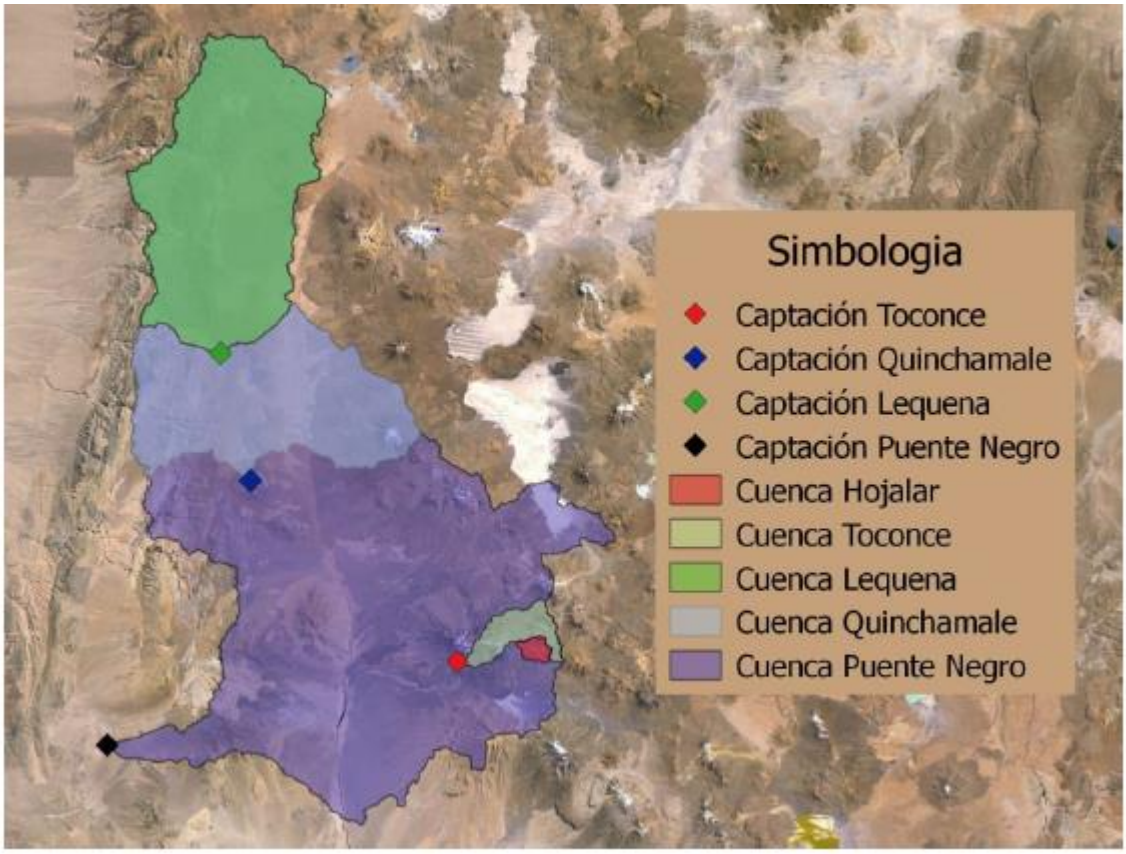


Figura 3.174. Captaciónes de Aguas Antofagasta, Fuente CONIC-BF 2015

Tabla 3.92. Coordenadas captación gran sistema norte Aguas Antofagasta

Captación	Coordenadas (WGS84 UTM 19 S)	
	Este	Norte
Captación Toconce	560.102,09	7.579.341,58
Captación Quinchamale	523.086,90	7.607.782,63
Captación Lequena	512.276,42	7.633.058,16
Captación Puente Negro	523.086,90	7.607.782,63

3.3.2.4 Cercanía a sectores urbanos.

A lo largo del trayecto del río Loa y sus afluentes se emplazan asentamientos urbanos que tienen un impacto negativo en relación con la contaminación por conceptos de basura. A nivel nacional, en todos los ríos se han observados ítemes de basura flotando, siendo el río Loa el que presenta mayor contaminación flotante, en partícular en sectores cercanos a la ciudad de Calama y también en los sectores aledaños al balneario coya sur (Honorato-Zimmer, Martin Thiel 2017).

Durante las primeras campañas de terreno se ha logrado registrar que los sectores mayormente afectados por este tipo de contaminación son los sectores de Chiu Chiu, Calama y Coya sur. Esto se hace particularmente notorio bajo la junta del río loa con el río San Salvador, tributario que recibe las aguas residuales de Calama de la planta de tratamiento Tratacal justamente en quebrada Quetena.

Figura 3.175. Basura flotante, río Loa sector ojos de opache.

Figura 3.176. Basura sector rivereño río Salado, Chiu Chiu.

Figura 3.177. Contaminación por aguas residuales con carga orgánica río Loa, aguas abajo balneario Coya Sur

A continuación, se realiza un análisis de las presiones considerando sus interacciones y consecuencias según lo planteado en la Figura 3.169.

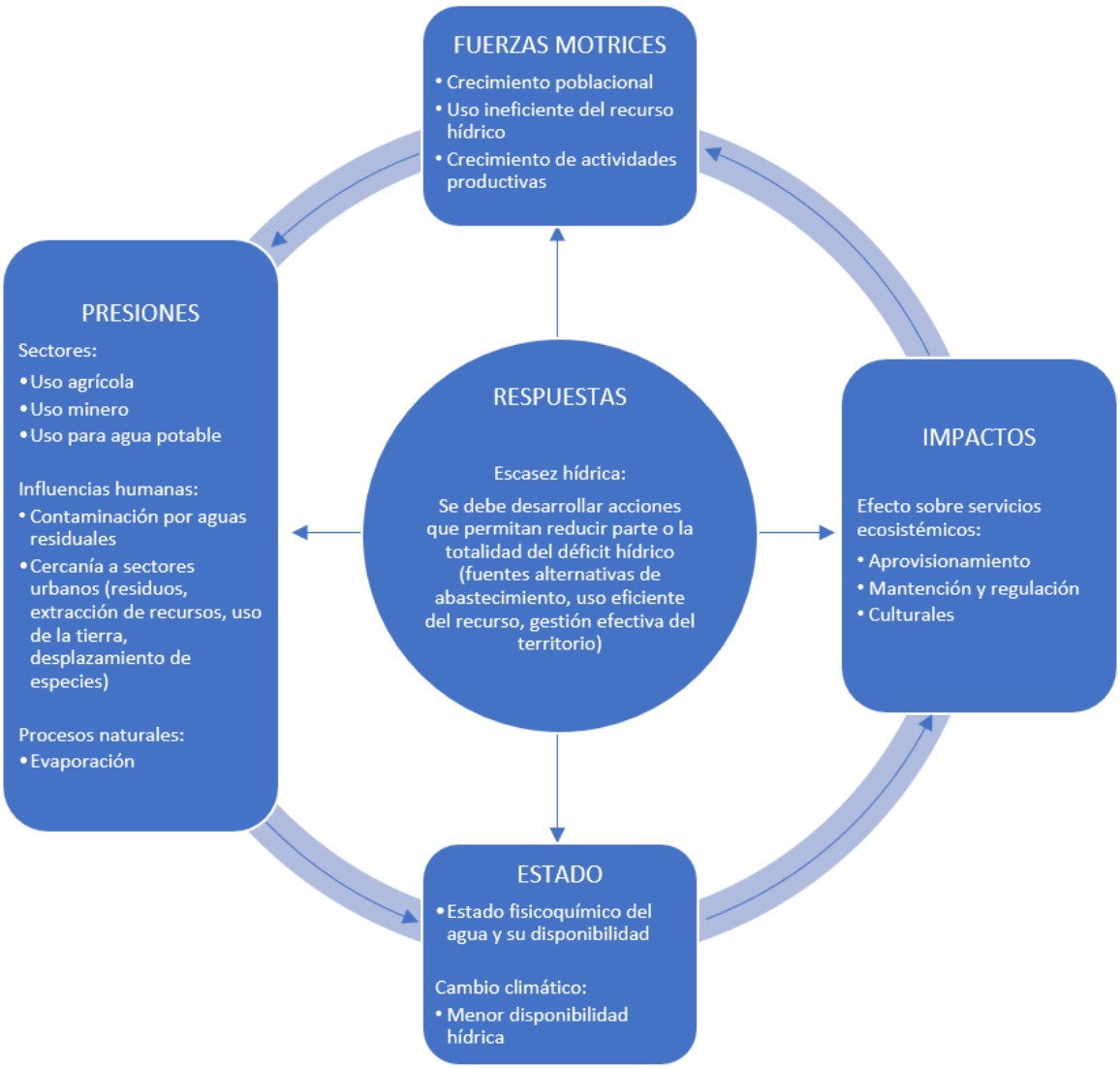


Figura 3.178. Análisis de presiones según sus interacciones y consecuencias. (Fuente: elaboración propia a partir de esquema de MMA, 2018)

3.3.3 Análisis hidrológico de la cuenca

3.3.3.1 Régimen del río

3.3.3.1.1 Series de caudales medios mensuales

Considerando las estaciones fluviométricas de la DGA, que corresponden a las con mayor extensión en el tiempo y cobertura en la cuenca, se generan gráficos tridimensionales para poder visualizar y analizar la tendencia de los datos. A continuación, entre la Figura 3.179 y la Figura 3.193, se muestran graficados los datos de las estaciones seleccionadas.

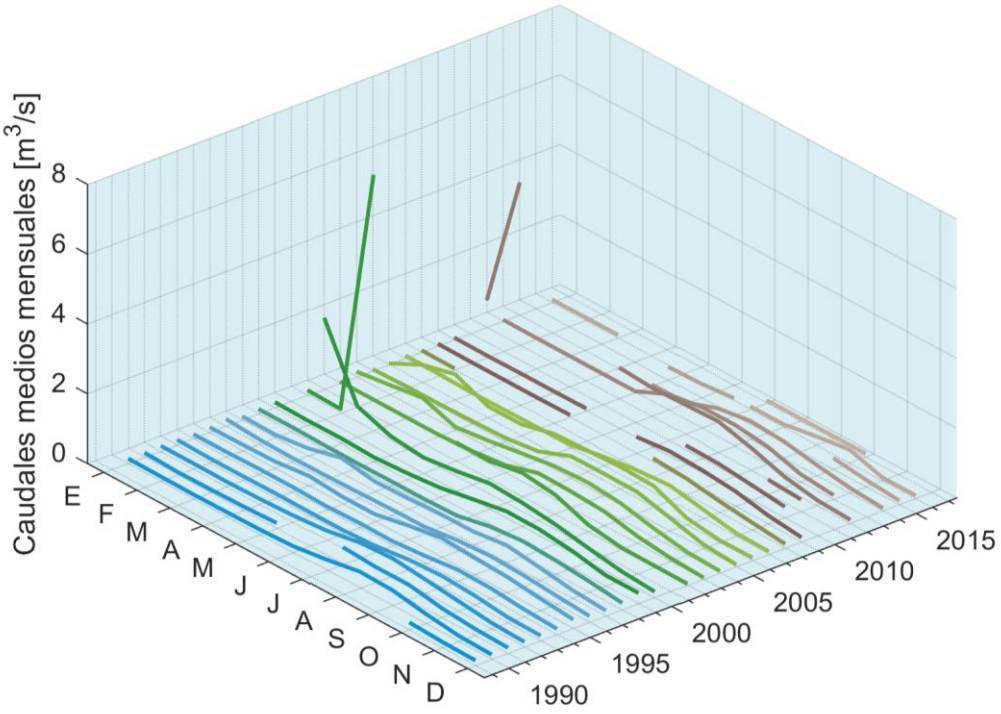


Figura 3.179. Registros históricos de estación fluviométrica de la DGA, Río Loa en desembocadura

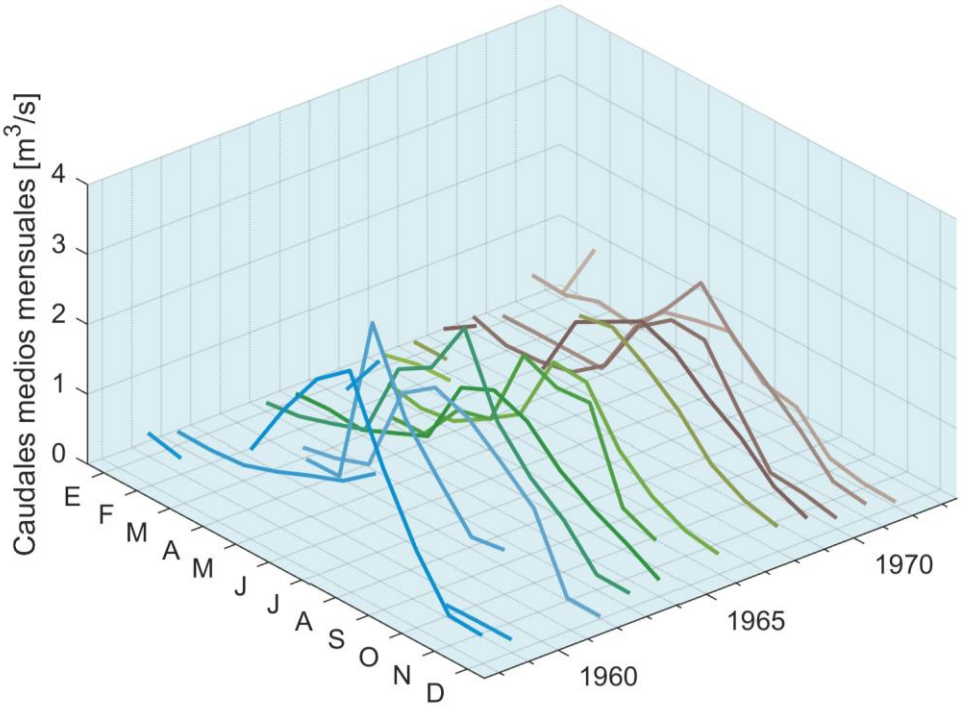


Figura 3.180. Registros históricos estación fluviométrica de la DGA, Río Loa en Quillagüa.

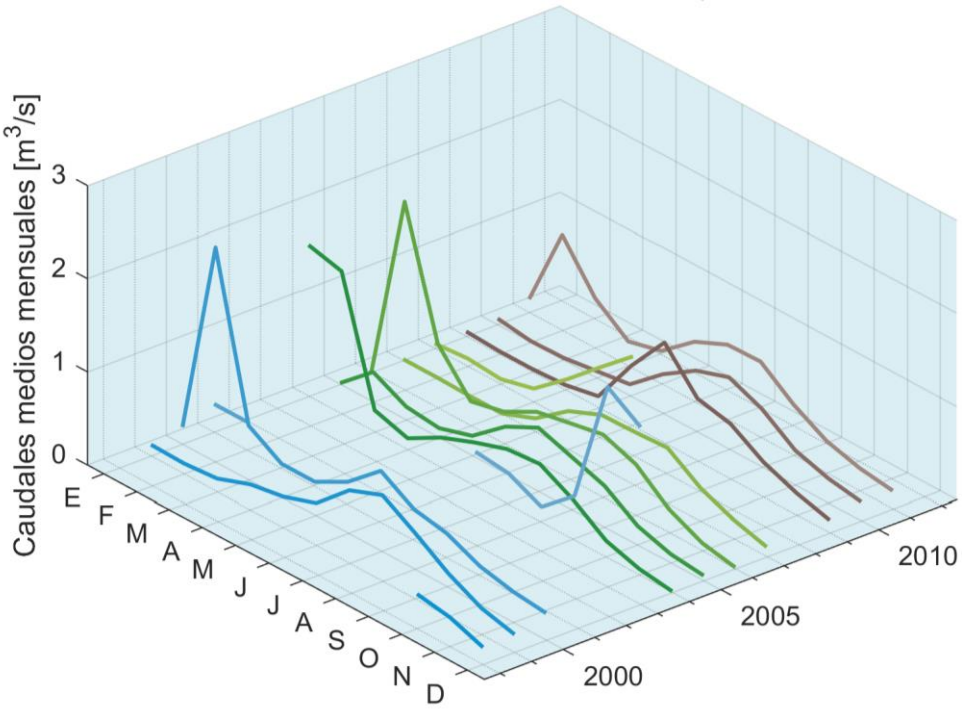


Figura 3.181. Registros históricos estación fluviométrica de la DGA, Río Loa antes zona agrícola de Quillagüa.

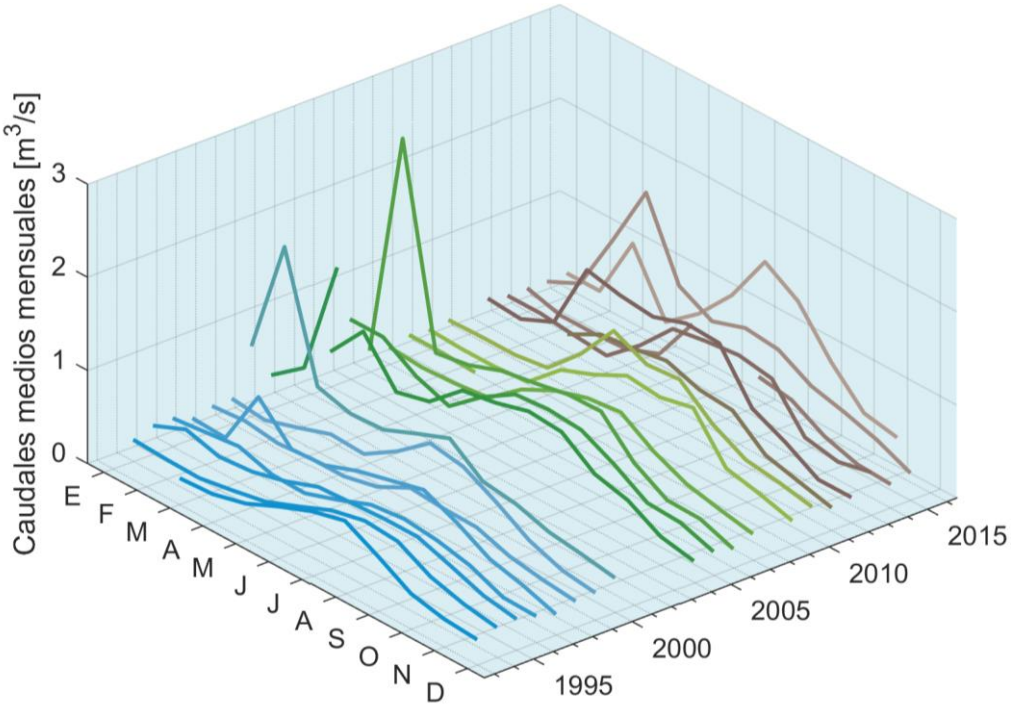


Figura 3.182. Registros históricos estación fluviométrica de la DGA, Río Loa después junta San Salvador (María Elena).

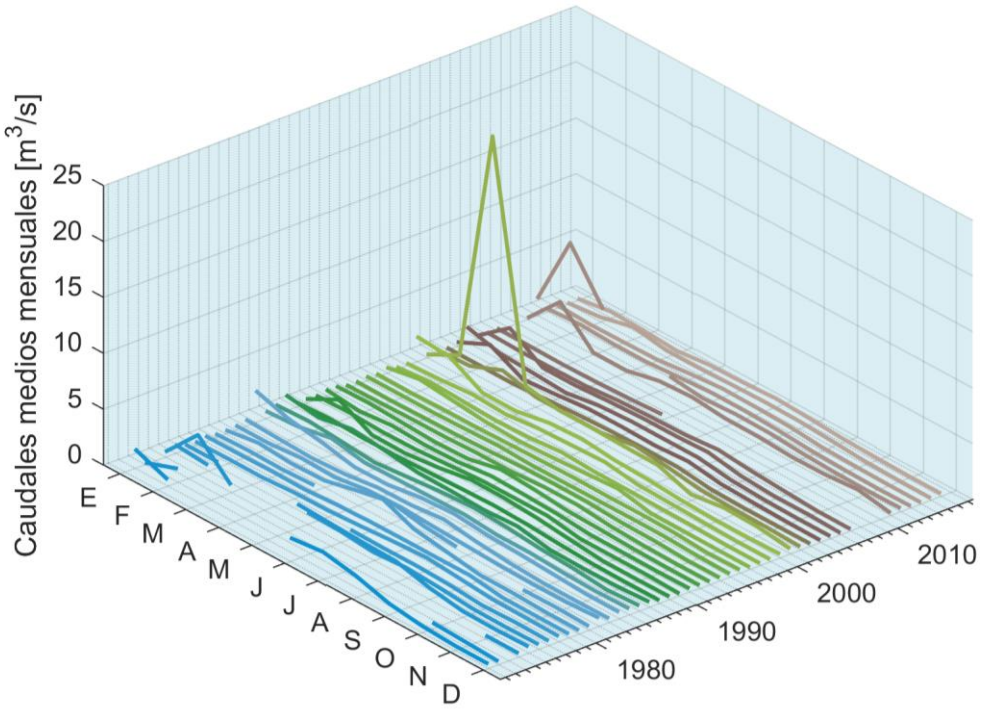


Figura 3.183. Registros históricos estación fluviométrica de la DGA, Río Loa en Finca.

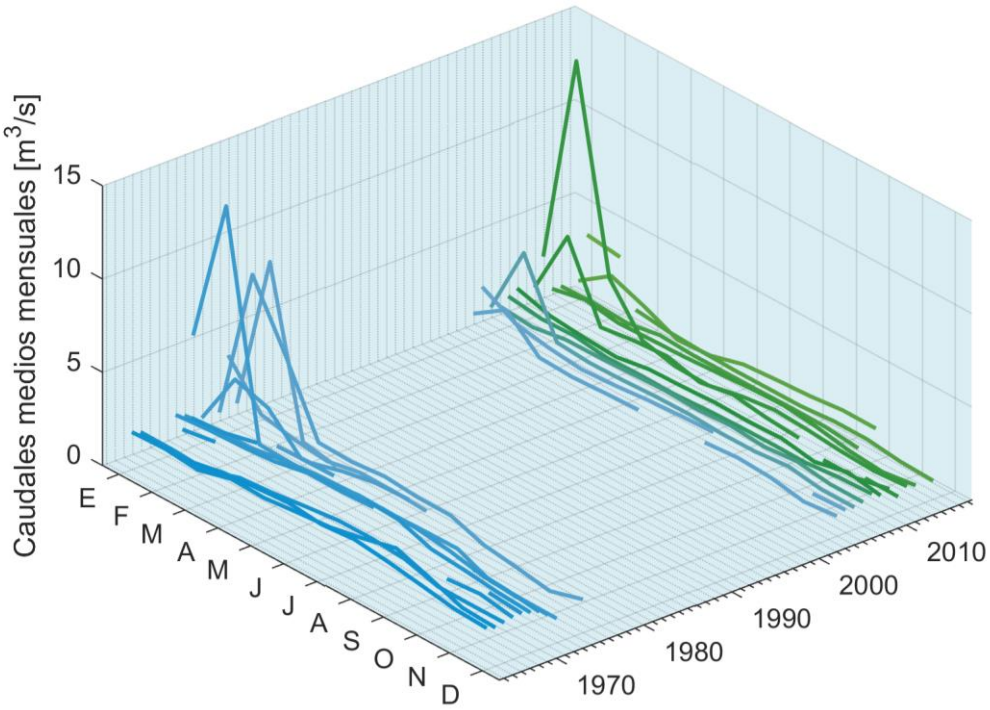


Figura 3.184. Registros históricos estación fluviométrica de la DGA, Río Loa en Escorial.

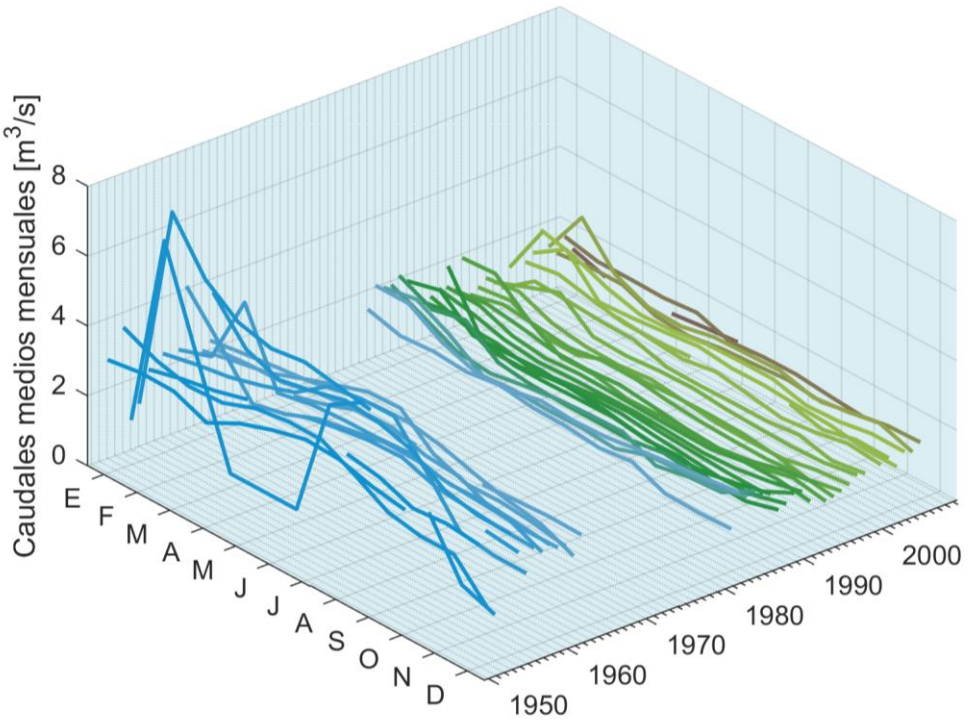


Figura 3.185. Registros históricos estación fluviométrica de la DGA, Río Loa en Yalquincha.

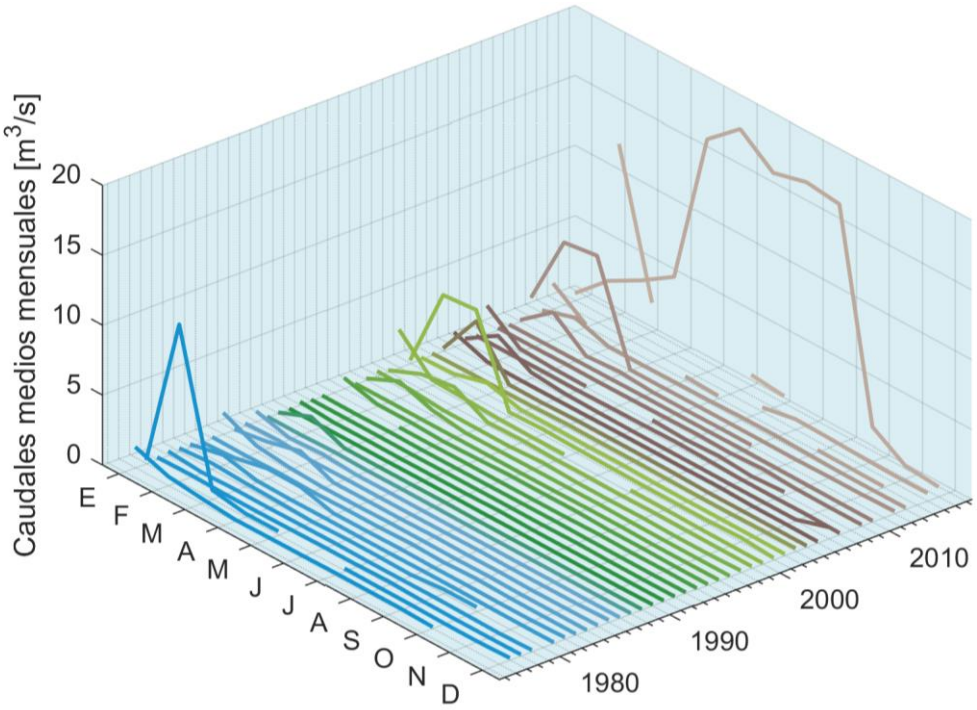


Figura 3.186. Registros históricos estación fluviométrica de la DGA, Río Salado antes junta Curti.

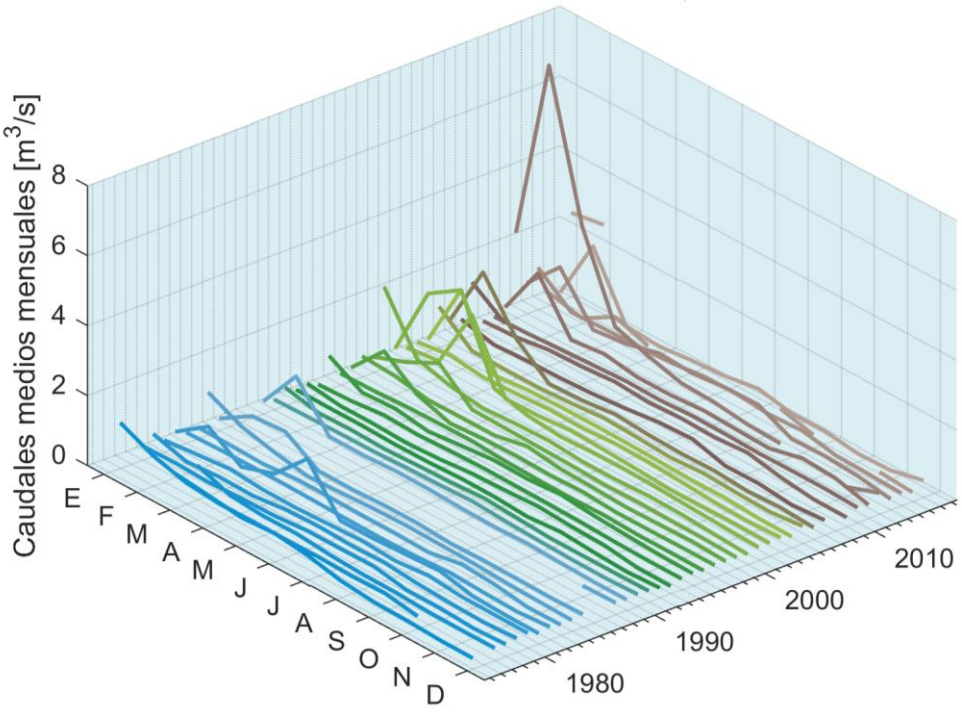


Figura 3.187. Registros históricos estación fluviométrica de la DGA, Río Salado Sifón Ayquina.

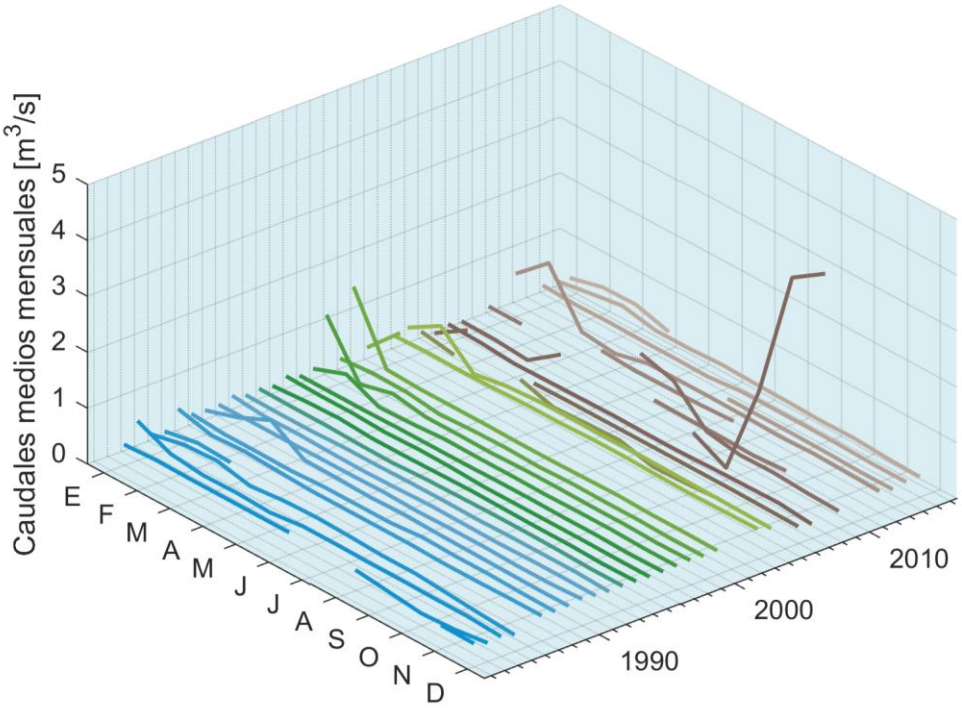


Figura 3.188. Registros históricos estación fluviométrica de la DGA, Río Toconce antes Represa Sendos

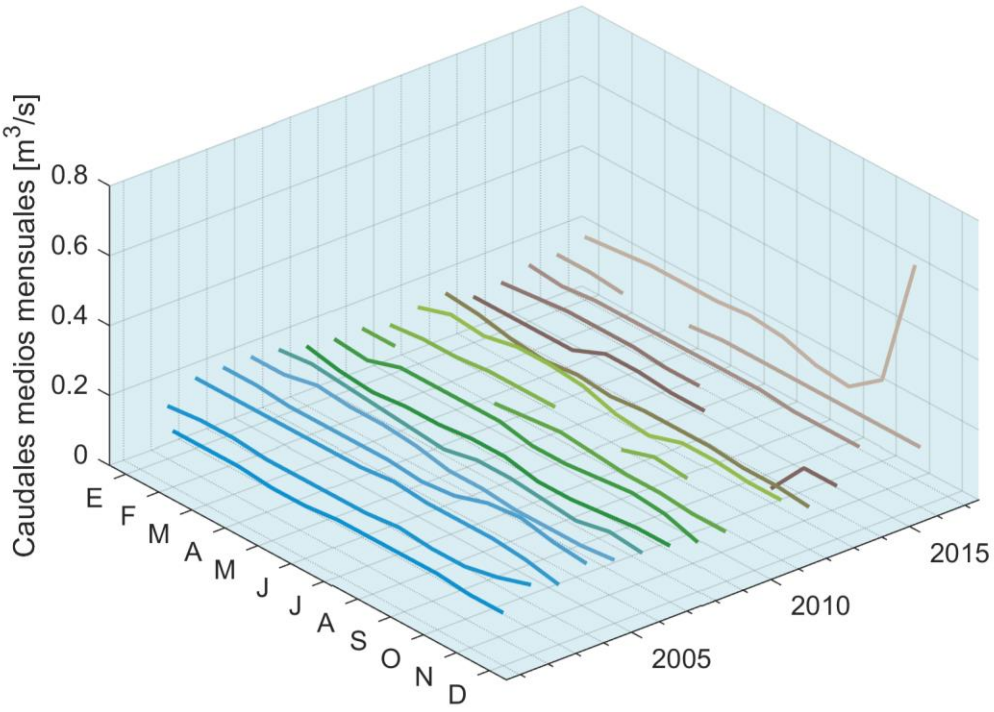


Figura 3.189. Registros históricos estación fluviométrica de la DGA, Río Siloli antes BT FCAB.

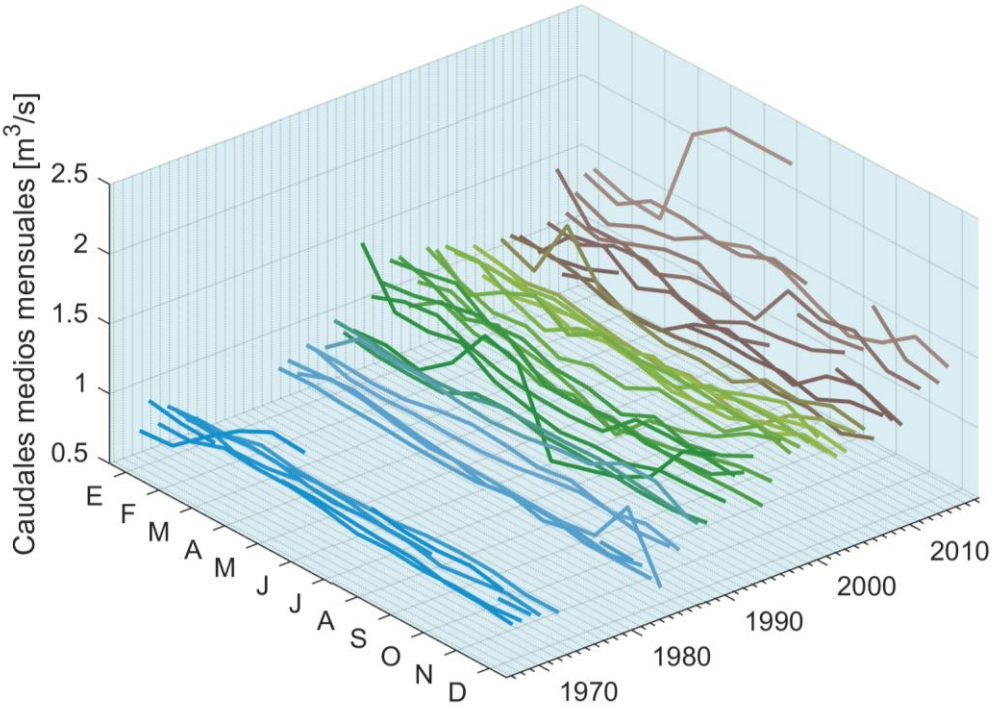


Figura 3.190. Registros históricos estación fluviométrica de la DGA, Río San Pedro Parshall N°1.

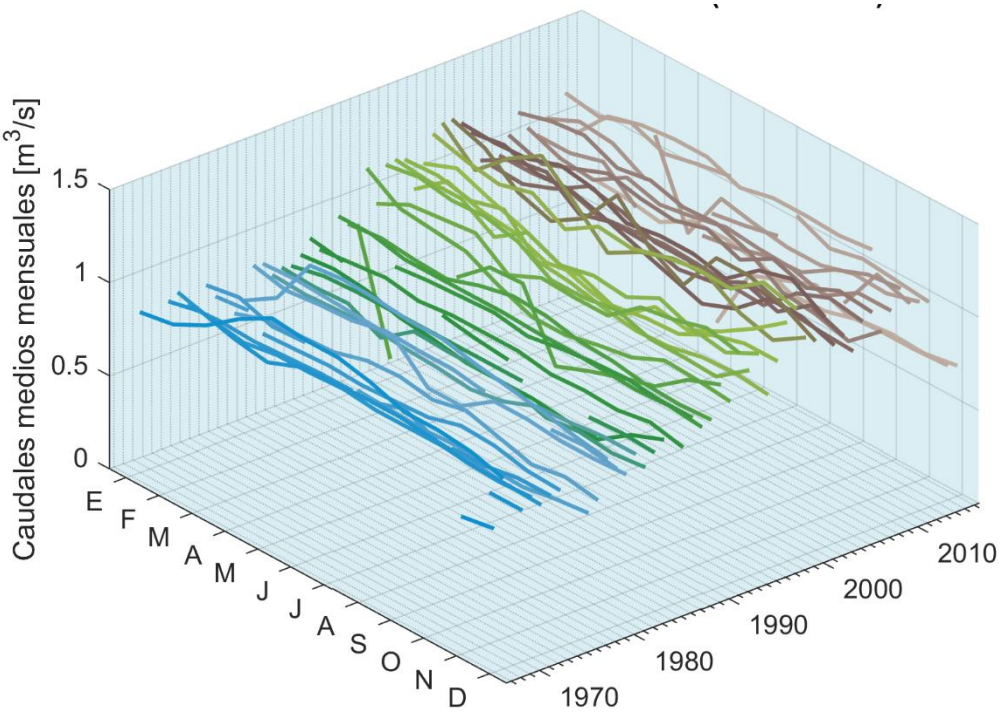


Figura 3.191. Registros históricos estación fluviométrica de la DGA, Río San Pedro Parshall N°2.

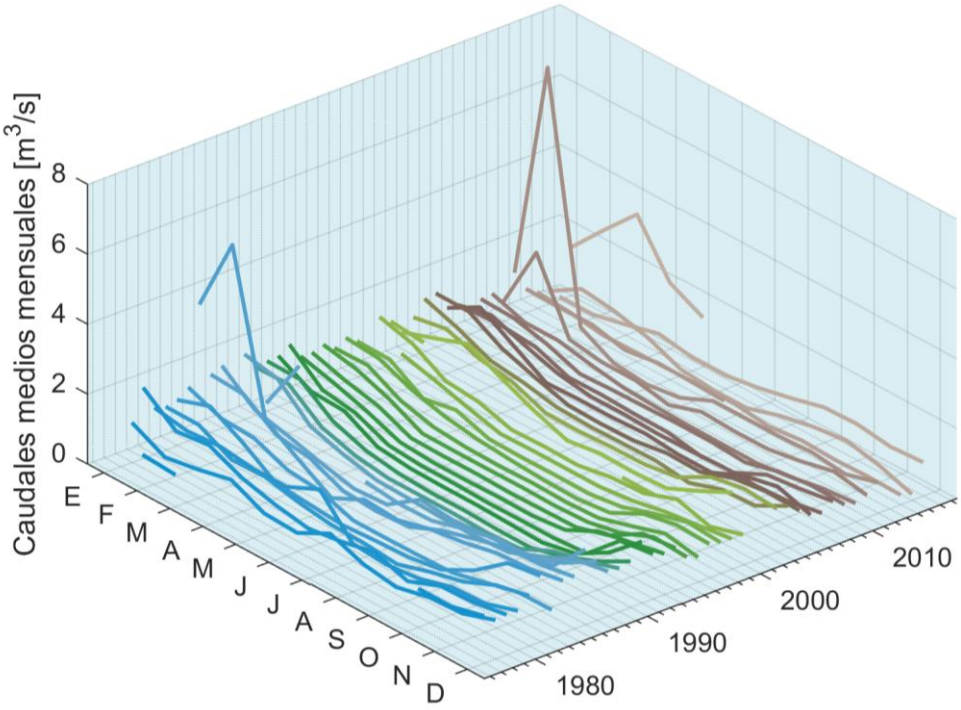


Figura 3.192. Registros históricos estación fluviométrica de la DGA, Río Loa en Salida Embalse Conchi.

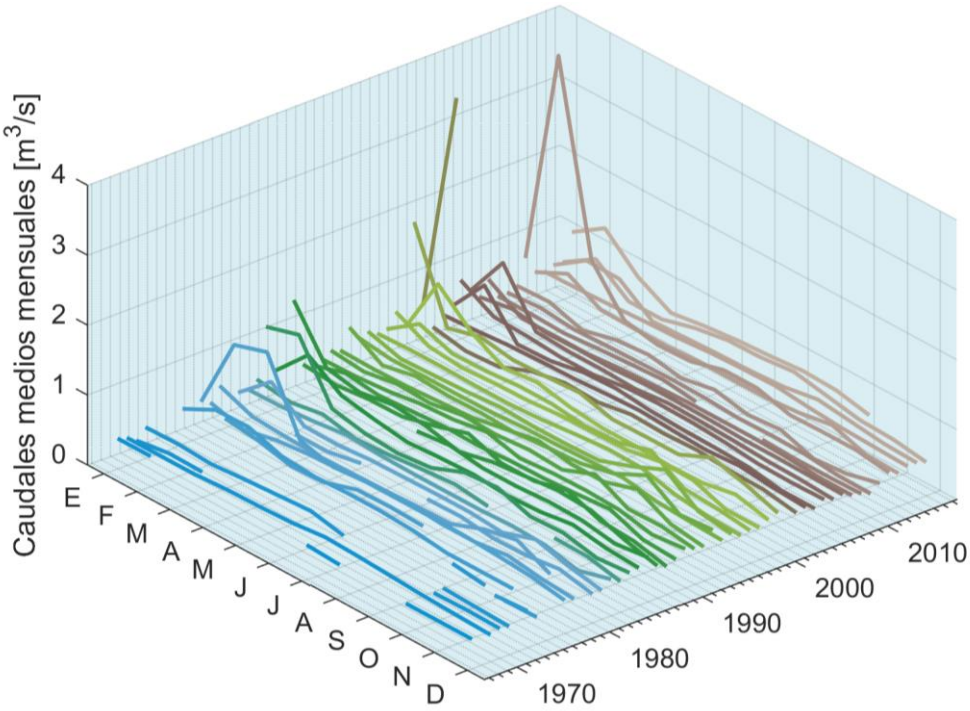


Figura 3.193. Registros históricos estación fluviométrica de la DGA, Río Loa antes Represa Lequena.

3.3.3.1.2 Curvas de variación estacional

Con los datos de caudales medios mensuales, graficados en el punto anterior, se realizó un análisis de frecuencias para poder entender de mejor manera el comportamiento estacional del río a lo largo de su desarrollo. Se consideran las probabilidades de excedencia de 5%, 10%, 25%, 50%, 75%, 85% y 95%, y se grafican considerando el año hidrológico comprendido entre abril y marzo.

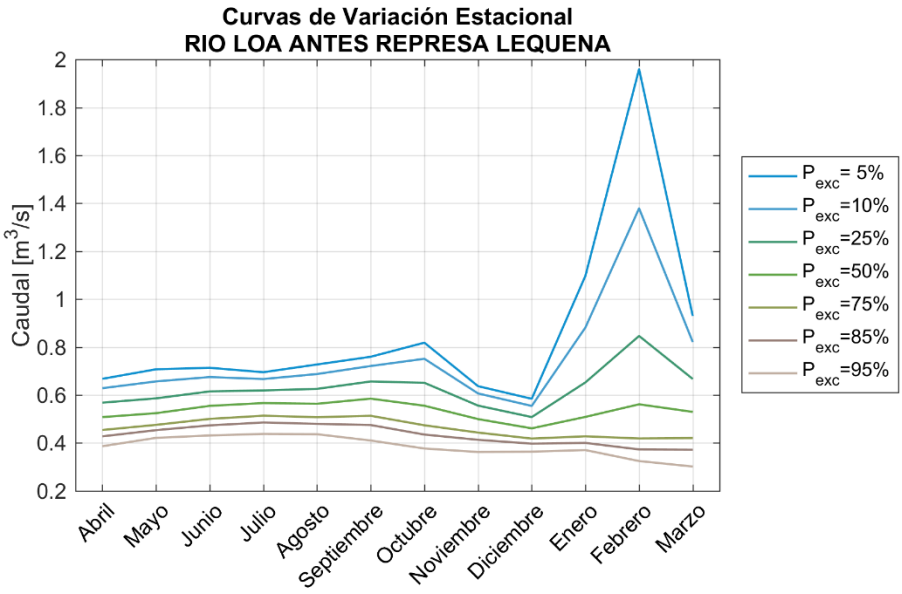


Figura 3.194. Curvas de variación estacional, Río Loa antes Represa Lequena.

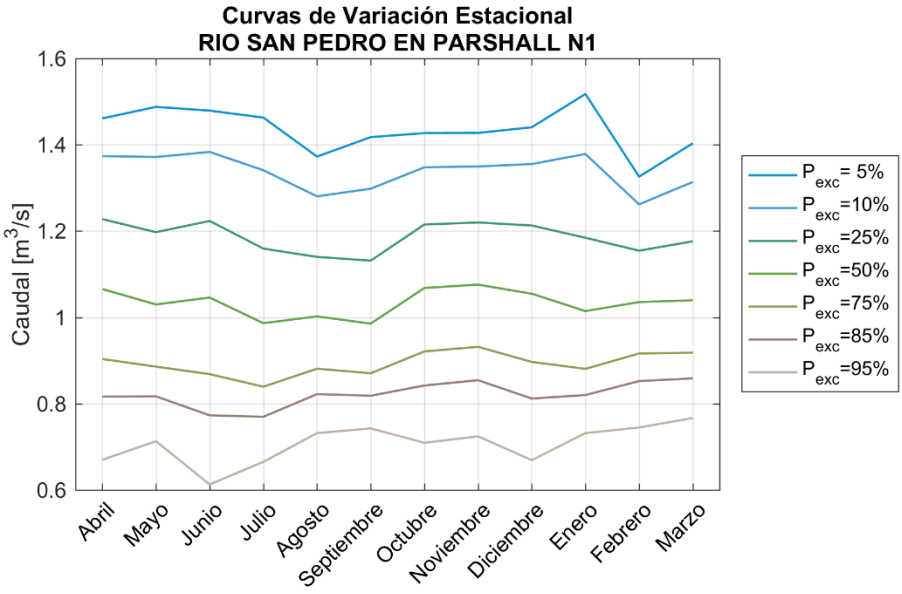


Figura 3.195. Curvas de variación estacional, Río San Pedro en Parshall N°1.

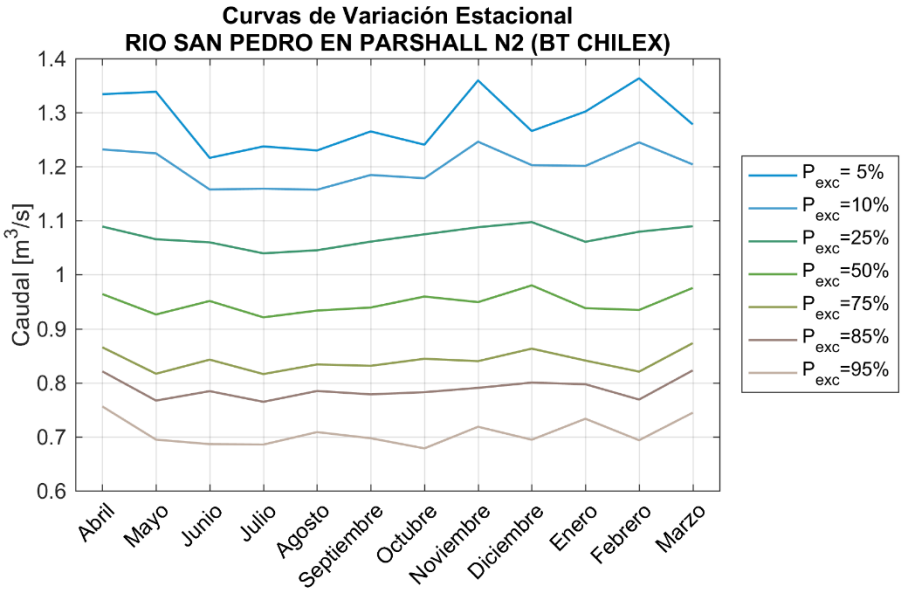


Figura 3.196. Curvas de variación estacional, Río San Pedro en Parshall N°2.

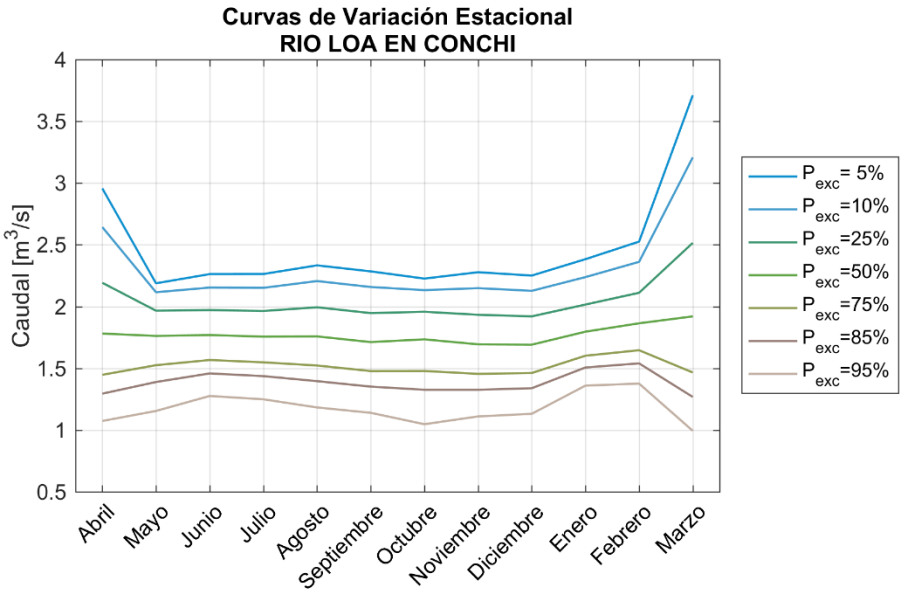


Figura 3.197. Curvas de variación estacional, Río Loa en Conchi.

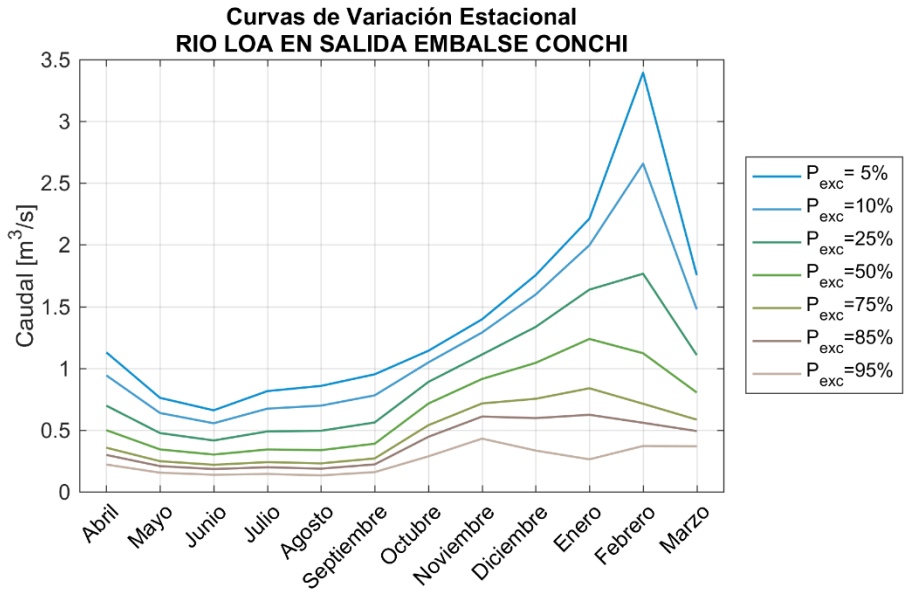


Figura 3.198. Curvas de variación estacional, Río Loa en salida embalse Conchi.

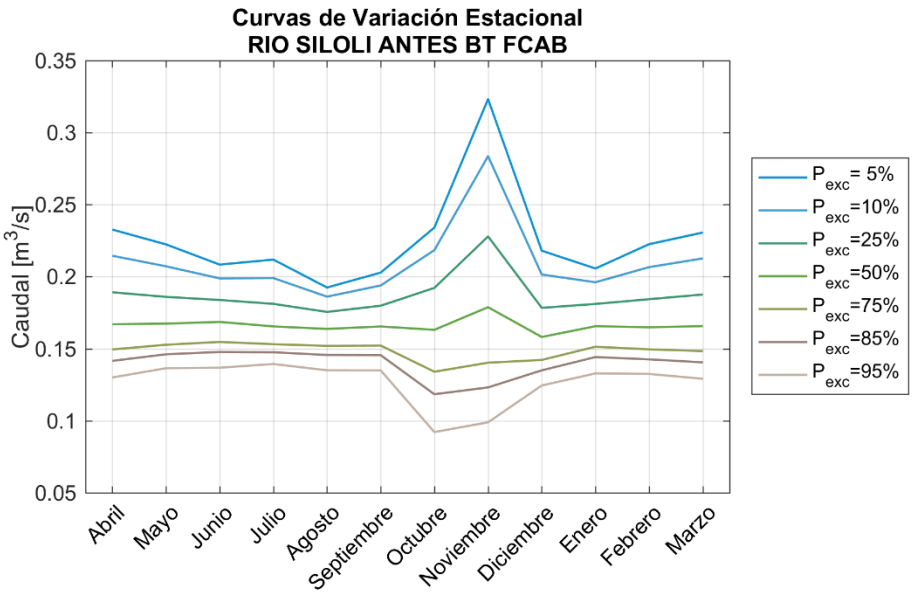


Figura 3.199. Curvas de variación estacional, Río Siloli antes BT FCAB.

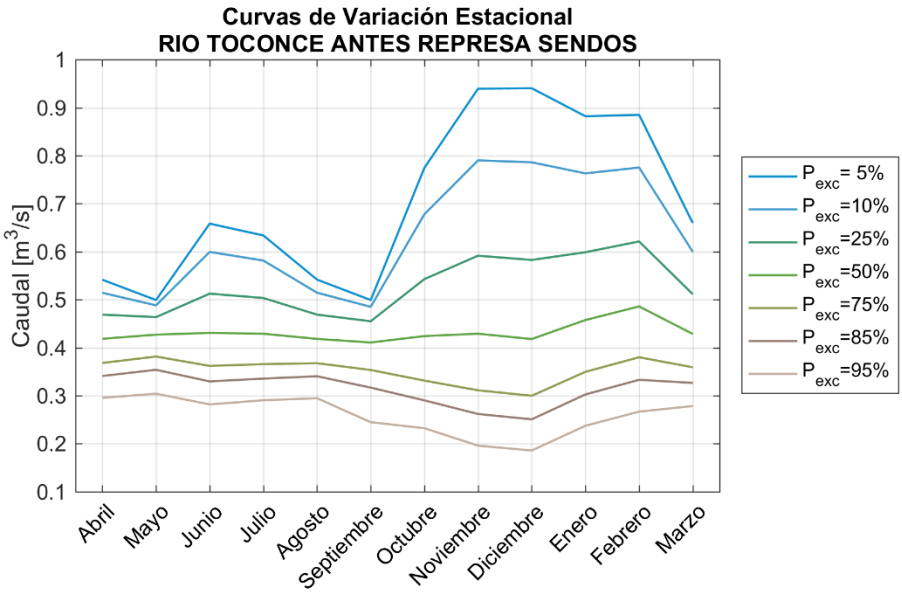


Figura 3.200. Curvas de variación estacional, Río Toconce antes Represa Sendos.

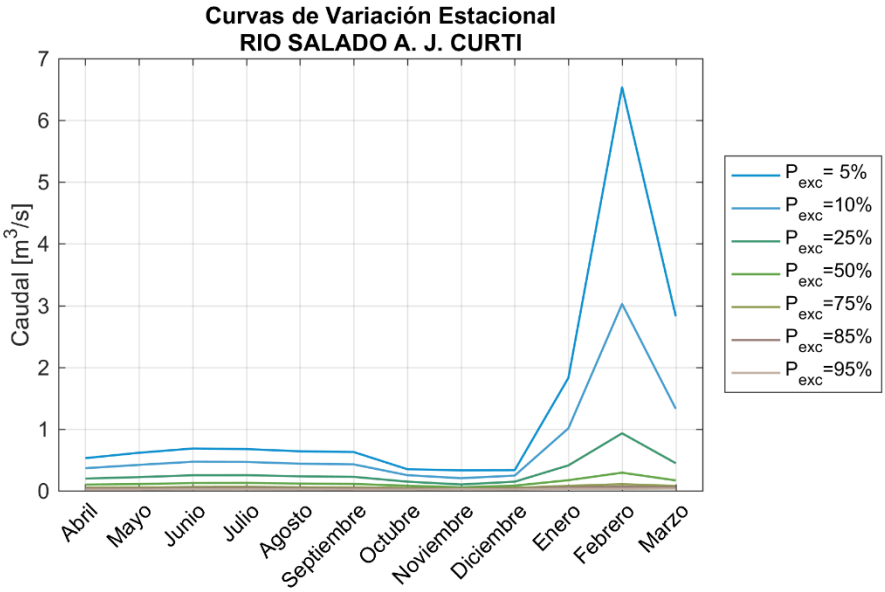


Figura 3.201. Curvas de variación estacional, Río Salado antes junta Curti.

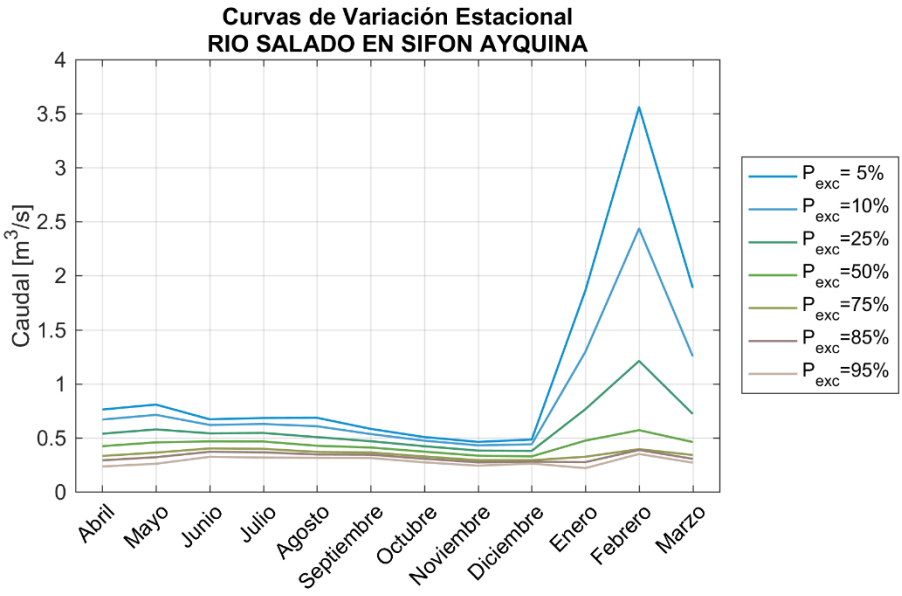


Figura 3.202. Curvas de variación estacional, Río Salado en sifón Ayquina.

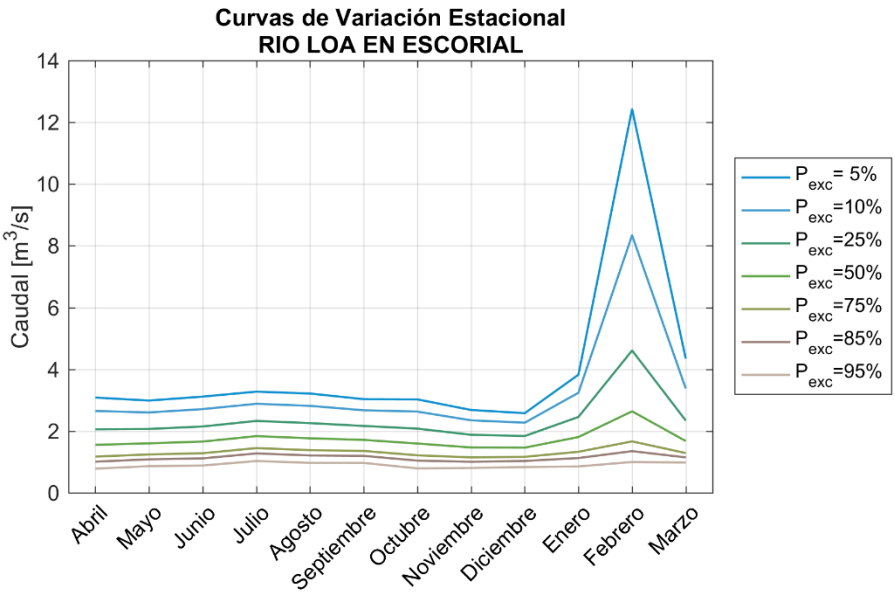


Figura 3.203. Curvas de variación estacional, Río Loa en Escorial.

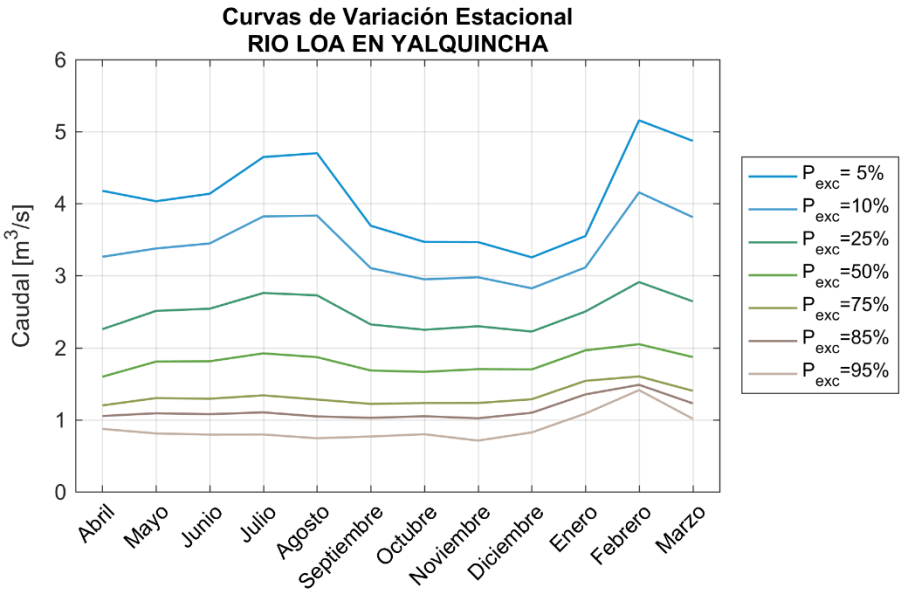


Figura 3.204. Curvas de variación estacional, Río Loa en Yalquincha.

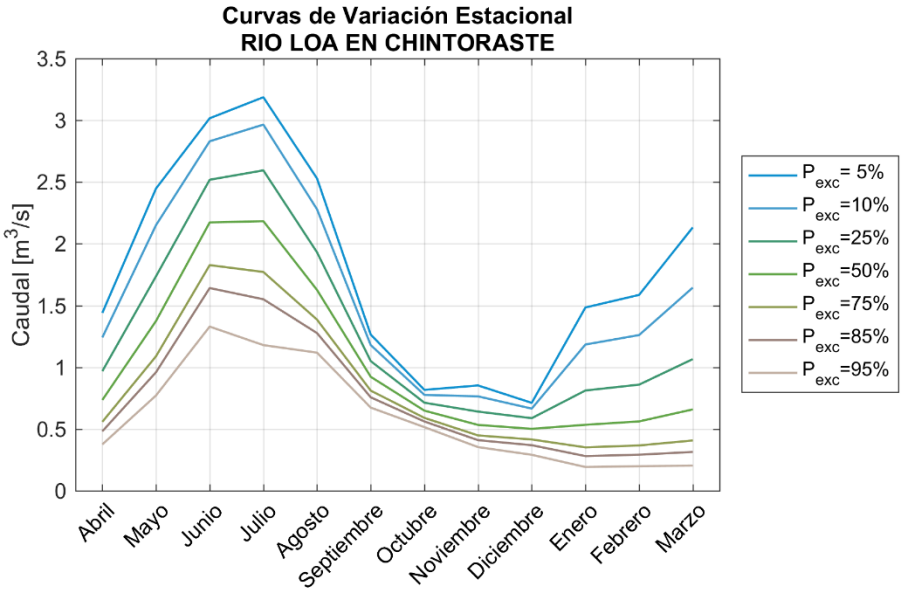


Figura 3.205. Curvas de variación estacional, Río Loa en Chintorase.

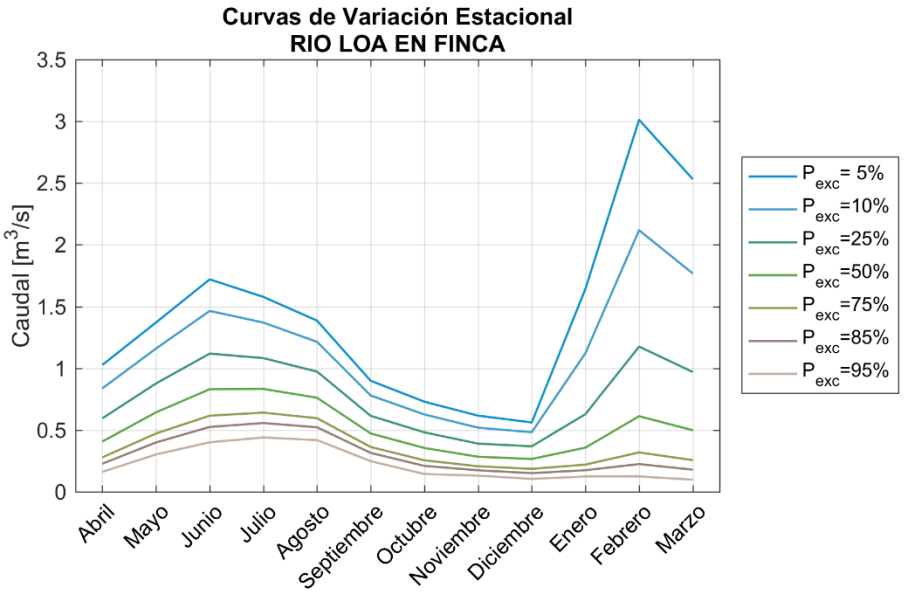


Figura 3.206. Curvas de variación estacional, Río Loa en Finca.

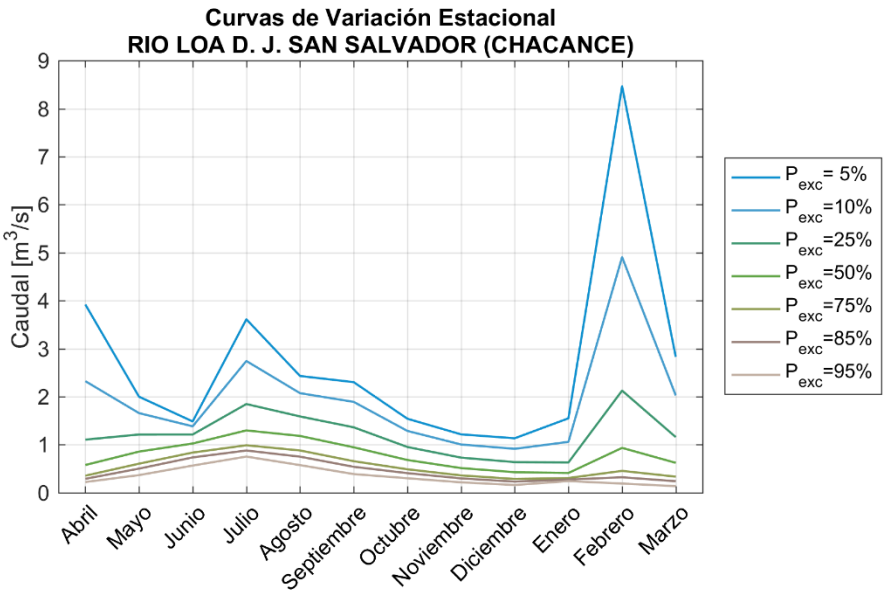


Figura 3.207. Curvas de variación estacional, Río Loa después junta San Salvador (Chacance).

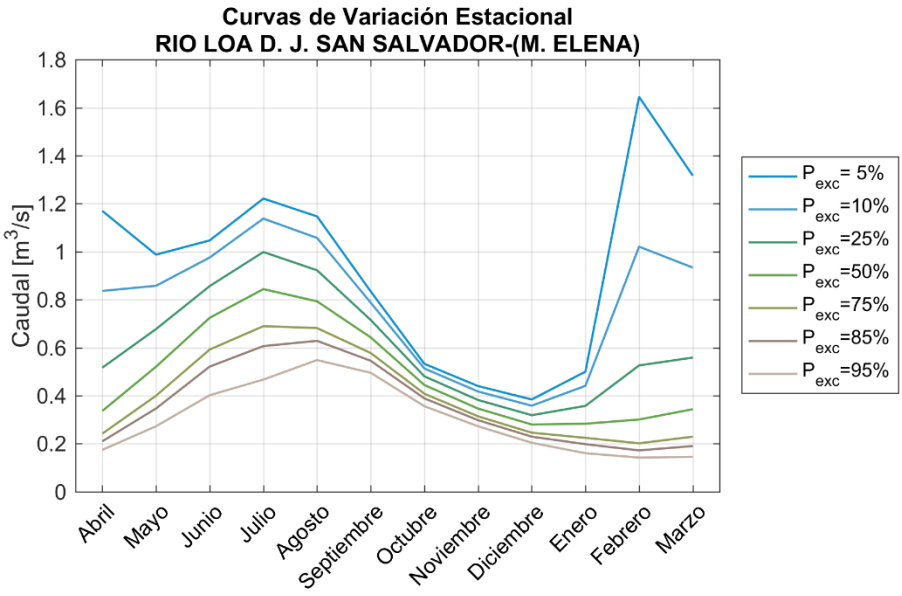


Figura 3.208. Curvas de variación estacional, Río Loa después junta San Salvador (M. Elena).

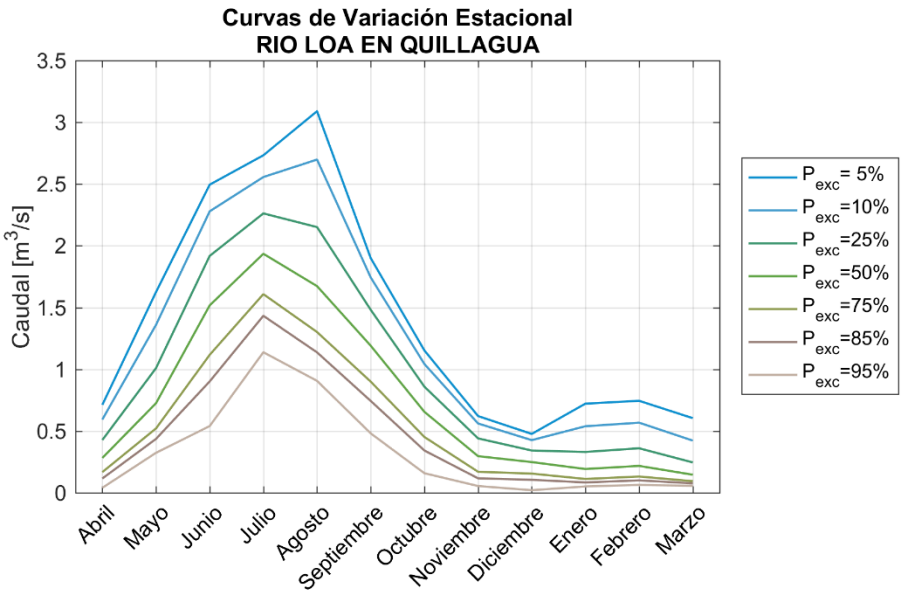


Figura 3.209. Curvas de variación estacional, Río Loa en Quillagua.

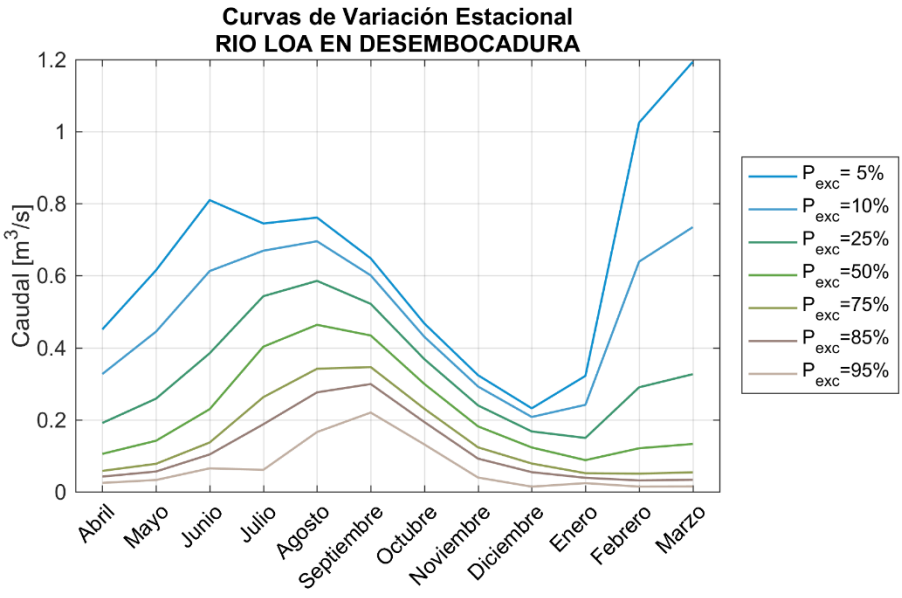


Figura 3.210. Curvas de variación estacional, Río Loa en desembocadura.

Analizando los gráficos realizados, tanto de la serie de caudales medios mensuales como los de las curvas de variación estacional, es posible observar la gran variabilidad en el comportamiento de los caudales, según el punto del río que se analice.

Como se observó en los resultados obtenidos de las estaciones meteorológicas (sección 3.1.2.1), en la parte alta de la cuenca, las precipitaciones se concentran en los meses de enero a marzo, condición dada por la influencia del invierno altiplánico. En tanto, la parte media de la cuenca muestra también influencia del invierno altiplánico, pero en menor medida, además presenta también concentración de precipitaciones en los meses de invierno continental. Por último, en la parte baja de la cuenca las precipitaciones son muy escasas sin un comportamiento definido.

Existe una estrecha relación entre las precipitaciones y los caudales, teniéndose que en la cuenca alta los mayores caudales se tienen en meses de invierno altiplánico, tal como lo muestran las estaciones: “Río Loa antes Represa Lequena” (Figura 3.194), ”Río Loa en Conchi” (Figura 3.197), “Río Loa en salida embalse Conchi” (Figura 3.198), ”Río Salado antes junta Curti” (Figura 3.201), “Río Salado en sifón Ayquina” (Figura 3.202) y ”Río Loa en Escorial” (Figura 3.203). Otras Estaciones muestran, de la cuenca media y baja en cambio, muestran un comportamiento influenciado tanto por el invierno altiplánico como del continental, como lo son las estaciones: “Río Toconce antes Represa Sendos” (Figura 3.200), “Río Loa en Yalquincha” (Figura 3.204), “Río Loa en Chintorase” (Figura 3.205), “Río Loa en Finca” (Figura 3.206), “Río Loa en Quillagua” (Figura 3.209), “Río Loa después junta San Salvador” (Figura 3.207 y Figura 3.208) y “Río Loa en desembocadura” (Figura 3.210).

Las estaciones de “Río San Pedro en Parshall N°1” (Figura 3.195), “Río San Pedro en Parshall N°2” (Figura 3.196) y “Río Siloli antes BT FCAB” (Figura 3.199), muestran un comportamiento diferente. Las dos primeras muestran una variación estacional prácticamente nula, lo cual es debido a que el río San Pedro es alimentado por una extracción de aguas subterráneas por parte de Codelco, lo cual lo independiza de factores hidrológicos. Mientras que la última, presenta un alza en su caudal entre octubre y diciembre, lo cual puede explicarse considerando su altura geográfica de 4300msnm aproximadamente y una cuenca aportante muy pequeña. A esta altitud las precipitaciones son en gran parte de su área aportante caen en forma de nieve, llegando al río al derretirse la nieve en primavera.

En relación a las estaciones fluviométricas en el Río San Pedro, cuyo caudal depende del aporte de aguas subterráneas extraidas por CODELCO en su parte alta, se aprecia que los valores de caudal en las estaciones “Río San Pedro en Parshall N°1” y “Río San Pedro en Parshall N°2” han ido aumentando gradualmente (Ver Figura 3.190 y Figura 3.191). Esto deja en evidencia que el caudal de aguas subterráneas extraidos por CODELCO es cada vez mayor.

3.3.3.2 Análisis regional 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 media anual en algún punto de interés asociada a una cuenca en particular, además, de entregar estimaciones en puntos de análisis con poca o nula información fluviometrica, la cual se representa por medio de una grafica 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, ahora bien, la denominada homogenización 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. Por consiguiente, 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.

3.3.3.2.1 Homogenización regional

La homogenización regional se llevará a cabo por medio del método de "momentos – L" de Hosking y Wallis (Hosking & Wallis, 1997. P.113) aplicable al análisis regional de frecuencias, el cual define parámetros estadísticos de interpretación análoga a los momentos tradicionales, a los que ellos llaman Momentos–L. Estos se deducen a partir de combinaciones lineales de los momentos de probabilidad ponderada. Los Momentos–L se interpretan como un sistema alternativo para estimar los parámetros de la distribución de probabilidad. Así la regionalización o la homogenización regional que sugieren Hosking y Wallis, es a través de estimadores aplicables a series máximas anuales (x_i) por cada estación, los cuales son los siguientes:

$$\hat{\beta}_0 = \frac{1}{n} * \sum_{i:1}^{n} x_i$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i:1}^{n-1} x_{i*(n-i)}}{n*(n-1)}$$

$$\hat{\beta}_2 = \frac{\sum_{i:1}^{n-2} x_{i*(n-i)(n-i-1)*(n-i-2)}}{n*(n-1)*(n-2)}$$

$$\hat{\beta}_3 = \frac{\sum_{i:1}^{n-3} x_{i*(n-i)(n-i-1)*(n-i-2)*(n-i-3)}}{n*(n-1)*(n-2)*(n-3)}$$

Donde:

x_i: Valor de serie maxima anual.

i: Orden de cada dato fluviometrico de manera decreciente.

n: Número de datos de la serie.

Ahora bien, las ecuaciones de "momentos – L" (λ_i) y sus expresiones adimensionales son las siguientes:

$$\lambda_1 = \hat{\beta}_0$$

$$\lambda_2 = 2 * \hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_0$$

$$\lambda_3 = 6 * \hat{\beta}_2 - 6 * \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_0$$

$$\lambda_4 = 20 * \hat{\beta}_3 - 30 * \hat{\beta}_2 + 12 * \hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_0$$

$$\tau_2 = {}^{\lambda_2}/_{\lambda_1}$$

$$\tau_3 = {}^{\lambda_3}/_{\lambda_2}$$

$$\tau_4 = {}^{\lambda_4}/_{\lambda_2}$$

Donde:

λ_i: Ecuaciones de momentos-L.

τ_2: Coeficiente de variacion.
τ_3: Coeficiente de asimetria.
τ_4: Coeficiente de Curtosis.

Posteriormente, se elaboran los diagramas de Momentos–L adimensionales (τ_2, τ_3, τ_4), tal que las representaciones graficas serán $\tau_2\ v/s\ \tau_3$ y $\tau_4\ v/s\ \tau_3$ respectivamente. Si presentan cúmulos de puntos en ambos diagramas, se establece una región homogeneizada, sin embargo, los puntos que divergen de la aglomeración se consideran "discordantes", por lo tanto, un grupo conformado por varios puntos (Estaciones fluviométricas) aglomerado indicara las zonas en que se encuentra homogeneizada la región (Luna & Domínguez. 2013. P. 114).

3.3.3.2.2 Método regional de momentos ponderados por probabilidad (MPPR)

Se considera la realización del modelo probabilístico, por medio del presente método con la utilización de la distribución probabilística de "Wakeby" y la metodología de momentos ponderados por probabilidad, principalmente porque "minimiza el error estándar de ajuste (EEA) y en aquellos casos en que mejora notablemente el ajuste, al tener menor EEA, lo cual se debe a la gran flexibilidad de la distribución Wakeby, debido a sus cinco parámetros de ajuste" (Campos, 2001. P. 438) y porque "Los momentos ponderados por probabilidad fueron introducidos por Greenwood (1979) y Hosking (1985). Este método se caracteriza por ser más conveniente que los métodos de máxima verosimilitud y de momentos convencionales, cuando el tamaño de la muestra es limitado" (Varas, Lara. 1998. P.53). Ahora bien, el método (MPPR) utiliza la siguiente expresión, que entrega valores sesgados para (k) positivo, en función del tamaño de la muestra (n) de los valores ordenados en forma creciente (x_i) y del número de orden (i) de cada valor en la lista:

$$\overline{M_k} = \frac{1}{n} * \sum_{i:1}^{n} x_i * \left(\frac{n - i + 0.35}{n}\right)^k$$

Donde $\overline{M_k}$ corresponde al momento sesgado ponderado por probabilidad de la muestra.

Además, la expresión que permite estimar los parámetros de la distribución de Wakeby, según el método regional de momentos ponderados por probabilidad para una población de datos, es:

$$M_k = \frac{m}{1+k} + \frac{a-c}{1+k} - \frac{a}{1+k+b} + \frac{c}{1+k+d}$$

Donde:

M_k: Momento ponderado por probabilidad de la población.

m, a, b, c, d: Parámetros asociados a la distribución de probabilidad de Wakeby.

Por lo tanto, la estimación de los parámetros de distribución de wakeby por medio del método regional de momentos ponderados por probabilidad, consiste en resolver un sistema de ecuaciones en función al número de incógnitas a determinar, formado por la igualación de los cinco primeros momentos de la muestra con los correspondientes momentos ponderados de la población. Por consiguiente, para lograr la adimensionalización de los valores máximos anuales, y en según las instrucciones del manual de carreteras (MOP. 2014), se calculan los momentos adimensionales dividiendo cada valor de momento ponderado por el primer momento de la serie, posteriormente para realizar la representación de la curva de frecuencia regional, se evalúa cada valor adimensionado en cada punto de interés con la expresión de la distribución de Wakeby en relación con su función acumula, la cual establece los valores de Caudal máximo anual en función de distintos periodos de retorno es la siguiente:

$$X = m + a * [1 - (1 - F)^b] - c * [1 - (1 - F)^d]$$

Donde:

X: Variable aleatoria o caudal maximo anual (QMA), distribución de Wakeby.

F: Distribución acumulada.

Por lo tanto, la curva de frecuencia regional será la representación de los caudales máximos anuales determinados por la distribución de Wakeby y las distintas distribuciones acumuladas que, en este caso, serán los distintos periodos de retorno en los cuales se deben evaluar. Ahora bien, esta metodología regional es para ser aplicada en puntos de interés con información fluviométrica para lograr estimar las frecuencias de las crecidas en la región de estudio, sin embargo, si existe el caso de contar con poca o nula información disponible por parte de los puntos de interés pertenecientes a la región, se puede predecir la crecida media anual por medio de alguna expresión que este en función de características geomorfológicas, geográficas e hidrológicas propias de cada punto, como son el área de la cuenca, la latitud del punto en cuestión y la precipitación. Una expresión aplicable para esta circunstancia en la propuesta por Varas & Lara (1998):

$$QMA^* = \alpha * A^{0.5} + \beta * {P_{24}^{10}}^{0.4} + \gamma * lat^{0.3} * A^{0.5} + \varepsilon$$

Donde:

$\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon$: Parametros de la expresión de Varas & Lara (1998).

QMA^*: Caudal maximoanual en puntosde interes sin información fluviometrica.

Esta función de características propias de la cuenca, tales como el tamaño de la cuenca representado por su área en km^2 (A), la latitud del lugar en grados (lat) y la precipitación máxima diaria para diez años de período de retorno (P_{24}^{10}). Los parámetros de la expresión

son determinados por medio de valores adimensionados en puntos de interés dentro de la región con información fluviométrica, por medio de la siguiente expresión:

$$\frac{\overline{M_{k_i}}}{\overline{M_{k_{max_i}}}} = \frac{\overline{M_{k_i}}}{QMA^*{}_i}$$

$$\overline{M_{k_{max_i}}} = QMA^*{}_i$$

Donde:

$\overline{M_{k_{max_i}}}$: Momento máximo sesgado ponderado por probabilidad de la muestra.

$\frac{\overline{M_{k_i}}}{\overline{M_{k_{max_i}}}}$:Valores adimensionados de puntos de interes con infomacion fluviometrica.

3.3.3.2.3 Aplicación métodos

"Un problema común en la evaluación de eventos extremos de lluvias o crecidas es su estimación en sitios sin datos o con poca información; este inconveniente se corrige mediante un análisis de datos de varias estaciones vecinas." (Luna, J. A., Domínguez, R., 2013, P. 112), por esa razón, en el desarrollo del análisis regional de crecidas se discriminó de la totalidad de estaciones fluviométricas, a aquellas que presentaran registros no intermitentes de información y que se mantuvieran vigentes a la fecha. Por lo tanto, se seleccionaron las siguientes estaciones de medición:

- RIO LOA ANTES REPRESA LEQUENA
- RIO LOA EN FINCA
- RIO LOA EN YALQUINCHA
- RIO SALADO EN SIFON AYQUINA
- RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N°2 (BT. CHILEX)
- RIO LOA D. J. SAN SALVADOR-(M. ELENA)
- RIO LOA EN SALIDA EMBALSE CONCHI
- RIO SALADO A. J. CURTI
- RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N°1
- RIO TOCONCE ANTES REPRESA SENDOS
- RIO LOA EN ESCORIAL

Por consiguiente, para la homogenización de la región, de acuerdo con las estaciones fluviométricas, se aplicó el método de "momentos-L" (Expresiones "λ_i"), en que consiste en determinar los coeficientes de variación (Expresión "τ_2"), asimetría (Expresión "τ_3") y de curtosis (Expresión "τ_4"), a la nube de datos pertenecientes a cada estación y representadas en las siguientes gráficas:

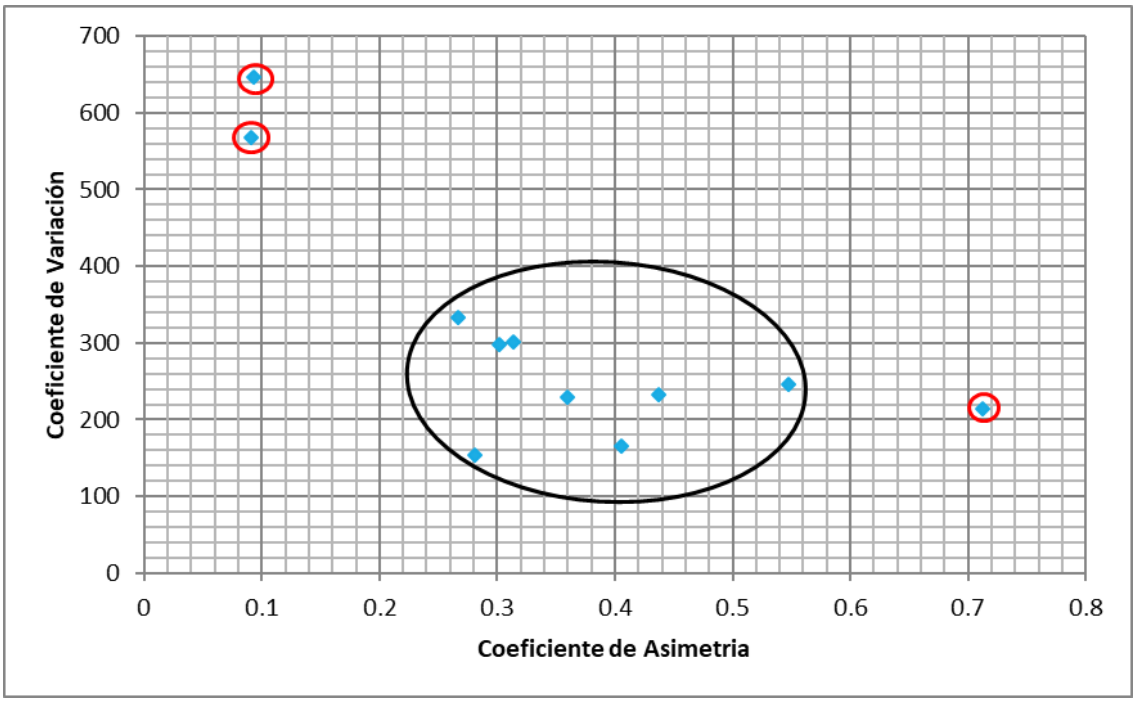


Figura 3.211 Coeficiente de variación vs. coeficiente de asimetría

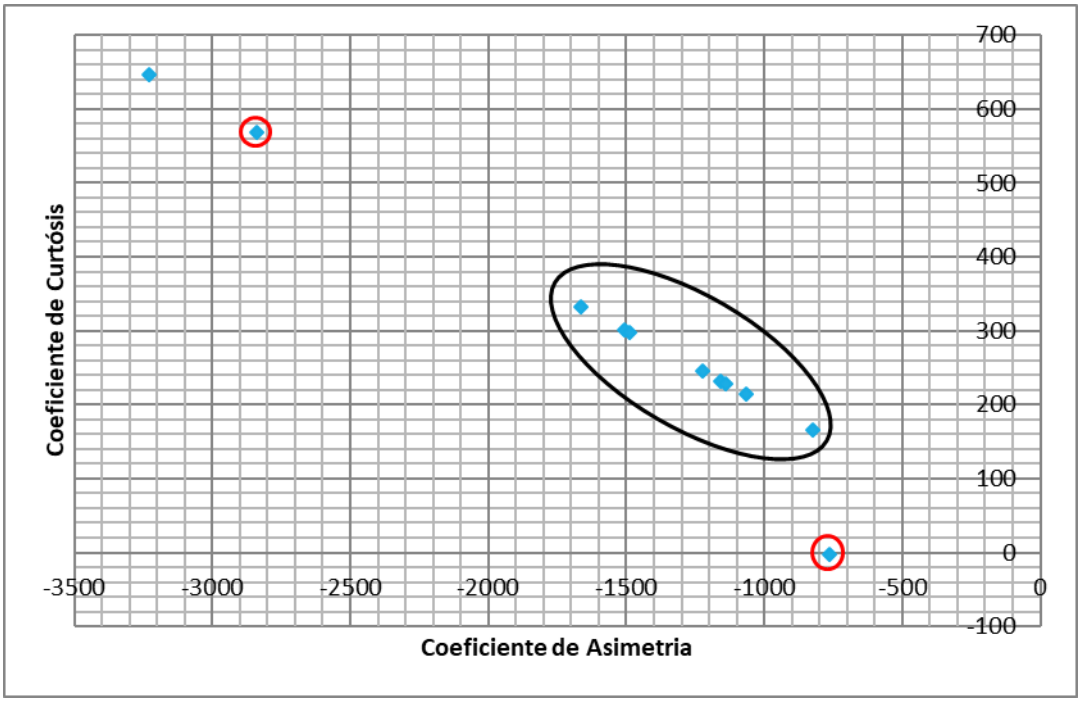


Figura 3.212 Coeficiente de Curtosis vs. coeficiente de asimetría

Cabe destacar, que los cúmulos de puntos de interés serán las estaciones que conforman la región homogeneizada y los puntos fuera del grupo acotado serán considerados discordantes y por ende excluidos, por lo tanto, los puntos de interés con sus respectivas áreas aportantes, utilizados para la metodología del análisis de frecuencia serán los siguientes:

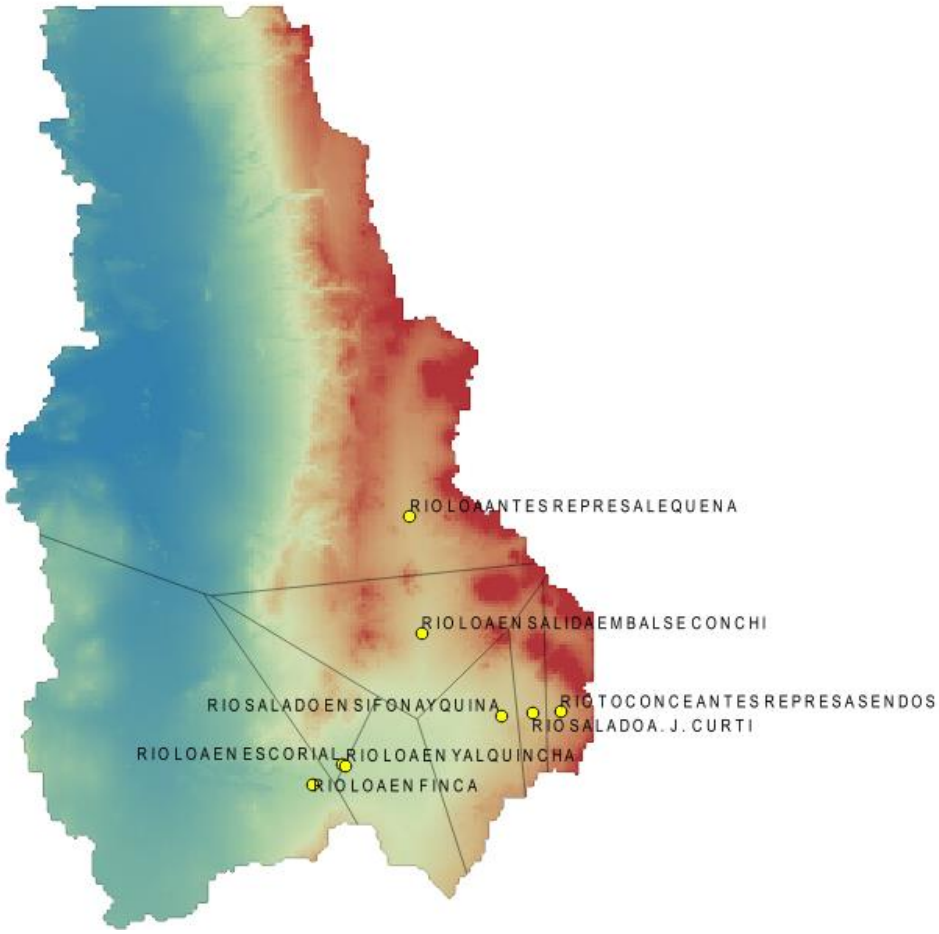


Figura 3.213 Regionalización de estaciones (método de Thiessen)

Ahora bien, el objetivo del análisis regional de crecidas es predecir el evento crecida en puntos pertenecientes a la región homogeneizada o a puntos con poca o nula información fluviometrica, siempre y cuando se posea la información del caudal medio anual del área de interés. Si cada estación, posee información de sus caudales máximos anules de su periodo de registro, se utiliza las herramientas del método de los momentos ponderados por probabilidad (Expresiones "$\overline{M_k}$" y "M_k") para logar determinar los parámetros requeridos de la variable aleatoria de la distribución de Wakeby (Expresión " X ") en función a periodos de retorno 5, 20, 50, 75 y 95 años y caudales adimensionados por el

primer momento ponderado de cada serie, así la curva de frecuencia de crecidas, aplicable a las cuencas aportantes del rio Loa y sus afluentes será:

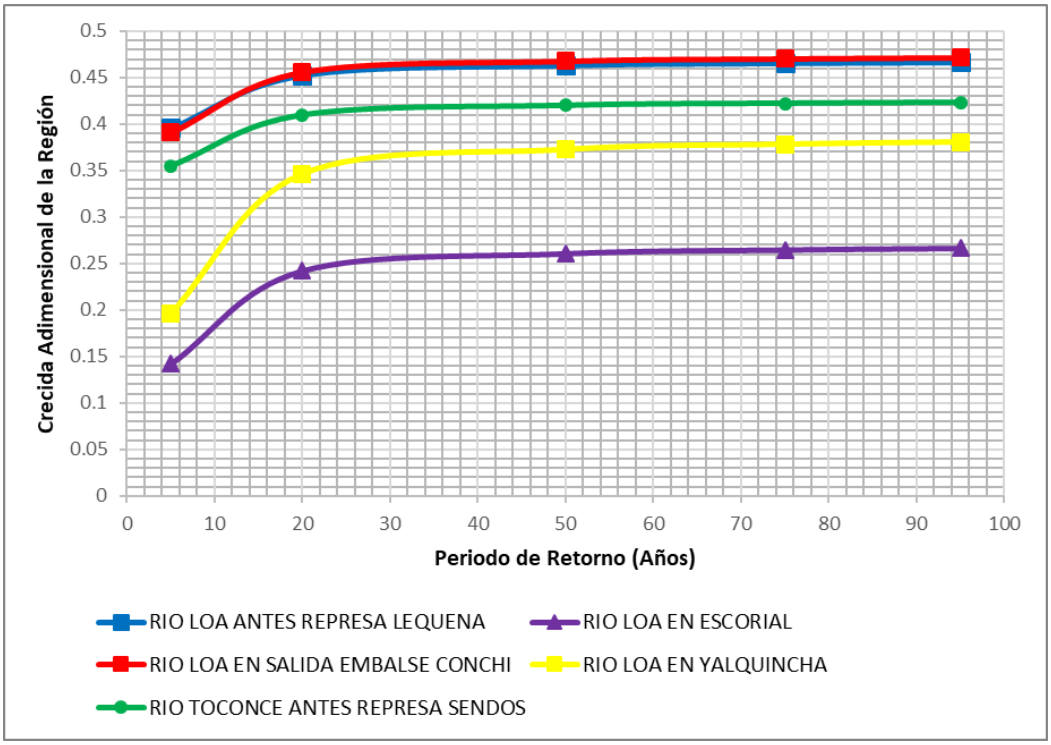


Figura 3.214 Curvas de frecuencias de crecidas

En el caso de que en el punto de interés no presente información fluvionemtrica, se utilizan expresiones que estimen la crecida media anual (Expresión "QMA^{*}"), en función del tamaño de la cuenca aportante, sus precipitaciones y su georreferencia. En nuestro caso, se determinó una expresión con respecto a la georreferenciación de las estaciones, la precipitación máxima de un día con un periodo de retorno de 10 años (P_{24}^{10}) para la región de Antofagasta por medio de sus curvas de intensidad, frecuencia y duración (Torres, E., 2016), y es la siguiente:

$$QMD^{*} = 2.34 * A^{0.5} - 3.71 * {P_{24}^{10}}^{0.4} - 0.94 * A^{0.5} * lat^{0.3} + 24.19$$

La cual posee coeficientes de correlación múltiple de 0,876, y de correlación cuadrada de 0,768 y un error estándar de 2,706 m^3/s.

En resumen, con respecto a las gráficas de "momentos – L", los puntos discordantes que presento la región homogenizada fueron aquellas estaciones poseen un número inferior de años que los registros de las demás estaciones y que tenían bajas variaciones entre sus caudales máximos. Cabe destacar, que la realización del análisis de frecuencia, su estimación de las áreas aportantes de cada estación homogenizada fue por medio del método de Thiessen, además, la representación de la curva de frecuencia regional, solo se

consideraron las estaciones que presentaron caudales adimensionales positivos. Se desprende de la gráfica (Figura 3.214) que, en periodos de retorno menores a 20 años, la razón de caudales tiende a aumentar de manera potencial para posteriormente mantenerse constante porque "El método de los momentos de probabilidad ponderada conduce a estimaciones menores en grandes periodos de retorno." (Campos, D., 2001. P. 438). Finalmente, le expresión para las estimaciones de caudal medio anual posee un coeficiente de correlación múltiple (R) de 0,876, lo cual indica que posee una correlación positiva considerable y un coeficiente de correlación cuadrado (R^2) de 0,768, lo que implica que posee un grado aceptable de asociación entre sus variables.

3.3.3.3 índice estandarizado de precipitación

Para el análisis de los periodos secos extremos en el país, se identificaron las sequías meteorológicas a través del cálculo del índice estandarizado de precipitación (SPI, sigla en inglés de Standard Precipitation Index) (OMM, 2012), el cual también es un indicador de los eventos húmedos. El SPI se calcula usando los datos estandarizados (normalizados) de series de precipitación acumuladas a diferentes escalas temporales (p. ej. 1, 3, 6, 12, 24, etc. meses), y clasificando los periodos mensuales como se indica en la Tabla 3.93.

Tabla 3.93 Categorías del índice estandarizado de precipitación (Fuente: OMM, 2012).

Rango	Categoría
SPI ≥ 2,0	Extremadamente húmedo
1,5 ≤ SPI < 2,0	Muy húmedo
1,0 ≤ SPI < 1,5	Moderadamente húmedo
-1,0 < SPI < 1,0	Normal
-1,5 < SPI ≤ -1,0	Moderadamente seco
-2,0 < SPI ≤ -1,5	Muy seco
SPI ≤ -2,0	Extremadamente seco

A continuación, en la Figura 3.215, se presentan los resultados del SPI aplicado a los datos de 3 estaciones de meterorológicas de la DGA en la cuenca del Río Loa, considerando una escala mensual. Se escogió estas estaciones por ser representativas de las cuencas alta, media-alta, media y media-baja, respectivamente.

Es importante considerar que este índice compara cada año con su propia historia, y no corresponde a una categoría absoluta. Por ejemplo, se puede notar que en Quillagua el índice se mueve en el rango de lo húmedo, debido a que por ser una zona prácticamente sin precipitaciones, cada precipitación, por muy mínima que sea, provoca una categorización de mes húmedo. En el resto de los sectores se puede apreciar una oscilación entre meses húmedos y secos.

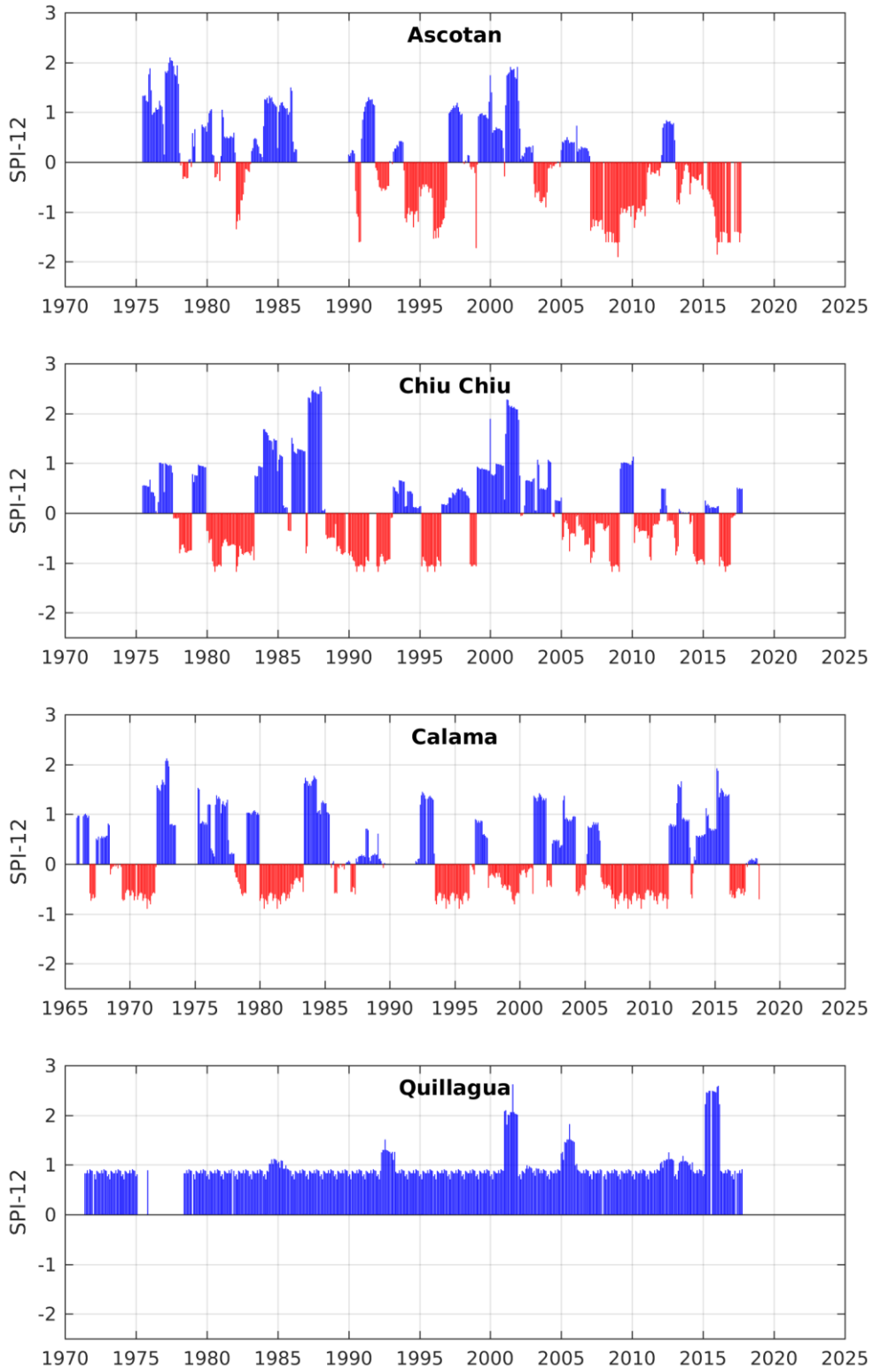


Figura 3.215 Resultados SPI con datos de precipitación medidos en Ascotán, Chiu Chiu, Calama y Quillagua

3.3.3.4 Diagramas Unifilares

En la sección "3.1.3 Análisis de la actual red fluviométrica y de calidad de agua de la cuenca del río Loa." se presentan los diagramas unifilares del río Loa y sus principales afluentes (Ver Figura 3.32 y Figura 3.33.). En estos diagramas se puede apreciar las extracciones y aportes al sistema.

3.3.4 Análisis Ecológico

3.3.4.1 Gradientes Ambientales

River Continuum: La idea de gradiente en ecología de ríos se desarrolló con posterioridad y se aplicó a la escala de un sistema fluvial, y se formuló bajo el nombre de "río continuo". El concepto de río continuo describe la estructura y función de las comunidades a lo largo de río como sistema. Básicamente, el concepto propone el entendimiento de las estrategias biológicas y dinámicas del río requieren la consideración de *gradientes de factores físicos* formados por la red de drenaje (Vannotte, 1980). En los ríos, desde la cabecera de aguas hasta río abajo, las variables físicas dentro de un sistema ribereño presentan un *gradiente continuo* de condiciones incluyendo, ancho, profundidad, velocidad, volumen de flujo o caudal, temperatura y ganancia de entropía (Vannotte, 1980).

Desde un punto geomorfológico e hidrológico, es frecuente que los ríos se jerarquicen en función de las cuencas y subcuencas, hecho que permite caracterizar el curso de agua principal en función de propiedades como el caudal y propiedades físicas y químicas de este, que son determinantes para el funcionamiento de los ríos como ecosistemas.

En ríos de clima desértico, la salinidad es una variable de gran importancia, y se ha considerado establecer sus valores a lo largo del eje longitudinal del río, pero en función de las áreas de los distintos tipos de cobertura en el curso del río.

La altitud es una variable geográfica compleja, dado que propiedades físicas y químicas del agua pueden ser determinadas o influidas por esta variable. Es frecuente usarla como una variable que ayuda a la descripción de los sistemas naturales. En nuestro caso tiene efectos sobre variables hidrológicas, químicas y biológicas.

En ambientes desérticos, el análisis se realiza en función de grandes sectores a lo largo del eje longitudinal del río, siguiendo las características de la vegetación ribereña. En este caso la vegetación está dominada por especies de macrófitas emergentes, que crecen en el borde del río.

Los gradientes seleccionados para entender los cambios del río a lo largo de su trayecto hasta la zona inferior son la altitud, la distancia hasta la desembocadura, variables desde un punto de vista geomorfológico. Además, se consideran gradientes las variables: caudal,

la salinidad – conductividad eléctrica, niveles de nitrógeno, fósforo y su relación con la *clorofila a.*

3.3.4.1.1 Caudal

El caudal ha sido reconocido como la variable fundamental para el desarrollo de ecosistemas lóticos. La cantidad de agua o caudal en su secuencia temporal son componentes críticos del suministro de agua, calidad del agua y la integridad ecológica de los ríos. Necesariamente, el caudal es considerada la variable maestra de los límites de distribución y abundancia de las especies ribereñas. El caudal está fuertemente correlacionado con varias características físicas como la geomorfología de los canales, la temperatura del agua, sus propiedades químicas, y la diversidad de hábitats para los distintos grupos de organismos (Poff et al 1997). Sin embargo, la importancia de la variabilidad en la mantención de la salud de los ecosistemas acuáticos había sido virtualmente ignorada en el contexto del manejo. Históricamente, la protección de los ecosistemas ribereños, enfatizando la calidad del agua y solamente un aspecto de la cantidad del agua, el caudal mínimo (Poff et al., 1997). En Chile se ha usado como el **caudal ambiental,** pero debe incluir la variabilidad, que es parte natural de los sistemas ecológicos.

3.3.4.1.2 Salinidad - Conductividad Eléctrica

La salinidad se refiere a la concentración total de iones disueltos en agua o suelo y por lo tanto es un componente de todas las aguas naturales. Los iones disueltos, también pueden expresarse como la actividad iónica de una solución en términos de su capacidad para transmitir corriente eléctrica conductividad eléctrica (CE). Por lo tanto, la CE es rutinariamente usada como una medida de salinidad, y la relación entre ellas es una función de la temperatura del agua.

Las aguas superficiales de acuerdo con el sistema de Venice (1959, en Cañedo-Arguelles 2013), pueden ser clasificadas de acuerdo con su contenido de sal como sigue:

Tabla 3.94 Clasificación de las aguas superficiales según salinidad (Fuente: Cañedo-Arguelles 2013).

Clasificación Agua	Salinidad (g/L)
Dulce	< 0.5
Oligohalina	0.5 – 4.0
Mesohalina	5-18
Polihalina	18-30
Euhalina	30-40
Hiperhalina	>40

A continuación, en la Figura 3.216, se presenta un mapa de la salinidad considerando la clasificación de la Tabla 3.94.

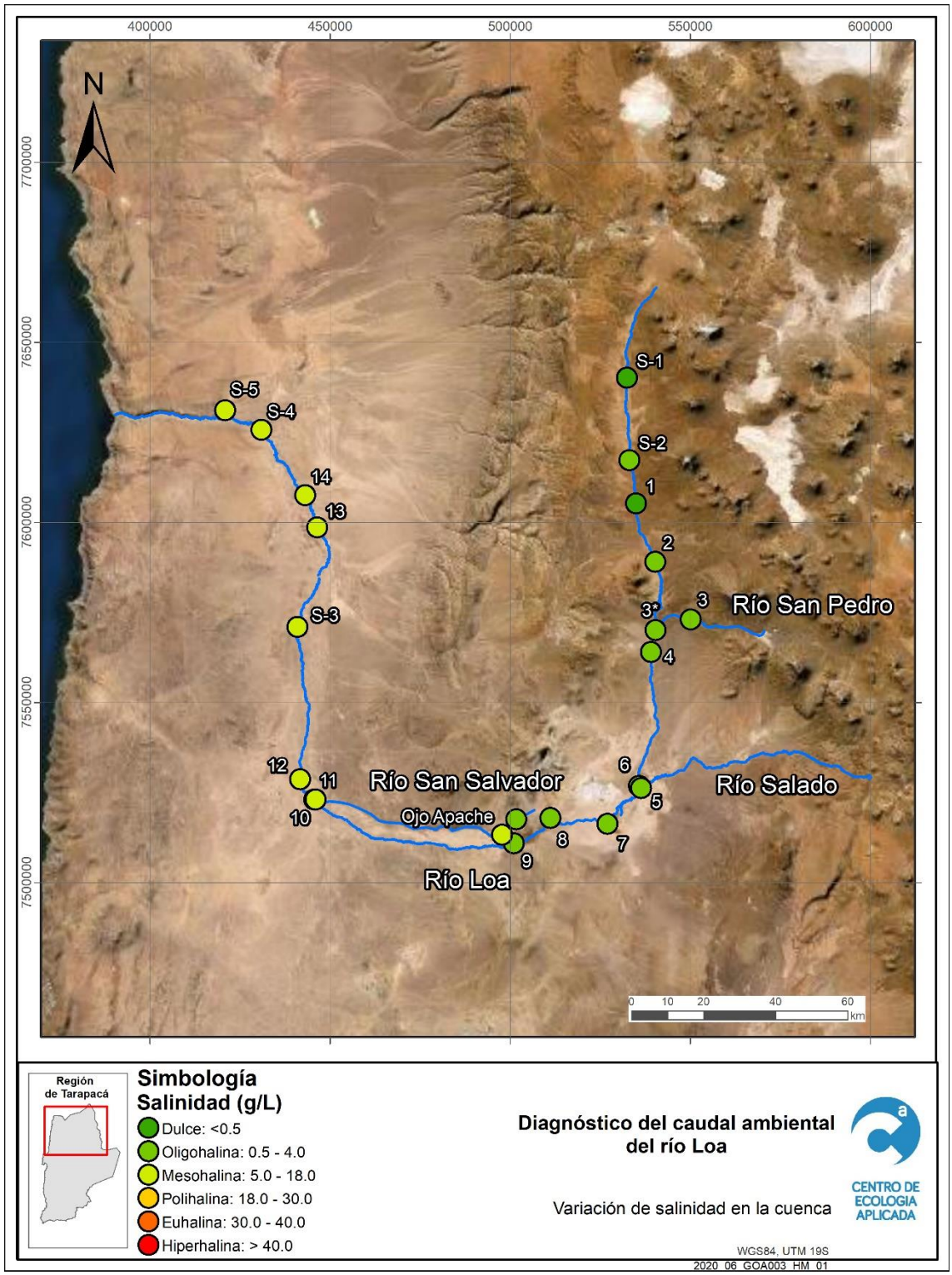


Figura 3.216 Clasificación de la Salinidad.

En ausencia de influencias antropogénicas, la salinidad y la proporción de iones se origina por tres fuentes: i) meteorización de la cuenca, la que es función de la geología de la cuenca y las precipitaciones; spray del mar, aunque es solamente importante en las áreas costeras; pequeñas cantidades disueltas en el agua de lluvia como consecuencia de la evaporación del agua de mar.

En la Figura 3.217, se observa que la salinidad se incrementa a medida que disminuye la distancia a la desembocadura y a medida que el curso de agua desciende. Entre los 250 km y los 400 km desde la desembocadura, el río presenta salinidades bajas y el agua es dulce o salobre.

La salinidad natural de los ríos es una función dinámica y compleja del clima (reciente y pasado), la geología de su cuenca, la distancia desde el mar, topografía y vegetación (Cañedo-Arguelles, 2013). De acuerdo con los resultados, el rio Loa presenta un gradiente de salinidad, con un incremento desde los tramos altos del río hacia los bajos.

Clasificación de indicada mas arriba, la parte superior del río es *dulce*, después se hace *oligohalina* y en la parte final, en los últimos 100 km desde la desembocadura, es *mesohalina.* Es importante destacar que el aumento de la salinidad más importante ocurre después de la confluencia con las aguas que provienen del curso de agua del Río Salado.

De acuerdo con estos resultados, y debido a la dominancia de la salinidad como variable fundamental para las características ecológicas del río y la vegetación ripariana se puede proponer la existencia de los siguientes grandes sectores o megatramos en el río Loa: i) sector superior, con cambios rápidos de altitud, curso de agua con caudales mas bajos y agua del tipo *dulce* a*; ii) sector* con un curso de agua oligohalino, en el sector medio del curso del río; *y* iii) un curso de agua hacia desembocadura en la categoría de *mesohalino.*

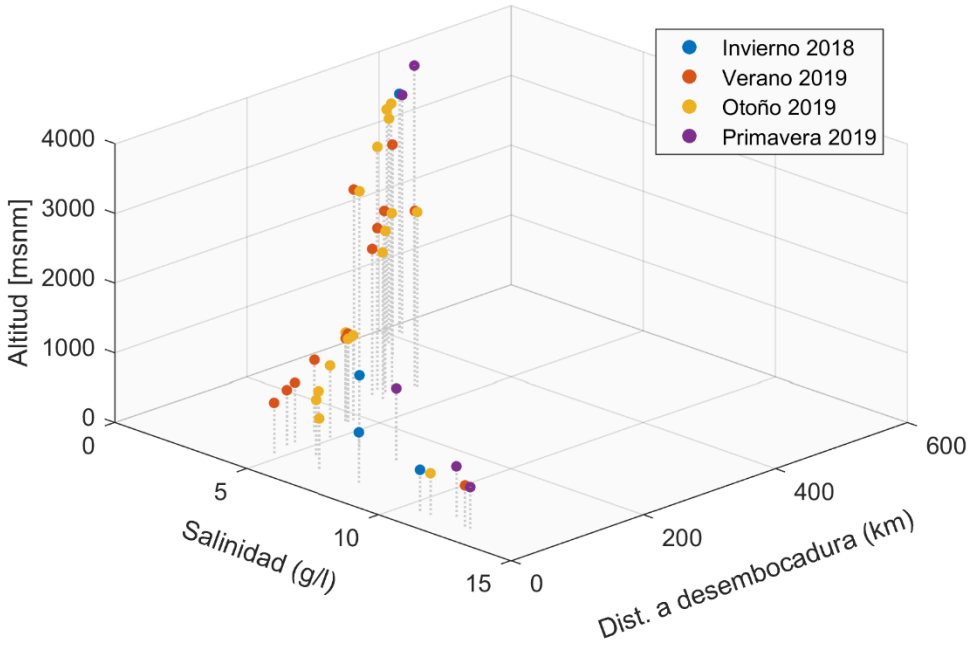


Figura 3.217. Puntos de Muestreo por temporada en el río Loa

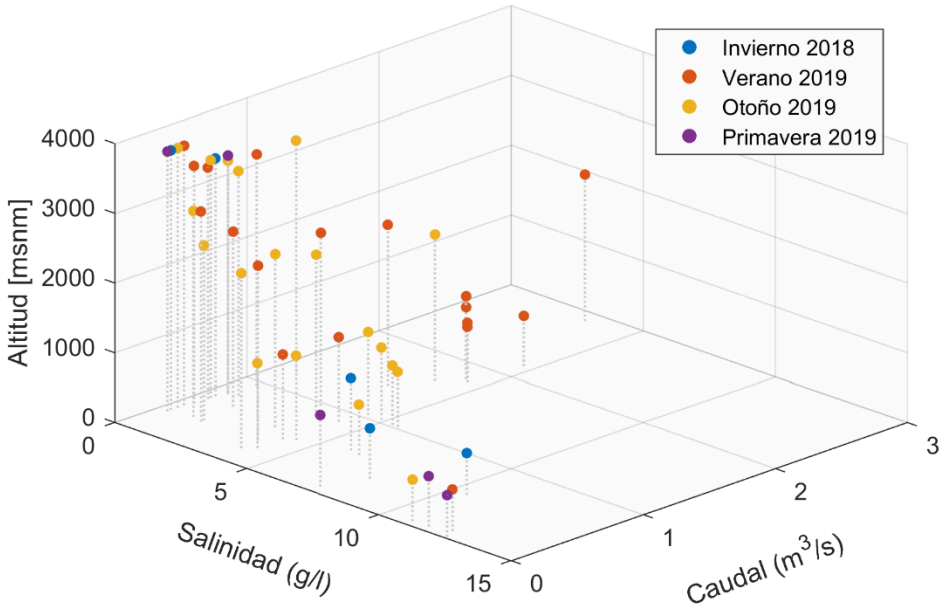


Figura 3.218. Puntos de Muestreo por temporada en el río Loa

El modelo indicado en la Figura 3.218, relaciona un gradiente espacial, la altitud, con el caudal y la conductividad eléctrica (salinidad), donde la altitud y la CE pueden observarse como gradientes ambientales. Al ver Figura 3.218, no se observa una relación entre la magnitud del caudal y la salinidad.

Los resultados indican que ocurre un proceso de salinización desde las partes altas hacia las bajas, en el río Loa, en las diferentes estaciones o temporadas de mediciones. Este patrón es un gradiente propio del río, y en particular en este ambiente desértico.

Respecto del caudal, presenta variaciones en función de su altitud, de acuerdo con los patrones estacionales o eventos de precipitaciones que caracterizan la cuenca alta, y de las regulaciones que determinan las extracciones para las actividades mineras, agrícolas y urbanas.

3.3.4.1.3 Salinidad y Clorofila a

Dada la importancia de la salinidad como una forzante en los ecosistemas lóticos de ambiente desérticos, la relación entre los niveles de salinidad y Clorofila a se muestra en la Figura 3.219.

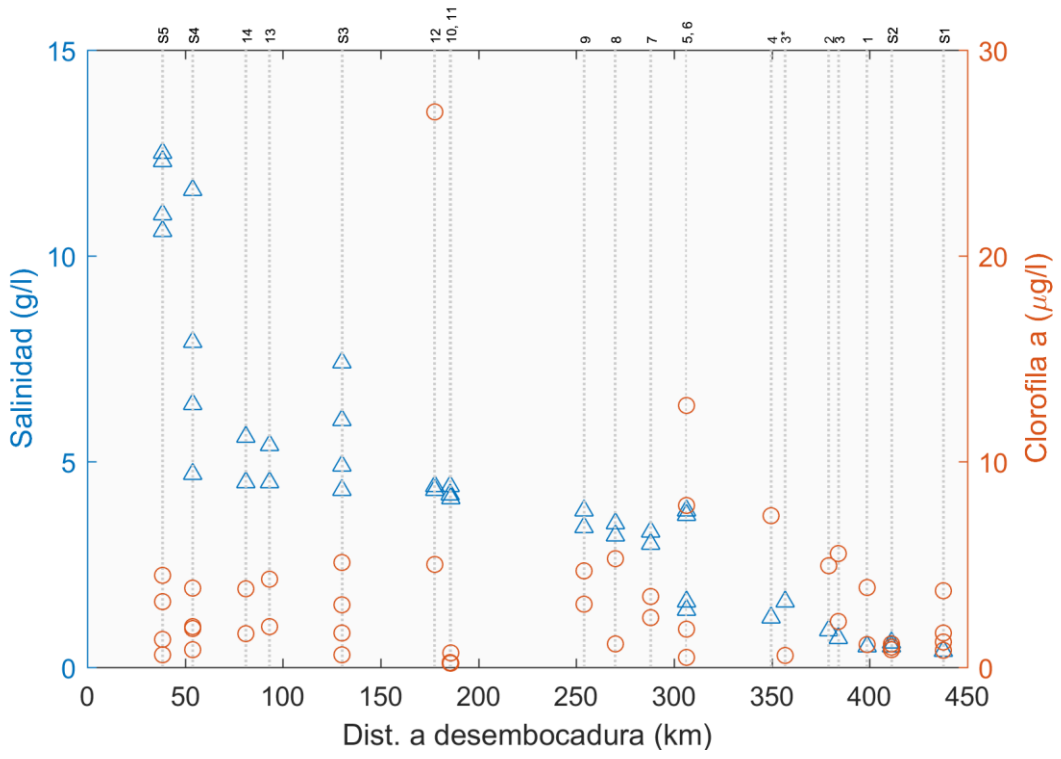


Figura 3.219. Relación entre salinidad y clorofila 'a' en los puntos de observación en el río Loa en función de la distancia a la desembocadura.

Los niveles de clorofila 'a' se presentan con una variabilidad importante, pero en niveles bajos. Bajos tanto en agua dulce como en las aguas oligohalina y mesohalina, que se encuentran en la mayor parte del rio Loa.

3.3.4.2 Componentes de los Ecosistemas del río

Para desarrollar un análisis de la vulnerabilidad ecológica del río Loa, es conveniente seleccionar una aproximación explícita. Los estudios relacionados con vulnerabilidad, de acuerdo con la aproximación que se seleccione requieren de información diferente. Los ríos como ecosistemas, desde el punto de vista de su estructura, poseen componentes bióticos y abióticos. Entre los componentes abióticos, se definen la masa de agua con sus propiedades físicas como es su dinámica descrita por el régimen del caudal y las propiedades físicas y químicas del agua como los niveles de nutrientes, salinidad. Entre los componentes bióticos se describen frecuentemente grupos de organismos, como peces, macroinvertebrados bentónicos, zooplancton, fitoplancton, fitobentos, anfibios u otros vertebrados.

En este caso, para desarrollar un análisis orientado a la vulnerabilidad ecológica, se definió abordar el estudio basado en gradientes ambientales que sean fundamentales debido a la falta de estudios de los efectos de salinidad a niveles específicos de las especies que conforman los ecosistemas a lo largo del río Loa, hemos seleccionado algunos componentes que permitan distinguir grandes unidades o tipos de ecosistemas a lo largo del río y asociar esos componentes a variables estructurales para el funcionamiento de ecosistémico, como son el caudal y la salinidad entre las propiedades físicas y químicas del agua. En este informe consideramos el componente vegetación ripariana, como un criterio para ayudar a definir grandes tipos de ecosistemas ribereños a lo largo del curso principal del río.

3.3.4.2.1 Vegetación Ripariana

La naturaleza transicional de la zona ripariana hace difícil entregar una definición fácil y universal. Una distancia desde el borde del curso de agua resulta muchas veces inadecuada, y no siempre encuentra un sustento científico. La vegetación que se desarrolla en el borde entre la tierra que no sufre inundaciones y aquella en que el suelo es más húmedo que el promedio, es considerada como ripariana. La vegetación ripariana corresponde a todas las unidades de vegetación a lo largo de la red del río, independientemente de su origen o fisionomía y esta funcionalmente relacionada a otros componentes del sistema fluvial, y las áreas que lo rodean. La vegetación pertenece a zona ripariana, que es una unidad de paisaje que es abierta a los flujos desde y hacia el sistema del río las tierras altas y co-construido (es decir por procesos naturales y sociales). La tierra lo largo del sistema fluvial está influido e influencia los procesos asociados del río (Dufour et al 2019). A gran escala un enfoque estructural basada en las características topográficas y forma del valle, se recomienda para análisis a gran escala. Las diferencias de estos grupos de especies que conforman la vegetación ripariana, a lo largo del curso

del río Loa, se relacionan a la altitud, como un gradiente complejo y a la salinidad como variable principal en la caracterización del río.

La vegetación ripariana, entre las que se encuentran las macrófitas se caracterizan por diferenciarse en los siguientes tipos a lo largo del eje longitudinal del río: i) vegetación dominada por *Cortaderia speciosa, Myriophyllum quitense y Juncus balticus,* características en la zona alta del curso del Loa; ii) un segundo grupo caracterizado por la presencia de *Tessaria absinthioides, Distichlis spicata*, *Schoenoplectus americanus, y Myriophyllum quítense; iii) otro dominado por la presencia de Tessaria absinthioides, Potamogeton pusillus, Baccharis juncea, Baccharis calliprinos y iv)* finalmente una vegetación ripariana dominada por *Distichlis spicata*,y *Schoenoplectus americanus* en la parte más baja.

Los tipos de vegetación ripariana definidos se localizan en distintos sectores del río y tienen una secuencia en función del eje longitudinal del río. Así, ayudan a definir grandes unidades desde el punto de vista espacial, que se integraran con los resultados de otros componentes bióticos para proponer grandes tipos de ecosistemas para el río Loa y desarrollar un análisis de vulnerabilidad ecológica.

Tabla 3.95 Sectorización vegetación ripariana

Nombre científico	S1	S2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	S3	13	14	S4	S5
Atriplex atacamensis Phil.					X										X	X	X	X	X
Atriplex imbricata (Moq.) D. Dietr. var. imbricata										X									
Baccharis calliprinos Griseb.						X				X	X			X					
Baccharis juncea (Cass.) Desf			X		X	X					X		X						X
Chara sp.	X	X																	
Chenopodium petiolare Kunth		X																	
Cistanthe amarantoides (Phil.) Carolin ex Hershkovitz			X		X														
Cistanthe salsoloides (Barnéoud) Carolin ex Hershkovitz					X														
Cortaderia speciosa (Nees & Meyen) Stapf		X	X	X	X	X													
Distichlis humilis Phil.	X				X														
Distichlis spicata (L.) Greene				X			X	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X
Echinopsis atacamensis (Phil.) Friedrich & G.D. Rowley		X																	
Ephedra americana Humb. & Bonpl. ex Willd.	X	X																	
Erythranthe sp.	X			X															
Festuca hypsophyla Phil.	X																		
Juncus balticus Willd.	X		X	X	X						x								
Lilaeopsis macloviana (Gand.) A.W. Hill	X																		
Lycium humile Phil.							X												
Muhlenbergia asperifolia (Nees & Meyen ex Trin.) Parodi				X															
Myriophyllum quitense Kunth	X	X	X		X		X	X	X	X									
Nasturtium officinale R. Br.	X																		
Parastrephia lucida (Meyen) Cabrera	X																		
Potamogeton pusillus L.	X					X	X	X						X					
Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steud.																		X	X
Prosopis flexuosa DC. var. *flexuosa*															X				
Prosopis tamarugo Phil.																	x		
Rumex crispus L.						X													
Ruppia filifolia (Phil.) Skottsb.															X				
Ruppia maritima L.																		X	
Schinus areira L										X									
Schoenoplectus americanus (Pers.) Volkart ex Schinz & R. Keller		X			X		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Scirpus sp.	X																		
Tessaria absinthioides (Hook. & Arn.) DC.							X		X		X	X	X	X					
Veronica anagallis-aquatica L.		X																	
Werneria sp.	X																		

3.3.4.3 Estado Trófico

Los cursos de agua, al igual que todos los ecosistemas, tienen comunidades bióticas que confían en el suministro para alimentar las mallas tróficas y mantener los organismos que viven en ellas. El estado trófico es la propiedad que indica la energía disponible para la malla trófica y define los fundamentos de la integridad de la comunidad y función ecosistémica. El estado trófico puede ser definido como: la tasa de producción de procesos de producción autotróficos o heterotróficos en un ecosistema (Dodds, 2007).

Tabla 3.96 Límites tróficos sugeridos para ríos y cursos de agua (Dodds et al, 1998).

Variable (unidades)	Oligotrófica	Mesotrófica	Eutrófica
Clorofila béntica media	< 20	20-70	>70
Clorofila béntica máxima	<60	60 – 200	>200
Clorofila suspendida	<10	10 - 30	>30
Nitrógeno Total (ug L^{-1})	<700	700-1500	>1500
Fósforo Total (ug L^{-1})	<25	25-75	>75

Los resultados que se muestran en la Figura 3.220, de los niveles de clorofila ‘a’ puede clasificarse como oligotrófico. Solamente en una observación la clorofila ‘a’ sugiere un estado mesotrófico en el eje longitudinal del río. No obstante, los niveles de fósforo total y nitrógeno total, indican que debería ser considerado como eutrófico en acuerdo con la mayoría de las observaciones. Estos resultados deben considerarse en el contexto especial del río Loa, en un clima desértico con un fuerte gradiente de salinidad.

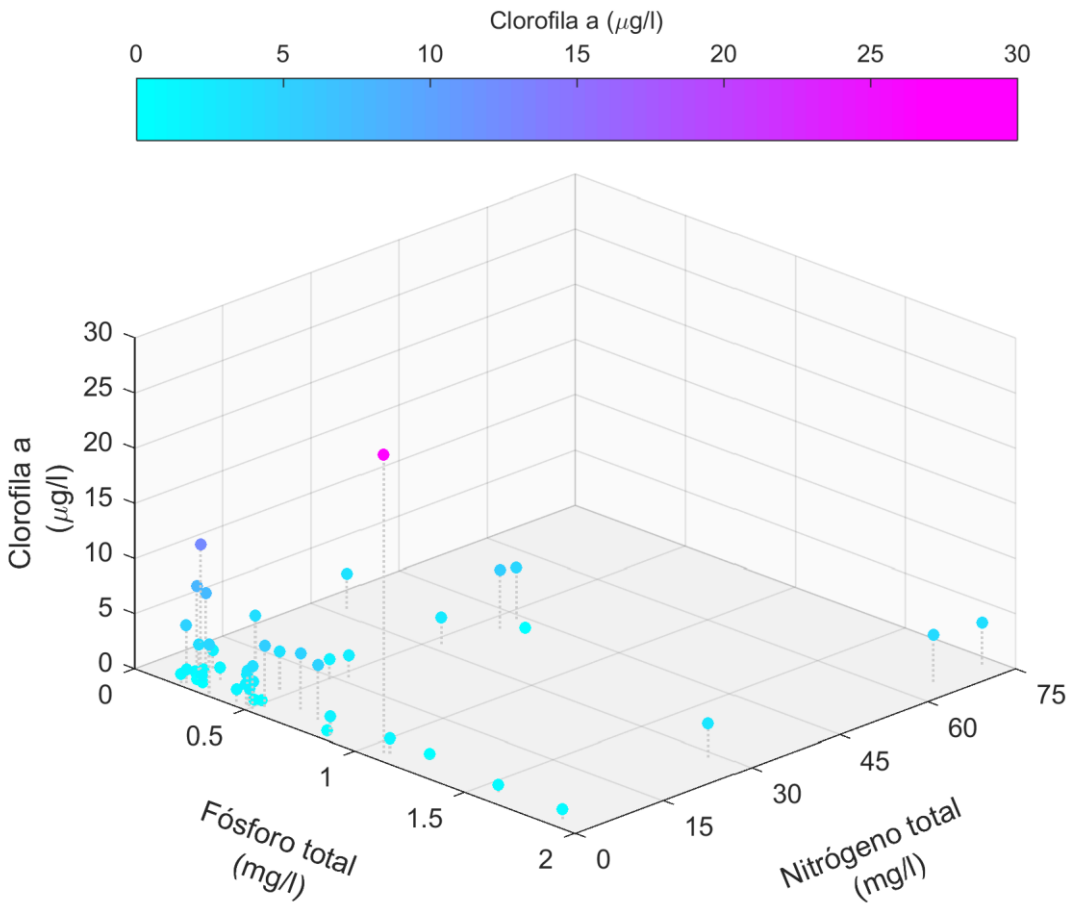


Figura 3.220. Clorofila 'a' en función de las concentraciones de Fósforo y Nitrógeno totales.

3.3.5 Diagnóstico integrado

A continuación, se presenta la metodología a utilizar para la obtención del índice integrado de vulnerabilidad. Se consideran tres etapas: Definición metodológica de vulnerabilidad, revisión de índices de calidad y el análisis de la vulnerabilidad aplicada en la cuenca del río Loa.

3.3.5.1 Etapa 1: Definición metodológica de vulnerabilidad

El índice resultante para cada una de las secciones del río Loa, será representado en una cartografía de "Índice Integrado de Vulnerabilidad". A partir de esto, se podrá identificar cuáles son los tramos más críticos. Los índices serán calculados una vez ejecutadas todas las campañas y analizados los datos.

La vulnerabilidad es considerada como una función de ***exposición*** a un estresor, efecto (también denominado ***sensibilidad*** o impacto potencial) y la recuperación potencial (también denominado resiliencia o ***capacidad adaptativa***), (De Lange et al., 2010). En general, vulnerabilidad ecológica es un término que puede ser usado a varios niveles jerárquicos (organismos, población, comunidad, ecosistema y paisaje). En este trabajo se entenderá como "el grado para la cual un sistema, subsistema, o componente de un sistema es probable que experimente un daño debido a la exposición a un peligro, ya sea una perturbación estrés o estresor", y es consistente con la definición social y ambiental del término (Beroya-Eitner, 2016).

En este estudio, vulnerabilidad se asocia a los cambios en el **caudal del río y cambios en los niveles de salinidad** a los que pueden estar expuestos la especies y el funcionamiento de los ecosistemas. Solamente en tiempos recientes, se han desarrollado demandas explicitas a la comunidad científica para desarrollar indicadores para guiar e informar sobre elecciones de política pública. Pero la vulnerabilidad es un conjunto complejo de hechos, escalas y procesos que la determinan, y expresarla en forma de unos pocos indicadores o en un único índice ha sido problemático. No obstante, debido a que los indicadores son sucintos y facilita la comprensión de la información, se han hecho cada vez más importantes (Beroya-Eitner, 2016).

La metodología para evaluar la vulnerabilidad ecológica e hidrológica es compleja y habitualmente está orientada por los enfoques y problemáticas abordadas por los investigadores en los estudios de base científica. En términos más operacionales, las directrices de los estados representan acuerdos de gestión y bases de trabajo para los operadores ambientales, y forman una base de análisis comparativo. Así, dentro de la amplia gama de indicadores y aspectos específicos sobre los cuales se formula la pregunta de vulnerabilidad (Beroya-Eitner, 2016), se ha elegido un enfoque desarrollado sobre el concepto de cuenca (Ippolitto, 2010), quien propone una aproximación, que está dentro de las necesidades del estudio del Gobierno Regional de Antofagasta. No obstante, las diferencias de aproximaciones y en métricas, los estudios de vulnerabilidad ecológica

reconocen los mismos aspectos a considerar. Estos se han desarrollado en dos aproximaciones principales, una basada en las especies como unidades de análisis y otra en ecosistemas.

3.3.5.1.1 Estresores de los ecosistemas

i. Caudal

El caudal a lo largo del eje longitudinal del río, presenta patrones de variación estacional, que se pueden definir en dos sectores: i) uno altiplánico desde las cabeceras hasta la confluencia del río Salado con el Loa, donde los caudales presentan crecidas en el periodo de verano, especialmente en los meses de enero, febrero y marzo, tal como se indican en la Figura 3.221; ii) y un sector de cuencas media a baja, donde el patrón de los caudales es mas homogéneo a lo largo del año, con un ciclo anual poco diferenciado, con valores mayores en los meses de junio - agosto.

Dado que el caudal es una variable central en la ecología lótica, los patrones de variaciones que se observan, que tienen ciertos niveles de variabilidad, puede actuar como estresor de los ecosistemas acuáticos. En el caso del caudal, las crecidas con sus probabilidades de excedencia son estresores de los ecosistemas acuáticos, que ocurren en los eventos de precipitaciones intensas, que provocan crecidas del caudal, que en muchos casos resetean los ecosistemas, especialmente en la parte alta. Provocan una destrucción de la biomasa de componentes bióticos de los ecosistemas. Por otra parte, las reducciones del caudal es otro estresor para los ecosistemas, producto de la regulación del río y los patrones de cambio en las precipitaciones en la región altiplánica, pueden provocar una reducción del ancho de los canales por donde fluye el caudal, y producir un estrés en los ecosistemas lóticos.

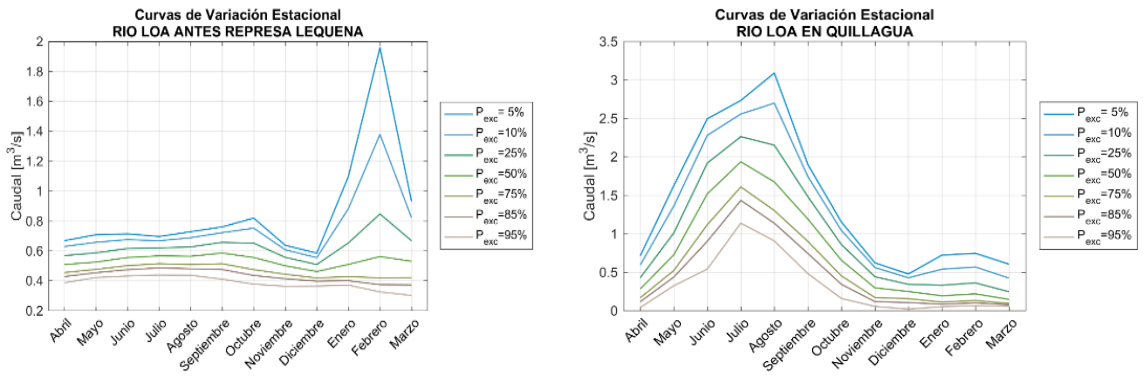


Figura 3.221. Curvas de variación estacional del sector alto del río y de la cuenca baja.

Las estaciones indicadas en la Figura 3.221, muestran las curvas de probabilidad de excedencia de esos lugares. Sin embargo, las reducciones por factores meteorológicos son el otro aspecto de del caudal como estresor de los organismos, que significa la reducción

del caudal que puede exponer a los organismos a mayores valores de salinidad en el curso de agua y en los bordes

ii. Salinidad

La salinidad es otra variable de gran significado para los ecosistemas lóticos. En el caso del río Loa es de importancia, por ser un río regulado y encontrarse en un área desértica.

a) Los organismos/individuos

Los organismos necesitan mantener una presión osmótica relativa al medio en el cual viven. Esto significa que la salinidad interna es mayor que la salinidad externa y ellas deben gastar energía para mantener los iones en el cuerpo y excluir agua. Si la salinidad de agua externa llega a ser mas alta que la salinidad interna, ellas podrán tener una alta salinidad interna o bien gastar energía para expulsar los iones y mantener agua (Cañedo-Arguelles et al 2013).

b) Poblaciones/comunidad/ecosistemas

A nivel de la comunidad algunas especies pueden ser mas competitivas que otras bajo altas condiciones de salinidad. La salinización de los ríos puede favorecer las taxa fisiológicamente tolerantes, que usan el costo energético de la osmorregulación como una vía de escape de los efectos adversos de predación y competencia. Por lo tanto, la salinización puede realzar la colonización por especies exóticas e impedir el establecimiento de especies de agua dulce sensibles (Cañedo-Arguelles, 2013).

El efecto de la salinidad sobre los procesos en los ecosistemas depende de varios factores, tales como la concentración de sal, tipo de sal, duración de la exposición (aguda o crónica) y muy importantemente del contexto. Todos esos factores varían entre estudios y, además, existe una escasez de estudios relacionados a los impactos de la salinidad en los procesos ecosistémicos (Berger el al 2019).

3.3.5.1.2 Formulación para la evaluación de la vulnerabilidad

En este estudio se ha seleccionado una aproximación en el nivel de ecosistemas en sentido amplio, y la vulnerabilidad de ecosistemas se puede definir como “el potencial de un ecosistema para modular su respuesta a estresores en el tiempo y espacio, donde ese potencial es determinado por características de un ecosistema que incluye muchos niveles de organización”.

Para la evaluación de la vulnerabilidad, se consideran los planteamientos de dos autores, que tienen un enfoque similar entre ellos y al considerado para el presente análisis:

$$V_x = Se_x * Su_x / (1 + R_x) + HA_x$$ (Ippolito et al,2010)

donde,

V_x = Vulnerabilidad del ecosistema al estresor X.
Se_x = Valor atribuido a la influencia del estresor X sobre la sensibilidad de la comunidad.
Su_x = Valor atribuido a la influencia del estresor X sobre la sensibilidad a la exposición.
R_x= Valor atribuido a la influencia del estresor X a la capacidad de recuperación.
HA_x = Valor atribuido a la influencia del estresor X sobre la alteración del hábitat.

$$V = (ex + se - ca + 1) / 3$$ (Valencia et al,2014)

donde,

V = Vulnerabilidad.
se = Sensibilidad.
ex = Exposición.
ca= Capacidad adaptativa

Se puede apreciar que cada componente de vulnerabilidad entre los dos autores es bastante similar, a excepción de la la componente HA_x (Valor atribuido a la influencia del estresor X sobre la alteración del hábitat) que Valencia et al (2014) no la considera.

En la Tabla 3.97 Puntajes atribuidos a las componentes de vulnerabilidad ecosistémica (Ippolitto, 2010)., se muestran los puntajes atribuidos a cada componente de la valoración de Ippolito et al (2010). Con esto se tiene un resultado final de vulnerabilidad que va desde 0 (ecosistema no vulnerable al estresor) hasta 12 (ecosistema altamente vulnerable al estresor).

Tabla 3.97 Puntajes atribuidos a las componentes de vulnerabilidad ecosistémica (Ippolitto, 2010).

Puntaje	Influencia en Se, Su, HA	Influencia en R
0	Sin influencia	Influencia alta
1	Influencia baja	Influencia media
2	Influencia media	Influencia baja
3	Influencia alta	Sin influencia

Por otro lado, Valencia et al (2014) evalúa la vulnerabilidad del sistema según índices de calidad general, donde normaliza cada componente para que cada una se mueva en el rango entre 0 y 1. Además, el resultado final de vulnerabilidad también se encuentra normalizado, teniendo la interpretación de su valor según se muestra en la Figura 3.222:

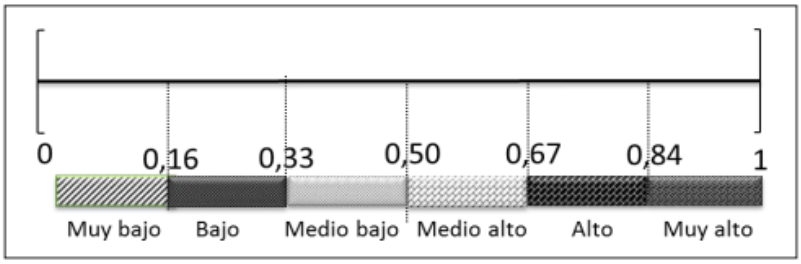


Figura 3.222 Rangos propuestos para la interpretación de la vulnerabilidad (Valencia et al.,2014)

A continuación, se presenta la expresión adoptada para el cálculo de la vulnerabilidad en la cuenca del Río Loa, que corresponde a una adaptación de la propuesta de Valencia et al (2014), considerando una componente asociada al hábitat como expone Ippolito et al (2010):

$$V_{LOA} = (Se + Su + HA - R + 1)/4 \qquad \text{(Adaptado para análisis Río Loa)}$$

donde,

V = Vulnerabilidad del ecosistema.
S*e* = Valor atribuido a la sensibilidad de la comunidad.
S*u* = Valor atribuido a la sensibilidad a la exposición.
R = Valor atribuido a la capacidad de recuperación.
HA = Valor atribuido a la alteración del hábitat.

3.3.5.2 Etapa 2: Revisión de índices de calidad

En esta etapa se presenta la selección de índices, obtenida a partir de una revisión bibliográfica, que permiten ser aplicados en cada sitio de muestreo. A partir de estos índices se podrá representar las 4 componentes para el análisis de la vulnerabilidad: Sensibilidad de la comunidad, sensibilidad a la exposición, capacidad de recuperación y alteración del hábitat.

3.3.5.2.1 ICA: Índice de calidad de agua

El índice de calidad de agua (ICA) (IDEAM, 2014), cual permite reconocer problemas de contaminación en algún tramo del río en un determinado tiempo. Para llevar a cabo lo anterior, se seleccionan algunos parámetros representativos (IDEAM 2014), tales como sólidos suspendidos totales (SST), pH del agua y conductividad eléctrica (CE), los cuales representan material en suspensión, acidez o alcalinidad del agua y mineralización, presencia de sales, conjugando cationes y aniones disueltos, respectivamente.

Para el cálculo del ICA en la cuenca del río Loa se seleccionan 5 parámetros representativos, los cuales corresponden a: sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquómica de oxígeno (DBO), conductividad eléctrica (CE), pH del agua y la degradación

por intervención antrópica (NT/NP). La ponderacíon de cada parámetro es de un 20% por lo que el ICA queda expresado según la Ecuación 1.

$$ICA = \frac{1}{5} * (I_{SST} + I_{DBO} + I_{CE} + I_{pH} + I_{NT/PT}) \quad \text{Ecuación 1}$$

A continuación, se procede a revisar las relaciones funcionales de cada uno de los parámetros seleccionados, las cuales tienen una escala de 0 a 1, en donde, 0 representa una muy mala calidad del agua, mientras que 1, una buena calidad (ver Tabla 3.98).

Tabla 3.98 Clasificación de cada uno de los ICA, según su valor (Fuente: IDEAM, 2010)

Valor índice	Clasificación	Señal de alerta
0,00–0,25	Muy malo	rojo
0,26–0,50	Malo	naranja
0,51–0,70	Regular	amarillo
0,71–0,90	Aceptable	verde
0,91–1,00	Bueno	azul

i. Sólidos suspendidos totales (SST)

La presencia de sólidos en suspensión en los cuerpos de agua indica cambio en el estado de las condiciones hidrológicas de la corriente. Dicha presencia puede estar relacionada con procesos erosivos, vertimientos industriales, extracción de materiales y disposición de escombros. Tiene una relación directa con la turbiedad. (IDEAM, 2011).

El subíndice de calidad para sólidos suspendidos ($\boldsymbol{I_{SST}}$), se define según la relación expresada en la Ecuación 2:

$$I_{SST} = 1 - (-0{,}02 + 0{,}003\ SST) \quad \text{Ecuación 2}$$

En donde SST se encuentra en mg/l y bajo las siguientes consideraciones:

- Si SST $\leq$ 4,5, entonces $I_{SST} = 1$
- Si SST $\geq$ 320, entonces $I_{SST} = 0$.

Luego, el $\boldsymbol{I_{SST}}$ es una recta que se puede apreciar en la Figura 3.223.

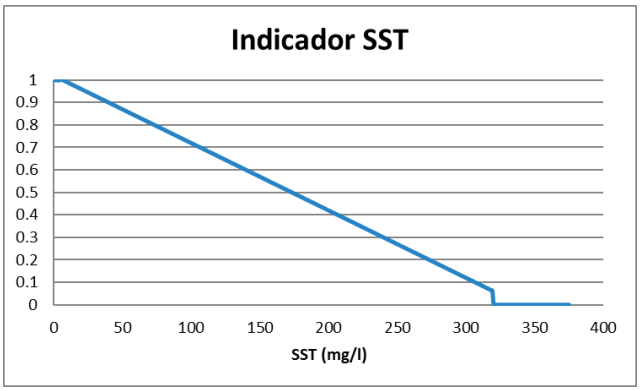


Figura 3.223. Gráfico del indicador de sólidos suspendidos totales en función de SST (mg/l).

Al evaluar el índice en los puntos de monitoreo del río Loa se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 3.99.

Tabla 3.99 Cálculo de I_{sst} promedio según datos de campaña de muestreo.

Punto de muestreo	Invierno	Verano	Otoño	Primavera	PROMEDIO
S-1	1.00	0.99	0.99	1.00	0.99
S-2	1.00	1.00	1.00	0.90	0.97
1		1.00	1.00		1.00
2			1.00		1.00
3		0.74	0.90		0.82
4			1.00		1.00
5		1.00	1.00		1.00
6		1.00	1.00		1.00
7		1.00	1.00		1.00
8		1.00	1.00		1.00
9		1.00	0.98		0.99
10		1.00	1.00		1.00
11		0.98	1.00		0.99
12		1.00	1.00		1.00
S-3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
13		1.00	1.00		1.00
14		1.00	1.00		1.00
S-4	1.00	0.99	0.99	1.00	0.99
S-5	1.00	1.00	0.96	1.00	0.99

ii. Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO)

Para el cálculo del índice ICA, se incorporó la DBO_5 la cual da un indicio del contenido de contaminantes orgánicos, que podrían afectar la biota del sistema. Sanchez et al (2007) propone la clasificación que se muestra a continuación:

Tabla 3.100 Escala de clasificación de la calidad del agua con base en la DBO (Fuente: Sanchez et al, 2007)

DBO	Criterio	Descripción
Menor o igual a 3 mg/L	Excelente	No contaminada.
Mayor a 3 mg/L y menor o igual a 6 mg/L	Buena calidad	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable.
Mayor de 6 mg/L y menor o igual a 30 mg/L	Aceptable	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.
Mayor de 30 mg/L y menor o igual a 120 mg/L	Contaminada	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.
Mayor de 120 mg/L	Fuertemente contaminada	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.

Para evaluar índice, se considera el siguiente criterio:

si DBO ≤ 3, entonces $\boldsymbol{I}_{DBO}$ = 0,91

si 3 < DBO ≤ 6, entonces $\boldsymbol{I}_{DBO}$ = 0,71

si 6 < DBO ≤ 30, entonces $\boldsymbol{I}_{DBO}$ = 0,51

si 30 < DBO ≤ 120, entonces $\boldsymbol{I}_{DBO}$ = 0,26

si DBO > 20, entonces $\boldsymbol{I}_{DBO}$ = 0,125

Al aplicar esta valoración a los datos medidos en terreno en las distintas campañas, se obtiene los resultados presentados en la Tabla 3.101:

Tabla 3.101 Cálculo de I_{DBO} promedio según datos de campaña de muestreo

Punto de muestreo	Invierno	Verano	Otoño	Primavera	PROMEDIO
S-1	0.51	0.91	0.91	0.91	0.81
S-2	0.51	0.71	0.51	0.71	0.61
1		0.71	0.71		0.71
2			0.91		0.91
3		0.91	0.51		0.71
4			0.51		0.51
5		0.51	0.71		0.61
6		0.91	0.91		0.91
7		0.51	0.71		0.61
8		0.51	0.91		0.71
9		0.51	0.71		0.61
10		0.71	0.91		0.81
11		0.91	0.91		0.91
12		0.91	0.91		0.91
S-3	0.91	0.91	0.91	0.71	0.86
13		0.91	0.91		0.91
14		0.91	0.91		0.91
S-4	0.91	0.91	0.71	0.71	0.81
S-5	0.91	0.91	0.91	0.71	0.86

iii. Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica en el agua está directamente relacionada con el contenido de cationes y aniones, que a la vez, se puede relacionar con la cantidad de sales disueltas en el agua.

El subíndice de conductividad eléctrica ($\boldsymbol{I_{CE}}$), según lo establecido en IDEAM (2011), se expresa según la Ecuación 3:

$$I_{CE} = 1 - 10^{(-3{,}26 + 1{,}34\ log_{10} CE)} \qquad \text{Ecuación 3}$$

En donde CE se encuentra en μS/cm y bajo la siguiente consideración: Si $I_{CE} < 0$, entonces $I_{CE} = 0$.

Luego, $\boldsymbol{I_{CE}}$ se puede apreciar en función de la conductividad eléctrica en la Figura 3.224.

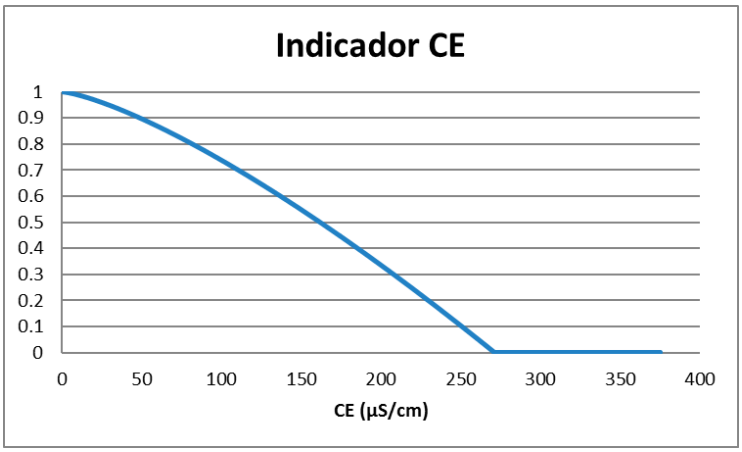


Figura 3.224. Gráfico del indicador de conductividad eléctrica en función de CE (μS/cm).

Al evaluar el índice en los puntos de monitoreo del río Loa se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 3.102.

Tabla 3.102 Cálculo de I_{CE} promedio según datos de campaña de muestreo.

Punto de muestreo	Invierno	Verano	Otoño	Primavera	PROMEDIO	Clasificación
S-1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
S-2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1		0.00	0.00		0.00	
2			0.00		0.00	
3		0.00	0.00		0.00	
4			0.00		0.00	
5		0.00	0.00		0.00	
6		0.00	0.00		0.00	
7		0.00	0.00		0.00	
8		0.00	0.00		0.00	
9		0.00	0.00		0.00	
10		0.00	0.00		0.00	
11		0.00	0.00		0.00	
12		0.00	0.00		0.00	
S-3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
13		0.00	0.00		0.00	
14		0.00	0.00		0.00	
S-4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
S-5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

iv. Indicador de pH

A continuación, se define por tramos el subíndice I_{pH}, desde la Ecuación 4 a la Ecuación 7:

Si (pH<4) o si (11> pH) entonces:

$$I_{pH} = 0{,}1 \qquad \text{Ecuación 4}$$

Si 4 ≤ pH ≤ 7, entonces

$$I_{pH} = 0{,}02628419\, e^{0{,}520025\, pH} \qquad \text{Ecuación 5}$$

Si 7 < pH ≤ 8:

$$I_{PH} = 1 \qquad \text{Ecuación 6}$$

Si 8 < pH ≤ 11:

$$I_{pH} = 1 \cdot e^{(pH-8)-0.5187742} \qquad \text{Ecuación 7}$$

Este subíndice da a conocer el grago de acidez del agua lo cual puede afectar directamente a la flora y fauna acuática. (IDEAM, 2011). Al graficar la relación funcional entre el pH y el subíndice I_{pH}, se obtiene la Figura 3.225.

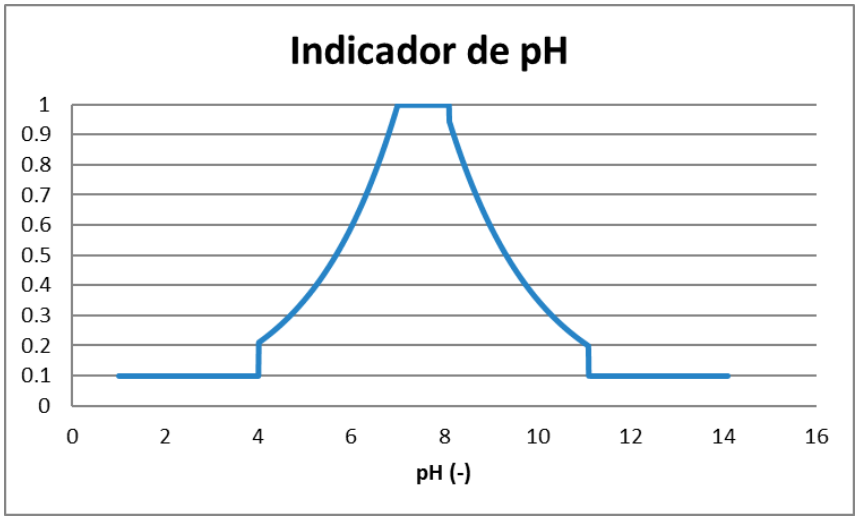


Figura 3.225. Gráfico del indicador de pH en función de pH (-).

Al evaluar el índice en los puntos de monitoreo del río Loa se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 3.103.

Tabla 3.103 Cálculo de I_{pH} promedio según datos de campaña de muestreo.

Punto de muestreo	Invierno	Verano	Otoño	Primavera	PROMEDIO
S-1	1.00	1.00	1.00	0.00	0.75
S-2	1.00	0.66	1.00	0.00	0.67
1		0.84	0.00		0.42
2			0.00		0.00
3		1.00	0.00		0.50
4			0.00		0.00
5		0.76	0.00		0.38
6		0.68	0.00		0.34
7		1.00	0.00		0.50
8		0.72	0.00		0.36
9		0.84	0.00		0.42
10		1.00	0.00		0.50
11		0.64	0.00		0.32
12		0.61	0.00		0.31
S-3	0.75	0.63	0.69	0.00	0.52
13		1.00	0.00		0.50
14		0.75	0.00		0.37
S-4	0.64	0.71	0.71	0.00	0.51
S-5	1.00	1.00	0.76	0.00	0.69

v. Nitrógeno total/fósforo total

Mide la degradación por intervención antrópica, es una forma de aplicar el concepto de saprobiedad empleado para cuerpos de agua lénticos (ciénagas, lagos, etc.) como la posibilidad de la fuente de asimilar carga orgánica; es una relación que indica el balance de nutrientes para la productividad acuícola de las zonas inundables en los ríos neotropicales (desde el norte de Argentina hasta el centro de Méjico). (IDEAM, 2011)

La ecuación para el cálculo del subíndice de calidad para NT/PT es la utilizada por IDEAM y publicada en la página web para el cálculo de indicadores ambientales. (http://institucional.ideam.gov.co/jsp/info/institucional/eambientales/indicadores/pdf/3.21_HM_Indice_calidad_agua_3_FI.pdf).

si 15 < NT / PT ≤ 20, entonces I NT/PT = 0,8

si 10 < NT / PT ≤ 15, entonces I NT/PT = 0,6

si 5 ≤ NT / PT ≤ 10, entonces I NT/PT = 0,35

si NT / PT < 5, ó NT / PT > 20, entonces I NT/PT = 0,15

Tabla 3.104 Cálculo de $I_{NT/NP}$ promedio según datos de campaña de muestreo.

Punto de muestreo	Invierno	Verano	Otoño	Primavera	PROMEDIO
S-1	0.15	0.35	0.35	0.15	0.25
S-2	0.80	0.80	0.60	0.15	0.59
1		0.35	0.15		0.25
2			0.15		0.15
3		0.15	0.35		0.25
4			0.35		0.35
5		0.35	0.35		0.35
6		0.15	0.60		0.38
7		0.15	0.60		0.38
8		0.15	0.15		0.15
9		0.15	0.15		0.15
10		0.15	0.80		0.48
11		0.15	0.15		0.15
12		0.15	0.35		0.25
S-3	0.35	0.80	0.15	0.15	0.36
13		0.15	0.15		0.15
14		0.15	0.35		0.25
S-4	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
S-5	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15

vi. Cálculo ICA en la cuenca del Río Loa

Al evaluar el índice en los puntos de monitoreo del río Loa, considerando el cálculo realzado para cada uno de los 4 parámetros seleccionados, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 3.105.

Tabla 3.105 Cálculo de ICA promedio según datos de campaña de muestreo.

Punto de muestreo	Invierno	Verano	Otoño	Primavera	PROMEDIO
S-1	0.46	0.65	0.65	0.61	0.59
S-2	0.66	0.70	0.55	0.55	0.62
1		0.61	0.54		0.58
2			0.61		0.61
3		0.56	0.55		0.56
4			0.52		0.52
5		0.52	0.56		0.54
6		0.61	0.64		0.63
7		0.53	0.66		0.60
8		0.46	0.56		0.51
9		0.49	0.54		0.51
10		0.56	0.74		0.65
11		0.56	0.54		0.55
12		0.61	0.57		0.59
S-3	0.58	0.69	0.54	0.51	0.58
13		0.59	0.61		0.60
14		0.55	0.60		0.58
S-4	0.54	0.54	0.51	0.51	0.52
S-5	0.54	0.61	0.60	0.52	0.57

3.3.5.2.2 IBE: índice biótico extendido

El ***índice biótico extendido*** IBE (ChIBE) se aplica sobre la composición del grupo de macroinvertebrados bentónicos, ampliamente utilizados como bioindicadores.

En el caso del IBE se utiliza la Tabla 3.106 de doble entrada para la determinación del índice. La entrada horizontal, debe ser utilizada en correspondencia con la unidad sistemática más sensible presente en la comunidad de la estación en estudio. La entrada vertical, se utiliza en correspondencia con la columna que coincide con el número total de unidades sistemáticas que conforman la comunidad en estudio. De la intersección de las dos entradas se obtiene el puntaje del índice biótico.

Tabla 3.106 Tabla de doble entrada para la determinación del IBE modificada para ríos mediterráneos de Chile (ChIBE). Fuente: Ghetti 1986, 2000

Grupos faunísticos y número de unidades sistemáticas por grupo		Número total de unidades sistemáticas (US)								
		0-1	2-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36>
Plecoptera	>1 US	-	-	8	9	10	11	12	13	14
(menos *Limnoperla jaffueli*)	1 US	-	-	7	8	9	10	11	12	13
Ephemeroptera más *L.jaffueli*	>1 US	-	-	7	8	9	10	11	12	-
(menos Baetidae y Caenidae)	1 US	-	-	6	7	8	9	10	11	-
Trichoptera	>1 US	-	5	6	7	8	9	10	11	-
(más Baetidae y Caenidae)	1 US	-	4	5	6	7	8	9	10	-
Parastacidae y/o Aeglidae	+	-	4	5	6	7	8	9	10	-
Janiiridae	+	-	3	4	5	6	7	8	9	-
Oligochaeta o Chironomidae	+	1	2	3	4	5	-	-	-	-
Otros	+	0	1	-	-	-	-	-	-	-

Limnoperla jaffueli debe ser considerada con Ephemeroptera ya que es el equivalente a Leuctridae (inexistente en Chile) en el IBE. También el IBE consideraba Gammaridae, Atyidae, Paleomonidae y Asellidae que no existen en Chile. +: sin los grupos previos (tabla modificada de Guetti 1996)

Para poder reconocer las unidades sistemáticas para los distintos grupos faunísticos presentados en la Tabla 3.106, se puede utilizar la información de la Tabla 3.108. Mientras que para su interpretación se utiliza la información de la Tabla 3.107.

Tabla 3.107 Transformación IBE en clases de calidad ambiental (Ghetti, 1997).

Clase	Color	Indice biótico extendido	Características ambientales
I	Azul	>10	No perturbado
II	Verde	8-9	Moderadamente perturbado
III	Amarillo	6-7	Perturbado
IV	Naranjo	4-5	Muy perturbado
V	Rojo	<4	Fuertemente alterado

Tabla 3.108 Nivel taxonómico que define las unidades sistemáticas.

Grupo Faunístico	Nivel taxonómico que define Unidad Sistemática
Plecoptera	Género
Tricoptera	Familia
Efemeroptera	Género
Coleoptera	Familia
Odonata	Género
Diptera	Familia
Hemiptera	Familia
Crustacea	Familia
Gasteropoda	Familia
Bibalvia	Familia
Tricladia	Género
Hyrudinea	Género
Oligoqueta	Familia
Otros:	Sialidae
	Corydalidae
	Osmylidae
	Prostoma (Nemertinidae)
	Gordididae (Nematomorfa)

Al evaluar el índice biótico con los resultados de zoobentos obtenidos en las campañas de muestreo, se obtienen los valores presentados en la Tabla 3.109. Se consideran las campañas de muestreo de invierno, verano y primavera conglomeradas.

Tabla 3.109 Determinación del IBE modificada para ríos mediterráneos de Chile (ChIBE) aplicado a los distintos puntos de muestreo en la cuenca del río Loa.

Grupo faunístico	Punto de muestreo																		
	S1	S2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	S3	13	14	S4	S5
Plecoptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(menos Limnoperla jaffueli)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ephemeroptera más L.jaffueli	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(menos Baetidae y Caenidae)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trichoptera	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(más Baetidae y Caenidae)	4	4	-	4	-	-	4	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	4	-
Parastacidae y/o Aeglidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Janiiridae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oligochaeta o Chironomidae	2	2	2	1	1	2	2	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2
Otros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grupo de mayor sensibilidad	**5**	**5**	**2**	**4**	**1**	**2**	**4**	**1**	**2**	**2**	**4**	**1**	**1**	**1**	**2**	**2**	**2**	**4**	**2**

Considerando los resultados de la Tabla 3.107, según la interpretación de la Tabla 3.110, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 3.110 Calidad ambiental en el Río Loa según índice ChIBE

Punto de muestreo	ChIBE	Característica
S1	5	Muy perturbado
S2	5	Muy perturbado
1	2	Fuertemente alterado
2	4	Muy perturbado
3	1	Fuertemente alterado
4	2	Fuertemente alterado
5	4	Muy perturbado
6	1	Fuertemente alterado
7	2	Fuertemente alterado
8	2	Fuertemente alterado
9	4	Muy perturbado
10	1	Fuertemente alterado
11	1	Fuertemente alterado
12	1	Fuertemente alterado
S3	2	Fuertemente alterado
13	2	Fuertemente alterado
14	2	Fuertemente alterado
S4		Muy perturbado
S5	2	Fuertemente alterado

Los resultados obtenidos a partir del índice biótico extendido muestran una condición bastante alterada del área de estudio. Debido a que el indicador se aplica normalmente a ríos de agua dulce, este índice no es del todo apropiado para los ecosistemas de ríos salinos del norte de Chile, donde la riqueza de especies de macroinvertebrados es menor que en ríos mediterráneos de Chile. Al analizar la distribución latitudinal natural de las familias Trichoptera, Ephemeroptera y Plecoptera en Chile (Figura 3.226), es posible observar que a latitudes cercanas a los 22°S, a la cual se encuentra el río Loa, la presencia de estos grupos faunísticos es muy escasa, corroborando la baja exactitud que este índice tendría en el río Loa.

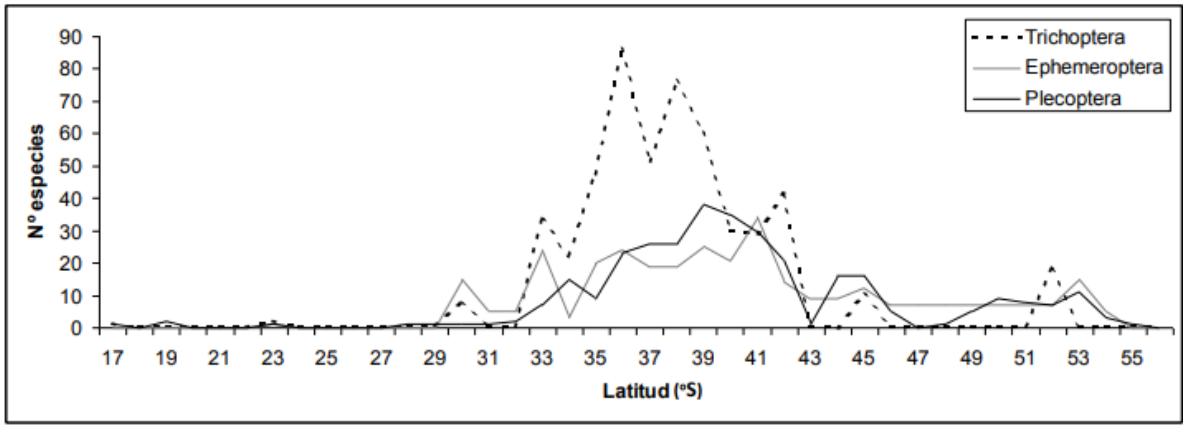


Figura 3.226. Distribución latitudinal de Trichoptera, Ephemeroptera y Plecoptera en Chile (Palma, 2013)

3.3.5.2.3 IBF: índice biótico de familia

El índice biótico de familia permite realizar mediciones de calidad de agua basado en la composición de macroinvertebrados. En concreto, este índice considera valores de tolerancia específica para cada familia taxonómica de macroinvertebrados, además de la ponderación de la abundancia relativa de cada familia. Este índice a menudo se utiliza para analizar la calidad de agua en diferentes sectores de los ríos de alta montaña (Figueroa et al. 2003; Fierro et al. 2012; Cortes et al. 2013). En la tabla 3.110, se presentan los valores de tolerancia designados para cada familia de macroinvertebrados. Estos valores de tolerancia varían entre 0 (taxón sensible) y 10 (taxón tolerante) y corresponden a los descritos para ríos de alta montaña por Figueroa (2003).

Para el cálculo del IBF, se siguió la metodología propuesta por Hilsenhoff (1988)[2], donde la sumatoria del producto del número de individuos encontrados por cada familia por el valor de tolerancia respectivo de esa familia, es dividido entre el número total de individuos de la muestra. La ecuación que define esto se presenta a continuación:

$$\boldsymbol{IBF} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i * T_i)}{\sum_{i=1}^{n} n_i}$$

Donde, Xi es el número de individuos de cada familia; Ti es el valor de tolerancia de cada familia y ni es el número total de organismos.

[2] https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/1004/1700

Los valores de IBF obtenidos para punto de muestreo fueron clasificados en 5 clases de calidad de agua, donde cada clase posee un rango de variación del IBF y que con el cual, se determina cada clase de calidad de agua.

Tabla 3.111. Clases de calidad de agua con sus respectivos rangos de variación.

Clase de calidad de agua	Rangos de variación del índice IBF	Calidad de agua
I	<3,75	Muy bueno
II	3,76-4,63	Bueno
III	4,64-6,12	regular
IV	6,13-7,25	Malo
V	7,26-10	Muy malo

Tabla 3.112. Valores de tolerancia para macroinvertebrados bentónicos dulceacuícolas para ríos mediterráneos de Chile (ChIBF; Figueroa 2003).

Plecoptera		**Trichoptera**		**Coleoptera**	
Gripopterygiidae	1	Calamoceratidae	3	Elmidae	4
Notonemouridae	0	Glossosomatidae	0	Psephenidae	4
Perlidae	1	Helicopsychidae	3		
Diamphipnoidae	0	Hydropsychidae	4	**Diptera**	
Eustheniidae	0	Hydroptilidae	4	Athericidae	2
Autroperlidae	1	Leptoceridae	4	Blephariceridae	0
Limnephilidae	2			Ceratopogonidae	6
Ephemeroptera		Ecnomidae	3	Chironomidae	7
Baetidae	4	Helicophidae	6	Empididae	6
Caenidae	7	Polycentropodidae	3	Ephydridae	6
Leptophlebiidae	2	Philopotamidae	2	Psychodidae	10
Nesameletidae	7	Hydrobiosidae	0	Simuliidae	6
Oligoneuridae	2	Sericostomatidae	3	Syrphidae	10
Ameletopsidae	2			Tabanidae	6
Oniscigastridae	3	**Megaloptera**		Tipulidae	3
		Corydalidae	0		
Odonata		Sialidae	4	**Amphipoda**	
Aeshnidae	3			Hyalellidae	8
Calopterygidae	5	**Lepidoptera**			
Gomphidae	1	Pyralidae	5	**Isopoda**	
Lestidae	9			Janiriidae	4
Libellulidae	9	**Mollusca**			
Coenagrionidae	9	Amnicolidae	6	**Decapoda**	
Cordulidae	5	Lymnaeidae	6	Aeglidae	3
Petaluridae	5	Physidae	8	Parastacidae	6
		Sphaeridae	8		
Acari*	4	Chilinidae	6	**Platyhelminthes**	
				Turbellaria	4
Oligochaeta*	8	**Hirudinea***	10		

El índice Biótico de familias, calculado para cada punto de muestreo, registró valores que oscilaron entre 3.19 a 7.9 en el área de muestreo. Un punto de muestreo presentó calidad de agua buena (S2), tres puntos de muestreo presentaron mala calidad de agua y (10, 13, 14) y dos puntos de muestreo registraron valores de IBF que lo clasifican como aguas de muy mala calidad (4 y 6). Para todos los otros puntos de muestreo la clase de calidad de agua correspondió a regular.

Cabe destacar, que aún cuando el índice biótico de familias, actualmente se encuentra adaptado para ríos mediterráneos de Chile, con una valoración de sus clases de manera exigente en términos de su calidad de agua. Su uso en una cuenca de tipo desértica como es la cuenca del río Loa, permitió observar la categoría de "buena" en al menos uno de los puntos de muestreo y "regular" en la mayoría del curso del río. Estos resultados, denotan que éste índice, tendria una alta sensibilidad y exactitud a las condiciones de calidad de agua del río.

Tabla 3.113. Calidad ambiental en el Río Loa según índice IBF

Punto de muestreo	Invierno	Verano	Otoño	Primavera	PROMEDIO	Clasificación
S-1	5.55	4.94	5.47	4.83	5.20	Regular
S-2	4.00	3.19	4.48	4.09	3.94	Bueno
1		4.54	6.02		5.28	Regular
2			5.79		5.79	Regular
3		4.22	6.50		5.36	Regular
4			7.90		7.90	Muy Malo
5		4.10	6.13		5.12	Regular
6		7.68	7.06		7.37	Muy Malo
7		5.29	5.80		5.54	Regular
8		4.00	6.77		5.38	Regular
9		4.52	6.33		5.43	Regular
10		7.00	6.93		6.96	Malo
11		5.33			5.33	Regular
12		5.50	6.55		6.03	Regular
S-3	4.00	6.60	6.95	6.78	6.08	Regular
13		5.50	7.38		6.44	Malo
14		6.09	7.17		6.63	Malo
S-4	4.00	5.60	6.53	6.22	5.59	Regular
S-5	4.00	7.14	5.86	5.68	5.67	Regular

3.3.5.2.5 IHF: índice hábitat fluvial

Entre los protocolos utilizados a nivel internacional, según la bibliografía consultada (Agencia Catalana del Agua, 2006; Confederación Hidrográfica del Ebro, 2013), para la clasificación hidromorfológica de ríos mediterráneos, se encuentran los siguientes:

- Parámetros de Caracterización Morfológica
- Índice de Hábitat Fluvial (IHF)
- Cumplimiento de Caudales de Mantenimiento (QM)
- Índice de Conectividad Fluvial (ICF)
- Nivel de Encauzamiento del Cauce
- Naturalidad de los Usos del suelo en las Riberas
- Índice de Calidad del Bosque de Ribera (QBR)
- Índice de Vegetación Fluvial (IVF)
- Índice Hidrogeomorfológico (IHG)
- Morphological Quality Index (MQI)
- Riparian Forest Evaluation (RFV)
- River Habitat Survey (RHS)

Siendo el QBR e IHF los más destacados y usados en los ríos mediterráneos. En Chile, se han utilizado algunos de estos protocolos, especialmente el QBR e IHF (Silva y Arancibia, 2015; Palma et al, 2009, EcoHyd, 2012), además de ser ambos recomendados en la "Propuesta de utilización de biocriterios para la implementación y monitoreo de la norma secundaria de calidad ambiental" (DGA, 2010). Sin embargo, el índice de calidad del bosque de ribera (QBR) considera en su análisis el grado de cubertura vegetal arbórea de la zona de ribera, estructura de la cubierta, calidad de la cubierta y grado de naturalidad del canal fluvial. Por lo tanto, este índice no es aplicable a las zonas medias y altas de la cuenca, donde no existe vegetación arbórea de forma natural. Por ello se dará énfasis en el índice IHF.

El índice de hábitat fluvial (IHF), valora la capacidad del hábitat físico para albergar la fauna determinada, con lo cual se puede valorar el grado de alteración del hábitat de ríos, comparándolo con una estación de referencia. Está compuesto de 7 métricas que miden frecuencia de rápidos, regímenes de velocidad y profundidad, grado de inclusión y sedimentación en pozas, diversidad de sustratos y elementos de heterogeneidad presente.

A continuación, en la Figura 3.227, se muestra la hoja de campo utilizada para valorar el índice.

ÍNDICE DEL HÁBITAT FLUVIAL (IHF)
Hoja de campo

Punto de muestreo	
Fecha	Hora
Operador/a	

Bloques			Puntuación
1. Inclusión en rápidos-sedimentación en pozas			
Rápidos	Piedras, cantos y gravas no fijadas por sedimentos finos. Inclusión 0 - 30%.	10	
	Piedras, cantos y gravas poco fijadas por sedimentos finos. Inclusión 30 - 60%.	5	
	Piedras, cantos y gravas medianamente fijadas por sedimentos finos. Inclusión > 60%.	0	
Solo pozas	Sedimentación 0 - 30%	10	
	Sedimentación 30 - 60%	5	
	Sedimentación > 60%	0	
		TOTAL (una categoría)	
2. Frecuencia de rápidos			
	Alta frecuencia de rápidos. Relación distancia entre rápidos / anchura del río < 7	10	
	Escasa frecuencia de rápidos. Relación distancia entre rápidos / anchura del río 7 - 15	8	
	Presencia ocasional de rápidos. Relación distancia entre rápidos / anchura del río 15 - 25	6	
	Constancia de flujo laminar o rápidos escasos.Relación distancia entre rápidos/anchura del río >25	4	
	Sólo pozas	2	
		TOTAL (una categoría)	
3. Composición del substrato			
% Bloques y piedras	1 - 10%	2	
	> 10%	5	
% Cantos y gravas	1 - 10%	2	
	> 10%	5	
% Arena	1 - 10%	2	
	> 10%	5	
% Limo y arcilla	1 - 10%	2	
	> 10%	5	
		TOTAL (suma de categorías)	
4. Regímenes de velocidad / profundidad			
somero:< 0.5 m lento:< 0.3 m/s	4 categorías. Lento-profundo, lento-somero, rápido-profundo y rápido-somero.	10	
	Sólo 3 de las 4 categorías	8	
	Sólo 2 de las 4 categorías	6	
	Sólo 1 de las 4 categorías	4	
		TOTAL (una categoría)	
5. Porcentaje de sombra en el cauce			
	Sombreado con ventanas	10	
	Totalmente en sombra	7	
	Grandes claros	5	
	Expuesto	3	
		TOTAL (una categoría)	
6. Elementos de heterogeneidad			
Hojarasca	> 10% o < 75%	4	
	1 - 10% o > 75%	2	
Presencia de troncos y ramas		2	
Raíces expuestas		2	
Diques naturales		2	
		TOTAL (suma de categorías)	
7. Cobertura de vegetación acuática			
% Plocon + briófitos	10 - 50%	10	
	1 - 10% ó > 50%	5	
% Pecton	10 - 50%	10	
	1 - 10% ó > 50%	5	
% Fanerógamas + Charales	10 - 50%	10	
	1 - 10% ó > 50%	5	
		TOTAL (suma de categorías)	
		PUNTUACIÓN FINAL (suma de las puntuaciones anteriores)	

La puntuación de cada uno de los apartados no puede exceder la expresada en la siguiente tabla:

Inclusión en rápidos - sedimentación en pozas	10
Frecuencia de rápidos	10
Composición del substrato	20
Regímenes de velocidad / profundidad	10
Porcentaje de sombra en el cauce	10
Elementos de heterogeneidad	10
Cobertura de vegetación acuática	30

Figura 3.227. Hoja de campo IHF (Fuente: Pardo et al, 2002).

Este índice está compuesto por 7 bloques, aportando cada uno puntaje al índice total, según las características físicas del cauce y su heterogeneidad. A una mayor heterogeneidad y diversidad de estructuras físicas del hábitat le corresponde una mayor diversidad de las comunidades biológicas que lo ocupan (Smith & Smith, 2000).

A continuación, se revisa cada uno de estos bloques y se plantea la forma en que serán abordados.

- Bloque 1: Inclusión en rápidos-sedimentación en pozas

El primero de los bloques tiene que ver con el grado de inclusión o sedimentación de las partículas en el lecho. La inclusión considera el grado en que las partículas están fijadas en el lecho, mientras que la sedimentación corresponde a la depositación de material fino en zonas lénticas del río.

Este bloque se evalúa analizando las fotografías de campañas de terreno del CEA en el sector, además de las fotografías de la campaña de realización de calicatas (IHA-UCSC, 2014).

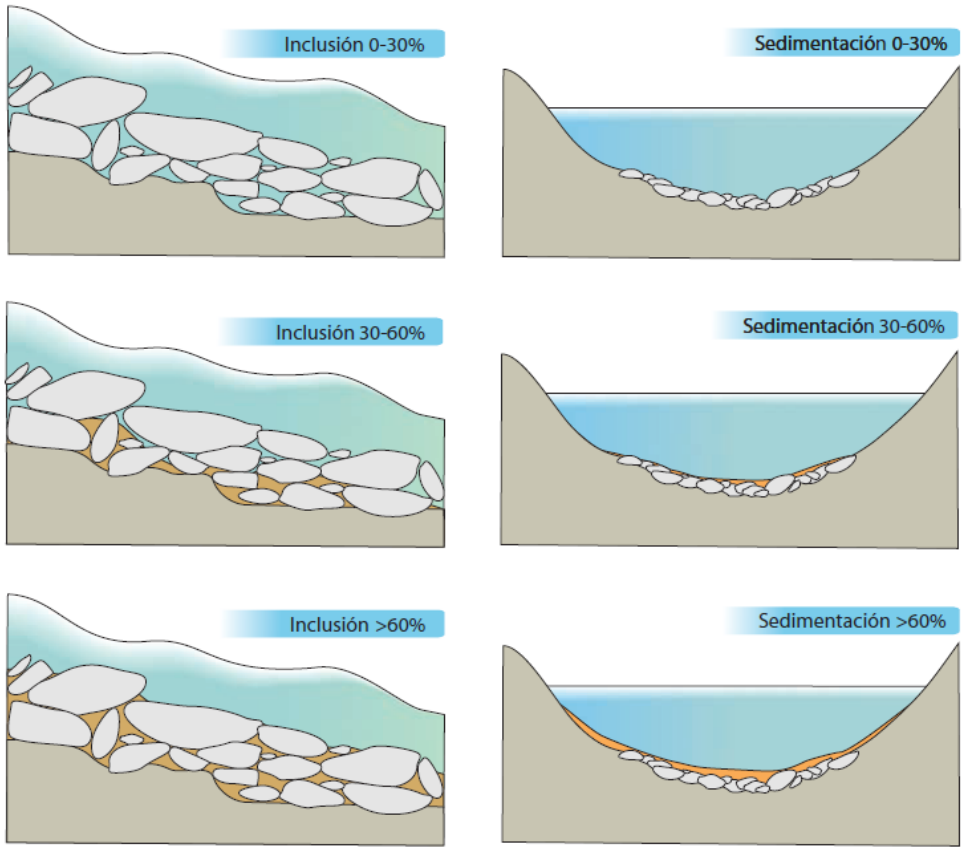


Figura 3.228. Esquema de grados de inclusión/sedimentación (Fuente: Prat, 2009)

- Bloque 2: Frecuencia de rápidos

Se estima el promedio de la distancia entre rápidos en relación con la presencia de zonas apozadas. Dicha estimación se realiza mediante la medición de las distancias a través de Google Earth.

- Bloque 3: Composición del sustrato

En este apartado se considera la proporción que poseen los distintos rangos de tamaño de partículas en el lecho. El diámetro de partículas considerado es el siguiente:

• Bloques y piedras: > 64 mm.
• Cantos y gravas: 2 – 64 mm.
• Arena: 0,6 – 2 mm.
• Limo y arcilla: < 0,6 mm

El porcentaje de cada tamaño se determina analizando las fotografías tomadas en terreno en cada punto de monitoreo. Para ello se utilizó un cuadrante con grilla de 5 cm dispuesto sobre el fondo del cauce.

- Bloque 4: Regímenes de velocidad-profundidad

En este bloque se identifica la presencia de 4 categorías de regímenes de velocidad-profundidad, que corresponden a rápido-profundo, lento-profundo, lento-somero, rápido-somero. En la Figura 3.229, se esquematizan estas 4 categorías, considerando somero un sistema de profundidad menor a 0,5 m, mientras que lento se considera un escurrimiento con velocidad menor a 0,3 m/s. Este análisis se realiza sobre los resultados de las modelaciones realizadas en Hec-Ras.

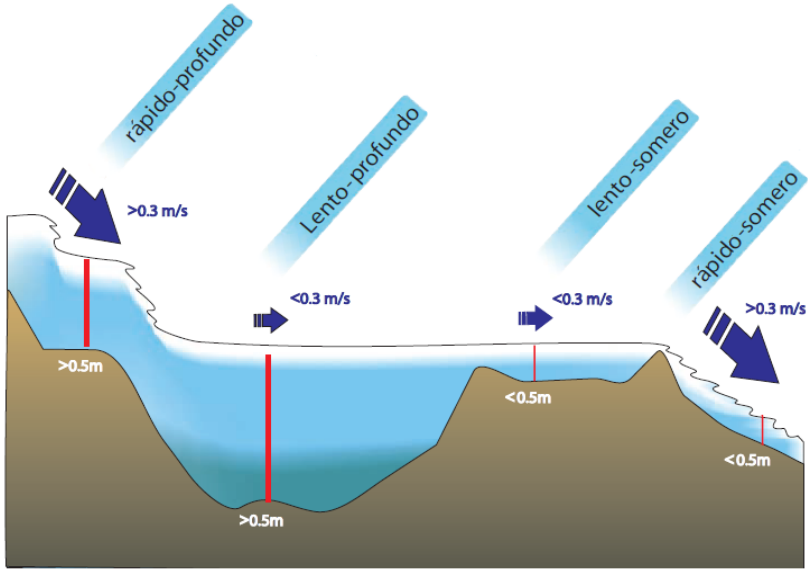


Figura 3.229. Esquema de regímenes de velocidad-profundidad (Fuente: Prat, 2009)

- Bloque 5: Porcentaje de sombra en el lecho

Estima, de forma visual, la sombra proyectada por la cubierta vegetal adyacente, que determina la cantidad de luz que llega al canal del río e influencia el desarrollo de los productores primarios. Se determina analizando las imágenes satelitales de Google Earth y complementado con fotografías capturadas en campañas de terreno del CEA en el sector.

- Bloque 6: Elementos de heterogeneidad

Mide la presencia de elementos tales como hojas, ramas, troncos o raíces dentro del lecho del río. Estos elementos proporcionan el hábitat físico que puede ser colonizado por los organismos acuáticos, a la vez que constituyen una fuente de alimento para los mismos. Se determina analizando las imágenes satelitales de Google Earth y complementado con fotografías capturadas en campañas de terreno del CEA.

- Bloque 7: Cobertura de vegetación acuática

Mide la cobertura de la vegetación acuática en el cauce fluvial. La mayor diversidad de morfologías en los productores primarios incrementa la disponibilidad de hábitats y de fuentes de alimento para muchos organismos. En la misma medida, la dominancia de un grupo sobre el total de la cobertura no debería superar el 50%.

- Plocon: incluye organismos fijados al sustrato por un extremo -rizoides- en muchos casos desprendidos y flotando, por ejemplo, Cladophora, Zygnematales, Oedogoniales y Briófitos.
- Pecton: incluye talos aplanados, laminares o esféricos, por ejemplo, Nostoc, Hildenbrandia, Chaetoforales, Rivulariacias, Fieltros de oscilatorias o Perifíton de diatomeas. Se reconocen debido a que forman finas costras o recubrimientos sobre el sustrato.
- Fanerógamas y charales: Las fanerógamas son los grupos de plantas que presentan flores visibles. Actualmente el término más utilizado para denominarlas es el de espermatofitos. En ambientes fluviales las más comunes pertenecen a los géneros Potamogeton, Ranunculus, Ceratophyllum, Apium, Lemma, Myriophyllum, Zannichellia o Rorippa. Las charales son un grupo de algas consideradas como el único grupo de algas verdes realmente macroscópicas que se dan en aguas continentales.
- Briófitos: incluyen musgos y hepáticas.

En función a la participación de cada grupo vegetacional en el cauce se asigna una determinada puntación (Tabla 3.114). En el caso de la ausencia total de cualquier tipo de vegetación acuática se establece una puntuación de cero puntos.

Tabla 3.114. Valoración cobertura de vegetación acuática

Categoría		Puntuación
%plocon+ briophyta	10- 50%	10
	<10% o >50%	5
%pecton	10- 50%	10
	<10% o >50%	5
% fanerógamas y charales	10- 50%	10
	<10% o >50%	5

A lo largo de las cuatro campañas de monitoreo, se registró en las parcelas acuáticas 12 géneros de plantas acuáticas, pertenecientes a la categoría Fanerógamas, en donde *Shoenoplectus* obtuvo la mayor participación en el cauce, seguido del género *Myriophyllum*.

La aplicación de esta metodología sobre los puntos de monitoreo en la cuenca del río Loa se resume en la Tabla 3.115

Tabla 3.115. Valoración IHF sobre la cuenca del río Loa

Bloque:	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	0	5	0	0	0	5	5	5	5	0	0	5	5	5	0	0	5	0
2	2	6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	6	4	6	2	2	2	2	2
3	14	17	17	17	11	14	14	17	17	14	14	17	17	14	17	11	14	17	14
4	6	8	8	10	4	6	6	6	8	6	4	6	4	8	8	6	6	4	4
5	5	5	3	5	5	5	5	5	5	3	3	3	3	3	5	5	5	3	5
6	6	4	6	4	4	6	4	4	4	2	4	6	4	6	4	4	6	6	4
7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
TOTAL	33	40	41	38	26	33	36	39	41	32	27	38	37	42	41	28	33	37	29

La escala de colores considerada para la interpretación de los resultados se presenta en la Figura 3.230:

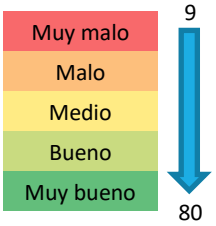


Figura 3.230. Escala de colores considerada para IHF.

3.3.5.3 Etapa 3: Análisis de Vulnerabilidad

Tal como se explicó en el acápite 3.3.5.1.2, la expresión para evaluar la vulnerabilidad es la siguiente:

$$V_{LOA} = (Se + Su + HA - R + 1) / 4 \qquad \text{(Adaptado para análisis Río Loa)}$$

donde,

V = Vulnerabilidad del ecosistema.
S*e* = Valor atribuido a la sensibilidad de la comunidad.
S*u* = Valor atribuido a la sensibilidad a la exposición.
R = Valor atribuido a la capacidad de recuperación.
HA = Valor atribuido a la alteración del hábitat.

Según los resultados de esta última formulación adoptada, se clasificará la vulnerabilidad (V_{LOA}) según las categorías expuestas en la Tabla 3.116.

Tabla 3.116 Puntajes atribuidos a las componentes de vulnerabilidad en la cuenca del Río Loa

Muy baja	Baja	Media baja	Media	Media alta	Alta	Muy alta
[0,00-0,14]	(0,14-0,29]	(0,29-0,43]	(0,43-0,57]	(0,57-0,71]	(0,71-0,86]	(0,86-1,00]

3.3.5.3.1 Componentes de la Vulnerabilidad

Como indicador de la sensibilidad (S*e*) de la comunidad, se utilizaró el índice Biótico de Familias (ChIBF), según la siguiente expresión:

$$Se = IBF/10$$

Para evaluar las condiciones fisicoquímicas generales de la calidad de agua del Río Loa, se utiliza el índice de calidad de agua (ICA) (IDEAM, 2014). Para ello, se seleccionaron algunos parámetros representativos (ver sección 3.3.5.2.1): sólidos suspendidos totales (SST), conductividad eléctrica (CE), pH del agua y la degradación por intervención antrópica (NT/NP).

$$Su = ICA$$

La sensibilidad es una expresión de resistencia, pero no proporciona información sobre la respuesta en el tiempo posterior a la exposición. La evaluación de la capacidad de recuperación, es decir, la capacidad de un sistema para regresar al estado prístino de la organización estructural y funcional después de una alteración inducida por un factor estresante, es particularmente importante si la exposición no es continua o no es

constante. Si bien la recuperación funcional se debe a la característica de todo el sistema, la recuperación estructural depende de la capacidad de recuperación de cada población de la comunidad. La recuperación de la población depende de las propiedades genotípicas y fenotípicas de los individuos (edad, sexo y distribución de biomasa, fecundidad, etc.) y de las propiedades colectivas de las especies (estructura metapoblacional, movilidad, territorialidad, estacionalidad, iteroparidad, etc.). En cuanto a la susceptibilidad a la exposición, no se dispone de criterios precisos para una evaluación cuantitativa de la capacidad de recuperación. Sin embargo, para una evaluación preliminar cualitativa, algunos rasgos relevantes son la capacidad reproductiva, el potencial biótico, la duración del ciclo de vida, la capacidad de adaptación genética, fisiológica y conductual. (Ippolito et al, 2010).

Tal como se reconocío en el acápite 3.3.5.1.1, se reconocen principalmente dos estresores en la cuenca del río Loa, que corresponden al caudal y a la salinidad del sistema. A partir del análisis de estos dos estresores se evalúa la capacidad de recuperación del sistema.

Con respecto a la variación del caudal, ésta generalmente provoca alteraciones en la hidromorfología del río, con consecuencias evidentes en el hábitat de especies, como es por ejemplo la reducción de éste. La constricción del hábitat idóneo, tiene diferentes efectos sobre la biota asociada, relacionada principalmente a cambios de los componentes fisico-quimicos, como la profundidad, temperatura y oxígeno, considerados como variables clave en el desarrollo de los distintas etapas del ciclo de vida de macroinvertebrados. Esta interrupcion del ciclo de vida, podría significar la perdida de especies intolerantes a estos cambios (riqueza y abundancia) y la permanencia de especies mas tolerantes a las perturbaciones antrópicas. Cabe destacar que para desarrollo de éste analisis, los efectos que el caudal pudiese provocar sobre los diferentes taxa de macroinvertebrados fueron considerados de manera genérica.

En cuanto a la salinidad del área de estudio, precisamos que se encuentran dadas por las condiciones naturales del ambiente, como lo es la salinidad del suelo. Sin embargo, su concentración tiene una respuesta relacionada a las descargas de agua sobre el río que eventualmente podría causar la dilución de las sales con agua de otra salinidad.

Para valorar la capacidad de recuperación, se considera la recurrencia de los factores estresantes, es decir, si son eventuales o permanentes. Se considera una capacidad de recuperación igual a 1, si es que corresponde el estresor es eventual o discontinuo, mientras que se da un valor de 0 al ser permanente. Se condidera una valoración de 0,5 en casos combinados o intermedios.

$$R = \begin{cases} 1 & estresores\ eventuales \\ 0{,}5 & estresores\ combinados \\ 0 & estresores\ permanentes \end{cases}$$

Por ello se identificaron las distintas presiones sobre el río en los distintos puntos de monitoreo y se clasificaron según su recurrencia, además de reconocer si tiene un efecto sobre el caudal o la salinidad del agua.

Se indentificó las extracciones agrícolas y ganaderas, industriales y sociales, donde la susceptibilidad a la exposición es más alta porque están presentes durante todo el año y podrían afectar cada parte del ecosistema del río. La influencia en la recuperación es alta ya que estos factores estresantes son continuos, por lo que la recuperación no puede ocurrir.

Para evaluar la alteración del hábitat (HA), se utiliza la siguiente expresión, basada en la normalización del índice de hábitat fluvial:

$$HA=(IHF-9)/80$$

3.3.5.3.2 Evaluación de vulnerabilidad

Al combinar todos los componentes de la vulnerabilidad, se obtienen los resultados de la Tabla 3.117:

Tabla 3.117 Resultados del índice integrado de vulnerabilidad en la cuenca del río Loa (V_{LOA})

Punto de muestreo	*Se*	*Su*	*HA*	*R*	Vulnerabilidad V_{LOA}	Clasificación
S-1	0.52	0.60	0.34	1.00	0.36	Media Baja
S-2	0.39	0.54	0.44	0.50	0.47	Media
1	0.53	0.59	0.34	0.50	0.49	Media
2	0.58	0.62	0.38	0.50	0.52	Media
3	0.54	0.58	0.42	0.00	0.63	Media Alta
4	0.79	0.56	0.45	0.00	0.70	Media Alta
5	0.51	0.61	0.32	0.00	0.61	Media Alta
6	0.74	0.52	0.25	0.00	0.63	Media Alta
7	0.55	0.54	0.41	0.00	0.63	Media Alta
8	0.54	0.63	0.39	0.00	0.64	Media Alta
9	0.54	0.60	0.46	0.00	0.65	Media Alta
10	0.70	0.51	0.45	0.00	0.66	Media Alta
11	0.53	0.51	0.27	0.00	0.58	Media Alta
12	0.60	0.65	0.34	0.00	0.65	Media Alta
S-3	0.61	0.55	0.45	0.00	0.65	Media Alta
13	0.64	0.59	0.39	0.00	0.66	Media Alta
14	0.66	0.58	0.28	0.00	0.63	Media Alta
S-4	0.56	0.60	0.41	0.00	0.64	Media Alta
S-5	0.57	0.58	0.24	0.50	0.47	Media

El “Índice Integrado de Vulnerabilidad” resultante para cada una de las secciones del río Loa, fue representado en una cartografía (Figura 3.231). A partir de la cual se puede identificar cuáles son los tramos más críticos.

En términos generales, la vulnerabilidad en la cuenca resulta con una valoración media alta en la mayor parte de sus tramos. Una vulnerabilidad media se observa en la Quebrada amarga y la zona alta entre Lequena y el embalse Conchi. Inmediatamente aguas abajo del embalse se alcanza la vulnerabilidad máxima, alcanzando el índice integrado de vulnerabilidad un valor de 0,7, que indica una vulnerabilidad media alta, pero alcanzando casi el rango de vulnerabilidad alta. Este valor alto está fuertemente influenciado por la componente asociada al índice biótico de familia (IBF) que probablemente esté influenciado por la presencia del embalse Conchi que presenta una barrera para la continuidad de los macroinvertebrados presentes en el río-

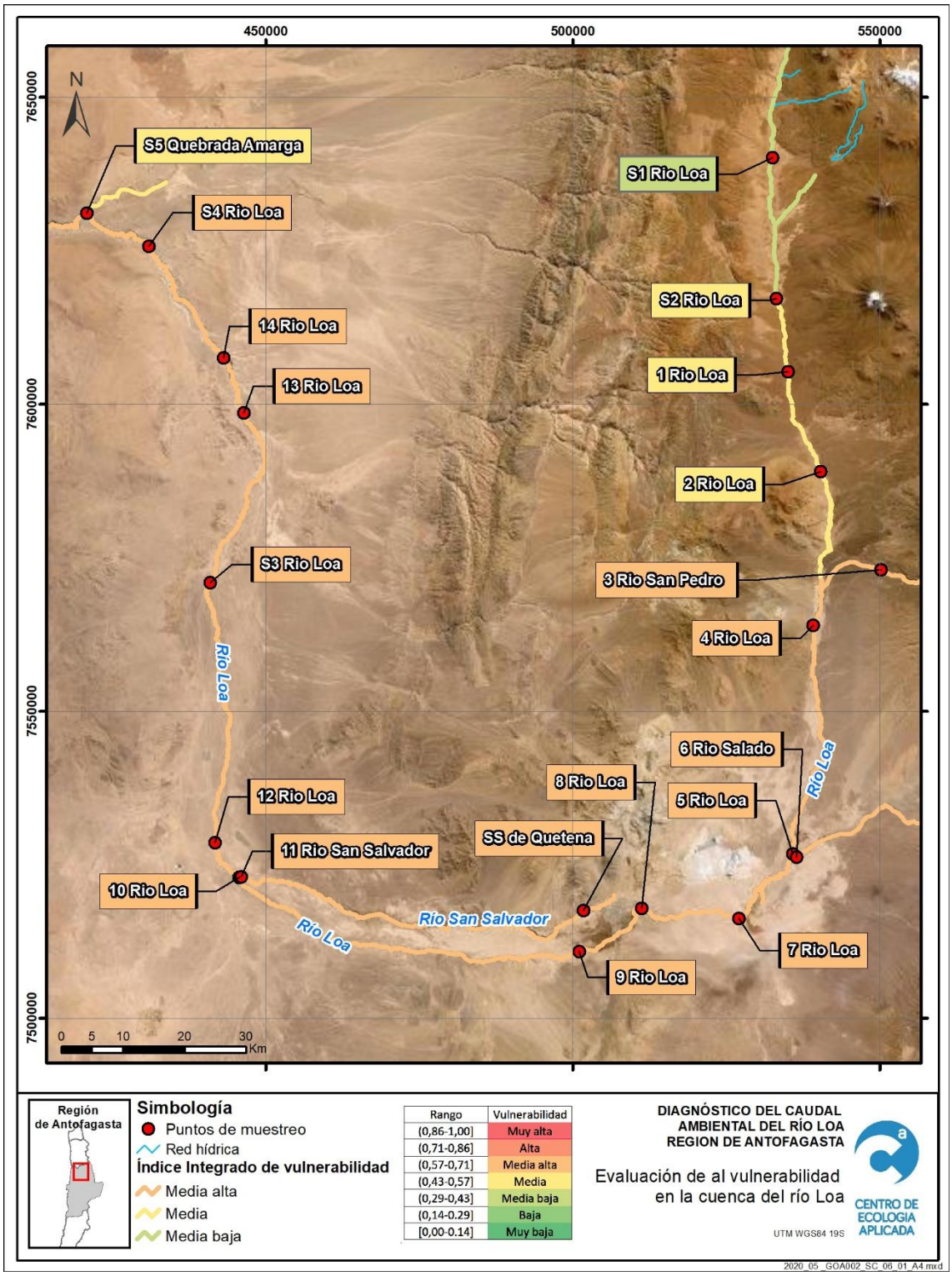


Figura 3.231. Análisis de la vulnerabilidad en la cuenca del río Loa.

4 DESARROLLO OE-2

4.1 Análisis de modelos hidrológicos

Un modelo hidrológico es un conjunto de algoritmos matemáticos que tienen como objetivo aproximar las interacciones entre distintos elementos del ciclo hidrológico. Cada uno de los modelos disponibles en el mercado asume distintas aproximaciones para cada uno de los procesos involucrados, así como también distintas conceptualizaciones de una cuenca. Es por eso que la elección técnica de un modelo en particular debe tener siempre presente primero cuál es el nivel de detalle o precisión que se desea, el nivel de detalle que se puede alcanzar teniendo en cuenta la información que existe y el tiempo disponible para obtener los resultados. Estas líneas no siempre se comunican, por cuanto la información disponible resulta ser importante en la elección del modelo y en la cuantificación de su incerteza.

Existen varios modelos generales de cuenca o de simulación hidrológica que se utilizan en diferentes lugares del mundo, donde las componentes individuales de estos modelos varían significativamente debido a la diversidad de propósitos que sirven (Singh & Frevert, 2005). A continuación, se revisan las características de cuatro modelos, cuya estructura es adecuada para realizar un análisis hidrológico integral de la cuenca del río Loa.

4.1.1 Modelo de Tanque (“TANK MODEL”)

Conceptualmente, el modelo de tanque está compuesto por cuatro tanques dispuestos verticalmente, como se muestra en la Figura 4.1. A la izquierda se presenta el significado físico de cada tanque, mientras que a la derecha (letras a, b, c, d, e y f) se muestran diferentes resultados, dependiendo de las forzantes del modelo. Por ejemplo, si no hay precipitaciones durante mucho tiempo, los tanques superior y segundo se vaciarán, provocando que el modelo del tanque se vea como en la Figura 4.1a o Figura 4.1b. Si se produce una precipitación intensa durante un período más largo, entonces el modelo del tanque asumirá el estado que se muestra en la Figura 4.1e. Cuando la lluvia se detiene, el agua en el tanque superior se escapará rápidamente y el modelo del tanque se moverá al estado que se muestra en la Figura 4.1f (Sugawara, 1995).

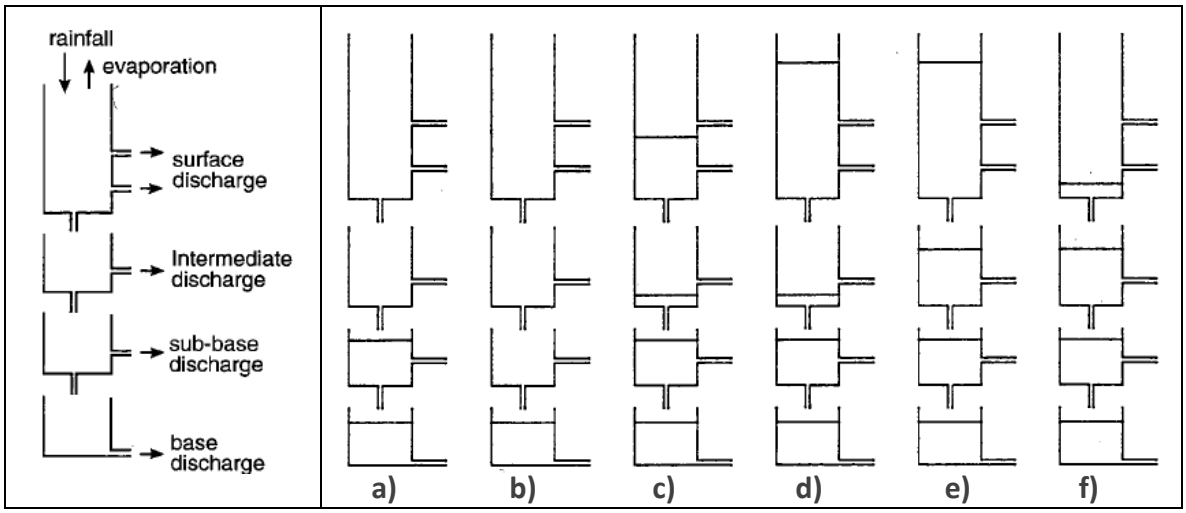


Figura 4.1. Esquema conceptual del modelo de tanque. Fuente: Sugawara, 1995.

En términos generales, la precipitación ingresa en el tanque superior y la evaporación se extrae del mismo tanque superior, lo cual es aplicado para analizar los caudales diarios producto de la precipitación y evaporación diaria. Si no hay agua en el tanque superior (ausencia de lluvias), la evaporación se resta del segundo tanque; si no hay agua tanto en el tanque superior como en el segundo, la evaporación se resta del tercer tanque; y así sucesivamente. De esta forma, el modelo de tanque puede representar tantos tipos de hidrogramas como se desee, debido a su estructura no lineal. Esta estructura además se puede modificar ajustando la posición de las salidas laterales de cada tanque, algo por encima de la parte inferior de cada tanque (a excepción del tanque más bajo) (Sugawara, 1995).

Existen diferentes variedades del modelo de tanque, sin embargo, se ha demostrado que existen al menos dos tipos de almacenamiento subterráneo que pueden ser simulados por este enfoque. Para esto, es necesario dividir el tipo de almacenamiento superior en dos partes, una para la escorrentía superficial y otra para la escorrentía intermedia. Análisis posteriores también condujeron a dividir el tanque inferior en dos tanques, uno para la escorrentía de la sub-base (con una constante de tiempo bastante corta) y uno para la escorrentía de base estable con una constante de tiempo largo (Sugawara, 1995).

La constante de tiempo es el concepto clave del modelo de tanque, lo cual puede ser explicado mediante un tanque lineal simple, como el que se presenta en la Figura 4.2a.

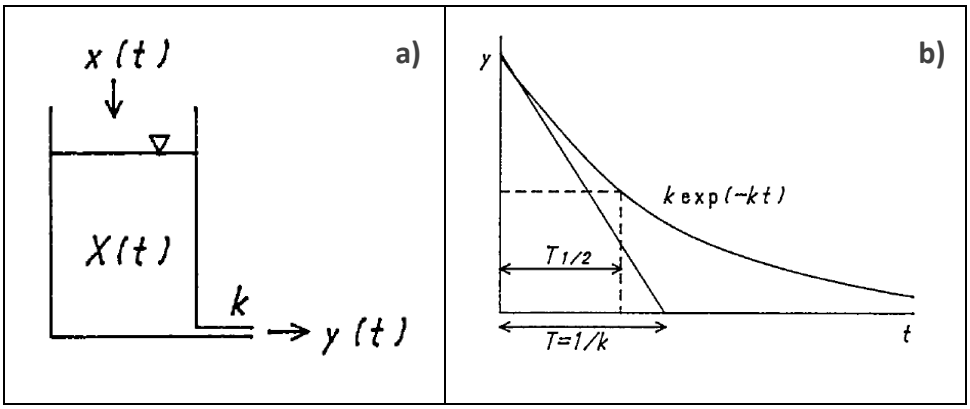


Figura 4.2. Esquema, variables y comportamiento de un tanque lineal simple. Fuente: Sugawara, 1995.

Si X(t) representa el almacenamiento del tanque, x(t) las entradas e y(t) las salidas del sistema, entonces se pueden plantear las siguientes ecuaciones:

$$\frac{d}{dt}X(t) = x(t) - y(t); \quad y(t) = kX(t)$$

Combinando ambas, es posible llegar a la siguiente expresión, donde D=d/dt:

$$y(t) = \frac{k}{D+k}x(t)$$

Donde k/(D+k) representa el retardo de primer orden del sistema. Luego, si consideramos un tanque lineal vacío y asumimos que en t=0 existe una entrada al sistema de la forma de una función Delta de Dirac, i.e., x = δ(t), entonces se obtiene que la salida será la función exponencial y(t) = k·exp(-kt), la cual se muestra en la Figura 4.2b. Si se dibuja una tangente a esta curva exponencial en t = 0, entonces cortará el eje horizontal (tiempo) en T = 1/k, que es la constante de tiempo del operador k/(D+k), para un tanque lineal simple (Sugawara, 1995).

Si bien esto se vislumbra complejo en su comprensión, lo único que se está resolviendo es la ecuación de continuidad o de balance de masas, donde se describe que la variación del almacenamiento en el tiempo (X(t)) es igual a las variaciones de los flujos de entrada y salida sobre dicho volumen de control.

La aproximación y(t) = kX(t), es sumamente conocida como una tasa de decaimiento “lineal” del volumen y representa conceptualmente que la salida del volumen de control considerado es proporcional al volumen que este tiene. Si el volumen está completo, la salida será “más rápida”, mientras que, si el volumen es menor, la salida del flujo disminuirá proporcionalmente con “k”.

En términos generales, la constante de tiempo para cada tanque del modelo de cuatro tanques dependerá de la posición de la salida lateral. Tomando como ejemplo la Figura 4.3, se tiene que, cuando el nivel del agua es más bajo que la última salida, la descarga es controlada por el operador lineal con una constante de tiempo T = 1/k0. Cuando el nivel del agua está entre las salidas laterales superior y media, la descarga es controlada por el operador lineal con constante de tiempo 1/(k0+k1), y cuando el nivel del agua está por encima de la salida superior, la constante de tiempo es 1/(k0+k1+k2). Tal estructura de tanque tiene la propiedad de que la constante de tiempo se vuelve más corta a medida que el almacenamiento se hace más grande (Sugawara, 1995).

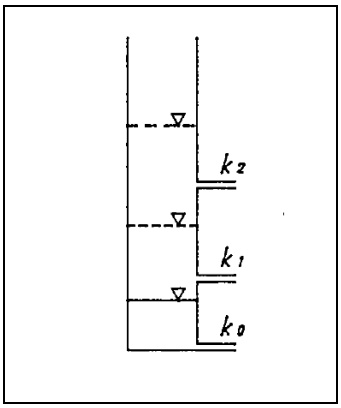


Figura 4.3. Ejemplo de un tanque no lineal. Fuente: Sugawara, 1995.

A nivel de cuenca, lo anterior significa que las constantes de tiempo de los tanques superior, segundo y tercero deben tener una relación aproximada de 1: 5: 5^2 o más. Por ejemplo, si el tanque superior tiene una constante de 1 día, el segundo debería tener al menos 5 días y el tercer estanque al menos un mes (un cuarto estanque podría tener una constante de años). La constante de tiempo también se alargará a medida que el área de captación se hace más grande y será proporcional a la raíz cuadrada del área de captación, es decir, a un diámetro equivalente de la cuenca (Sugawara, 1995).

4.1.1.1 *Humedad del Suelo*

Para considerar el efecto de la humedad del suelo se debe agregar una estructura al fondo del tanque superior como se muestra en la Figura 4.4a. Sin embargo, el efecto de la humedad del suelo debe ser válido para cualquier contexto y hasta ahora los ejemplos son aplicables en zonas donde el suelo está permanentemente saturado. Si llueve en un suelo seco, la humedad filtrará primero el espacio que es fácil de ocupar, es decir, espacio libre en el suelo (humedad primaria del suelo). Solo entonces el agua se transferirá gradualmente al material del suelo (humedad secundaria del suelo), como se muestra en la Figura 4.4b. Este proceso es conceptualizado situando la humedad secundaria del suelo al costado del tanque principal, lo cual se presenta en la Figura 4.4c (Sugawara, 1995).

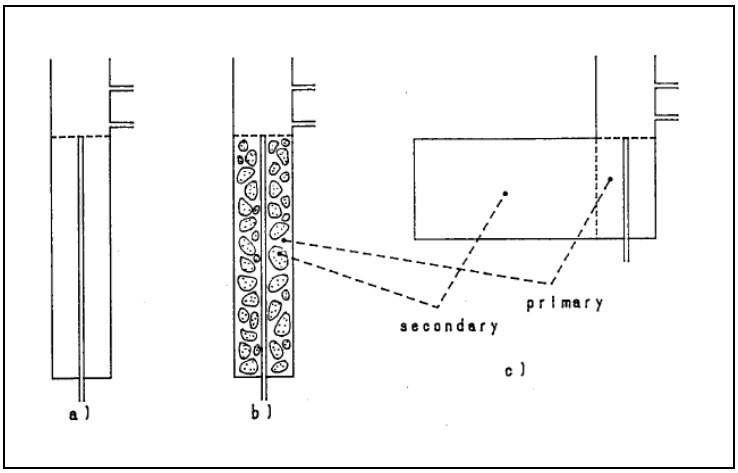


Figura 4.4. Esquema conceptual básico de la humedad del suelo. Fuente: Sugawara, 1995.

El modelo resultante se presenta en la Figura 4.5 y es analizado en los puntos a continuación, de acuerdo a lo señalado por Sugawara (1995).

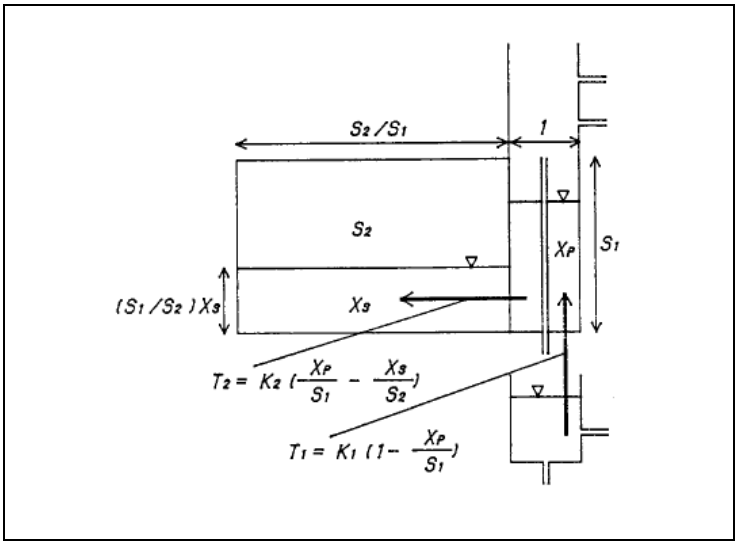


Figura 4.5. Esquema conceptual final de la humedad del suelo. Fuente: Sugawara, 1995.

i. El almacenamiento de la humedad del suelo tiene dos componentes, el almacenamiento primario (X_P) y el almacenamiento secundario (X_S), donde sus máximas capacidades de almacenamiento son S_1 y S_2, respectivamente.

ii. El almacenamiento primario de humedad del suelo y el agua libre en el tanque superior conforman un almacenamiento XA en el tanque superior. La lluvia se agrega a XA y la evaporación se resta de XA. Cuando XA no es mayor que S1, XA es exclusivamente almacenamiento primario de humedad del suelo y no hay agua libre (XF) en el tanque superior. Cuando XA es mayor que S1, la humedad primaria del suelo está saturada y el exceso pasa a ser agua libre en el tanque superior.

iii. Cuando la humedad primaria del suelo no está saturada y hay agua libre en el tanque inferior, se produce un suministro de agua T1 hacia el almacenamiento primario de humedad del suelo, donde:

$$T_1 = K_1(1 - \frac{X_P}{S_1})$$

iv. Existe intercambio de agua entre los almacenamientos primario y secundario de humedad del suelo, lo cual es regulado por T2. Cuando esta variable es positiva, significa que el agua se transfiere desde el almacenamiento primario hacia el secundario, y viceversa. Esta variable se expresa como:

$$T_2 = K_2(\frac{X_P}{S_1} - \frac{X_S}{S_2})$$

v. En presencia de evaporación (E), la ecuación de balance puede ser escrita de la siguiente forma:

$$\frac{dX_P}{dt} = -E + T_1 - T_2 = -E + K_1 - \frac{K_1 + K_2}{S_1} X_P + \frac{K_2}{S_2} X_S$$

vi. El siguiente paso consiste en homogeneizar la ecuación anterior, el cual es un proceso de inspiración física que consiste en substituir un material fuertemente heterogéneo por uno homogéneo equivalente, como es el caso de un medio poroso, lo cual apunta a simplificar el problema numérico de resolución (Lobo et al., 1991). Para esto se define que

$$X_P = x_p + c_p; \quad X_S = x_s + c_s$$

vii. Las variables cp y cs representan nuevos orígenes para el almacenamiento primario y secundario, donde:

$$c_p = S_1 - \frac{E}{K_1} S_1; \quad c_s = S_2 - \frac{E}{K_1} S_2$$

viii. Cuando E es pequeño (E<K1), cp y cs se extienden relativamente alto (ver Figura 4.6a). Cuando E es mayor (E>K1), los nuevos orígenes son bajos (ver Figura 4.6b). Cabe señalar que el cambio estacional en el nivel de estos orígenes juega un rol importante en el comportamiento del almacenamiento de humedad del suelo.

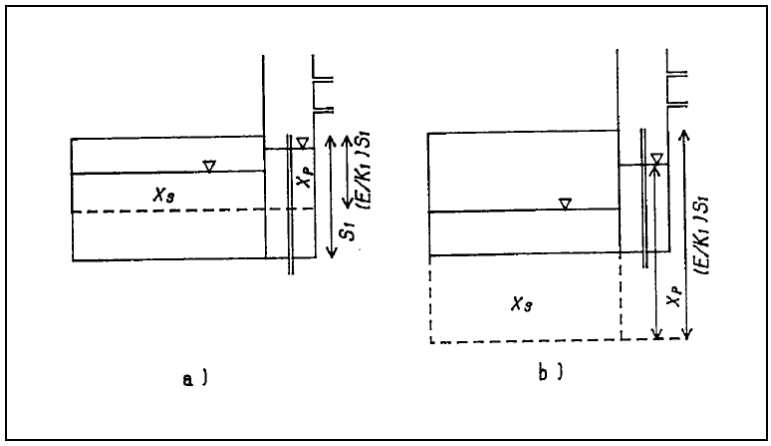


Figura 4.6. Comportamiento del origen, dependiendo de la magnitud relativa de la Evaporación (E). Fuente: Sugawara, 1995.

En regiones áridas, donde la evaporación potencial anual es mayor que la precipitación anual, las regiones montañosas se vuelven más secas en la temporada de estiaje debido al descenso gravitacional del agua subterránea. Por otra parte, las zonas bajas en torno al río permanecen húmedas debido al suministro de agua subterránea de zonas más elevadas. Cuando vuelve la temporada de lluvias, la escorrentía superficial ocurre en primer lugar en las áreas a lo largo del río, porque aún están mojadas. Sin embargo, en las zonas montañosas secas, el agua de lluvia se absorbe como humedad del suelo y no hay escorrentía superficial (Sugawara, 1995).

En otras palabras, durante la estación húmeda el porcentaje de área húmeda aumenta con el tiempo, a la vez que aumenta la escorrentía superficial. Por el contrario, durante la estación seca el porcentaje de área seca aumenta con el tiempo y la escorrentía disminuye. Como la evaporación no ocurre en áreas secas, la evaporación real de toda la cuenca es menor que la evaporación potencial. Por lo tanto, incluso si la evaporación potencial anual es mayor que la precipitación anual, aún existe la posibilidad de escorrentía (Sugawara, 1995).

Tomando en consideración este planteamiento, se presenta en la Figura 4.7 un ejemplo de conceptualización de una cuenca, la cual se divide en 4 zonas (AR1, AR2, AR3 y AR4). El factor importante en este tipo de modelo de tanque es la relación de las áreas de la zona, AR1:AR2:AR3:AR4. Si no hay suficientes datos para determinar esta relación, se debe determinar por el método de prueba y error (Sugawara, 1995).

Esta conceptualización básica permite introducir otras variables, aumentando la complejidad del modelo final a medida que se introducen más variables de entrada y salida,

como el derretimiento nival, gradientes de precipitación y temperatura, demandas evapotranspirativas, entre otras. En general, la incorporación de variables debe venir acompañada de datos, con el fin de mantener la parsimonia del modelo final.

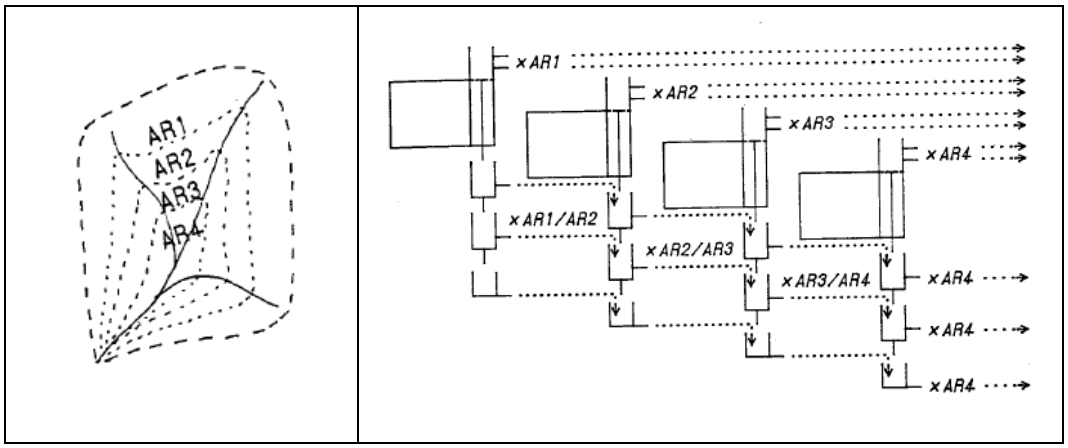


Figura 4.7. Uso del modelo de tanque para simular el comportamiento de una cuenca. Fuente: Sugawara, 1995.

Por último, es importante señalar que el modelo puede ser calibrado a pesar de contar con información de precipitaciones insuficientes (entre otras variables). Para esto, se recomienda emplear las curvas de duración de los caudales observados y simulados para ajustar los parámetros del modelo, lo cual entrega mejores resultados que la comparación de los hidrogramas. Esto fue verificado en cuencas ubicadas en Región Alta del Nilo, donde se observaron condiciones heterogéneas de distribución de lluvias, similares al norte del Chile donde existe la influencia del invierno altiplánico. Estas condiciones de heterogeneidad son tales que, en algunos casos, las estaciones pueden registrar fuertes lluvias, pero la descarga de la cuenca es pequeña. Y, por otro lado, los pluviómetros pueden registrar muy poca lluvia, pero la descarga es grande.

Como último comentario, la aproximación conceptual de la cuenca presentada en la Figura 4.7 puede ser entendida como la aplicación de bandas de elevación sobre una cuenca. Este aspecto es muy sensible, por cuanto permite entender que este tipo de modelos puede caracterizar el gradiente orográfico, muy visto en Chile, en la medida que exista una correcta representación espacial de la cuenca, en concordancia con su régimen hidrológico. Así, por ejemplo, AR1 podría representar una banda “nival”, de incorporarse por supuesto los parámetros adecuados al control de este proceso, mientras que AR4 podría representar un régimen más pluvial, asociado a menores elevaciones.

4.1.2 Modelo de Cuenca UBC

Este modelo fue diseñado originalmente para pronosticar la escorrentía de las cuencas de montaña y por esta razón el modelo permite dividir una cuenca cualquiera en una serie de bandas de elevación, siendo la elevación una de las variables más importantes en la descripción de la escorrentía de montaña. Por otra parte, los datos meteorológicos y de caudales tienden a ser escasos en las zonas de montaña y, por lo tanto, el modelo fue diseñado para operar con una escasa entrada de datos, pero se puede utilizar una base de datos más extensa si está disponible. El modelo estima la acumulación y el agotamiento de la acumulación de nieve, operando completamente a partir de las entradas meteorológicas de las temperaturas máximas y mínimas diarias y la precipitación. La humedad del suelo y las características del agua subterránea se utilizan para controlar la subdivisión en componentes rápidos, medios y lentos de la escorrentía. Estos diversos componentes de la escorrentía se dirigen al sistema de flujo mediante el uso de hidrogramas unitarios y técnicas de enrutamiento de almacenamiento. Aplicaciones adicionales están disponibles en el modelo para describir el almacenamiento del lago y el rastreo[1] (*routing*) del lago. (Quick, 1995; Quick & Pipes, 1977). En la Figura 4.8 se presenta un diagrama esquemático del modelo UBC, que resume lo señalado previamente.

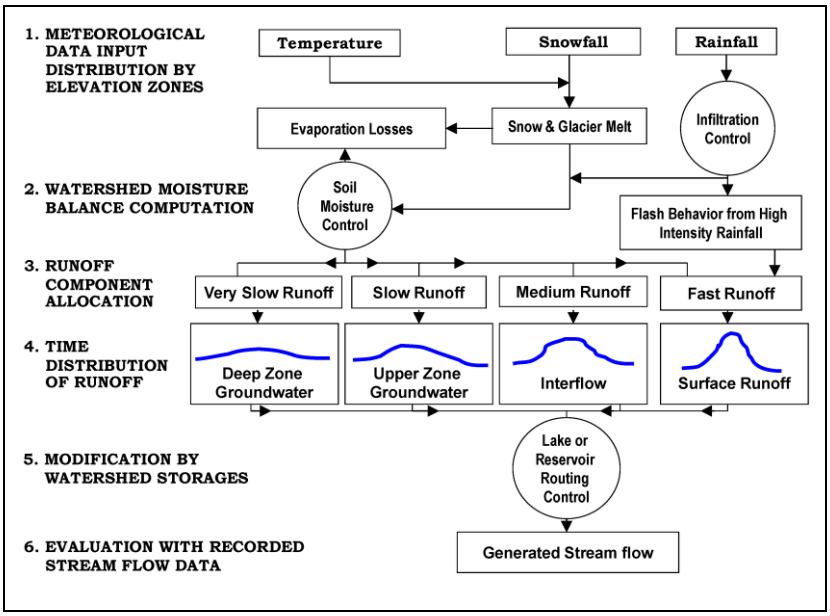


Figura 4.8. Diagrama esquemático del Modelo de Cuenca UBC. Fuente: Hasson, 2016.

[1] En hidrología, el rastreo o routing es una técnica utilizada para predecir cambios en la forma del hidrograma, a medida que el agua se mueve a través de un cauce de río y/o de un reservorio. Es ampliamente utilizado en el análisis de crecidas.

El modelo cuenta con siete componentes principales que permiten una subdivisión lógica de la modelación hidrometeorológica y del proceso de evaluación. A continuación se presentan los principales componentes y sus características.

4.1.2.1 *Sub-modelo meteorológico*

Este componente permite distribuir los datos de entrada a todas las bandas de elevación en que se divide la cuenca, siendo esta distribución altitudinal la parte más importante del proceso de modelación. Esto se debe a que el proceso controla el volumen total de humedad entrante al modelo y, además, especifica la variación de la temperatura con la altura (Quick, 1995).

Las tasas de variación de temperatura del modelo consideran dos condiciones extremas. La primera corresponde a condiciones de tormenta continua, donde la tasa de variación se aproxima al gradiente adiabático saturado. La segunda corresponde a condiciones de cielo despejado y clima seco, donde la tasa de variación se aproxima al gradiente adiabático seco. Con estos límites superior e inferior, la tasa de variación de temperatura se calcula diariamente mediante el uso del rango de temperatura diaria, que es un indicador de las condiciones climáticas. Existe la posibilidad de determinar la tasa directamente de los datos registrados de temperatura, pero esto solo es posible si los datos están disponibles en dos niveles de elevación muy diferentes (Quick, 1995).

También se utilizan parámetros para distribuir la nieve y la lluvia a las distintas elevaciones, de modo que la precipitación aumenta logarítmicamente con la elevación. Los algoritmos empleados son sub-divididos en dos elementos que permiten estimar el efecto orográfico final. El primer algoritmo describe el proceso básico de aumento de la precipitación con la elevación y el segundo modifica esta distribución básica al considerar las variaciones de temperatura (Quick, 1995).

Finalmente, este componente estima la evaporación mediante tres sub-procesos. Primero, se estima la evapotranspiración diaria potencial para la estación meteorológica de referencia. Luego, esta evaporación estimada se distribuye a cada banda (elevación media de cada una). Finalmente, los valores de cada banda son empleados en conjunto con los valores de déficit de humedad del suelo (ver Capítulo 4.1.2.2) para generar los valores de evapotranspiración real de cada banda (Quick, 1995).

4.1.2.2 *Sub-modelo de humedad del suelo*

Este componente controla las perdidas por evaporación, así como la subdivisión de la precipitación y el derretimiento nival en cuatro componentes de escorrentía (rápida, media, lenta y muy lenta), como se indica en la cuarta línea del diagrama presentado en la Figura 4.8 (*time distribution of runoff*). Estos cuatro componentes de la escorrentía total pueden ser interpretados físicamente como escorrentía superficial, escorrentía en la zona no

saturada del suelo o interflujo (*interflow*), y la escorrentía superior e inferior de aguas subterráneas (Quick, 1995).

El modelo calcula el déficit de humedad del suelo, el cual controla a su vez la subdivisión no lineal de la lluvia y el derretimiento en los diferentes componentes de la escorrentía. Se puede notar que el modelo, en vez de intentar estimar la capacidad total de humedad del suelo, opera desde la falta de humedad. De esta forma, cuando el déficit llega a cero, la cuenca alcanza su máximo potencial de escorrentía. En el caso de los eventos de precipitación intensa, cuando esta lluvia supera la tasa de infiltración del suelo se produce una escorrentía instantánea (*flash runoff*) producto del agua que no alcanza a infiltrarse (Quick, 1995). En la Figura 4.9 se presenta un esquema conceptual de este sub-modelo, donde se aprecian las variables de entrada y salida, las contribuciones a las componentes de la escorrentía y la posibilidad de establecer zonas impermeables de suelo.

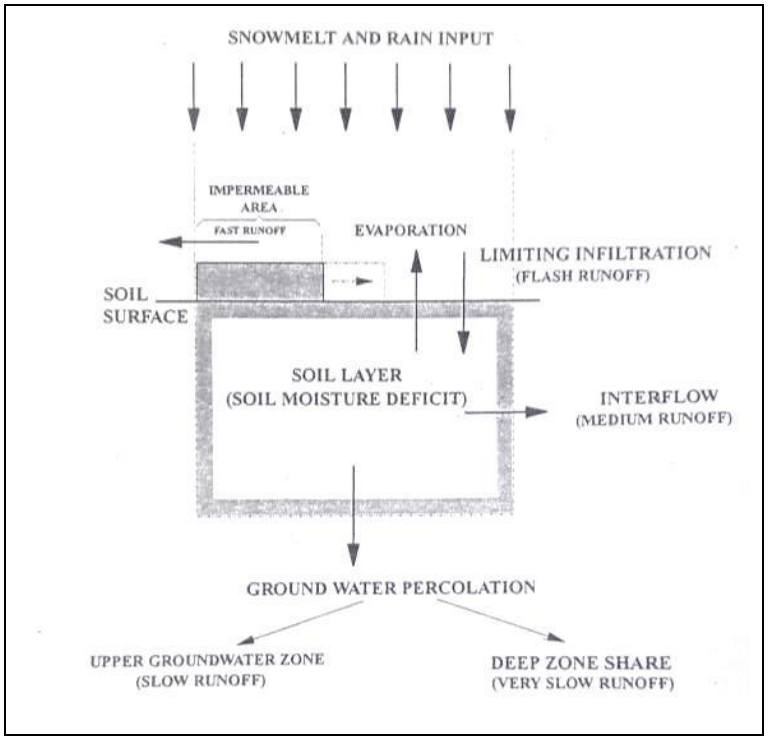


Figura 4.9. Esquema conceptual del sub-modelo de humedad del suelo. Fuente: Quick, 1995.

La tasa de percolación subterránea es controlada por un parámetro constante, de define la magnitud del flujo de agua que sufre una percolación profunda. Cualquier exceso de humedad del suelo por arriba de la tasa de percolación del agua subterránea se dirige hacia el interflujo de la escorrentía. Los parámetros restantes especifican las velocidades a las que estos diversos componentes de la escorrentía llegan al canal. El escurrimiento rápido es controlado por un hidrograma unitario, cuya forma está a su vez controlada por dos parámetros: el número de reservorios lineales y la constante de almacenamiento del reservorio. El agua subterránea y los componentes de interflujo de la escorrentía se manejan usando constantes de almacenamiento de recesión, aunque el componente de

interflujo también usa un hidrograma unitario, muy parecido al escurrimiento rápido, para distribuir la liberación diaria del flujo al sistema (Quick & Pipes, 1977).

4.1.2.3 *Sub-modelo de rastreo de cuencas*

Este componente permite determinar la distribución temporal de la escorrentía (en sus 4 componentes), debido al efecto de almacenamiento del agua en la cuenca, a medida que la escorrentía avanza por los cauces y reservorios. Para esto se pueden utilizar reservorios lineales, pues el comportamiento no lineal de las cuencas es manejado por el sub-modelo de humedad del suelo. De esta forma, el flujo rápido y medio es controlado por una cascada de reservorios lineales que, en esencia, es idéntico a realizar la convolución de hidrogramas unitarios (ver Figura 4.10). Los componentes inferiores de la escorrentía simplemente utilizan un único reservorio lineal que acumula cada día un flujo de entrada y libera un porcentaje ajustado del almacenamiento total de cada día, lo cual evita la necesidad de convolucionar la descarga final (Quick, 1995).

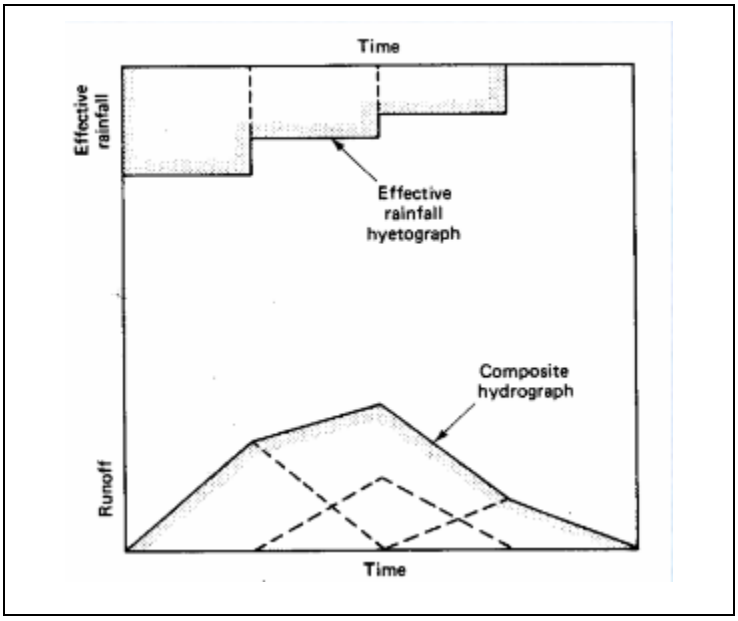


Figura 4.10. Convolución de hidrogramas. Fuente: http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/hidrologia-de-superficies-y-conservacion-de-suelos/ocw-marta-pdf/Tema12.pdf.

En general, las constantes de tiempo empleadas para la distribución temporal de la escorrentía son del orden de un día o menos para el componente superficial (*fast runoff*), de 5 a 10 días para el componente de la zona no saturada (*medium runoff*), de 30 a 50 días para el flujo en la zona superior del agua subterránea (*slow runoff*) y de 100 a 200 días para la zona inferior (*very slow runoff*) (Quick, 1995).

4.1.2.4 *Derretimiento nival*

Las tasas de fusión de nieve dependen de tres fuentes principales de energía térmica que se suman para obtener la energía total de entrada: la transferencia de calor por convección

de una masa de aire caliente, la transferencia de calor radiante neta y los cambios de calor latente asociados con la evaporación o condensación del vapor de agua. Posteriormente, la energía total puede ser dividida en energía para el derretimiento y para la evaporación, proceso que es controlado por la comparación entre la presión de vapor de la masa de aire y la presión de vapor de la nieve superficial. Adicionalmente, la temperatura mínima y el punto de rocío de referencia se pueden usar para discriminar la porción de calor radiante y latente que contribuye al proceso de derretimiento. Los términos adicionales en esta formulación del derretimiento, que representan calor radiante y calor latente, tienen poca influencia cuando las temperaturas diarias son bajas, pero pueden llegar a ser muy importantes bajo condiciones extremas de fusión de la nieve y pueden duplicar aproximadamente las velocidades de derretimiento (Quick & Pipes, 1977).

Respecto a la disponibilidad de información, en general existen datos de temperatura para estimar la transferencia de calor por convección. Por otra parte, las mediciones de radiación y presión de vapor son más escasas, especialmente en áreas montañosas remotas. En esta línea, es posible describir la contribución del aporte de energía radiante en términos del rango de temperatura diaria. A su vez, los cambios de calor latente asociados con la humedad de la masa de aire están razonablemente bien caracterizados por las temperaturas mínimas diarias, que se aproximan al punto de rocío (Quick & Pipes, 1977).

Considerando los elementos expuestos, el modelo contiene dos opciones de cálculo del derretimiento de nieve que se indican a continuación (Quick, 1995):

1. El método del balance de energía, el cual es simplificado cuando solo existe información de temperatura. En caso de contar con datos de radiación, albedo y viento, el modelo puede incorpora estas variables en esta opción de cálculo.
2. El método de grado-día, el cual es dividido en dos tipos de área para calcular el derretimiento (áreas despejadas y con bosque).

4.1.3 Sistema de Modelación de precipitación-Escorrentía (PRMS)

El sistema de modelación de precipitación-escorrentía (PRMS) es del tipo determinista y basado en procesos físicos (teóricos y basados en relaciones empíricas). Fue desarrollado para evaluar la respuesta del caudal a varias combinaciones de clima y uso del suelo, así como para simular la hidrología general de una cuenca (Markstrom *et al*., 2015; Leavesley & Stannard, 1995).

Los objetivos principales del PRMS son (Markstrom *et al*., 2015):

1. Simular procesos hidrológicos incluyendo evaporación, transpiración, escorrentía, infiltración e interflujo, según lo determinen los balances de energía y de agua en el dosel, la capa de nieve y la zona de suelo, sobre la base de información climática distribuida (temperatura, precipitación y radiación solar).
2. Simular balances hidrológicos a la escala de cuencas, para escalas temporales que varían de días a siglos.
3. Integrar el PRMS con otros modelos utilizados para el manejo de recursos naturales o con modelos de otras disciplinas científicas.
4. Proporcionar un diseño modular que permite la selección de algoritmos de procesos hidrológicos alternativos, desde la biblioteca de módulos PRMS estándar.

Desde su lanzamiento ha habido muchas aplicaciones de PRMS. Por ejemplo, se han desarrollado muchas aplicaciones para la gestión del agua y de los recursos naturales, donde se evalúa la respuesta hidrológica a los cambios en las condiciones de la cuenca. En años más recientes, el PRMS se ha utilizado para evaluar la respuesta hidrológica al cambio climático, la interacción entre agua superficial y subterránea, la interacción del clima y la atmósfera con la superficie del agua, entre otras aplicaciones. Este modelo considera cinco tipos de unidades espaciales: el dominio del modelo, segmentos de cauce, HRU's (unidades de respuesta hidrológica), lagos y subcuencas. El dominio del modelo corresponde al área geográfica total que será simulada, mientras que las otras unidades espaciales representan elementos pertenecientes al dominio (Markstrom *et al*., 2015). La Figura 4.11 muestra un ejemplo de la configuración de 10 HRU's con 4 segmentos de río.

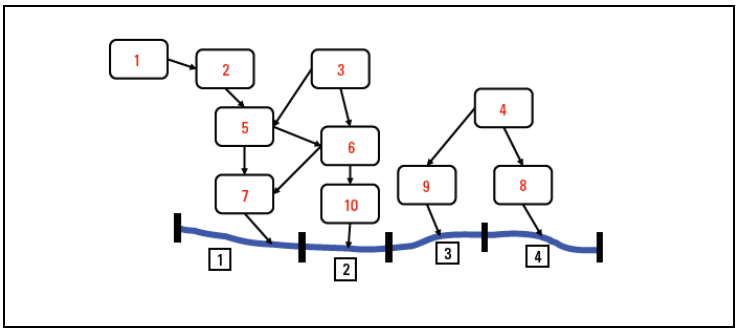


Figura 4.11. Ejemplo de la conexión de HRU's (numerados del 1 al 10) con segmentos de río (numerados del 1 al 4). Fuente: Markstrom *et al*., 2015.

Las Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU, por sus siglas en inglés) permiten distribuir espacialmente parámetros tales como la elevación, pendiente y aspecto, tipo de vegetación y tipo de suelo. Adicionalmente, las HRU permiten distribuir las variables climáticas, forzantes del modelo, por ejemplo, la precipitación y la temperatura. Cada HRU se asume como un sistema homogéneo, con respecto a estas características hidrológicas y físicas, y a su respuesta hidrológica (Markstrom *et al*., 2015).

Los segmentos de cauce representan la característica geográfica más pequeña que ocurre en una cuenca hidrográfica y permiten la simulación del flujo canalizado. Este flujo puede ser efímero, intermitente o continuo. En estos segmentos se calculan flujos laterales, así como la entrada y salida de flujo en cada segmento. Además, los usuarios pueden especificar el flujo en cualquier segmento del cauce (Markstrom *et al*., 2015).

Un lago es un tipo especial de HRU, el cual que se simula con diferentes algoritmos que son aplicables a las propiedades hidrológicas de los lagos. Las HRU del lago generalmente se delinean en función de su extensión geográfica (área), considerando el nivel máximo de las aguas. En general, es posible simular las masas de agua como HRU de tipo lago, o bien como almacenamiento de depresión superficial dentro de HRU de tipo terrestre. La forma en que un cuerpo de agua debe ser simulado dependerá de su tamaño y, más importante aún, del efecto que tiene el cuerpo de agua en la respuesta hidrológica de la cuenca (Markstrom *et al*., 2015).

Una subcuenca puede ser identificada como un área del dominio del modelo que contribuye al escurrimiento en un punto específico (por ejemplo, en una estación fluviométrica). Las sub cuencas se definen como conjuntos de HRU y, por lo general, se utilizan para la contabilidad del flujo en una parte de una cuenca o dominio del modelo (Markstrom *et al*., 2015).

En la Figura 4.12 y Figura 4.13 se presentan el esquema conceptual general y específico (de la zona del suelo), respectivamente, de los procesos hidrológicos simulados por el PRMS.

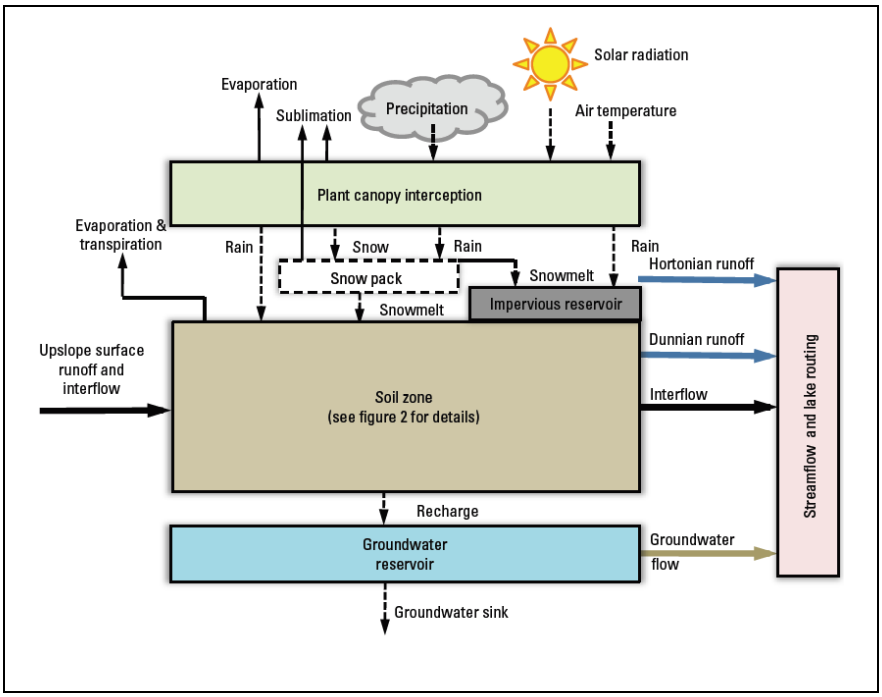


Figura 4.12. Esquema conceptual de los procesos hidrológicos que simula el PRMS. Fuente: Markstrom *et al.*, 2015.

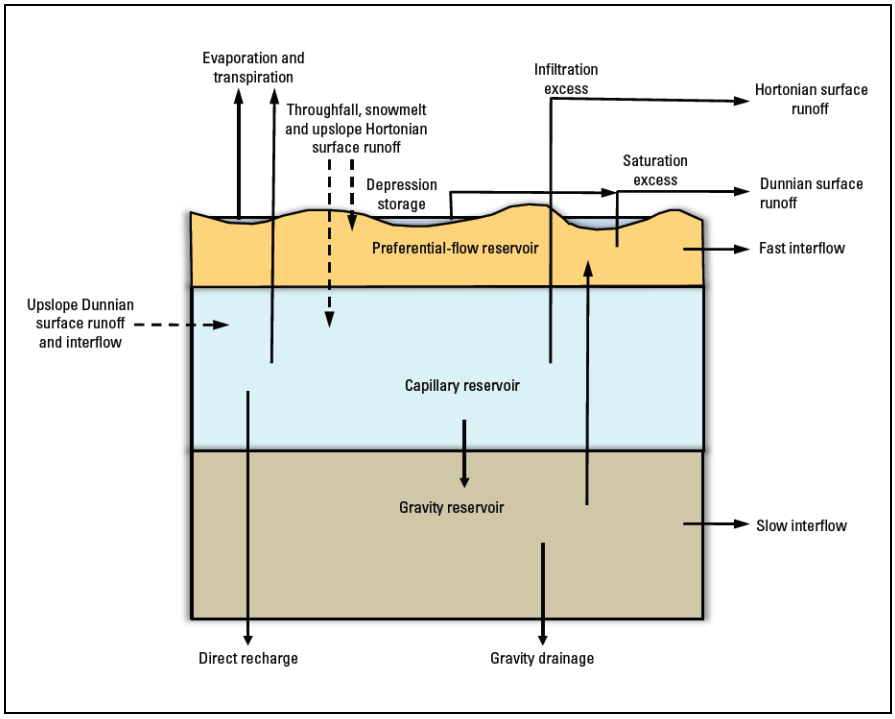


Figura 4.13. Esquema conceptual de los procesos hidrológicos que simula el PRMS en la zona del suelo (*soil zone*). Fuente: Markstrom *et al.*, 2015.

El PRMS representa el contenido de agua de la zona del suelo como un sistema conceptual de tres reservorios (ver Figura 4.13). El uso del término "reservorio" se refiere al mecanismo conceptual de almacenamiento de agua y no a un estanque o lago físico utilizado para el

almacenamiento y la regulación del agua. Estos reservorios conceptuales de la zona del suelo son los reservorios de flujo preferencial, capilar y de gravedad, y son coincidentes en el espacio físico. Gran parte de la capacidad y limitación del PRMS para simular el flujo de agua se asocia a la forma en que el agua se mueve en la zona del suelo y como está almacenada (Markstrom *et al*., 2015).

El reservorio de flujo preferencial representa el contenido de agua que supera el umbral de la capacidad de campo del suelo. El reservorio capilar representa el contenido de agua del suelo entre los umbrales de marchitez y capacidad de campo. El contenido de agua del suelo sobre el umbral de capacidad de campo también se puede distribuir al depósito de gravedad. Este reservorio tiene en cuenta el flujo lento, lateral y el drenaje hacia el reservorio de agua subterránea, desde el perfil del suelo. La capacidad de almacenamiento de un reservorio de gravedad se determina por la diferencia entre la saturación total del suelo y la capacidad de campo, menos la capacidad del depósito de flujo preferencial (Markstrom *et al*., 2015).

La simulación del ciclo hidrológico de una cuenca hidrográfica se divide en 17 procesos (divididos en 39 módulos), que representan los principales procesos hidrológicos (por ejemplo, escorrentía superficial, interflujo o flujo de aguas subterráneas) o tareas administrativas (por ejemplo, lectura de datos de entrada o generación de informes de salida).

En la Figura 4.14 se presenta un diagrama esquemático del modelo PRMS, donde se describen las principales variables que contribuyen al balance hídrico y sus interacciones en los distintos componentes del modelo.

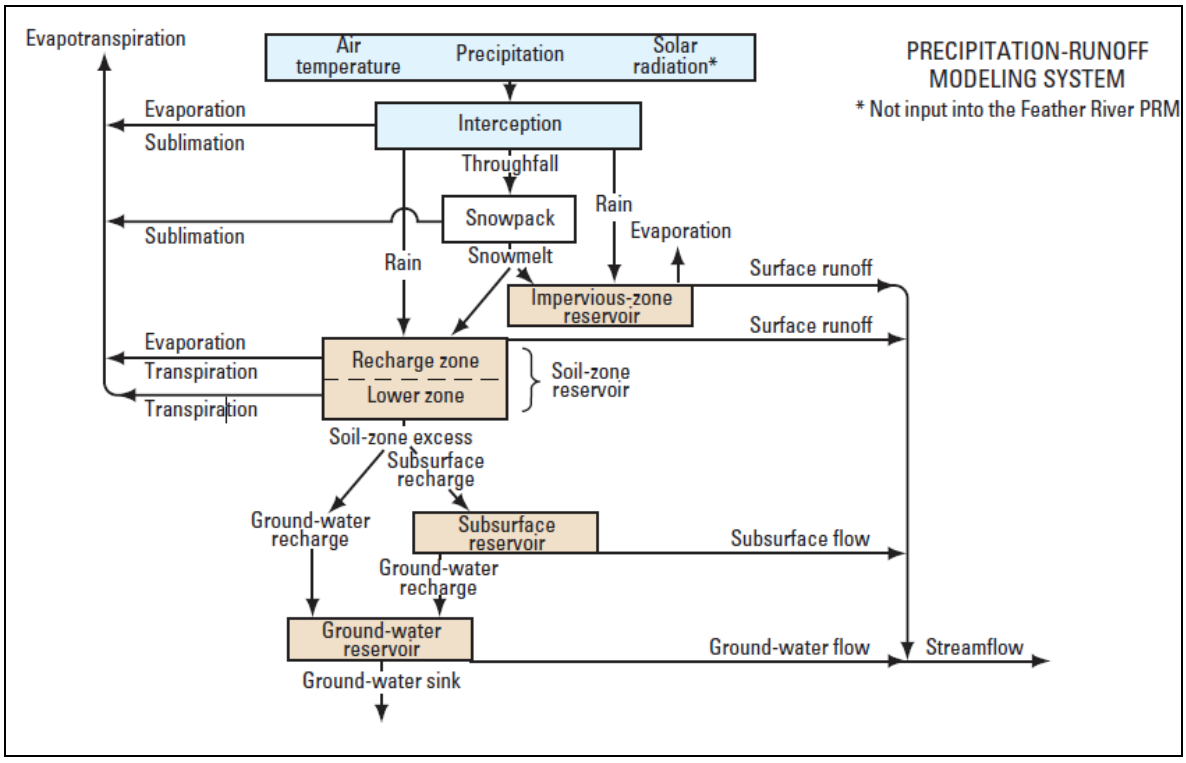


Figura 4.14. Diagrama esquemático del modelo PRMS. Fuente: Markstrom *et al*., 2015.

4.1.4 Sistema de Evaluación y Planificación del Agua (WEAP)

La plataforma WEAP (por sus siglas en inglés: *Water Evaluation and Planning System*), desarrollada por el Stockholm Environment Institute[2] sede en Boston y el Tellus Institute[3], ha sido ampliamente utilizada en Chile, para diferentes aplicaciones y zonas geográficas del país. Una de las razones principales de la elección de esta plataforma de modelación se asocia a su módulo de simulación hidrológica, el cual es adecuado para regímenes pluviales, pluvio-nivales y nivales. Adicionalmente, la última versión de WEAP incluye un módulo para el estudio de masas glaciares.

WEAP es un modelo semi-distribuido en el cual el área de la cuenca puede ser distribuida en tantas subcuencas como sea necesario de acuerdo a los objetivos del análisis, tal que todas las propiedades representadas son espacialmente homogéneas dentro de cada subcuenca. Esta ventaja permite elegir entre una distribución basada en subcuencas, HRU's y/o bandas de elevación, lo que se traduce en flexibilidad para establecer la conceptualización idónea (y diferente) para cada zona de estudio. Cualquiera sea la distribución espacial seleccionada, en cada unidad se deben considerar aspectos como: topografía, uso y cobertura del suelo, distritos agroclimáticos, línea de nieves y el número de orden de los ríos. Adicionalmente, es posible distribuir las variables meteorológicas por diversos métodos y dependiendo de la información disponible, por ejemplo, estimando gradientes de variación de la temperatura y la precipitación, cuando no se cuenta con estaciones en diferentes elevaciones de una cuenca.

Los procesos de generación de escorrentía (base conceptual o conceptualización) de WEAP son representados mediante un esquema de dos estanques (ver Figura 4.15), con evapotranspiración potencial calculada con el método de Penman-Monteith. La acumulación y derretimiento de nieves se expresan por medio de un esquema del tipo grado-día, modificado para incluir un término representativo del flujo neto de energía hacia el manto de nieve. El flujo de energía es función de la radiación neta en la superficie, la que a su vez depende del albedo de la nieve y por ende de la edad de ésta.

[2] http://www.sei-us.org/
[3] http:/www.tellus.org/

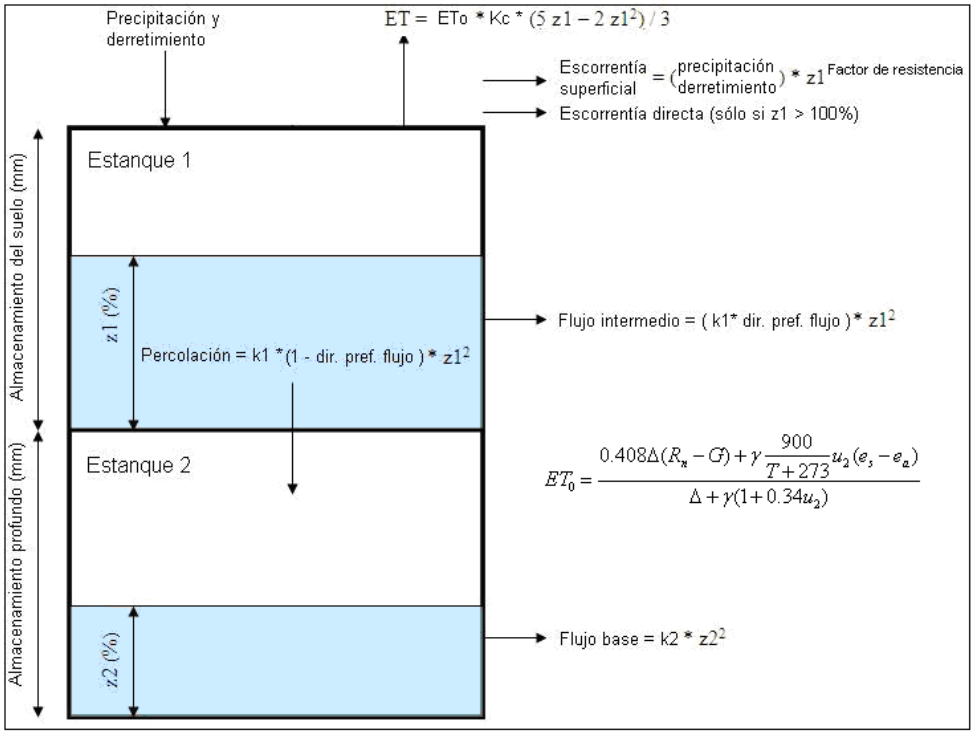


Figura 4.15. Base conceptual modelo hidrológico WEAP. Fuente: Ayala, 2011.

La Tabla 4.1 presenta los parámetros y requisitos de información en WEAP. Como se puede apreciar WEAP posee al menos 13 parámetros a calibrar o que pueden ser definidos en base a mediciones en terreno, bibliografía y/o experiencia del modelador.

Los parámetros de almacenamiento iniciales de los estanque superior e inferior (Z1 y Z2 respectivamente) son parámetros de inicialización. El modelo debe independizarse de la condición inicial, por lo que es siempre conveniente que el primer año de información sea sólo utilizado para propósitos de inicialización del sistema. Del mismo modo, para la nieve inicial conviene elegir un mes donde se valide que ésta es nula, por ejemplo, a finales del verano.

Tabla 4.1: Parámetros y variables de entrada para el modelo WEAP por tipo. Fuente: Adaptado de Ayala, 2011.

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

4.1.5 Elección del modelo hidrológico a utilizar

Respecto a los modelos hidrológicos, la revisión bibliográfica efectuada converge en que, en general, los procesos de una cuenca pueden ser representados a través de tanques de acumulación o reservorios. El número de tanques a considerar está asociado a la cantidad y calidad de los procesos hidrológicos que se requieren presentar, debiendo escogerse un límite entre la cantidad de procesos y la información disponible, de tal manera de respetar la parsimonia del proceso.

Dada la realidad de Chile, la agregación espacial del modelo debe considerar bandas de elevación y/o la variación altitudinal de las forzantes meteorológicas, especialmente en cuencas cordilleranas. Adicionalmente, es necesario contar con información de cobertura y usos del suelo, índices topográficos e información hidrometeorológica actualizada, de tal manera de establecer parámetros de control asociados a la presencia de estaciones. Es por ello que, con el levantamiento de información disponible complementado con la información levantada en terreno, se puede comenzar a elaborar el modelo hidrológico en la cuenca del Río Loa.

Dado el buen complemento entre la versatilidad de una plataforma y la existencia de un modelo hidrológico previamente implementado, se recomienda la elección del método de la humedad del suelo (representación a 2 estanques) incorporada en WEAP. Este modelo permite la calibración con diversas fuentes de monitoreo, tales como datos asociados a caudales líquidos, equivalente líquido en agua (nieve) y/o niveles de uno o varios reservorios (superficiales y subterráneos). Dispone además de una serie de nodos previamente implementados, que permiten representar embalses, centrales, plantas de tratamiento, HRU´s, demandas agrícolas, entre otros tipos de usos y demandas.

El modelo MAGIC, si bien es una herramienta DGA utilizada en los últimos años, ahora se encuentra sin soporte, y desactualizado. Además, no posee una plataforma versátil e intuitiva que ayude a generar la topología del modelo. Corre bajo un ambiente DOS en conjunto con una base de datos MS Access, lo que también lo hace poco intuitivo. Adicionalmente sólo incorporal el modelo hidrológico MPL, el cual se sabe sólo tiene como inputs precipitación y evaporación, siendo el segundo, un dato que no se mide uniformemente en todo Chile.

Otros modelos como VIC, Mike-She y TOPMODEL son altamente demandantes en términos de procesamiento computacional. En el caso de Mike-She, es un modelo distribuido cuya licencia tiene un costo elevado, pero adicionalmente, requiere de un set de parámetros distribuidos homogéneamente en la cuenca, con información que lamentablemente no está garantizada para la zona norte.

Lo mismo ocurre con TOPMODEL y VIC. Si bien éste último ha sido utilizado en la actualización del balance hídrico y que ambos no tienen costo, se ha discutido en los talleres de expertos del Balance Hídrico, que VIC no reproduce ningún gradiente hidráulico de

movimiento horizontal sobre la representación acuífera y que además corre bajo ambiente Linux, teniendo que programarse. Esto impone un esfuerzo adicional muy importante, más que sobre el equipo consultor, sobre los destinatarios de esta modelación, quiénes están interesados en evaluar distintos escenarios, modificarlos de manera intuitiva y no depender de extensos tiempos de procesamiento.

Adicionalmente, WEAP ha sido una plataforma utilizada en la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) que por un lado permite el acople con modelos de calidad de aguas, de ser necesario y que además, al igual que MAGIC, permite una representación prismática del acuífero. Existen licencias de WEAP disponibles en DOH y al menos el Departamento de Proyectos de Riego ha contado con capacitaciones de la plataforma. Actualmente, la DGA también está utilizando la plataforma para modelos hidrológicos operacionales en la cuenca del Copiapó y existen experiencias exitosas del Centro de Cambio Global sobre la cuenca del Limarí, lo que hace concluir que también es factible su aplicación a una cuenca semiárida como la del río Loa.

La comparación conceptual entre los modelos existentes y levantados en esta revisión bibliográfica puede observarse en la Tabla 4.2.

WEAP, técnicamente, es una plataforma que agrupa varios modelos hidrológicos y de planificación, entre ellos el método de la humedad del suelo de 2 estanques, MABIA y el de la FAO. Se ejecuta bajo plataforma Windows como sistema operativo, y no tiene requerimientos computacionales considerables. Corresponde a un software de uso pagado, y el costo de la licencia es de 3000 USD por 2 años de uso. Ésta licencia será proporcionada por el consultor al mandante, para que pueda utilizar el software.

Tabla 4.2. Resumen de algunas características de algunos modelos hidrológicos seleccionados

Modelo	Gratis	Flujos superficiales	Flujos subsuperficiales	Incorporación meteorología	Compatibilidad GIS	Incorpora manejo de agua	Uso de suelos	Calidad del agua	Transporte de sedimentos	Cobertura vegetal/ tipo suelos	Sistema operativo compatible
SWAT	Sí	Sí	Sí	Sí	Grass, ArcGIS	Sí	Sí	Nutrientes, bacterias, metales	Concentraciones en columna de agua	Sí	Windows
MIKE SHE	No	Sí	Sí	Sí	ArcGIS u otros	Sí	No	Sí	Transporte por difusión y advección	No	Windows
HBV	Sí	Sí	Coeficiente infiltración	Sí (T°, ETo, PP, Q)		No	No	N, P, Sólidos suspendidos	Sólidos suspendidos	No	Windows
TOPMODEL		Sí	Sí	Sí (ETo, PP, Q)		No	No	No	No	No	Windows
VIC	Sí	Sí	Sí	Sí		No	No	No	No	Sí	Linux, Unix , Windows (con emulador Unix)
WMS	No	Sí	No	PP	Sí (DEM/TIN)	No	No	CE-QUAL-2D	HEC-RAS	No	Windows
Arc Hydro Tools	No	Sí	No	No	(Herramienta de ArcGIS)	No	No	No	No	No	Windows
TANK Modelo	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	No	No	Sí	Windows
UBC	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	No	No	Sí	Windows
PRMS	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Producción de sedimentos (erosión)	Sí	Windows
WEAP	No	Sí	Sí	Sí	Grass, ArcGIS	Sí	Sí	Si (QUAL2K y modelo simplificado)	Interacción Agua-Sedimento	Sí	Windows
MAGIC	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	DOS-MS Access

4.2 Modelación de escenarios de cambio climático

4.2.1 Antecedentes generales de modelos globales de cambio climático

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático o Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) es una organización establecida por primera vez en 1988, su misión es la de entregar evaluaciones científicas comprensivas sobre los resultados de investigación de la comunidad científica, respecto del cambio climático, y resumiendo en informes técnicos de evaluación las potenciales consecuencias medioambientales y socioeconómicas de estos cambios. Junto con ello, evalúan las posibles opciones para adaptarse a esas consecuencias o mitigar los efectos asociados al cambio climático.

En este sentido, el IPCC en su informe del 2007 define el cambio climático como: "todo cambio producido en el clima a lo largo del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como resultado de la actividad humana". Este uso difiere del adoptado en la Convención Marco sobre Cambio Climático, donde por cambio climático se entiende "un cambio atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables". Así, los análisis de cambio climático no se refieren sólo a los posibles efectos producto del aumento de emisiones a la atmósfera, sino que consideran también la variabilidad normal, sin intervención antrópica. En este contexto, los nuevos escenarios de cambio climático propuestos por el IPCC, y desarrollados principalmente por el Coupled Modeling Inter Comparison Project 5 (CMIP5), no sólo miran hacia el futuro, sino que realizan un análisis de la historia pasada.

Los escenarios de cambio climático se resumen en tres grandes grupos:

• Simulaciones de décadas pasadas ("Decadal Hindcasts"): Estas simulaciones del pasado permiten testear la capacidad de los modelos globales de predecir o pronosticar los cambios en el clima, dado que sus resultados son comparables con las mediciones realizadas en las últimas décadas.

• Simulaciones de escenarios futuros utilizando escenarios de emisiones: Estas simulaciones de largo plazo consideran las Trayectorias de Concentración Representativas (RCPs, por sus siglas en inglés), lo que corresponde a considerar forzamientos debidos a distintos escenarios de emisión de gases a la atmósfera.

• Simulaciones de escenarios futuros considerando no sólo las emisiones (RCPs): En ellas, además de utilizar los escenarios de emisiones, se consideran también los cambios en la temperatura superficial del mar.

Estos modelos globales, denominados GCM, entregan resultados a escala global de modo que es preciso escalar ('downscaling') los resultados a una escala regional o local a través de un modelo atmosférico. A estos modelos se les denomina RCM por sus siglas en inglés.

Este escalamiento es posible de ser realizado por dos diferentes vías, correspondiente a los métodos dinámicos (p.ej. mediante el uso del modelo WRF) y a los métodos estadísticos. El primero de ellos corresponde a una metodología altamente costosa en términos computacionales, requiriéndose del desarrollo de una calibración del método para la regionalización de la información para cada modelo GCM. Por el contrario, el segundo se centra en el desarrollo de ajustes en base a la estadística local, permitiendo generar un ajuste adecuado de contarse con información histórica y espacial suficiente. Es por ello, que de manera similar al desarrollo realizado en el estudio "Aplicación de la metodología de actualización del balance hídrico nacional en las cuencas de las macrozonas norte y centro – S.I.T. N° 435" desarrollado por la Dirección General de Aguas (DGA, 2018), se utiliza un método estadístico. Este tipo de método permite escalar las temperaturas diurnas máximas y mínimas de los GCM seleccionados, así como también escalar la precipitación, tomando como referencia la base de datos utilizada en el proceso de calibración (DGA, 2018).

4.2.2 Análisis de escenarios de modelación atmosférica

Los escenarios se han utilizado normalmente para analizar situaciones en las que los resultados son inciertos. Cuando se desarrollan investigaciones que incorporan el clima y su incertidumbre, los escenarios de emisiones son utilizados para estimar la contribución del ser humano en el cambio climático, debido a las incertidumbres en factores como el crecimiento de la población, el desarrollo económico y el desarrollo de nuevas tecnologías. Las proyecciones y escenarios de las condiciones sociales y ambientales futuras también se utilizan como un estimador del nivel de impacto futuro. El propósito de usar escenarios no es predecir el futuro, sino explorar las implicaciones científicas y del mundo real de diferentes futuros plausibles.

Los escenarios RCPs corresponden a una última generación de escenarios que entregan información de entrada a los modelos climáticos. Estos escenarios se caracterizan por su Forzamiento Radiativo (FR) total para el año 2100 que oscila entre los 2.6 y los 8.5 W/m^2.

Para entender el concepto de FR, éste corresponde a la energía adicional absorbida por el sistema de la Tierra debido al efecto invernadero mejorado, expresado como vatios por metro cuadrado. Más precisamente, se puede definir como el balance de energía de la atmósfera, o la diferencia entre la energía que entra a la atmósfera y la cantidad que se devuelve al espacio. A medida que el forzamiento radiativo aumenta, la temperatura global aumenta.

Los nuevos escenarios de cambio climático han sido propuestos por el "Integrated Assessment Modelling Community" (IAMC), y descritos en detalle en Moss et al. (2010) y en Van Vuuren et al., (2011). Ellos corresponden a 4 escenarios RCPs, cuyo nombre se asocia al forzante radiativo que producen al año 2100: RCP 2.6 W/m^2, RCP 4.5 W/m^2, RCP 6.0 W/m^2 y RCP 8.5 W/m2 (ver Figura 4.16).

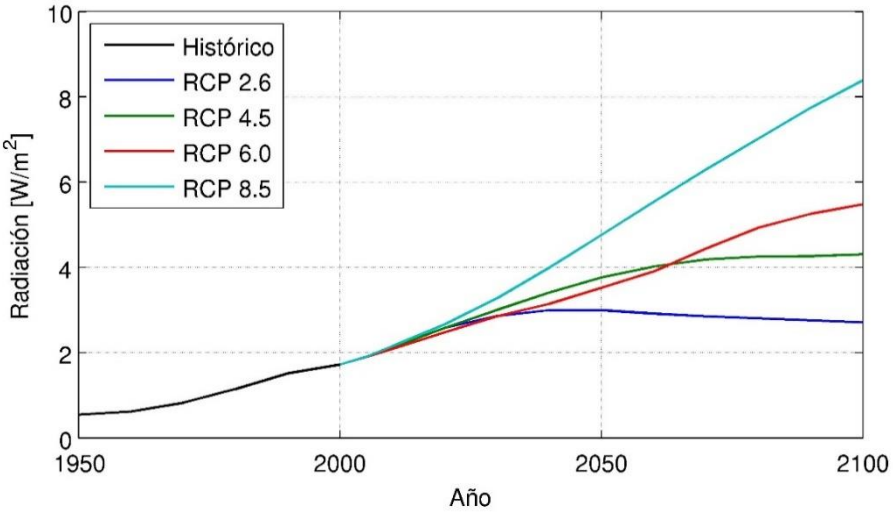


Figura 4.16. Forzante radiativa de los escenarios RCP para un periodo de 100 años.

En el caso de la configuración futura del sistema, ella debe ser determinada para comprender y evaluar los cambios a generarse en el sistema a raíz de las tendencias del cambio natural del sistema (cambio climático), junto con poder también evaluar las proyecciones de explotación y uso los recursos del sistema. Para la definición de la condición climática futura, podrá desarrollarse la hidrología futura asociada a los escenarios de cambio climático propuestos por el IPCC (2014), con lo que se podrá contar con escenarios de disponibilidad futura en el sistema. En términos de la explotación y uso futuro del recurso, se podrán evaluar múltiples configuraciones basadas en la actual explotación y las proyecciones de nuevos desarrollos productivos de la región.

En el caso del estudio desarrollado para el río Loa, la condición hidrológica futura fue desarrollada en base al desarrollo de la simulación y "downscaling" de los escenarios de cambio climático propuestos por el IPCC (2014). Los escenarios de cambio climático propuestos por IPCC corresponden a los escenarios RCP ("Representative Concentration Pathways"), los cuales describen escenarios futuros a desarrollarse bajo diferentes condiciones de emisión de gases invernadero por actividad antrópica. Esta emisión y exceso de gases en la atmósfera puede ser traducido como un aumento en el forzamiento radiativo total en la atmósfera terrestre para el período entre los años 2000 y 2100. Así, se desarrollan escenarios en el rango de "bajas emisiones", donde se considera una reducción considerable en las emisiones actuales, hasta escenarios en donde incluso se tiene un aumento de las emisiones (altas emisiones). Así, los escenarios quedan definidos por los siguientes escenarios:

- **RCP 2.6 W/m^2 :** escenario con el mínimo aumento en el forzamiento radiativo, que considera una limitación de las tasas de emisión de gases invernadero y con el peak de emisiones en año 2020, para luego decaer hasta casi cero en 2080 aproximadamente. El aumento en la absorción de

radiación en la atmósfera asociado sería de 2.6 W/m^2 (Watts ó Vatios por metro cuadrado), lo que corresponde aproximadamente a 490 ppm de CO_2 equivalente. Este escenario cuenta con una peak de 3 W/m^2 previo al 2100, tras el cual se inicia el descenso hasta alcanzar el valor representativo del escenario en ese año (van Vuuren et al., 2011; van Vuuren et al., 2007; van Vuuren et al.2006).

- **RCP 4.5 W/m^2 :** escenario intermedio con ruta hacia la estabilización en las emisiones y en la forzante radiativa en un valor de 4.5 W/m^2 (Watts ó Vatios por metro cuadrado), lo que corresponde aproximadamente a 650 ppm de CO_2 equivalente, en el año 2100 (van Vuuren et al., 2011; Clarke et al., 2007; Smith and Wigley, 2006; Wise et al., 2009).
- **RCP 6.0 W/m^2 :** escenario intermedio con ruta hacia la estabilización en las emisiones y en la forzante radiativa en un valor de 6.0 W/m^2 (Watts ó Vatios por metro cuadrado), lo que corresponde aproximadamente a 850 ppm de CO_2 equivalente, en el año 2100 (van Vuuren et al., 2011; Fujino et al., 2006; Hijioka et al., 2008).
- **RCP 8.5 W/m^2 :** escenario con el máximo aumento en el forzamiento radiativo, que no considera la reducción en las tasas de emisión de gases invernadero. El aumento en la absorción de radiación en la atmósfera asociado sería de 8.5 W/m^2 (Watts ó Vatios por metro cuadrado), correspondiente a aproximadamente 1370 ppm de CO_2 equivalente. Este escenario alcanzaría un valor representativo de 8.5 W/m^2 al año 2100 (van Vuuren et al., 2011; Riahi et al., 2007).

En términos gráficos, cada escenario puede ser representado como una serie de tiempo de diferentes variables (condiciones) como se muestra en la Figura 4.17, en donde es posible observar las tendencias de cada uno de los 4 escenarios RCP propuestos.

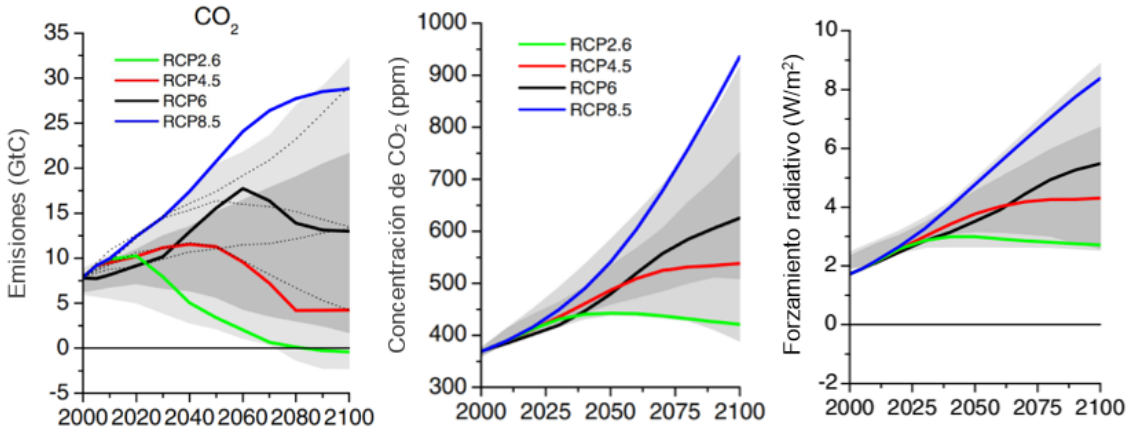


Figura 4.17 (Izquierda) Emisión global de dióxido de carbono (expresado en Giga toneladas de carbón por año) bajo 4 escenarios RCP. (Centro) Concentración de CO2 equivalente bajo 4 escenarios RCP. (Derecha) Forzamiento radiativo asociado a la concentración de CO2 para los 4 escenarios RCP (van Vuuren et al., 2011).

En cuanto a la información de cada escenario propuesto por el IPCC, diferentes entidades internacionales de investigación desarrollaron simulaciones climatológicas de escala global, las cuales utilizaron las tendencias de cada escenario en su definición. Cada una de las entidades logró así desarrollar su propio modelo climático o "Modelo general de circulación - GCM", los cuales contienen información de las diferentes variables que definen los procesos físicos existentes en la superficie terrestre y atmósfera en el tiempo, pero con una resolución gruesa y que no dará cuenta de las características locales, como lo es la orografía de territorio. Por lo anterior, y para poder generar información de carácter local de mayor resolución y la cual de cuenta de las condiciones particulares de cada sitio, es que es altamente relevante en el desarrollo de la meteorología local la implementación del proceso de "downscaling" de la información. En este proceso se genera información de mayor resolución horizontal, y cuyo resultado del proceso corresponderá a series de tiempos con las condiciones meteorológicas en los nodos de la grilla, información que dará cuenta de la meteorología local y que puede ser utilizada como base de otros análisis y procesos de estimación o simulación.

En el contexto del desarrollo y evaluación para el río Loa, considerando que la modelación de cambio climático corresponde solamente a una parte de los inputs requeridos en el desarrollo de las evaluaciones futuras del sistema, se define como estrategia el utilizar fuentes de información de modelos globales para el "downscaling" que cuenten con utilización previa en estudios a nivel nacional y con una validación[4] de su aplicabilidad a la

[4] Se entiende por validación en su aplicabilidad el hecho de presentar resultados razonables, consistentes con la literatura, y que permitieron el desarrollo completo de los estudios que los utilizan.

zona norte del país. Es por ello que se utilizan como base del análisis del cambio climático los modelos "CSIRO-MK3-6-0[5]" y "MIROC-ESM[6]", los cuales han demostrado dar respuesta regional a modos globales de variabilidad climática (ENSO y SAM); sensibilidad climática y cambios regionales (DGA, 2017b; DGA, 2018). Esta metodología difiere de lo propuesto inicialmente de considerar el modelo de escalamiento (WRF utilizando únicamente el modelo MIROC) con los escenarios RCP 2.6 y 8.5 como escenarios de bajas y altas emisiones respectivamente, ya que las proyecciones del escenario 8.5 de altas emisiones en sus primeros años, al contrastarse con lo ocurrido realmente, es bastante similar e incluso subestima en algunos casos las emisiones registradas. Se descarta de este modo el escenario RCP 2.6 y se consideran dos modelos globales, CSIRO y MIROC, para tener un abanico de proyecciones más amplio.

Ambos modelos son evaluados en el escenario RCP 8.5, esto debido a que este escenario cuenta con una trayectoria de emisiones de gases de efecto invernadero con tasas similares a las actuales, y con lo que además se logra establecer un límite superior para los efectos de cambio climático (DGA, 2018). Con ello, los escenarios de menor emisión podrán ser considerados como una respuesta en la misma tendencia que los RCP8.5, pero con una magnitud menor del cambio. Los datos de los modelos GCM utilizados como base del análisis, corresponden a la información escalada en el desarrollo del la Actualización del Balance Hídrido desarrollado por la DGA (2018), los que utilizan el método estadístico QDM- "Quantile Delta Mapping" (Cannon et al, 2016). Los resultados de la utilización de ambos modelos en la región permiten realizar una proyección de la disponibilidad hídrica futura, la cual es traducida a series de caudales futuras mediante su incorporación al Modelo Operacional desarrollado en WEAP para el sistema en estudio (sección 4.3.5).

4.3 Modelo de simulación operacional WEAP desarrollado

Un modelo hidrológico es un conjunto de algoritmos matemáticos que tienen como objetivo aproximar las interacciones entre distintos elementos del ciclo hidrológico. Cada uno de los modelos disponibles en el mercado asume distintas aproximaciones para cada uno de los procesos involucrados, así como también distintas conceptualizaciones de una cuenca.

Es por eso que la elección técnica de un modelo en particular debe tener siempre presente primero cuál es el nivel de detalle o precisión que se desea, el nivel de detalle que se puede alcanzar teniendo en cuenta la información que existe y el tiempo disponible para obtener

[5] Desarrollado por "Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization-CSIRO" en colaboración con el Queensland Climate Change Centre of Excellence, Australia.
[6] Desarrollado por "Agency for Marine-Earth Science and Technology, Atmosphere and Ocean Research Institute (University of Tokyo), y el National Institute for Environmental Studies, Japan.

los resultados. Estas líneas no siempre se comunican, por cuanto la información disponible resulta ser importante en la elección del modelo y en la cuantificación de su incerteza.

Existen varios modelos generales de cuenca o de simulación hidrológica que se utilizan en diferentes lugares del mundo, donde las componentes individuales de estos modelos varían significativamente debido a la diversidad de propósitos que sirven (Singh & Frevert, 2005).

Dada la experiencia del consultor en la zona, la herramienta WEAP ha probado ser de gran ayuda por cuanto es capaz de integrar en una misma plataforma la simulación hidrológica con la operación compleja de un sistema.

Dado el nivel de información de la zona y los alcances del estudio, se ha optado por realizar una modelación a escala mensual, basada en otras experiencias de modelación integrada en la zona. A continuación, se describen los aspectos principales sobre los cuales se ha trabajado en el modelo conceptual de la cuenca y los antecedentes más relevantes para la construcción de esta.

4.3.1 Generalidades de la Modelación Hidrológica con WEAP

El objetivo de este capítulo es presentar la construcción del modelo operacional en la plataforma WEAP, en dos fases:

- la representación del sistema natural (modelo hidrológico), y
- la representación del sistema natural intervenido (modelo operacional).

Esto conlleva a tener dos esquemas conceptuales. El esquema conceptual para representar el sistema natural de flujos superficiales involucra a las cuencas de cabecera, y a las subcuencas de aporte lateral.

El esquema conceptual para la representación del sistema natural intervenido incluye a: el acuífero, los canales de riego, demandas industriales (minería), residenciales y por cierto subterráneas.

Ambos modelos han sido desarrollados en plataforma WEAP, de manera que ambos queden bajo una plataforma común.

El período de modelamiento se ha comprendido entre los años 1981 y 2017, vale decir, desde Abril de 1981 hasta marzo de 2017 (idealmente). La escala de tiempo de modelamiento es mensual, con lo que se tienen 36 años y/o 432 períodos mensuales s de modelamiento (Considerados desde 1981).

Se consideró un año de “spin-up” o calentamiento para inicializar el modelo.

A continuación, se presenta el capítulo 4.3.2 y 4.3.3**,** los cuáles describen los insumos y consideraciones de cada uno de los modelos.

4.3.2 Modelo Hidrológico (WEAP)

4.3.2.1 *Descripción de la plataforma WEAP*

WEAP[7] es una herramienta computacional para la planificación integrada de recursos hídricos desarrollada por el Stockholm Environment Institute[8] sede en Boston y el Tellus Institute[9]. Proporciona un marco flexible y de fácil uso para la planificación del recurso hídrico y análisis de escenarios.

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

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

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

[7] http://www.weap21.org/
[8] http://www.sei-us.org/
[9] http:/www.tellus.org/

El módulo hidrológico integrado en el modelo WEAP que se utiliza en este estudio se basa en un esquema de dos estanques, capaces de reproducir distintas componentes de los flujos subterráneos y superficiales. En la Figura 4.18 se muestra un esquema gráfico del modelo.

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

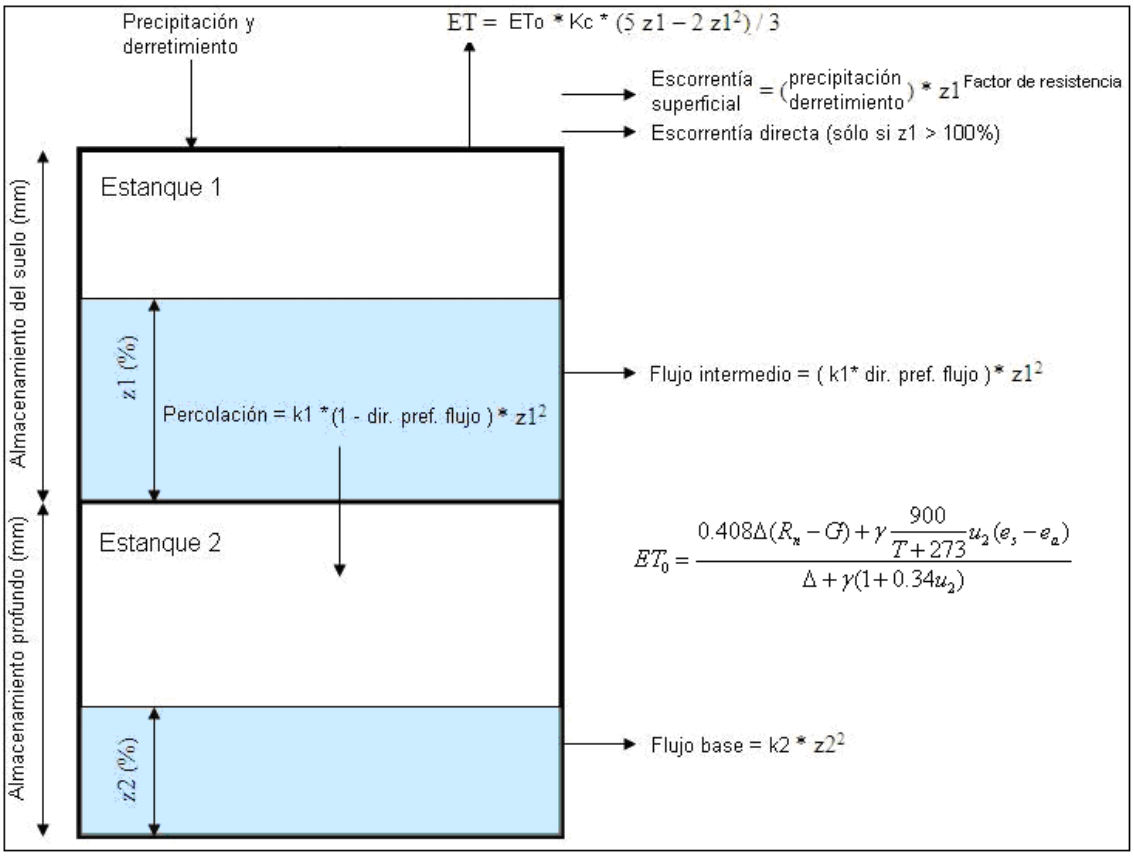


Figura 4.18: Esquema gráfico modelo WEAP. Fuente: Ayala, 2011.

Donde:
Pp: Precipitación líquida.
ET: Evapotranspiración real.
ET_0: Evapotranspiración potencial.
z_1: Porcentaje de la capacidad del estanque superior utilizada.
z_2: Porcentaje de la capacidad del estanque inferior utilizada.
K_1: Conductividad del estanque superior.

K_2: Conductividad del estanque inferior.
Dir pref flujo: Dirección preferencial de flujo. Determina la fracción de flujo vertical y horizontal.

4.3.2.1.1 Balance hidrológico en WEAP

WEAP resuelve numéricamente dos balances de masas planteados en cada estanque. Estos balances pueden ser representados mediante las siguientes ecuaciones:

$$z_{1max}\frac{dz_1}{dt} = \left[P_e(t) - ET_o k_c \frac{5z_1 - 2z_1^2}{3}\right] - P_e(t) z_1^{FR} - fK_1 Z_1^2 - K_2(1-f)Z_1^2$$

$$z_{2max}\frac{dz_2}{dt} = K_2(1-f)Z_1^2 - K_2 z_2^2$$

Donde:

P_e: Precipitación más derretimiento.

f: Dirección preferencial del flujo.

El cálculo de la evapotranspiración (ET_0) se realiza mediante el método de Penman-Monteith, detallado en la siguiente ecuación:

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

Donde:

ET_0: Evapotranspiración de referencia.

R_n: Radiación neta.

G: flujo de calor hacia o desde el suelo.

T: Temperatura media diaria.

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

e_s: Presión de saturación de vapor de agua.

e_a: Presión parcial de vapor.

Δ: Pendiente de la curva de presión parcial de vapor.

γ: Constante psicométrica.

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

Otro proceso de importancia en la simulación del proceso físico corresponde a la acumulación y derretimiento de nieve. Esto se hace mediante la utilización de dos parámetros a calibrar denominados temperatura de congelamiento (Tc) y derretimiento (Td). Teóricamente ambos corresponden a 0°C; sin embargo, debido a fenómenos que son simplificados en la modelación, Tc y Td son generalmente calibrados alrededor de -5 y 5 °C respectivamente. Sin embargo, producto de la incertidumbre sobre las temperaturas en bandas altas, estos valores pueden resultar fuera de este rango durante el proceso de calibración. En general, el valor de 0 grados se aplica a valores “instantáneos”, pero a medida que se utilizan escalas de tiempo mayores (días, semanas, meses) los valores de Tc y Td ya no representan necesariamente los valores físicos.

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

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

Donde:

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

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

A_c: Cobertura nival en unidades de longitud.

P_p: Precipitación total.

T_i: Temperatura media mensual del mes i.

WEAP es aplicable a sistemas municipales y agrícolas, subcuencas únicas o sistemas fluviales complejos, con las capacidades para abordar una amplia gama de cuestiones, por ejemplo, análisis de demanda sectorial, conservación de agua, derechos de agua y prioridades de asignación, simulación de flujo de agua subterránea y flujo, operaciones de yacimientos, generación de energía hidroeléctrica y demandas de energía, seguimiento de contaminación, requisitos del ecosistema y análisis de beneficios y costos de un proyecto. En todos estos casos, es posible incluir además múltiples escenarios de cambio climático, los cuales pueden ser contrastados con la línea base y entre sí.

4.3.2.1.2 Elemento Acuífero en WEAP

La interacción entre el río y el acuífero puede ser modelada de diferentes formas en WEAP. Producto de la complejidad del sistema y la necesidad de conectar los acuíferos de los sistemas existentes, es posible modelar el acuífero con un módulo especial, el cual permite incorporar la mayoría de la información recopilada en antecedentes relativos a espesores, anchos, volúmenes y conductividades de los acuíferos.

Este módulo representa al acuífero como un prisma, de geometría regular, que reemplaza al estanque inferior del modelo conceptual de la Figura 4.19. Este esquema tiene como función principal resolver el balance hídrico del acuífero, y su interacción con el río, pero no simula niveles. La Figura 4.19 presenta el modelo conceptual del acuífero en WEAP, el que además es simétrico respecto del eje del río.

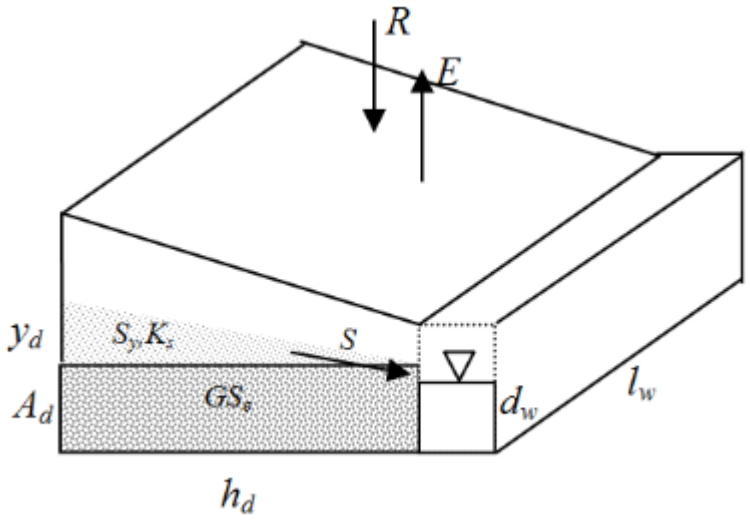


Figura 4.19: Modelo Conceptual del acuífero en WEAP. Fuente: Manual WEAP.

La Tabla 4.3 presenta el detalle de los parámetros del modelo conceptual del acuífero en WEAP.

Tabla 4.3: Parámetros de acuífero en WEAP. Fuente: Elaboración propia.

Nombre de Parámetro	Abreviación	Descripción
Almacenamiento del Acuífero	GS_e	Volumen almacenado en el acuífero, ya sea inicial o en un paso de tiempo fijo. [Mm^3]
Ancho medio del acuífero	hd	Distancia representativa entre el eje del río hacia la extensión más alejada del acuífero, es decir, su ancho máximo. [m]
Perímetro mojado	lw	Perímetro de contacto entre el acuífero y el río [m]
Profundidad de Equilibrio	Ad	Profundidad que alcanza el acuífero en su condición de equilibrio.
Altura de escurrimiento	dw	Altura de escurrimiento del río [m]. Valor usado como referencia de comparación para las simulaciones de elevación del acuífero.
Conductividad Hidráulica	K_S	Conductividad Hidráulica del acuífero. [L/T]
Porosidad Específica	Sy	Porosidad Específica (Specific Yield).

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

$$GS_e = h_d l_w A_d S_Y \qquad \textbf{Ec. 1}$$

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

$$GS(0) = GS_e + y_d h_d l_w S_Y \qquad \textbf{Ec. 2}$$

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

$$y_d = \frac{GS - GS_e}{h_d l_w S_Y} \qquad \textbf{Ec. 3}$$

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

$$S = 2\left(K_S \frac{y_d}{h_d}\right) l_w d_w \qquad \textbf{Ec. 4}$$

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

$$GS_i = GS_{i-1} + 0.5\,(R - E - S) \qquad \textbf{Ec. 5}$$

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

Para efectos del acople entre ambos modelos, y de modo de aprovechar la modelación hidrogeológica se optará por la modelación que requiere de proporcionar los flujos subterráneos al modelo. Cada SHAC será representado y asociado a una subcuenca como se verá más adelante.

4.3.2.2 *Indicadores de ajuste*

El desempeño del modelo se evaluará mediante dos criterios de eficiencia. El primero corresponde al criterio Kling-Gupta (KGE) (Gupta et al., 2009; Kling et al., 2012), donde KGE=1 representa un ajuste perfecto (Ec. 11).

También se utiliza el criterio de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) (Nash y Sutcliffe, 1970), el cual es una medida del error en las estimaciones del modelo, normalizado por la varianza de los valores observados en torno a su promedio.

Puede tomar valores desde -∞ a 1 siendo este último valor un indicador de una perfecta modelación del sistema. Usualmente, un valor mayor a 0.65 corresponde a una buena modelación (Moriasi et al., 2007). Una de las principales falencias de este criterio es la gran influencia de los valores altos, por lo que para suplir esto también se analiza el logaritmo (base 10) de las variables (NSELOG)

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

$$\beta = \frac{\mu_s}{\mu_o} \qquad \gamma = \frac{Cv_s}{Cv_o} = \frac{\sigma_s/\mu_s}{\sigma_o/\mu_o} \qquad \textbf{Ec. 11}$$

$$\mathrm{NSE} = 1 - \sum_{i=1}^{n} \frac{(Z_i^{Obs} - Z_i^{Sim})^2}{(Z_i^{Obs} - \bar{Z}^{Obs})^2} \qquad \textbf{Ec. 12}$$

Donde
KGE = Criterio de eficiencia Kling-Gupta.
r = Coeficiente de correlación entre la simulación y la observación.
β = BIAS.
γ = coeficiente de variación
μ = promedio. S significa simulación y o observación.
σ = desviación estándar. S significa simulación y o observación.
NSE = Criterio de eficiencia Nash-Sutcliffe.
En donde ZiObs y ZiSim corresponden a las variables observada y simulada en el tiempo i, respectivamente. La variable $\bar{Z}^{Obs}$ representa el promedio de los n valores observados.

Otro indicador que se utiliza en este estudio corresponde al coeficiente de bondad de ajuste o correlación (R^2), obtenido del scatterplot o nube de puntos entre los datos observados y simulados de una variable.

Dada la naturaleza de los procesos hidrológicos en la cuenca, los caudales tienden a ser valores pequeños, mientras existe también un uso intensivo del acuífero en la zona, de ahí a que es muy relevante tener presente la función objetivo de calibración NSE-Log, de manera de mejorar la representación de los flujos bajos.

4.3.2.3 *Esquema Conceptual del Sistema Natural*

La cuenca del río Loa ha sido ampliamente estudiada. Actualmente existen modelos implementados en plataforma MAGIC y MODFLOW (KP, 2014a) que han abarcado la cuenca desde su naciente en cordillera hasta la desembocadura, incorporando las demandas agrícolas mineras y productivas que posee la cuenca.

El modelo conceptual descrito en el estudio: “Análisis Integrado río Loa, Región de Antofagasta”, el cual es posteriormente utilizado en el estudio “Sectorización de los acuíferos del río Loa”, ambos realizados por Knight-Piésold (KP, 2014a, 2014b), permiten acceder a las consideraciones espaciales de la modelación, condiciones de borde, consideraciones operacionales y comportamiento meteorológico que sin duda son un aporte fundamental en la construcción de cualquier modelo en la zona.

Es por este motivo que se ha adoptado conservar el modelo conceptual de este estudio, considerando las respectivas subdivisiones por subcuencas y las mismas zonas hidrogeológicas de aprovechamiento común (SHAC´s) que reportan ambos estudios.

Los aportes superficiales del sistema natural fueron definidos en este caso mediante 11 subcuencas, las mismas que consideró el modelo de KP (2014a).

Tabla 4.4: Subcuencas consideradas en la modelación. Fuente: KP (2014a).

Subcuenca	Cod. SSC.	Subsubcuecas	Área SSC [km2]	Total Área SC
Loa Alto (bajo junta Río salado)	02100	Río Loa bajo junta Estero Chela	1.481	8131
	02101	Río Loa Entre Estero Chela y bajo junta Quebrada de Hachas	864	
	02102	Río Loa entre Quebrada de Hachas y Río San Pedro	1.518	
	02103	Río San Pedro	1.056	
	02104	Río Loa entre Río San Pedro y Río Salado	924	
	02105	Río Salado	2.288	
Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)	02110	Río Loa entre Río Salado y Río San Salvador	3.061	24408
	02111	Río San Salvador	1.804	
	02112	Río Loa entre Río San Salvador y Quebrada Amarga	12.859	
	02113	Salar de Llamara	6.684	
Loa Bajo (entre Quebrada Amarga y Desembocadura)	02120	Río Loa entre Quebrada Amarga y Desembocadura	542	542

El área total considerada asciende a 33.081 km^2. La sectorización puede apreciarse en la siguiente figura.

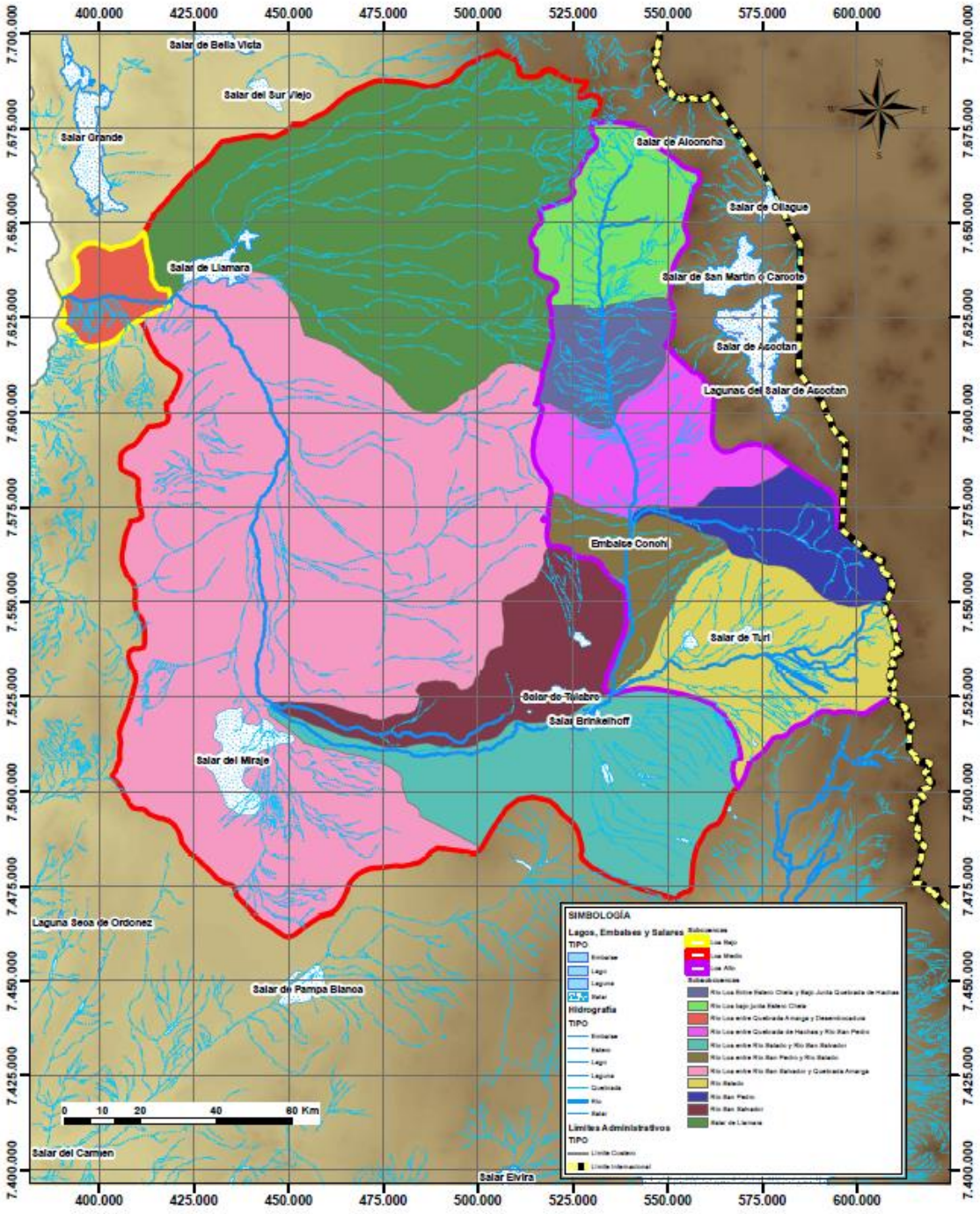


Figura 4.20. Sectorización del sistema en subcuencas. Fuente: KP (2014a).

A partir de la sectorización presentada, se muestra en la Figura 4.21 la red de drenaje asociada al estudio. Sólo se consideran los ríos principales.

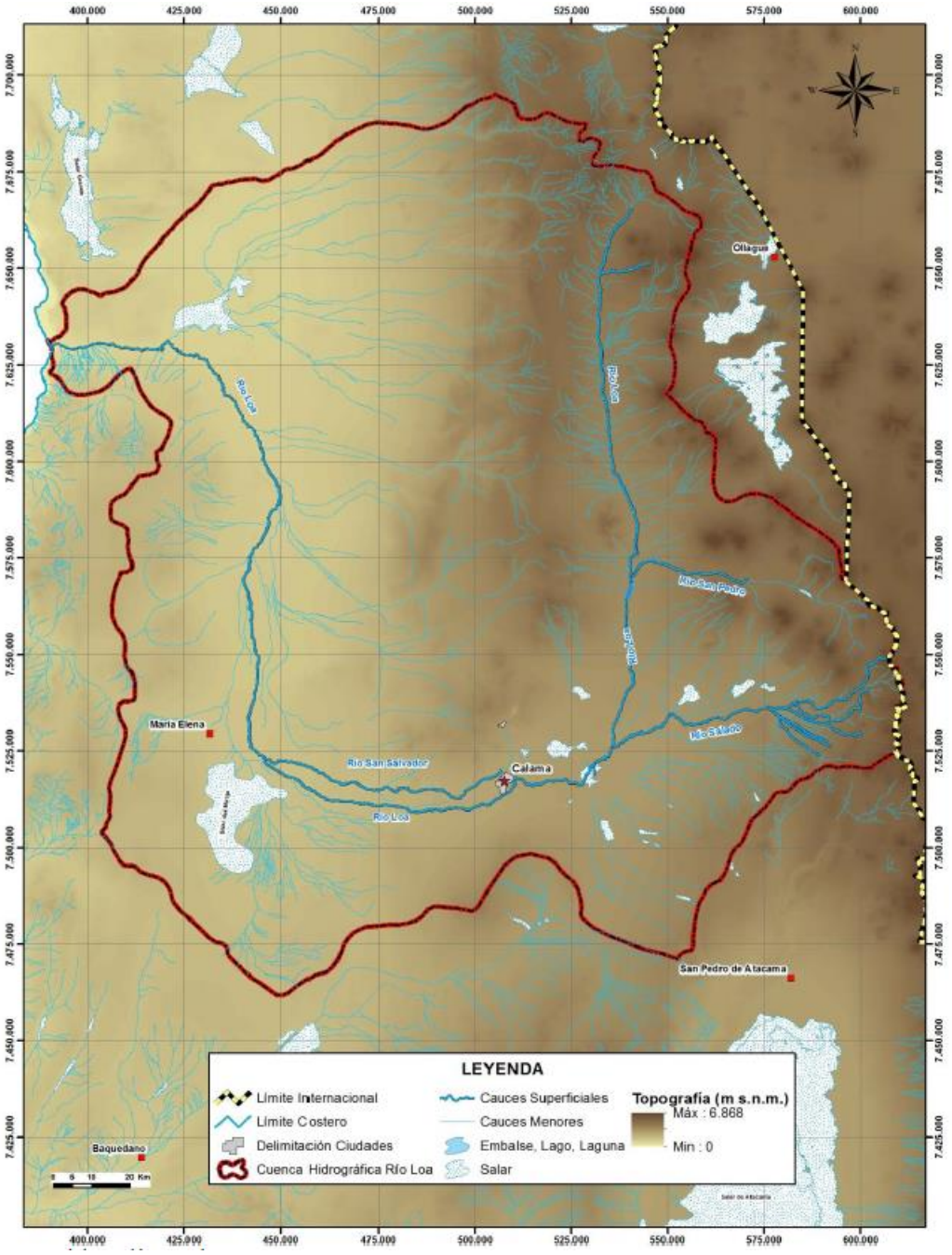


Figura 4.21. Esquema conceptual de los flujos superficiales y red de drenaje. Fuente: KP (2014b).

Adicionalmente, se consideró el acuífero delimitado con todos los SHAC´s descritos en KP (2014b), el cual se presenta en la siguiente figura.

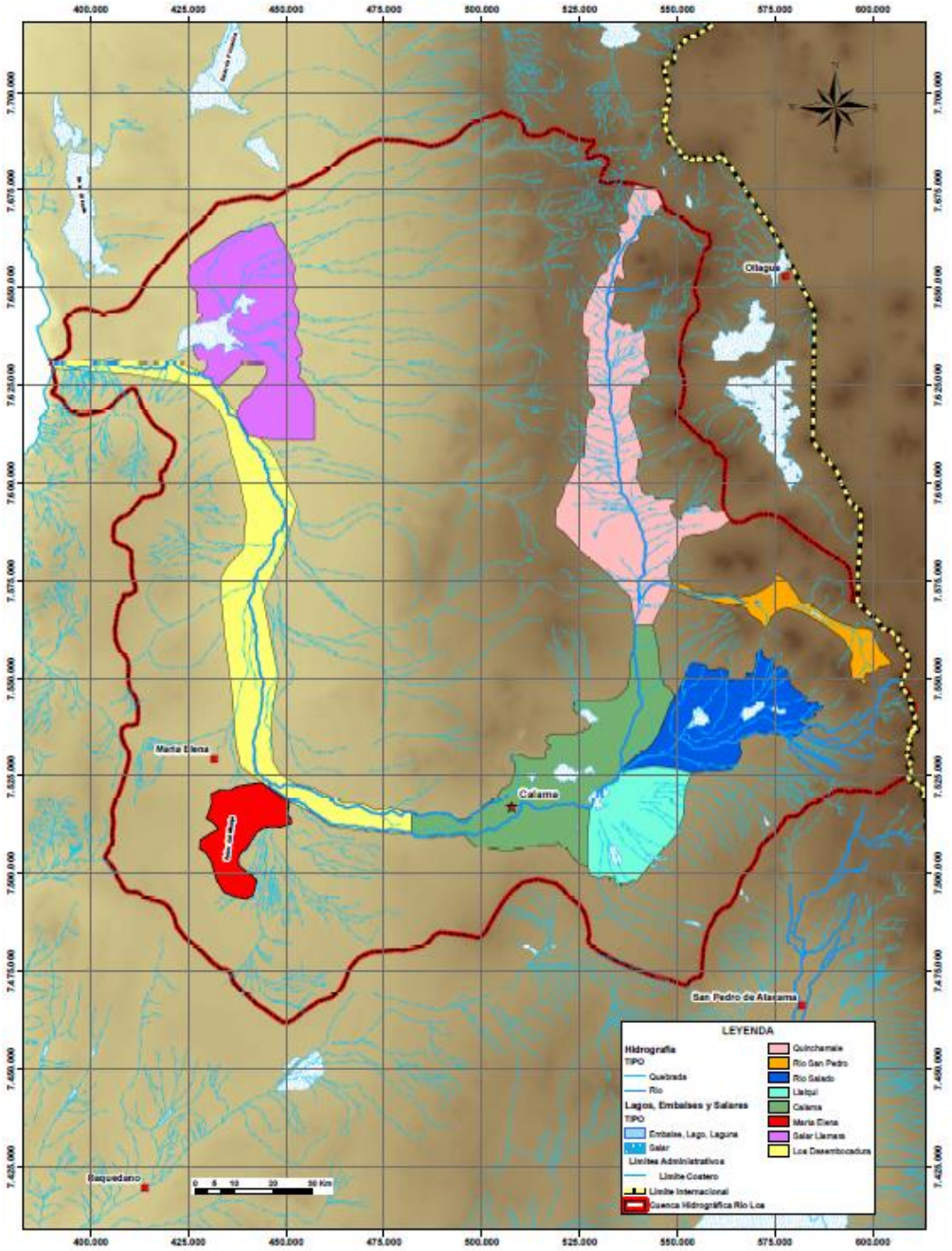


Figura 4.22. Subdivisión de la subcuenca con los límites acuíferos de los respectivos SHAC´s a considerar en el modelo numérico. Fuente: KP (2014b).

Respecto de la interacción con el sistema subterráneo, KP (2014b) realizó un reconocimiento en terreno identificando los afloramientos más relevantes a incorporar en la modelación.

Como señala KP (2014b): “Durante la visita se reconocieron 5 zonas principales de afloramientos, que hacen que las aguas de los cauces superficiales aumenten en caudal.

Estas zonas corresponden a: Sector Ojos de San Pedro, Sector Vegas de Turi, Sector Quillagua, Sector Loa D.J. Salado y Sector Río San Salvador". Las zonas de afloramiento pueden visualizarse en la siguiente figura.

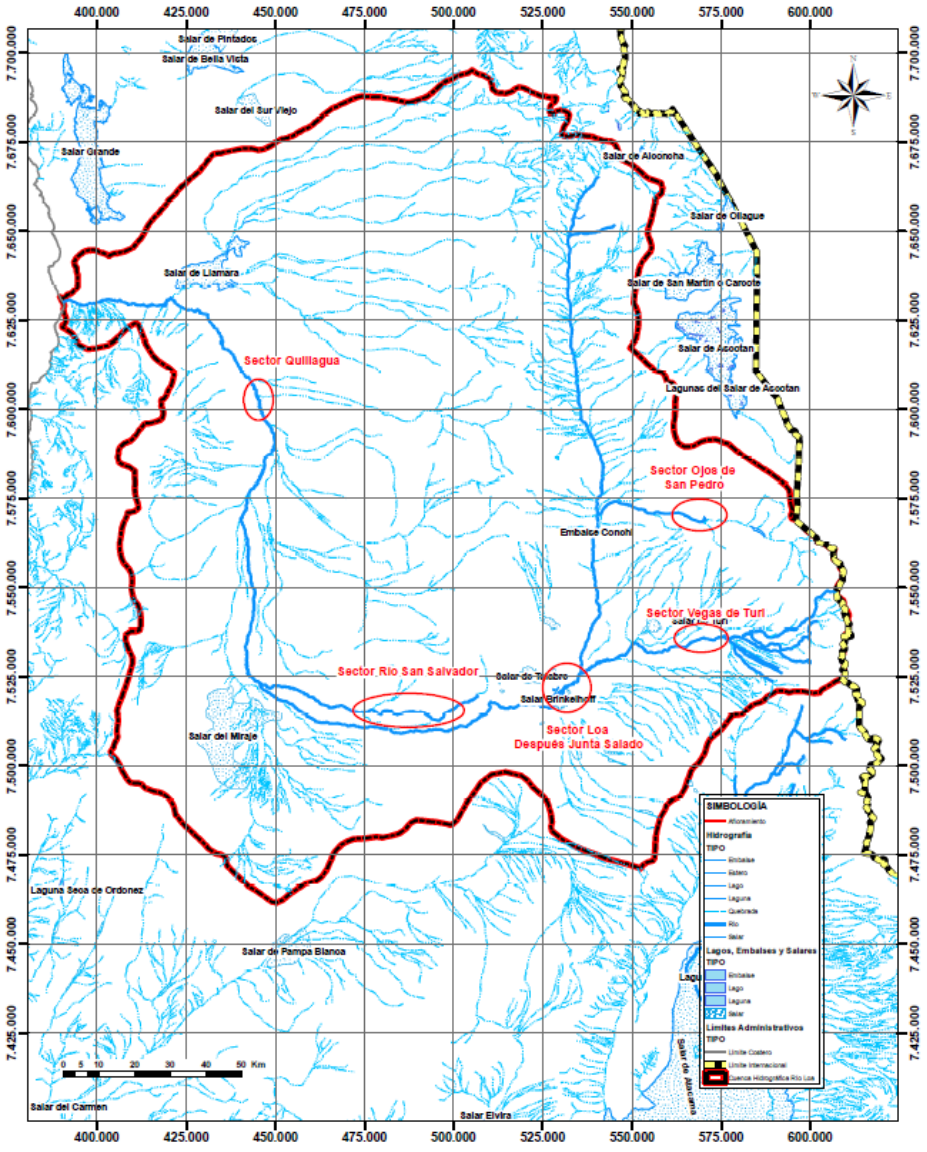


Figura 4.23: Zonas de Afloramiento identificadas en KP (2014b). Fuente: KP (2014b).

De acuerdo al mismo reporte, se señala que:

- El sector de Ojos de San Pedro posee características de salar y se encuentra ubicado en la zona media de la cuenca del río San Pedro. Actualmente no se observan afloramientos en el sector debido a la explotación del acuífero, sin embargo, el lugar es reconocido por haber sido un humedal en el cual las aguas subterráneas afloraban.

- El Sector Vegas de Turi se ubica en la cuenca del río Salado, en el cual se observan afloramientos de agua. A su vez, hacia el sur las vegas se observa el nacimiento de vertientes que contribuyen al caudal del río Salado, los cuales son originados por el afloramiento de las aguas subterráneas del sector.
- El Sector de Quillagua se ubica en la zona baja de la cuenca del río Loa. Esta zona de afloramientos se reconoce debido a que la totalidad de las aguas del cauce es captada aguas arriba del pueblo de Quillagua con fines de riego, no obstante, aguas abajo del pueblo se observa flujo en el río que sólo puede ser explicado por la presencia de una importante contribución subterránea.
- El Sector Loa D.J. Salado corresponde a la zona aguas debajo de la junta con el río Salado y aguas arriba de Loa en Angostura, donde se encuentran ubicados los salares de Rudolph y Brinkelhoff. En esta zona se producen recuperaciones de agua subterránea, las que explican la existencia de los salares y que se ven reflejadas en un aumento de caudal observable en el sector de Angostura.
- El Río San Salvador corresponde a un sector reconocido por ser formado por los afloramientos generados por el acuífero de Calama al sector poniente de la ciudad. Los valores de conductividad eléctrica y temperatura medidos en este cauce muestran que su origen es totalmente distinto al del río Loa, presentando una conductividad y temperatura bastante menores y características de las aguas subterráneas.

La incorporación de dichos afloramientos se hizo a través de nodos específicos en el modelo, y no a lo largo de un tramo de río, lo que además sugiere que dichos afloramientos se producen por singularidades geológicas en el basamento.

A partir de la definición de subcuencas y las relaciones establecidas en las figuras anteriores se crea el modelo de aguas superficiales en la plataforma WEAP, el cual se presenta en la Figura 4.24.

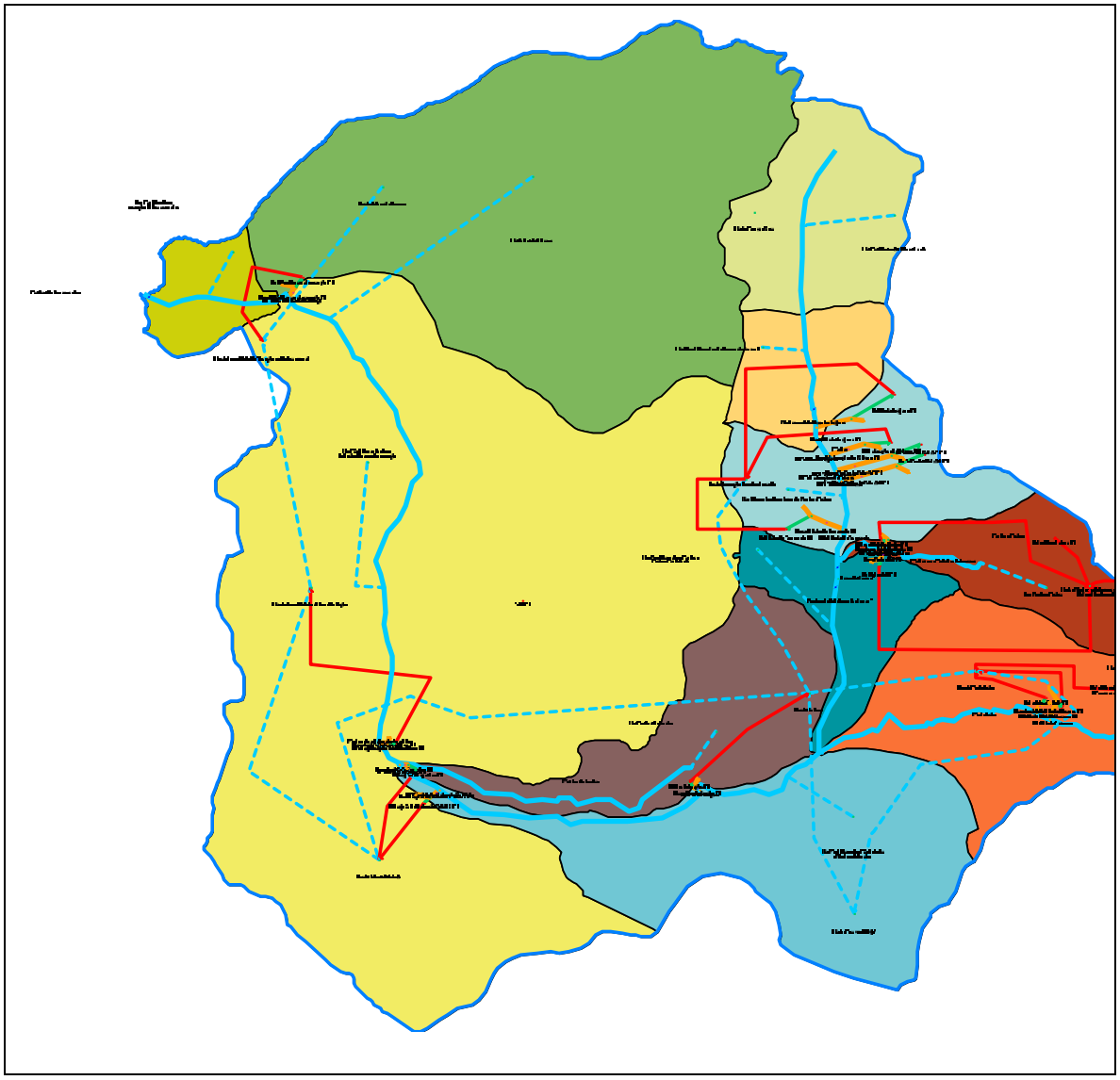


Figura 4.24: Modelo conceptual de los flujos superficiales en la plataforma WEAP, en base a la sectorización planteada. Fuente: Elaboración propia.

Para una mejor visualización del modelo hidrológico planteado se entrega un archivo “kml” para su visualización en Google Earth. En dicho archivo es factible ver la calidad de la representación de los elementos del modelo y su correlación espacial.

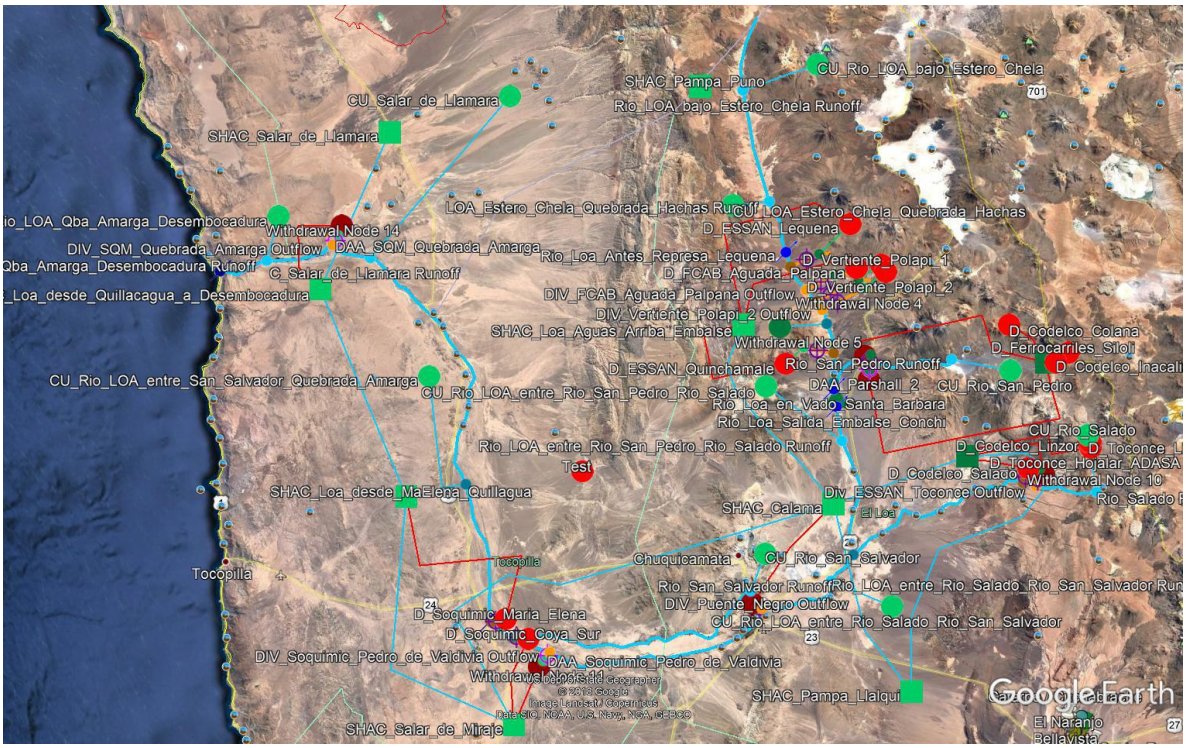


Figura 4.25: Representación del modelo conceptual de la cuenca visualizado en Google Earth. Fuente: Elaboración Propia.

4.3.2.4 *Forzantes y características naturales para la representación del sistema natural*

En este capítulo se presenta un resumen de las forzantes naturales consideradas para la representación natural como también la hipsometría adoptada para la caracterización de cada subcuenca considerada.

Las forzantes básicas requeridas para la construcción del modelamiento hidrológico son tres:

- fluviometría,
- hipsometría,
- meteorología.

La fluviometría define las subcuencas que debe considerar el modelo, por cuanto se tiene registro o control de caudal en esos sectores.

La hipsometría define las propiedades de cada una de las bandas de elevación a adoptar, para cada una de las subcuencas a modelar. Por lo tanto, es el segundo ítem relevante, pues define el número de “catchments” o nodos de generación de escorrentía que tendrá el modelo. Cada uno de estos “catchments” posee un modelo conceptual de 2 estanques, descrito en el acápite 4.3.2.1. La fluviometría define entonces las subcuencas que debe

considerar el modelo, por cuanto se tiene registro del caudal pasante, principalmente para el proceso de calibración y esto se “intersecta” con la hipsometría a adoptar.

Al procesar la información meteorológica (precipitación, temperatura, viento y humedad relativa), cada variable deberá estar representada en cada uno de estos “catchments”, asociados a cada banda de elevación. Previo a lo anterior, se detallará la metodología de extensión de la estadística, con el fin de independizar al periodo de interés de sus condiciones iniciales.

La hidrogeología proporciona parámetros de partida para conductividades y tamaños aproximados de los acuíferos. Estos antecedentes permiten completar los parámetros necesarios para definir el modelo conceptual del acuífero en WEAP. La siguiente figura resume la metodología adoptada.

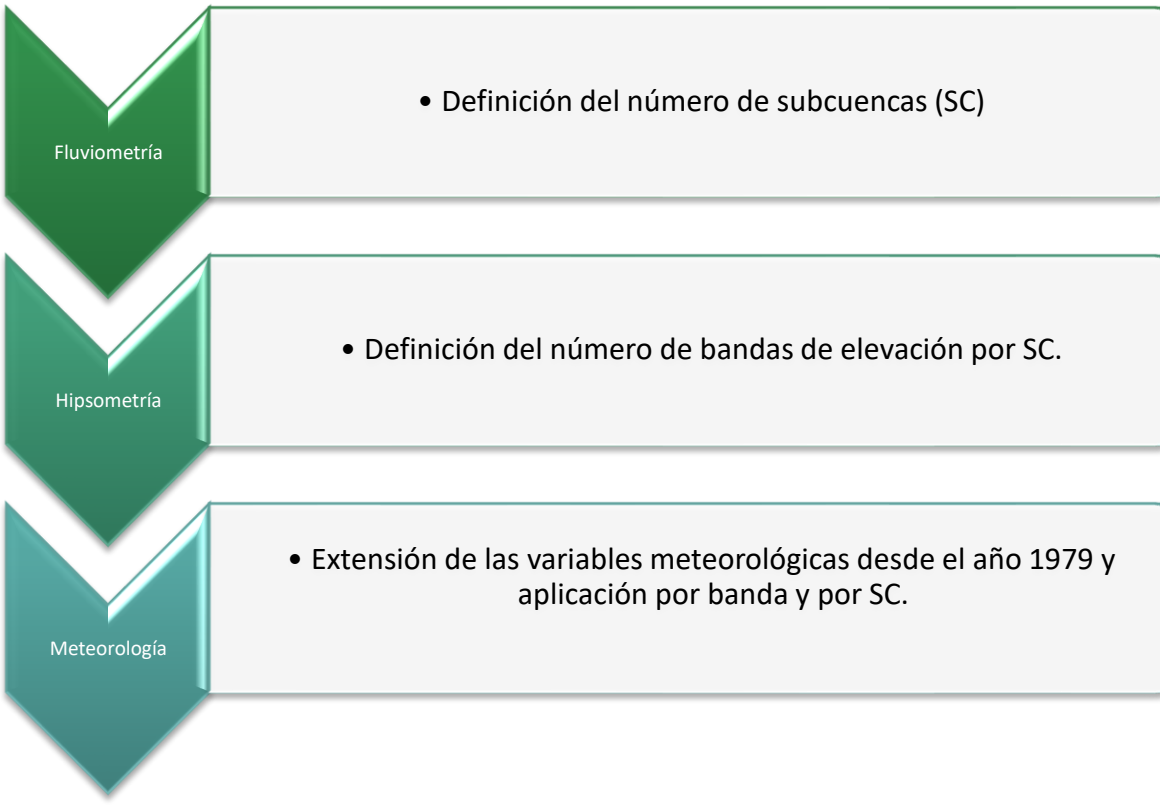
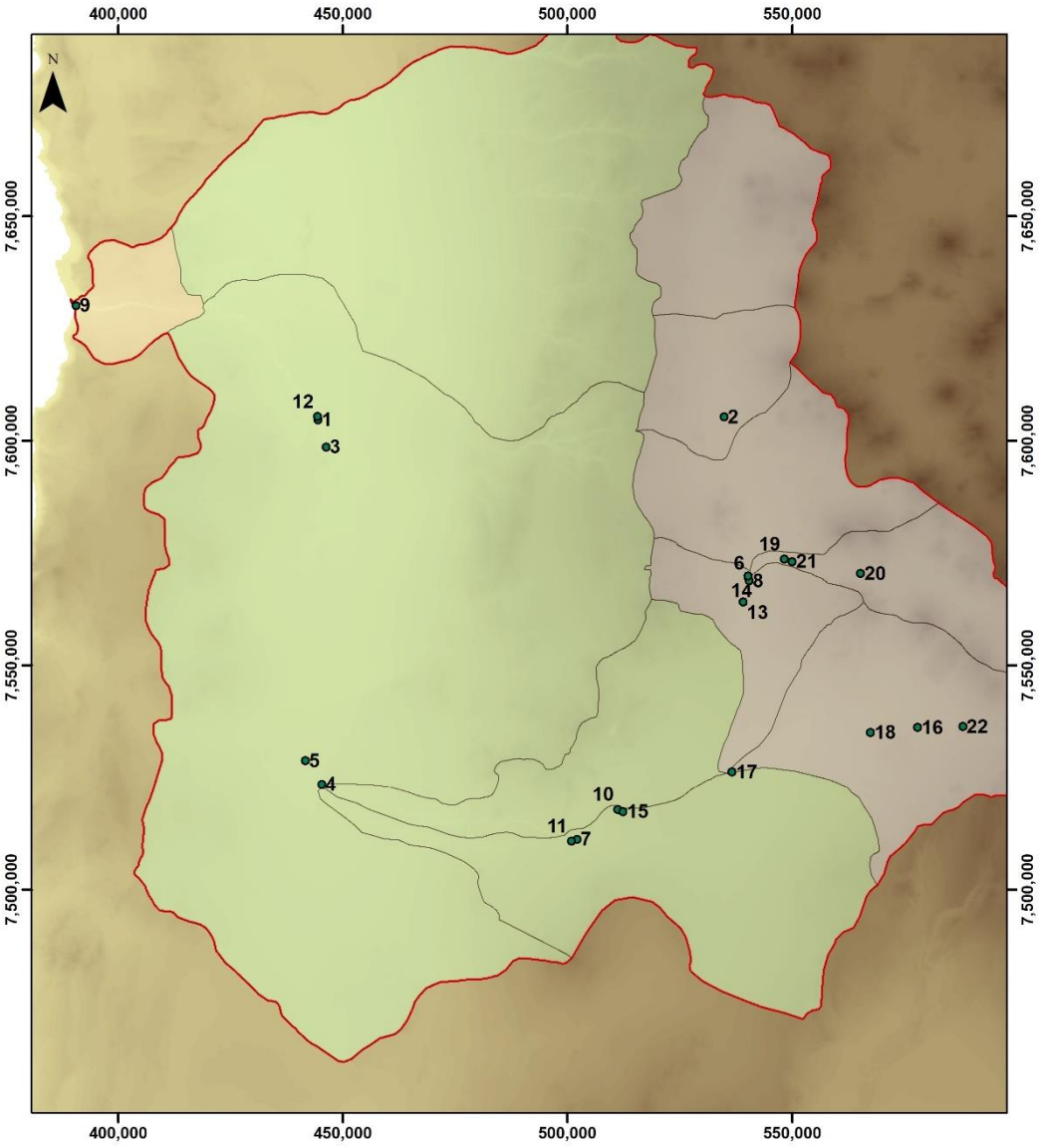


Figura 4.26: Esquema metodológico para la construcción de las variables del modelo conceptual en WEAP.
Fuente: Elaboración Propia.

4.3.2.4.1 Fluviometría

La información fluviométrica empleada corresponde a la información indicada por DGA (2014), según el detalle indicado en la Tabla 3-4.1.

Las estaciones empleadas y su ubicación espacial se presentan en la Tabla 4.5 y en la Figura 4.28, respectivamente. Se distingue que el análisis involucra a 22 estaciones fluviométricas, las que se encuentran a diferentes elevaciones, siendo la más elevada, la estación Río San Pedro en Parshall Nº2 (BT CHILEX) a 3318 m.s.n.m., mientras que la de menor elevación corresponde a la estación Río Loa en Desembocadura a 0 m.s.n.m.



ID	Nombre	ID	Nombre
1	Canal Quillagua en Quillagua	12	Rio Loa en Quillagua
2	Rio Loa antes Represa Lequena	13	Rio Loa en Salida Embalse Conchi
3	Rio Loa antes Zona Agricola Quillagua	14	Rio Loa en Vado Santa Barbara (DOH)
4	Rio Loa D. J. San Salvador (Chacance)	15	Rio Loa en Yalquincha
5	Rio Loa D. J. San Salvador-(M. Elena)	16	Rio Salado A. J. Curti
6	Rio Loa en Alcantarilla Conchi N°2	17	Rio Salado A. J. Loa
7	Rio Loa en Chintoraste	18	Rio Salado en Sifon Ayquina
8	Rio Loa en Conchi	19	Rio San Pedro en Camino Internacional
9	Rio Loa en Desembocadura	20	Rio San Pedro en Parshall N°1
10	Rio Loa en Escorial	21	Rio San Pedro en Parshall N°2
11	Rio Loa en Finca	22	Rio Toconce antes Represa Sendos

Figura 4.27. Estaciones fluviométricas analizadas. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.5: Estaciones fluviométricas empleadas. Coordenadas UTM (Datum WGS84, Huso 19 Sur) y altitud. Fuente: Elaboración propia en base a DGA, 2019.

ID	Estación	Código DGA	Este [m]	Norte [m]	Elevación [m.s.n.m.]
1	Canal Quillagua en Quillagua	2112002-2	444473	7604611	910
2	Río Loa antes Represa Lequena	2101001-4	534949	7605229	3315
3	Río Loa antes Zona Agrícola Quillagua	2112005-7	446354	7598565	950
4	Río Loa D J San Salvador (Chacance)	2112006-5	445344	7523365	1238
5	Río Loa D J San Salvador-(M Elena)	2112007-3	441738	7528698	124
6	Río Loa en Alcantarilla Conchi Nº2	2104003-7	540331	7569426	2932
7	Río Loa en Chintoraste	2110003-k	502227	7511174	22
8	Río Loa en Conchi	2104001-0	540485	7568732	301
9	Río Loa en Desembocadura	2120001-8	390619	7630039	0
10	Río Loa en Escorial	2110001-3	511256	7517865	245
11	Río Loa en Finca	2110004-8	500936	7510768	21
12	Río Loa en Quillagua	2112001-4	44443	7605359	802
13	Río Loa en Salida Embalse Conchi	2104002-9	539131	7564050	295
14	Río Loa en Vado Santa Bárbara (DOH)	2104013-4	540243	7569856	295
15	Río Loa en Yalquincha	2110002-1	512399	7517311	23
16	Río Salado A J Curti	2105001-6	578009	7536077	308
17	Río Salado A J Loa	2105005-9	53667	7526151	25
18	Río Salado en Sifón Ayquina	2105002-4	567487	7534983	298
19	Río San Pedro en Camino Internacional	2103003-1	548285	7573604	332
20	Río San Pedro en Parshall Nº1	2103001-5	565242	7570373	37
21	Río San Pedro en Parshall Nº2 (BT CHILEX)	2103002-3	550047	7573027	3318
22	Río Toconce antes Represa Sendos	2105007-5	588046	7536321	3245

El periodo de registro total involucra desde el año 1916 hasta el año 2017. Los caudales medios mensuales se resumen en la Tabla 4.6, en la que se distinguen valores máximos durante el mes de febrero producto de la influencia del invierno altiplánico, mientras que un conjunto de estaciones también posee un máximo durante el período junio-agosto producto de la presencia del Anticiclón del Pacífico. En las figuras siguientes se muestra la variación de estos caudales, en particular la estacionalidad del año promedio.

Tabla 4.6: Caudales medios mensuales, y caudales según período hidrológico, en [m3/s]. Fuente: Elaboración propia en base a DGA, 2019.

ID	Estación	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR-SEP	OCT-MAR	ANUAL
1	Canal Quillagua en Quillagua	0.19	0.23	0.24	0.22	0.23	0.24	0.24	0.21	0.18	0.17	0.16	0.17	0.23	0.19	0.21
2	Río Loa antes Represa Lequena	0.52	0.54	0.56	0.56	0.57	0.59	0.58	0.50	0.47	0.61	0.83	0.58	0.56	0.59	0.58
3	Río Loa antes Zona Agrícola Quillagua	0.17	0.27	0.54	0.73	0.67	0.55	0.37	0.38	0.29	0.29	0.74	0.24	0.49	0.39	0.44
4	Río Loa D J San Salvador (Chacance)	2.83	2.76	3.21	3.41	3.02	2.34	1.93	1.64	1.73	2.07	4.37	3.12	2.93	2.48	2.70
5	Río Loa D J San Salvador-(M Elena)	0.42	0.55	0.72	0.84	0.82	0.65	0.44	0.35	0.28	0.30	0.57	0.50	0.67	0.41	0.54
6	Río Loa en Alcantarilla Conchi Nº2	0.79	0.77	0.76	0.78	0.75	0.73	0.68	0.66	0.69	0.88	0.93	0.81	0.76	0.78	0.77
7	Río Loa en Chintoraste	0.82	1.39	2.25	2.10	1.63	0.95	0.66	0.56	0.50	0.67	0.77	0.92	1.52	0.68	1.10
8	Río Loa en Conchi	1.99	1.99	2.05	2.09	2.01	2.05	1.99	1.97	2.03	2.29	2.25	2.11	2.03	2.11	2.07
9	Río Loa en Desembocadura	0.15	0.18	0.29	0.41	0.48	0.44	0.31	0.17	0.12	0.12	0.47	0.19	0.33	0.23	0.28
10	Río Loa en Escorial	1.48	1.67	1.71	1.89	1.88	1.86	1.68	1.62	1.47	1.79	4.10	2.03	1.75	2.11	1.93
11	Río Loa en Finca	0.48	0.60	0.84	0.90	0.82	0.51	0.37	0.30	0.29	0.55	1.06	1.22	0.69	0.63	0.66
12	Río Loa en Quillagua	0.94	1.33	1.75	2.00	1.84	1.45	1.09	0.87	0.86	1.00	1.74	1.43	1.55	1.17	1.36
13	Río Loa en Salida Embalse Conchi	0.58	0.40	0.35	0.41	0.40	0.42	0.69	0.91	1.06	1.24	1.46	0.88	0.43	1.04	0.73
14	Río Loa en Vado Santa Bárbara (DOH)	0.62	0.57	0.58	0.65	0.62	0.52	0.50	0.50	0.47	0.49	1.73	1.05	0.59	0.79	0.69
15	Río Loa en Yalquincha	2.09	2.05	2.16	2.39	2.23	2.04	1.97	1.93	1.92	2.20	2.63	2.30	2.16	2.16	2.16
16	Río Salado A J Curti	0.26	0.61	0.67	0.63	0.61	0.56	0.16	0.10	0.11	0.45	1.08	0.57	0.56	0.41	0.48
17	Río Salado A J Loa	2.37	2.47	2.56	2.46	2.57	2.26	2.35	2.13	2.35	2.79	3.33	2.76	2.45	2.62	2.53
18	Río Salado en Sifón Ayquina	0.46	0.49	0.48	0.47	0.45	0.42	0.38	0.35	0.35	0.71	1.10	0.69	0.46	0.59	0.53
19	Río San Pedro en Camino Internacional	0.06	0.08	0.06	0.08	0.06	0.06	0.07	0.05	0.06	0.05	0.04	0.05	0.07	0.05	0.06
20	Río San Pedro en Parshall Nº1	1.07	1.07	1.05	1.02	1.01	1.03	1.06	1.09	1.05	1.05	1.05	1.06	1.04	1.06	1.05
21	Río San Pedro en Parshall Nº2 (BTCHILEX)	0.99	0.96	0.95	0.93	0.95	0.96	0.97	0.99	0.98	0.97	0.97	0.99	0.96	0.98	0.97
22	Río Toconce antes Represa Sendos	0.42	0.41	0.42	0.44	0.42	0.40	0.47	0.55	0.40	0.49	0.50	0.43	0.42	0.47	0.45

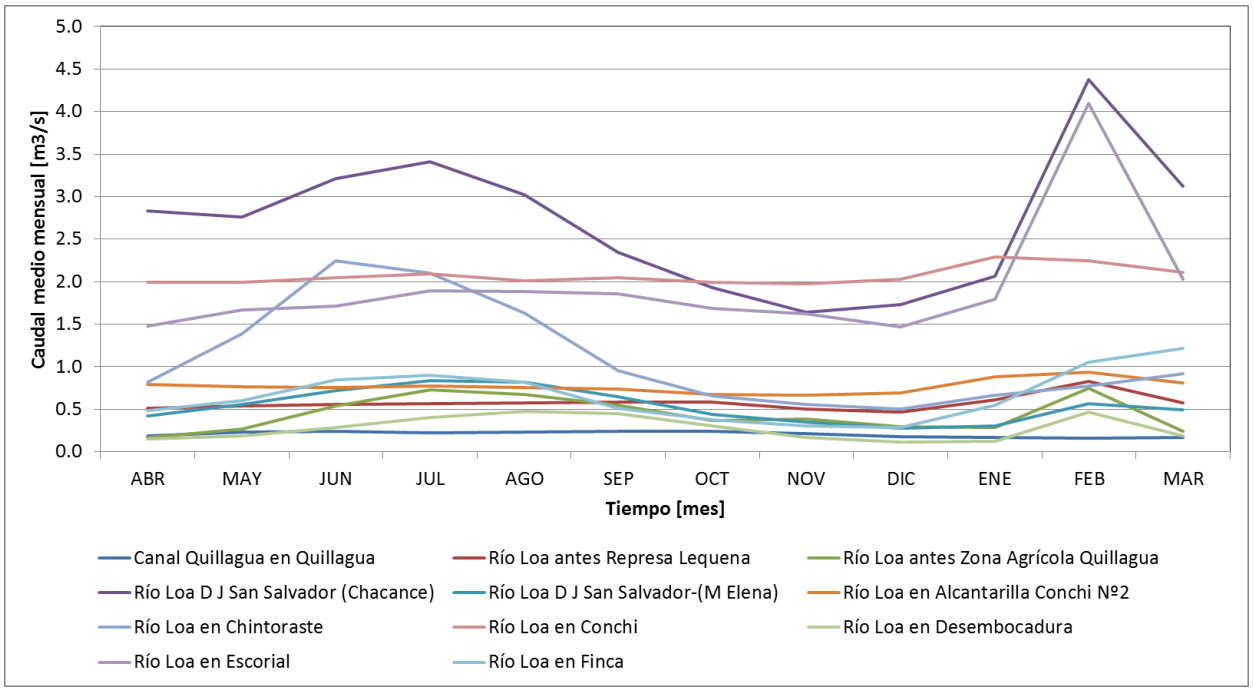


Figura 4.28. Caudales medios mensuales (estacionalidad del año promedio) de las estaciones empleadas para el modelamiento. Estaciones de ID1 a ID12. Estaciones de ID 13 a ID22). Fuente: Elaboración propia.

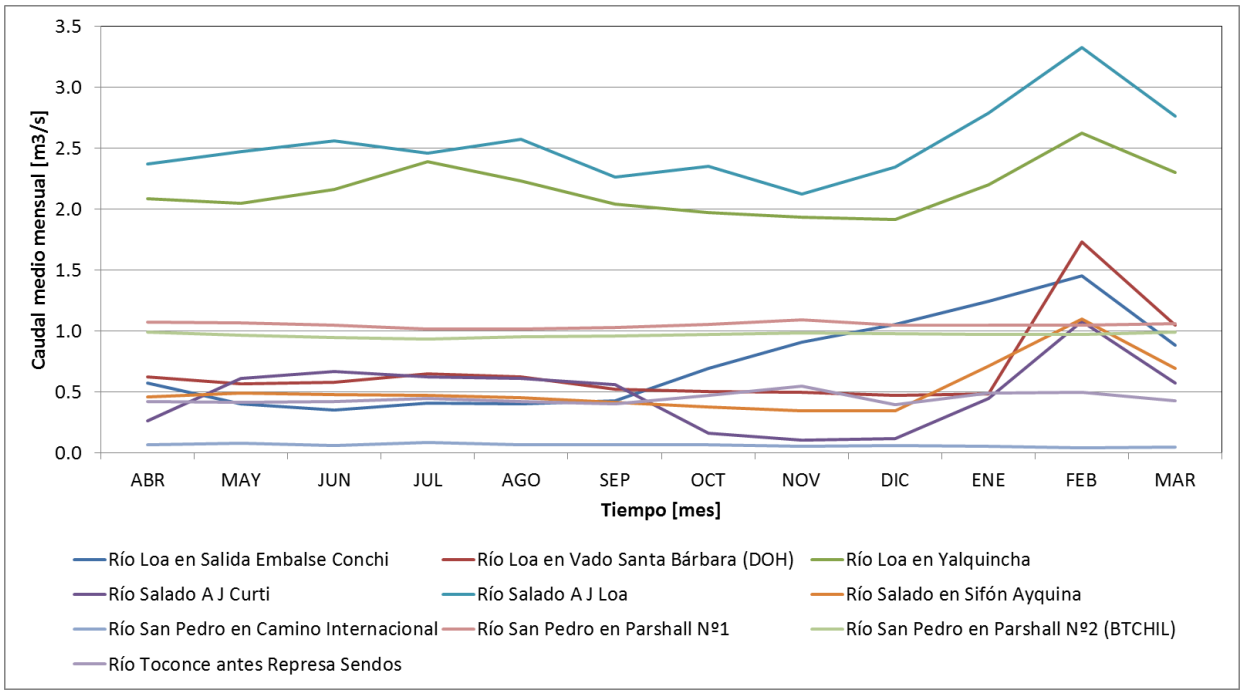


Figura 4.29. Caudales medios mensuales (estacionalidad del año promedio) de las estaciones empleadas para el modelamiento. Estaciones de ID13 a ID22. Fuente: Elaboración propia.

En resumen, en la cuenca coexisten distintos tipos de régimen hidrológico, algunos tienen su "peak" en el período de verano (enero, febrero y marzo), los cuales son influenciados directamente por el invierno altiplánico, mientras que dos estaciones representan un régimen tradicional "pluvial" con sus peaks entre los meses de mayo, junio y julio. Las demás estaciones tienden a presentar un "régimen estacionario" lo que puede deberse al alto grado de intervención y también a la influencia de la interacción subterránea.

4.3.2.4.2 Hipsometría

La hipsometría corresponde a una característica morfológica básica de la cuenca pues permite relacionar las elevaciones del terreno en función de las superficies correspondientes a dichas elevaciones. Esta relación entre la altura (o altura relativa) y la superficie asociada a dicha elevación se le conoce como la curva hipsométrica o curva de área-elevación del sistema en cuestión, la cual se ejemplifica en laFigura 4.30. La construcción de una curva hipsométrica permite, entre otras cosas:

- Caracterizar el relieve y estudiar su influencia sobre la respuesta hidrológica de una cuenca.
- Evaluar el nivel de erosión y el grado de equilibrio dinámico de la cuenca (Strahler, 1964; citado por Mardones *et al*., 2007[10])

[10] Fuente: http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022007000200005

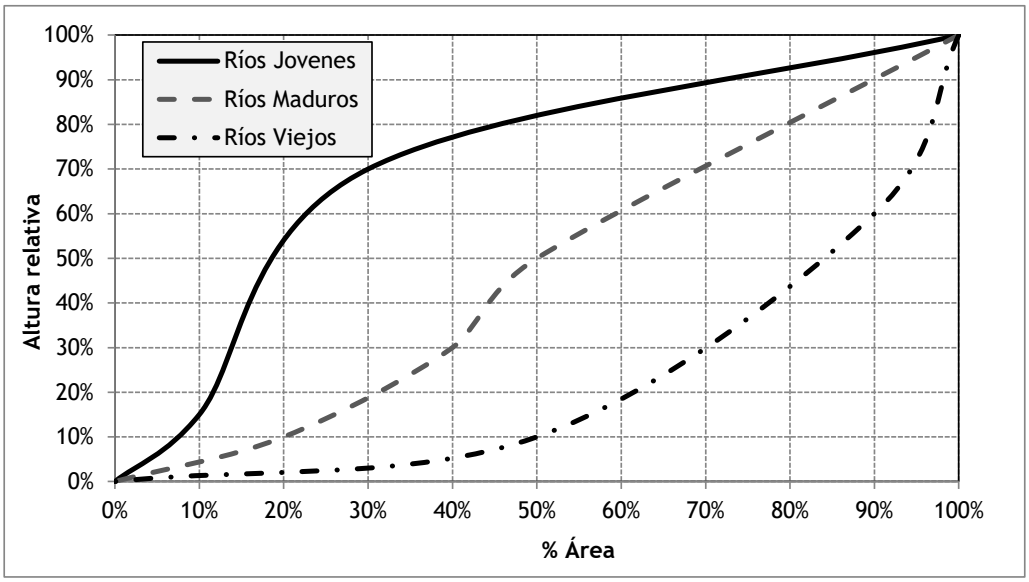


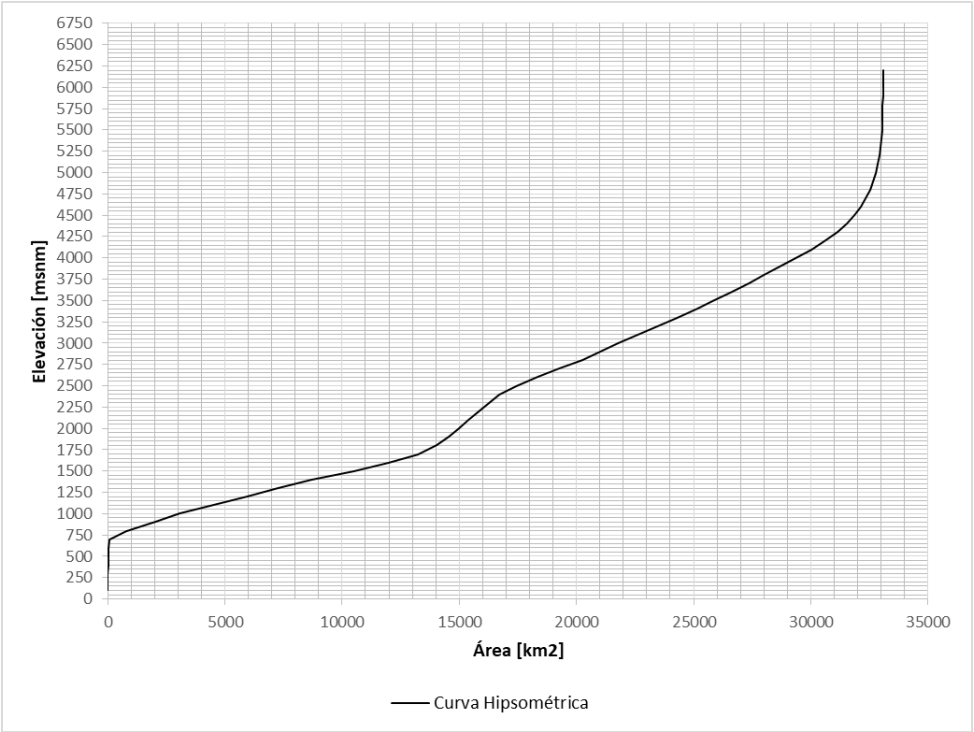
Figura 4.30: Curva hipsométrica según edad del río. Fuente: Llamas, 1993.

Como ya había sido indicado, el número de subcuencas considerado en la zona de estudio obedece al modelo conceptual ya elaborado por KP (2014b).

La siguiente figura presenta la curva hipsométrica de la cuenca del río Loa en desembocadura, en los formatos de elevación y elevación relativa.

En ambas curvas se aprecia que existe una primera zona de ascenso abrupto de elevación, relacionado a la presencia del farellón costero, mientras que después se observa un ascenso paulatino hasta los 1400 msnm, en donde la elevación vuelve a subir hasta los 1800 msnm aproximadamente.

Desde ahí, el ascenso es paulatino hasta los 3000 msnm, en donde comienzan las altas cumbres que dan origen al último tramo de abrupta subida. En cada uno de estos tramos es conveniente tener al menos dos bandas de elevación que agrupen la información meteorológica.



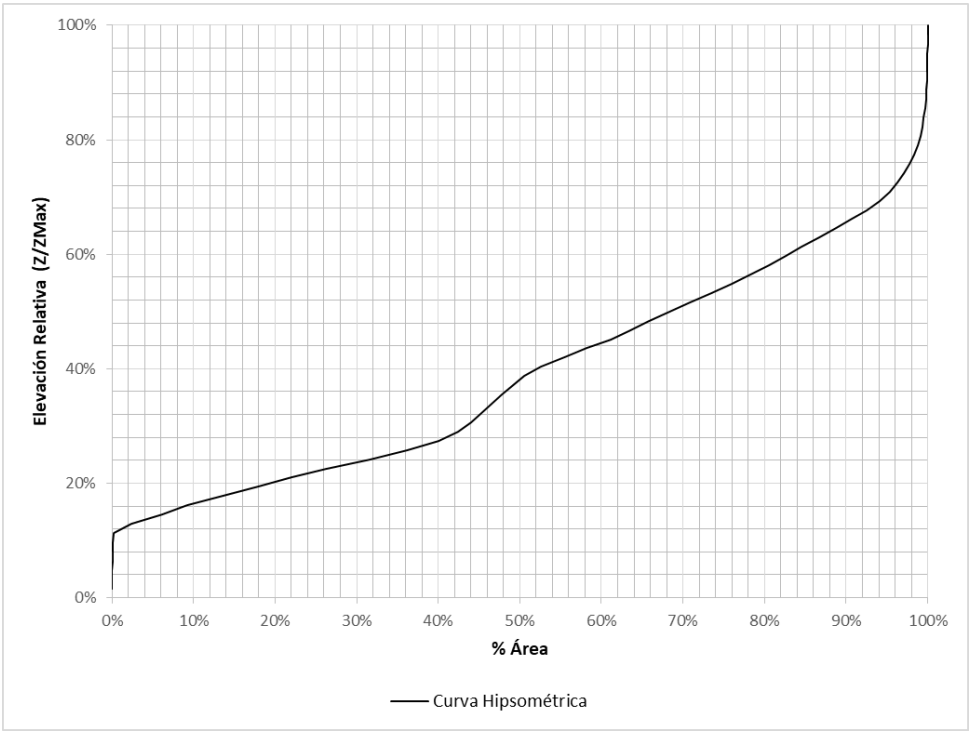


Figura 4.31. Curvas Hipsométricas de la cuenca del río Loa en Desembocadura. Fuente: Elaboración Propia.

Por este motivo, inicialmente, se definieron un total de 12 bandas de elevación para todo el sistema, de manera que todas las singularidades geomorfológicas queden incluidas.

En la Tabla 4.7 se presentan las bandas que se consideraron en un comienzo en la modelación. La nomenclatura empleada indica que la banda de mayor elevación corresponde a B1, mientras que la banda de menor elevación es B12. Cada banda tiene asociada una cota límite o curva de nivel que envuelve a dicha área, vale decir, una cota de elevación inicial (Z_{ini}), una cota de elevación final (Z_{fin}), y una cota de elevación promedio entre Z_{ini} y Z_{fin} (Z_{med}).

Tabla 4.7: Resumen de áreas y elevaciones de cada banda a considerar. Fuente: Elaboración Propia.

Banda Elev.	Z ini [msnm]	Z_fin [msnm]	Z_med [msnm]	z_dif [msnm]	Área Banda [km²]
B1	6200	5700	5950	500	19.34
B2	5700	5200	5450	500	136.69
B3	5200	4700	4950	500	579.05
B4	4700	4200	4450	500	1724.90
B5	4200	3700	3950	500	3289.52
B6	3700	3200	3450	500	3904.79
B7	3200	2700	2950	500	4185.95
B8	2700	2200	2450	500	3412.92
B9	2200	1700	1950	500	2597.66
B10	1700	1200	1450	500	7294.91
B11	1200	700	950	500	5851.23
B12	700	100	400	600	77.91

Sin embargo, pese a que esta aproximación conceptual fue implementada en un comienzo, los resultados que se obtuvieron para el modelo no fueron satisfactorios. Los ajustes en las estaciones fluviométricas sobrestimaban consistentemente en todo el dominio del modelo.

Esto tiene que ver con el acápite siguiente, y es que la meteorología que se utilizó en esta oportunidad, corresponde a la que define el producto meteorológico construido por el CR2 (CR2MET) para la Actualización del Balance Hídrico de Chile (DGA,2017), el cual señala que justamente la gran dificultad que existe en reproducir las condiciones climáticas en zonas áridas y con poca información, sumado a que la información en altura es muy escaza, lo que ha constituido una limitación inherente a todas las modelaciones que tratan de caracterizar zonas en altura.

Ante esto, lo que se hizo, dado que la información del Balance Hídrico incorpora tácitamente la orografía de las cuencas, fue utilizar solamente las subcuencas que originalmente se planteaban en el modelo, pasando a una modelación hidrológica igualmente semistribuída, pero reduciendo considerablemente el número de “cathments” de modelación, concentrando un poco más la modelación de algunas subcuencas.

Esto, como se verá luego en los resultados, permitió mejorar los indicadores de calibración como la respuesta física del sistema.

4.3.2.4.3 Meteorología

Como se ha adelantado anteriormente, las forzantes más relevantes en materia de meteorología corresponden a la precipitación y a la temperatura. Para otras forzantes, como la humedad relativa y el viento, existe escasa información. Por suerte, el producto

meteorológico usado en DGA (2017) permite el rescate de toda esta información. Sin embargo, la humedad relativa y el viento suelen ser los productos, como señala DGA (2017) de mayor dificultad de reproducción, pues no existe mucha información continua y homogéneamente distribuida, para todo el país. Para estos casos ha resultado clave los productos de reanálisis que ha utilizado el CR2 para la representación de este tipo de variables a escala nacional.

El objetivo principal de este acápite entonces es presentar un diagnóstico de la calidad de la meteorología que posee el Balance Hídrico (DGA, 2017) respecto de la climatología observada para la cuenca del Loa.

Se evaluará el grado de representación estacional del año promedio, magnitud anual y curva de duración para precipitaciones y sólo la representación estacional del año promedio para temperatura junto a la temperatura media anual. Un resumen de los aspectos a evaluar se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 4.8: Resumen de variables a evaluar en el diagnóstico.

Agregación Temporal / Variable	Precipitación	Temperatura	Caudal
Anual	Gráfica de la precipitación anual (serie de tiempo de la suma de las precipitaciones mensuales por año)	Gráfica de la temperatura promedio anual (serie de tiempo con la temperatura promedio por año)	No es utilizado.
Estacional	Gráfica de los promedios de los registros observados y simulados para cada mes. En formato año hidrológico.		
Curva de duración	Curva de duración según Weibull para la serie mensual de precipitaciones.	No aplica	No es utilizado.

Cabe destacar que para los propósitos de este estudio la variable caudal es descartada del análisis, debido a que existe una falencia en la representación del caudal en los resultados de DGA (2017), por lo que los caudales serán simulados a través de modelos hidrológicos directamente en WEAP.

Para analizar el desempeño del producto del Balance Hídrico se dividió la cuenca del Loa en 3 secciones (Loa bajo, medio y alto). Los objetivos de dicha división obedecen a hacer una comparación a nivel “macro” escogiendo una estación índice para cada una de las zonas, profundizando el análisis como se explica a continuación.

Se dividirá el análisis de las estaciones (precipitación y temperatura) según su ubicación longitudinal en 3 clasificaciones; estaciones del Loa alto, ubicadas desde aproximadamente la coordenada UTM Este 530,000 hacia el este; estaciones del Loa medio, entre UTM Este 530,000 y UTM Este 410,000 aproximadamente; y las estaciones del Loa bajo, ubicadas

desde UTME 410,000 hacia el oeste. En otras palabras, el sector de Loa Alto representa la zona cordillerana de la cuenca, mientras que el sector "Loa Medio" la depresión intermedia. El sector "Loa Bajo" representa la zona más próxima a la costa de la cuenca.

Se seleccionarán para cada variable hidrometeorológica 3 estaciones representativas (una para cada clasificación) de acuerdo al criterio señalado en el informe "*Análisis efecto en el régimen hídrico por cambio en patrones meteorológicos"* (DGA, 2016). Dicho criterio se resume en dar prioridad a las estaciones que poseen mayor cantidad de años de registro, para así obtener una mejor representación de las zonas aledañas a dichas estaciones. Se realizará un análisis gráfico y estadístico para las estaciones seleccionadas. El propósito entonces es comparar la meteorología y la fluviometría entre las estaciones observadas y lo que simula DGA (2017).

Esta comparación como se ha señalado anteriormente, se hará de manera gráfica y estadística para las estaciones que funcionarán como "indicadoras" de la cuenca.

Para las estaciones no seleccionadas como indicadoras se realizará exclusivamente un análisis estadístico, usando indicadores de bondad de ajuste los que se definen a continuación:

1. **KGE**: Permite un análisis conjunto de la correlación, sesgo y variabilidad de la serie simulada con respecto a la observada. Se tiene que $KGE \in (-\infty, 1]$, siendo *KGE = 1* un ajuste perfecto (Gupta, 2009).

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

Donde:

r [-]: Coeficiente de correlación.

α [-]: Relación de variabilidad.

β [-]: Relación de sesgo.

2. **NSE**: Dicho indicador puede ser interpretado como una medida comparativa del modelo con respecto a la media de las observaciones, cuyo rango es $(-\infty, 1]$. Obtener valores de *NSE* negativos indica entonces que la serie promedio de observaciones es mejor modelo predictor que el modelo utilizado para la simulación (Gupta, 2009).

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

Donde:

O_i [-]: Valores observados.

P_i [-]: Valores simulados.

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

3. **PBIAS**: Medida porcentual de la tendencia promedio de los datos simulados a subestimar o sobrestimar los datos observados. El valor óptimo se alcanza cuando *PBIAS = 0.* Valores positivos (negativos) indican un sesgo de subestimación (sobrestimación) del modelo (Moriasi, 2007).

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

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

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

Donde:

O_i [-]: Valores observados.

P_i [-]: Valores simulados.

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

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

A continuación se efectúa el análisis de las variables en particular.

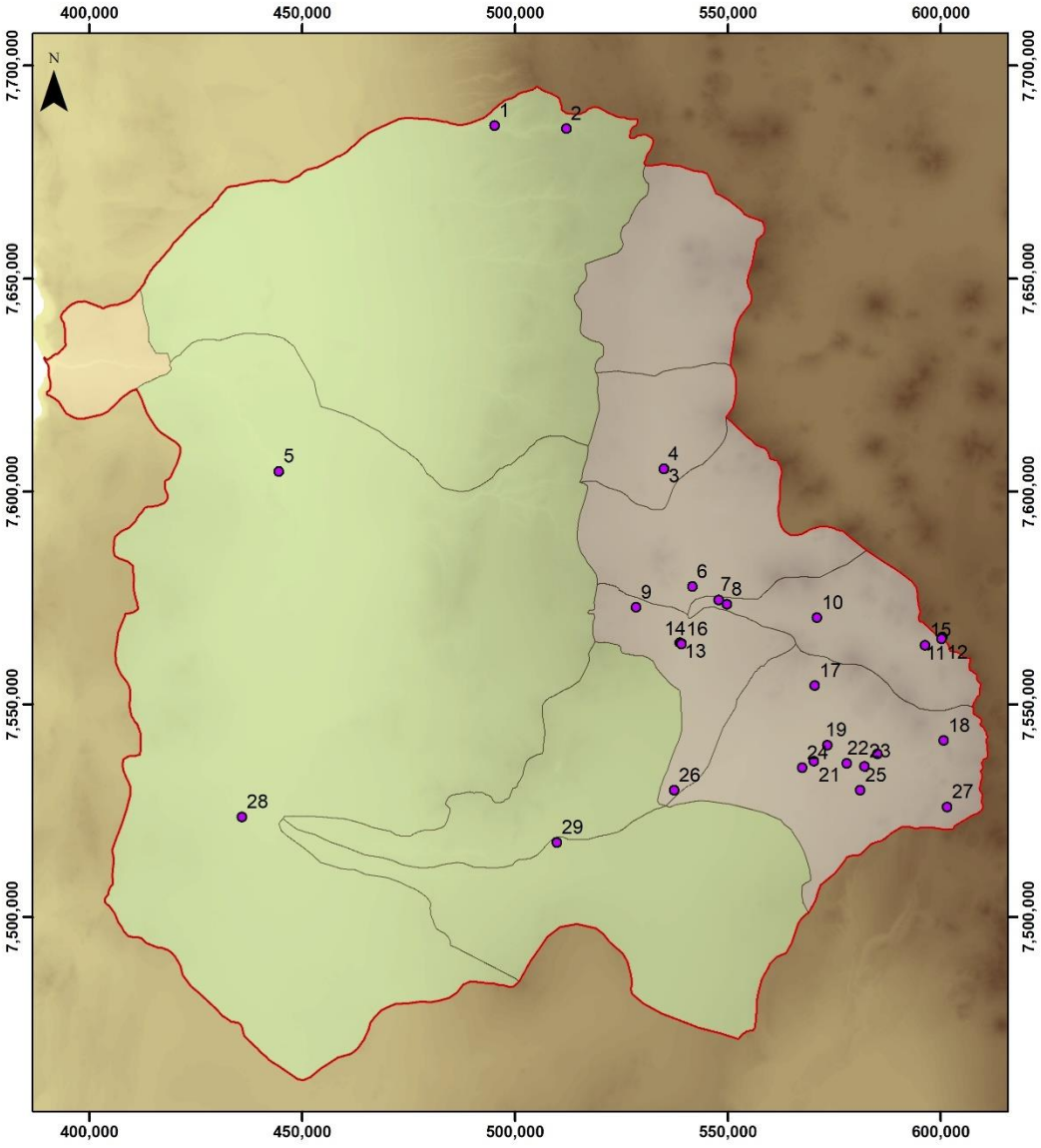
4.3.2.4.3.1 Precipitación

En la Tabla 4.9 se presentan las estaciones de precipitación utilizadas para la comparación de los resultados del Balance Hídrico (DGA, 2017), mientras que la Figura 4.32, contextualiza la ubicación espacial de dichas estaciones en la cuenca del río Loa.

Tabla 4.9: Estaciones de precipitación Cuenca del Loa.

Nombre	Altitud [msnm]	Latitud [°]	Longitud [°]	Inicio Obs.	Término Obs.
Guatacondo Dga	2460	-20.9272	-69.0456	01-09-1977	31-03-2017
|Rio Huatacondo En Copaquire	3540	-20.9333	-68.8833	01-06-2011	31-03-2017
Lequena	3320	-21.6553	-68.6611	01-11-1973	31-03-2017
Rio Loa Antes Represa Lequena	3315	-21.6558	-68.6622	01-12-2001	04-02-2018
Quillagua	802	-21.6603	-69.5358	01-02-1900	30-04-2017
Quinchamale	3080	-21.9053	-68.5964	01-06-1995	31-03-2017
San Pedro De Conchi	3217	-21.9333	-68.5364	01-02-1970	30-04-1993
Parshall N 2	3318	-21.9428	-68.5175	01-04-1969	31-12-2015
Conchi Viejo	3491	-21.95	-68.7239	01-02-1900	30-04-2017
Ojos San Pedro	3800	-21.9706	-68.3128	01-02-1900	30-04-2017
Rio Siloli Antes B.T. Fcab	4000	-22.0103	-68.0269	01-10-2012	04-02-2018
Silala	4305	-22.0139	-68.0289	01-01-2001	30-04-2017
Conchi Embalse	3010	-22.025	-68.6242	01-09-1967	30-04-2017
Conchi Muro Embalse	3000	-22.0267	-68.6208	01-02-1978	31-12-1991
Inacaliri	4040	-22.0278	-68.0661	01-02-1900	30-04-2017
Rio Loa En Salida Embalse Conchi	2950	-22.0278	-68.6208	01-02-2012	31-05-2017
Cupo	3370	-22.1147	-68.3167	01-02-1900	31-03-2017
Linzor	4100	-22.2297	-68.0228	01-11-1973	04-02-2018
Turi	3070	-22.2408	-68.2881	01-01-1981	31-05-1993
Toconce	3310	-22.2592	-68.1733	01-03-1972	31-03-2017
Ayquina	3031	-22.2753	-68.3183	01-09-1967	31-03-2017
Rio Salado A. J. Curti	3080	-22.2792	-68.2428	01-04-2012	31-07-2013
Salado Embalse	3200	-22.2856	-68.2028	01-10-1975	04-02-2018
Rio Salado En Sifon Ayquina	2980	-22.2894	-68.3447	01-11-2001	28-02-2017
Caspana	3260	-22.3367	-68.2122	01-01-1971	31-12-2008
Chiu-Chiu	2524	-22.3378	-68.6367	01-08-1974	30-04-2017
El Tatio	4370	-22.3711	-68.0133	01-06-1977	04-02-2018
Coya Sur	1250	-22.3939	-69.6225	01-06-1974	30-06-1991
Calama	2300	-22.4494	-68.9044	01-02-1900	04-02-2018

Las estaciones de precipitación se encuentran concentradas en la zona de Loa Alto.



ID	Nombre	ID	Nombre
1	Guatacondo Dga	16	Rio Loa En Salida Embalse Conchi
2	Rio Huatacondo En Copaquire	17	Cupo
3	Lequena	18	Linzor
4	Rio Loa Antes Represa Lequena	19	Turi
5	Quillagua	20	Toconce
6	Quinchamale	21	Ayquina
7	San Pedro De Conchi	22	Rio Salado A. J. Curti
8	Parshall N 2	23	Salado Embalse
9	Conchi Viejo	24	Rio Salado En Sifon Ayquina
10	Ojos San Pedro	25	Caspana
11	Rio Siloli Antes B.T. Fcab	26	Chiu-Chiu
12	Silala	27	El Tatio
13	Conchi Embalse	28	Coya Sur
14	Conchi Muro Embalse	29	Calama
15	Inacaliri		

Figura 4.32: Estaciones de precipitación Cuenca del Loa.

Para la precipitación se seleccionaron las estaciones Quillagua, Calama y Linzor (Figura 4.32: estaciones 5, 29 y 18, respectivamente), debido a que son las estaciones con mayor

cantidad de registros, y por lo tanto, con menor cantidad de datos rellenados, dando como resultado un mayor grado de representatividad (DGA, 2016). Debido a que no existen estaciones en la zona del Loa bajo, se considerará a la estación Quillagua como la estación representativa de dicha área. Las estaciones Calama y Linzor se considerarán como representativas del Loa medio y alto, respectivamente.

4.3.2.4.3.1.1 Estación Quillagua

En la Figura 4.33 se presentan los resultados de precipitación para la estación Quillagua. En rojo se indica la serie simulada por el Balance Hídrico, y en azul la serie observada. Para complementar el análisis se presentan indicadores estadísticos en las series anual (panel superior izquierdo), estacional (panel superior derecho) y mensual (panel inferior izquierdo).

Con respecto a la habilidad del modelo para simular la magnitud de las precipitaciones, se observa que en promedio la simulación del Balance Hídrico sobrestima en 0,07 mm, 0,02 mm y 0,01 mm a la serie anual observada, estacional observada y mensual observada, respectivamente. Se puede asociar dicho sesgo a la precipitación en el año 2015, donde la serie simulada dobla en magnitud a las observaciones. Esta sobrestimación, se aprecia entre las probabilidades menores al 5% en la curva de duración. (panel inferior derecho).

Se puede observar en el panel superior derecho que el Balance Hídrico presenta problemas en la representación de la estacionalidad de la precipitación, particularmente en las lluvias observadas en enero junto con sobrestimar las lluvias registradas en el mes de Julio. Cabe destacar que, pese a esta dificultad, la magnitud de estas precipitaciones no supera los 5 mm.

Respecto de los indicadores estadísticos, un valor de KGE de 0,25 indica un precario desempeño de la simulación tanto en la variabilidad como en el monto de la precipitación. Un NSE de -0,2 indica los problemas en la representación del valor medio de lluvia para esta zona del Loa bajo.

Un valor de PBIAS=17,9 indica que la serie simulada sobrestima en promedio en casi un 18% a la serie observada, debido probablemente a la magnitud de la precipitación simulada en el año 2015. Si bien el valor del r^2=0,62 es aceptable, este debe ser entendido en el contexto de los demás indicadores, ya que dicho estadístico es una medida de la dispersión conjunta de los datos, y al presentarse mayoritariamente valores nulos (como es el caso de la estación Quillagua) es posible obtener valores aceptables de dicho estadístico al representar escasamente la temporalidad de los peaks.

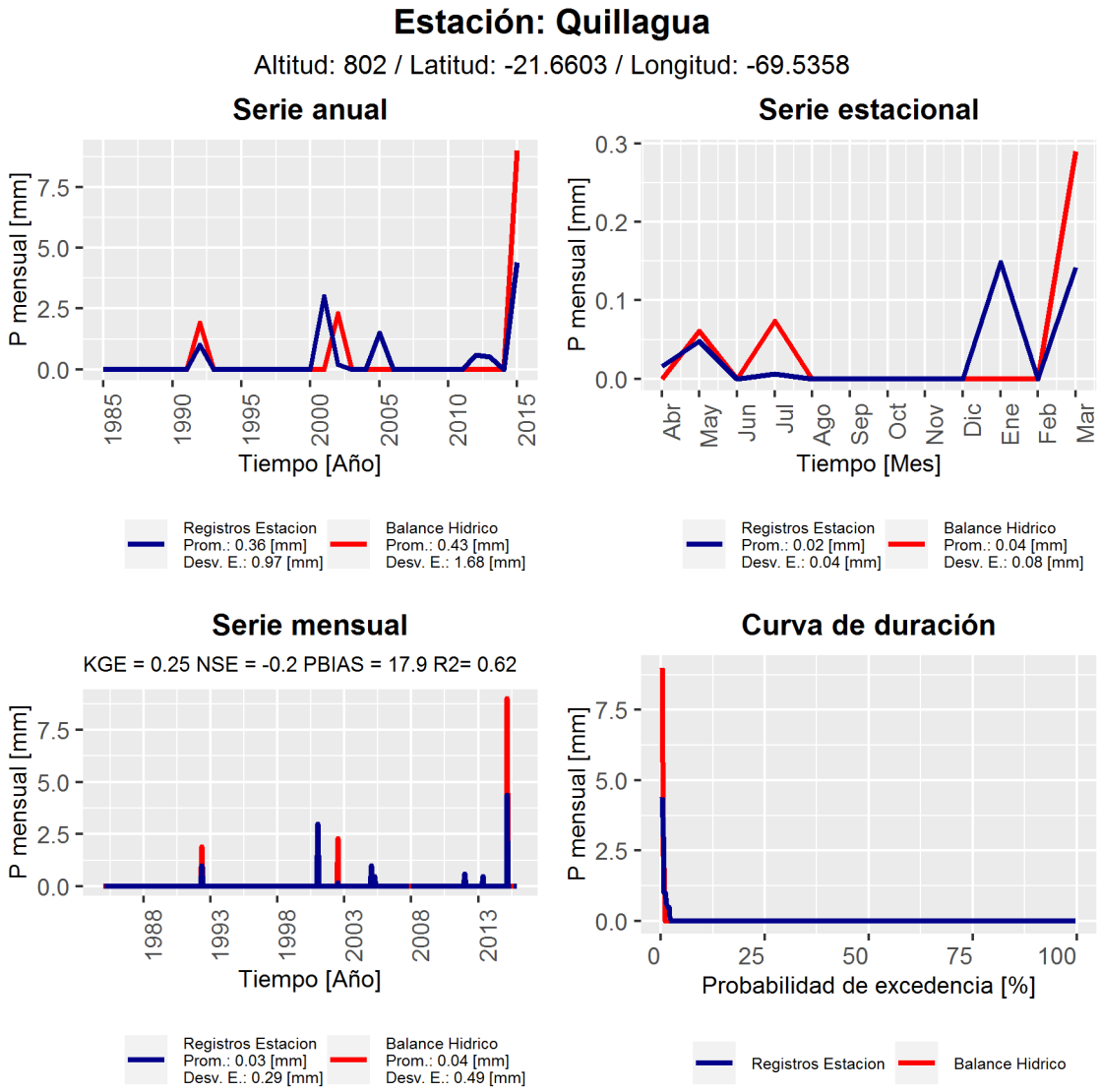


Figura 4.33: Resultados precipitación estación Quillagua.

4.3.2.4.3.1.2 Estación Calama

De la Figura 4.34 se desprende que en promedio el Balance Hídrico subestima en 1,29 mm, 0,07 mm y 0,11 mm a las series observadas anual, estacional y mensual, respectivamente. El modelo es capaz de reproducir la variabilidad de las precipitaciones observadas en un grado aceptable al presentar desviaciones estándar dentro de un rango de ±0,3 mm con respecto a la desviación estándar de las series observadas, junto con obtenerse un valor de r^2 igual a0,48.

Se observa una mejoría en la representación de la temporalidad de precipitaciones anuales en comparación con la estación Quillagua, observable en la capacidad de reproducir los

peaks observados en los años 1993, 1996, 2002 (con cierto grado de desfase), 2005, 2011 y 2015. Se corrobora dicha mejoría al obtenerse valores de KGE y NSE iguales a 0,52 y 0,4, respectivamente.

Al analizar la serie mensual se puede observar con mayor detalle la temporalidad de las precipitaciones: se observa que el modelo no reproduce los peaks observados al inicio del periodo, sin embargo, es capaz de reproducirlos con un moderado grado de certeza a partir del año 1990 aproximadamente. Con respecto a la temporalidad estacional (panel superior derecho), se observa que el Balance Hídrico es capaz de reproducir las lluvias acaecidas entre los meses de febrero y octubre. A pesar de lo anterior, se aprecia la subestimación que realiza el modelo en el periodo estival, lo cual incide en precipitaciones menores con respecto a las observadas para probabilidades de excedencia bajas (panel inferior derecho). Se confirma el sesgo de subestimación al presentarse un valor de PBIAS igual a -36.6.

Cabe destacar que en el caso particular de esta zona, nuevamente existen muchas precipitaciones nulas, lo que conlleva una dificultad adicional en la representatividad en magnitud y espacio para cualquier metodología que genere un clima en zonas áridas y semi-áridas. Aún así los ajustes obtenidos, dada la dificultad de la tarea, se consideran aceptables, pero mejorables.

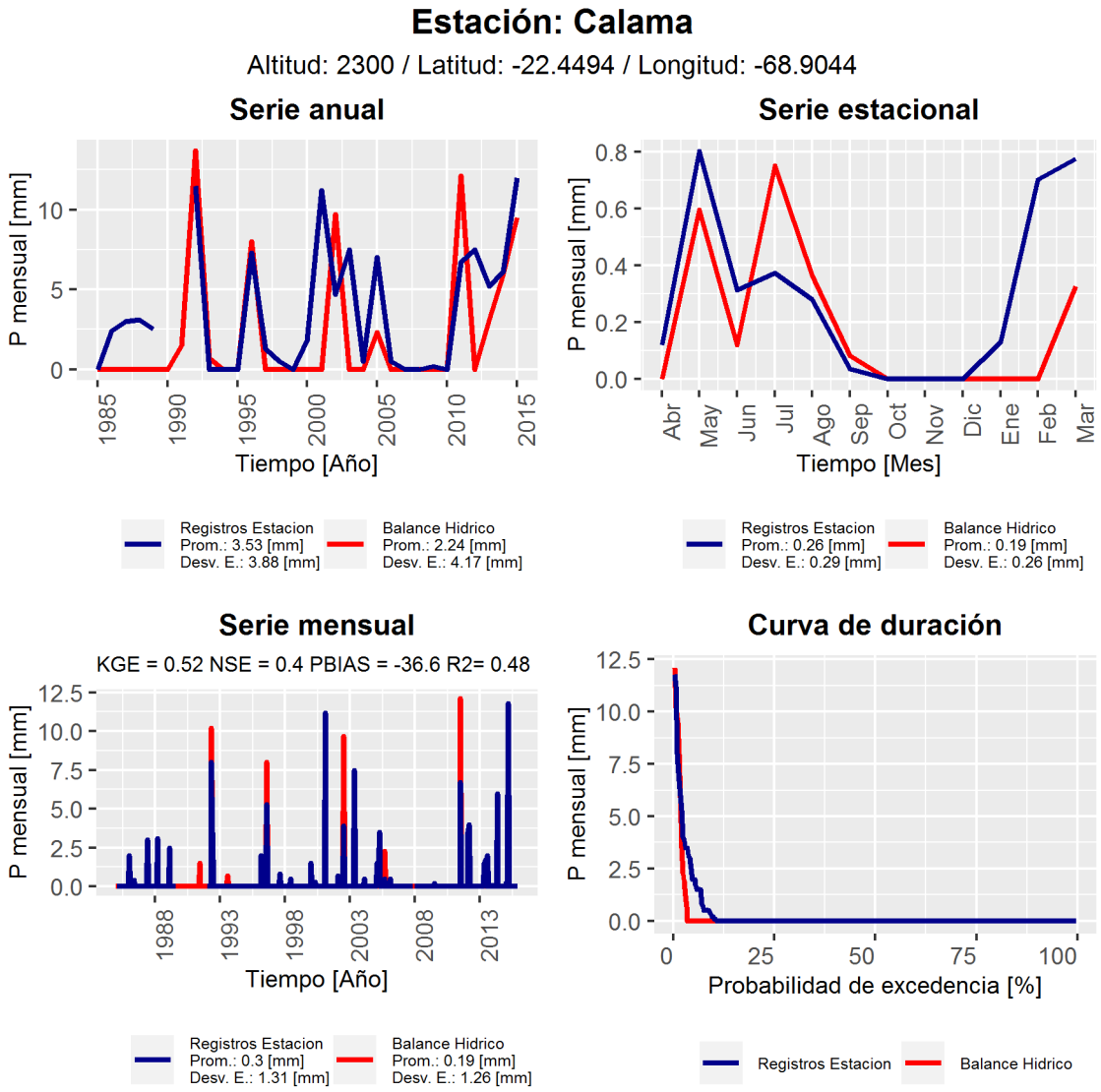


Figura 4.34: Resultados precipitación estación Calama.

4.3.2.4.3.1.3 Estación Linzor

En la Figura 4.35 se observa un buen desempeño del Balance Hídrico para la estación Linzor, tanto en la temporalidad como en la magnitud de las precipitaciones. Se debe destacar la capacidad del modelo de reproducir la estacionalidad de las precipitaciones, obteniendo un ajuste casi perfecto en la mayoría del año hidrológico promedio (panel superior derecho). El buen desempeño del modelo es confirmado con valores de KGE de0,82, NSE de 0,96 y r^2 de0,97, junto con presentar un pequeño sesgo a la subestimación (PBIAS=-14,9), apreciable en casi toda la serie anual y estacional. Se corrobora la eficiencia al observar un traslape de

las curvas de duración en casi todo el intervalo de probabilidades de excedencia (panel inferior derecho).

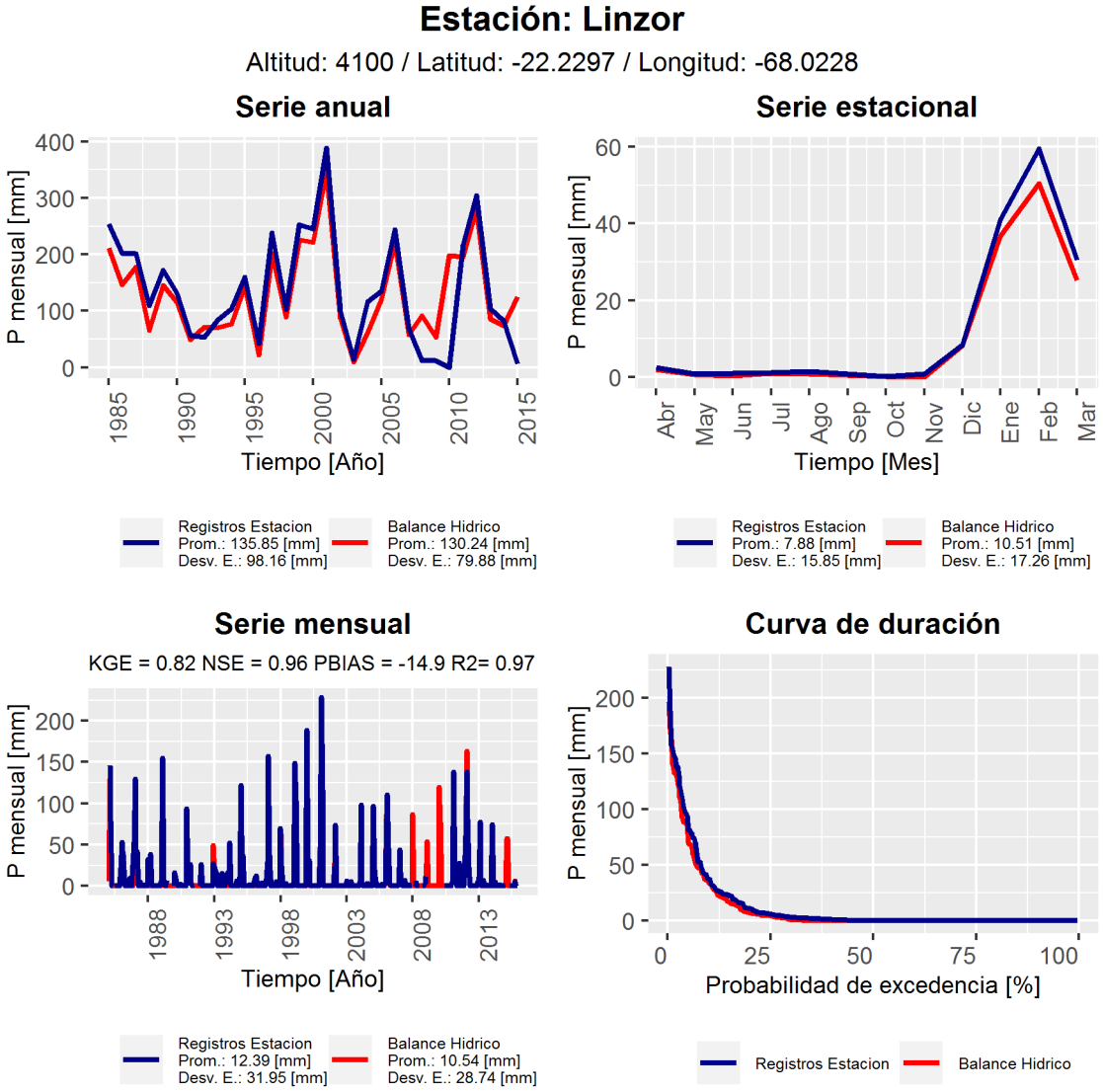


Figura 4.35: Resultados precipitación estación Linzor.

4.3.2.4.3.1.4 Resumen de la calidad de ajuste para la precipitación

En la Tabla 4.10, se presentan los indicadores KGE, NSE, PBIAS y r^2 para las estaciones con registros de temperaturas en la cuenca del Loa. Se observa que, en promedio para la cuenca, se obtiene un KGE de 0,2; NSE de -1,72; PBIAS de 7,15; y r^2 de 0,75. Se hace necesario separar el análisis por zonas al observar estaciones que presentan valores

indeseados de algunos indicadores, como es el caso de Coya sur y Guatacondo Dga. Debido a lo anterior, en la misma tabla se destacan en verde las estaciones que se encuentran bajo los 2500 m.s.n.m. (estaciones bajas), en amarillo las estaciones entre los 2500 y 3200 m.s.n.m. (estaciones medias), y en rojo las estaciones ubicadas sobre los 3200 m.s.n.m. (estaciones altas).

Tabla 4.10: Resumen de los indicadores de ajuste de la magnitud mensual para la precipitación.

Nombre	KGE	NSE	PBIAS	R2
Guatacondo Dga	0.02	0.29	-67.00	0.34
Rio Huatacondo En Copaquire	0.92	0.92	3.70	0.93
Lequena	0.62	0.85	-24.40	0.92
Rio Loa Antes Represa Lequena	0.57	0.73	-32.40	0.77
Quillagua	0.25	-0.20	17.90	0.62
Quinchamale	0.63	0.26	11.50	0.48
San Pedro De Conchi	0.70	0.59	-1.30	0.59
Parshall N 2	0.92	0.94	-6.70	0.94
Conchi Viejo	0.24	0.47	-48.10	0.60
Ojos San Pedro	0.92	0.98	-6.00	0.98
Rio Siloli Antes B.T. Fcab	0.88	0.86	-4.70	0.86
Silala	0.77	0.86	18.80	0.89
Conchi Embalse	0.67	0.60	-10.60	0.77
Conchi Muro Embalse	0.43	0.32	-44.00	0.42
Inacaliri	0.95	0.99	-3.90	0.99
Rio Loa En Salida Embalse Conchi	0.53	0.67	-41.20	0.79
Cupo	0.73	0.86	-17.10	0.88
Linzor	0.82	0.96	-14.90	0.97
Turi	0.45	0.70	-36.20	0.80
Toconce	0.68	0.89	-21.30	0.94
Ayquina	0.78	0.89	-20.00	0.90
Rio Salado A. J. Curti	0.34	0.59	-54.20	0.73
Salado Embalse	0.63	0.82	-23.30	0.87
Rio Salado En Sifon Ayquina	-0.83	-3.94	76.50	0.30
Caspana	0.45	0.76	-38.00	0.88
Chiu-Chiu	0.09	0.35	-69.60	0.39
El Tatio	0.79	0.95	-14.60	0.97
Coya Sur	-9.68	-64.12	715.00	0.89
Calama	0.52	0.40	-36.60	0.48
Promedio	**0.20**	**-1.72**	**7.15**	**0.75**

En la Tabla 4.11 se presenta el promedio de los estadísticos según la clasificación mencionada anteriormente. A partir de esta información, es posible concluir que la calidad

del ajuste del Balance Hídrico mejora a medida se analizan zonas más altas, donde en efecto se producen las precipitaciones.

Para las estaciones ubicadas bajo los 2500 m.s.n.m. se obtiene un ajuste poco preciso, con un sesgo promedio de aproximadamente +150%, junto con valores de KGE y NSE que limitan en cierta manera la aplicación de la precipitación en dichas zonas, esto debido a la dificultad en la representatividad de un clima árido.

Al contrario, para estaciones sobre los 3200 m.s.n.m., se obtienen valores aceptables para todos los estadísticos: KGE, NSE y r^2 cercanos a 1 y PBIAS cercano a 0, lo que se traduce en un comportamiento eficiente del Balance Hídrico para zonas cordilleranas.

Tabla 4.11: Promedio de estadísticos para estación según altitud.

Altitud	KGE	NSE	PBIAS	R2
Baja	-2.22	-15.91	157.33	0.58
Media	0.37	0.13	-21.11	0.65
Alta	0.73	0.84	-14.06	0.87

Este comportamiento es esperable, por cuanto las zonas bajas y medias son las que poseen nulas o casi nulas precipitaciones, mientras que la zona alta concentra las lluvias y también la medición de la variable.

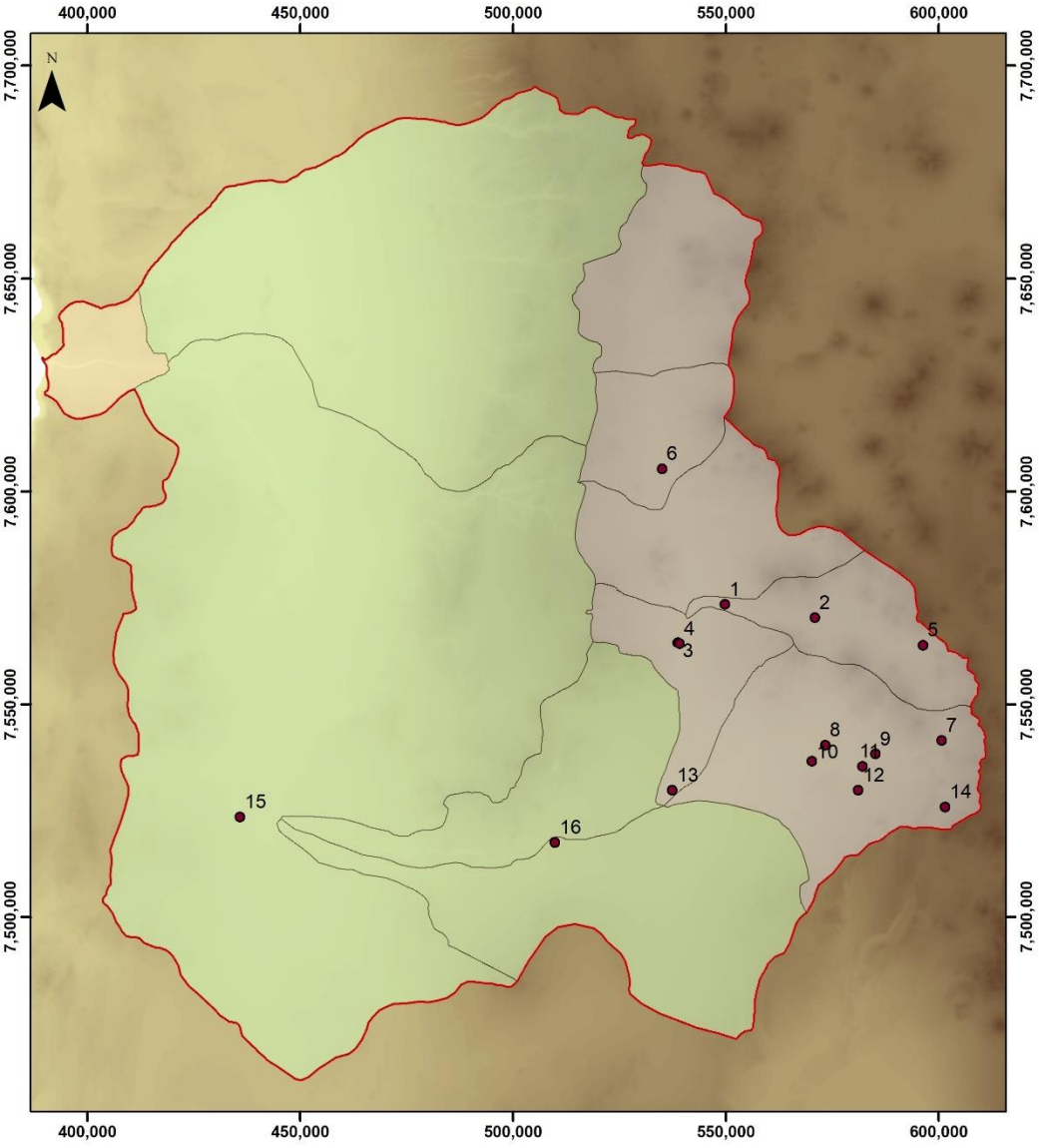
4.3.2.4.3.2 Temperatura

En la Tabla 4.12 se presentan las estaciones de temperatura utilizadas para la comparación de los resultados del Balance Hídrico (DGA, 2017), mientras que la Figura 4.36 contextualiza la ubicación espacial de dichas estaciones en la cuenca del río Loa.

Tabla 4.12: Estaciones de temperatura Cuenca del Loa.

Nombre	Altitud [msnm]	Latitud [°]	Longitud [°]	Inicio Obs.	Término Obs.
Parshall N 2	3318	-21.9428	-68.5175	02-02-1969	02-01-1994
Ojos San Pedro	3800	-21.9706	-68.3128	25-03-1969	29-12-1989
Conchi Embalse	3010	-22.025	-68.6242	19-09-1967	02-01-1994
Conchi Muro Embalse	3000	-22.0267	-68.6208	04-12-1980	13-05-1991
Inacaliri	4040	-22.0278	-68.0661	28-01-1969	18-09-1992
Lequena	3320	-21.6553	-68.6611	01-11-1973	31-03-2017
Linzor	4100	-22.2297	-68.0228	22-11-1973	04-02-2018
Turi	3070	-22.2408	-68.2881	31-05-1980	29-05-1993
Toconce	3310	-22.2592	-68.1733	05-10-1993	02-01-1994
Ayquina	3031	-22.2753	-68.3183	01-06-1993	02-01-1994
Salado Embalse	3200	-22.2856	-68.2028	19-10-2005	04-02-2018
Caspana	3260	-22.3367	-68.2122	11-08-1973	02-01-1994
Chiu-Chiu	2524	-22.3378	-68.6367	12-06-1979	02-01-1994
El Tatio	4370	-22.3711	-68.0133	04-01-1983	04-02-2018
Coya Sur	1250	-22.3939	-69.6225	19-11-1973	30-06-1991
Calama	2300	-22.4494	-68.9044	08-02-1969	02-01-1994

Se puede apreciar que las estaciones están concentradas en la zona de Loa Alto, existiendo una precaria densidad para las zonas medias y bajas.



ID	Nombre	ID	Nombre
1	Parshall N 2	9	Toconce
2	Ojos San Pedro	10	Ayquina
3	Conchi Embalse	11	Salado Embalse
4	Conchi Muro Embalse	12	Caspana
5	Inacaliri	13	Chiu-Chiu
6	Lequena	14	El Tatio
7	Linzor	15	Coya Sur
8	Turi	16	Calama

Figura 4.36: Estaciones de temperatura cuenca del Loa.

Para la temperatura se seleccionaron las estaciones Chiu-Chiu, Parshall N°2 y Linzor (estaciones 13, 1 y 7 en Figura 4.36: Estaciones de temperatura cuenca del Loa.),

considerando el mismo criterio de jerarquización explicado en la sección anterior. La estación más baja presente en la cuenca es la estación 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. Parshal N°2 y Linzor se consideran como representativas de la zona media y alta de la cuenca, respectivamente.

4.3.2.4.3.2.1 Estación Chiu-Chiu

En la Figura 4.37 se presenta la serie estacional (panel superior) y la serie mensual (panel inferior). Al igual que en la sección anterior, la línea roja indica la serie simulada por el Balance Hídrico, y la línea azul indica la serie observada en la estación.

Se desprende de ambas series que el balance hídrico representa satisfactoriamente la temporalidad de las temperaturas, corroborado cuantitativamente por valores de KGE igual a 0,86, NSE de 0,69 y r^2 igual a 0,98. Con respecto a la magnitud de la simulación, se observa una subestimación de aproximadamente 1°C en toda la serie estacional, junto con una subestimación similar en la serie anual. Debido a dichos resultados, se plantea que el Balance Hídrico presenta un error sistemático de subestimación de temperaturas (caracterizado con un PBIAS=-7,3), con posible origen en las forzantes utilizadas para la construcción del modelo (CR2MET).

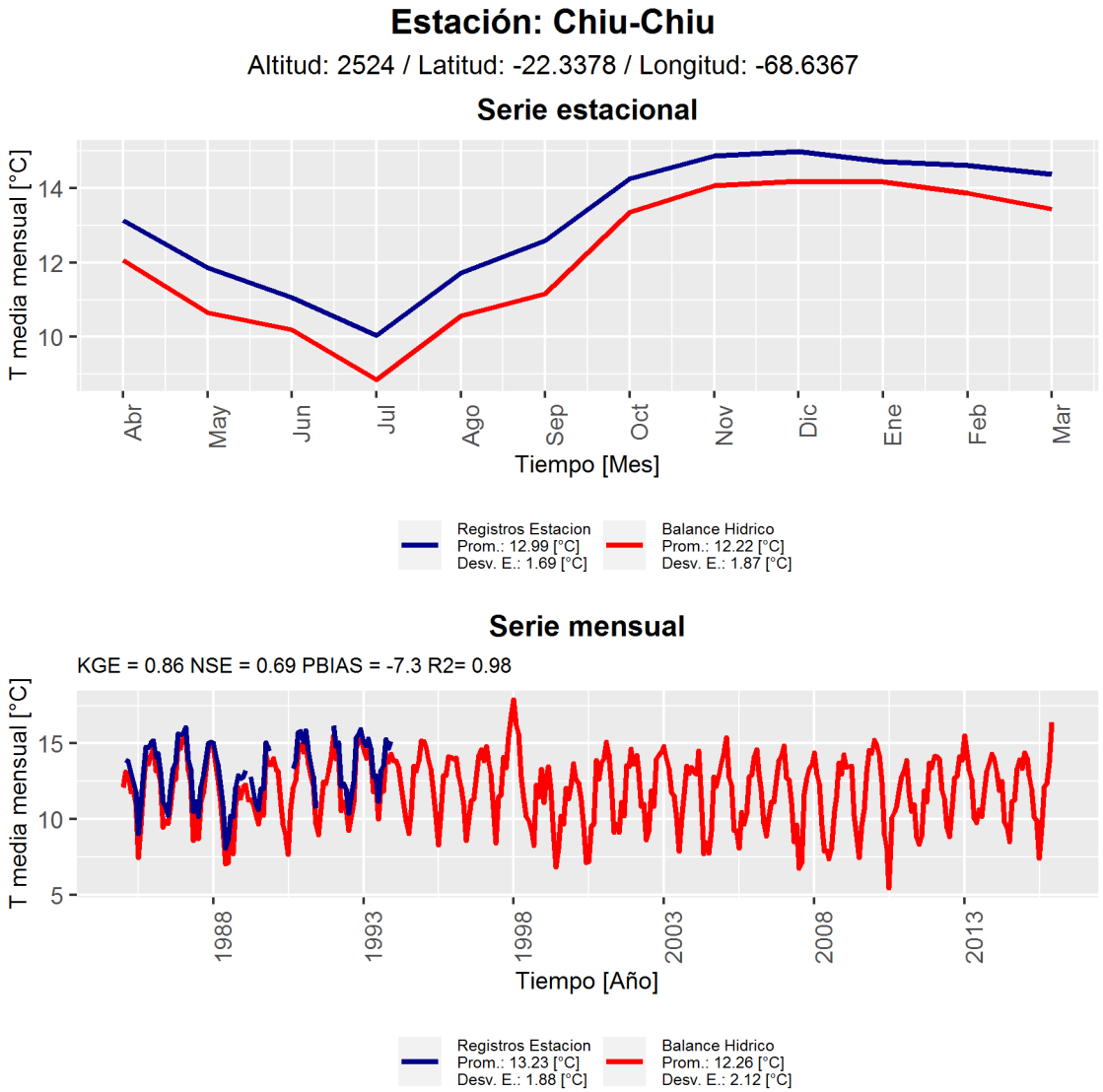


Figura 4.37: Resultados de temperatura estación Chiu-Chiu.

4.3.2.4.3.2.2 Estación Parshall N°2

Se observa de la Figura 4.38 que la serie simulada es capaz de reproducir la temporalidad de la serie observada, tanto a nivel estacional como mensual. Con respecto a la magnitud de la simulación, se tiene un mejor ajuste para la época estival, con un sesgo mínimo cercano a -0,2°C para el mes de febrero (panel superior) y un sesgo máximo de aproximadamente 0,7°C para el mes de diciembre. Dicho sesgo aumenta en la época pluvial, obteniéndose un mínimo cercano a -1,1°C (abril-mayo) y un máximo de aproximadamente 2,1°C (julio). Al igual que para la estación Chiu-Chiu, se observa un sesgo sistemático de subestimación de temperaturas.

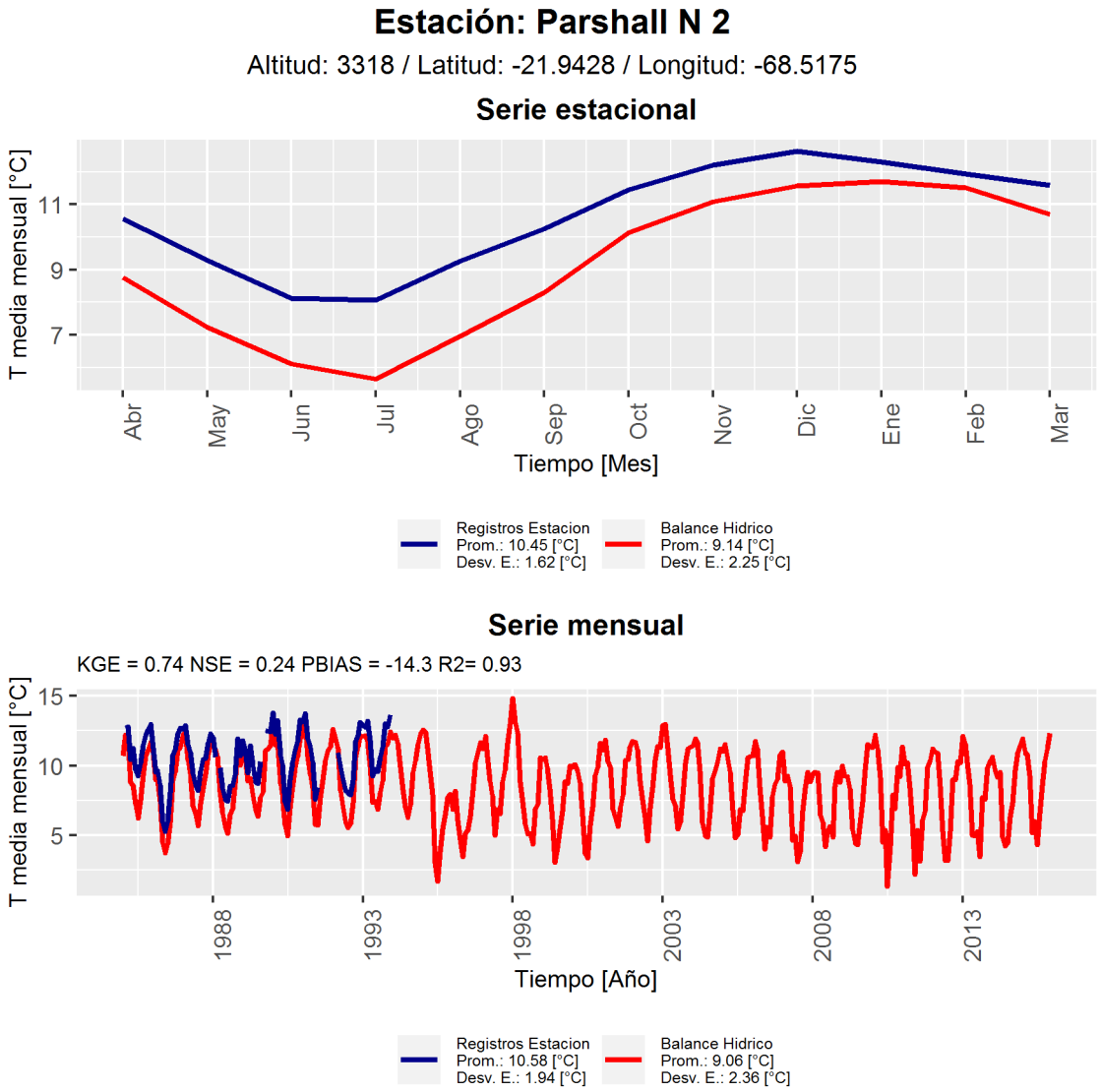


Figura 4.38: Resultados de temperatura estación Parshall N°2.

4.3.2.4.3.2.3 Estación Linzor

En la Figura 4.39 se observan los resultados de la comparación de temperaturas para la estación Linzor. En ella se puede observar un comportamiento similar al presentado en la estación Parshall N°2, esto es, una buena representación de la temporalidad de la variable con un sesgo sistemático de subestimación, menor en la época estival en comparación con la pluvial. Una diferencia apreciable es la disminución de dicha subestimación, obteniéndose un ajuste casi perfecto para el mes de febrero y un sesgo máximo de casi 1°C en el mes de agosto.

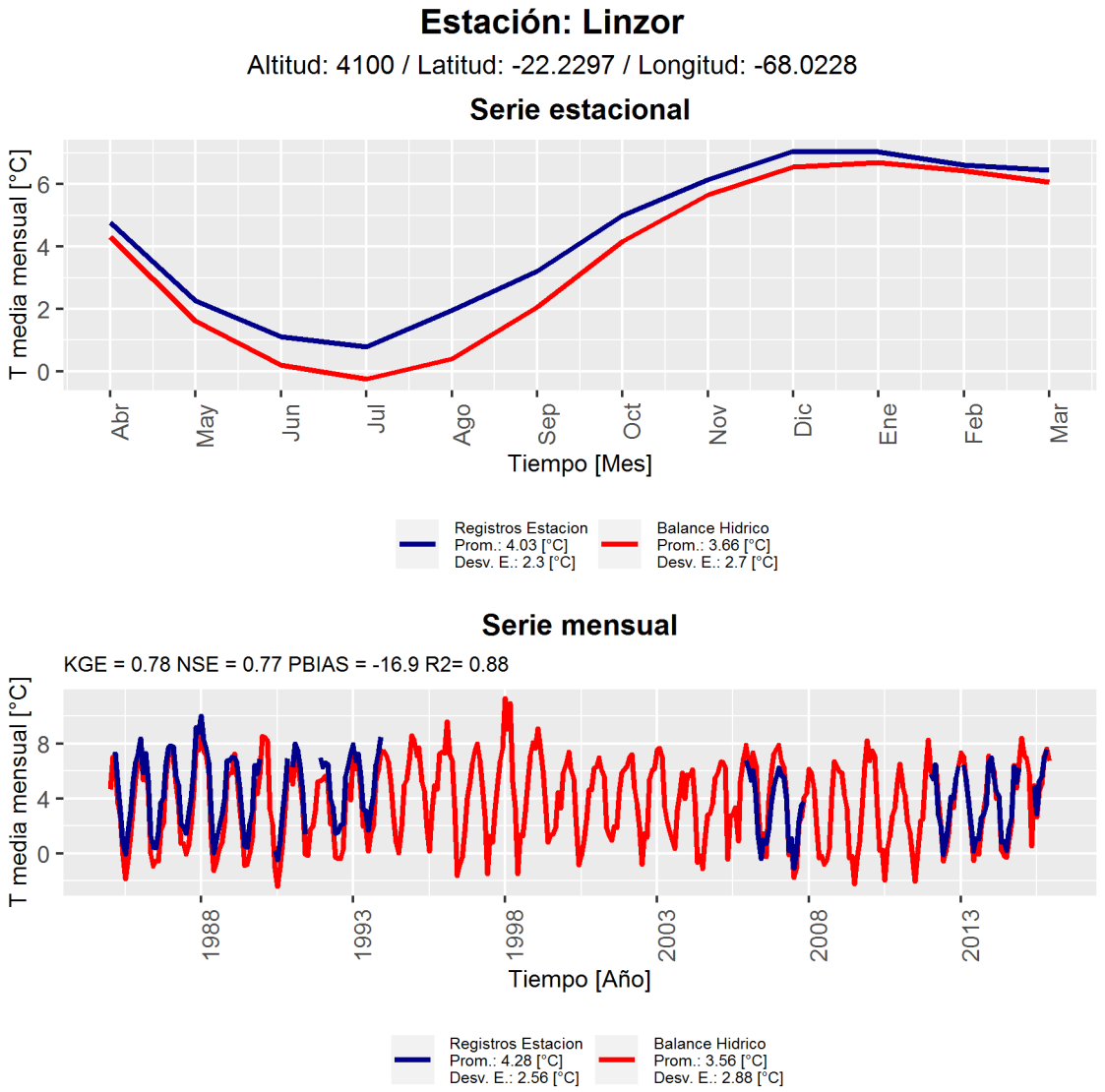


Figura 4.39: Resultados temperatura estación Linzor.

4.3.2.4.3.2.4 Resumen de la calidad de ajuste para la temperatura

En la Tabla 4.13 se presentan los indicadores para todas las estaciones con registros de temperatura en la cuenca del Loa. Al igual que en la sección anterior, se destacan las estaciones según la altitud en la que se ubican; en verde las estaciones bajo los 2500 m.s.n.m.; en amarillo las estaciones entre 2500 m.s.n.m. y 3200 m.s.n.m; y en rojo las estaciones ubicadas sobre los 3200 m.s.n.m.

En promedio para la cuenca se observa un buen resultado para los indicadores, a excepción para el NSE, cuyo valor promedio es de -0,46 e indicaría por lo tanto que la serie promedio

de observaciones es mejor predictor que el modelo del Balance Hídrico. La subestimación mencionada en las 3 estaciones analizadas se corrobora con un valor promedio de PBIAS igual a -12,84.

Tabla 4.13: Resumen de los indicadores de ajuste de la magnitud mensual para la temperatura.

Nombre	KGE	NSE	PBIAS	R2
Parshall N 2	0.74	0.24	-14.30	0.93
Ojos San Pedro	0.89	0.81	1.40	0.81
Conchi Embalse	0.91	0.84	-8.40	0.99
Conchi Muro Embalse	0.91	0.80	-8.40	0.93
Inacaliri	0.57	-0.18	-37.80	0.69
Lequena	0.92	0.87	-6.60	0.92
Linzor	0.78	0.77	-16.90	0.88
Turi	0.84	0.71	-3.50	0.73
Toconce	0.72	-9.32	-16.40	0.75
Ayquina	0.47	-2.39	-26.90	0.98
Salado Embalse	0.38	-0.46	-15.40	0.16
Caspana	0.61	0.19	-14.40	0.95
Chiu-Chiu	0.86	0.69	-7.30	0.98
El Tatio	0.88	0.93	-1.00	0.94
Coya Sur	0.66	-1.85	-16.2	0.54
Calama	0.84	0.03	-13.40	0.82
Promedio	**0.75**	**-0.46**	**-12.84**	**0.81**

En la Tabla 4.14 se presenta el promedio de los estadísticos según la altitud de las estaciones. Se puede ver que las 3 clasificaciones presentan valores similares de KGE, relativamente altos para todas. Se consideran los 3 valores de NSE obtenidos cercanos a cero, y por lo tanto la modelación del Balance Hídrico es aceptable considerando dicho indicador también. Con respecto al sesgo, las 3 clasificaciones poseen una magnitud similar en torno a -13%. La mejor correlación se obtiene para las estaciones ubicadas en la zona alta de la cuenca, resultando en una diferencia significativa en comparación con las estaciones ubicada en la zona baja del Loa.

Tabla 4.14: Promedio de estadísticos para estación según altitud.

Altitud	KGE	NSE	PBIAS	R2
Baja	0.75	-0.91	-14.80	0.68
Media	0.73	0.03	-11.65	0.80
Alta	0.76	-0.71	-13.25	0.86

En resumen, los problemas de subestimación tienden a ser menores en estaciones altas. Esto no es casualidad, dado que el nivel de cobertura espacial de la variable es consistentemente menor que el caso de las precipitaciones y está notoriamente concentrado. Sólo hay una estación para Loa Bajo y Loa Medio respectivamente, lo que demuestra que la mayoría de las estaciones está en la parte alta, como lo muestra la Figura 4.36.

Esto representa una brecha muy relevante a la hora de "calibrar" cualquier producto meteorológico, el cual depende estrictamente de la calidad y densidad de información en una zona determinada. Al no contar con más información se hace muy complejo reproducir la respuesta de una zona extensa con sólo dos puntos de observación. De ahí a que, en la parte alta, los ajustes por temperatura son bastante mejores.

4.3.2.4.4 Resumen de la meteorología de la cuenca

La variable meteorológica de mejor ajuste es la temperatura, presentando una pequeña subestimación a nivel de cuenca (13% para el promedio de las estaciones), con valores similares para la subdivisión realizada según la altitud de la estación. Se observa que el mejor ajuste para la temperatura se consigue en la época estival (octubre-marzo), donde el sesgo es casi despreciable para estaciones ubicadas en la zona alta de la cuenca (Figura 4.39). Dicho sesgo aumenta para estaciones ubicadas en la zona más baja del Loa (bajo los 2500 m.s.n.m.).

Con respecto a la precipitación, la simulación del Balance Hídrico entrega resultados poco deseables en las estaciones ubicada en la zona baja de la cuenca del Loa, presentando valores de KGE igual a -2,22, NSE de-15,91, PBIAS de 157,33 y r^2=0,58 como promedio para las estaciones ubicadas bajo los 2500 m.s.n.m. Esto puede deberse principalmente a la dificultad de predicción del producto climático en zonas áridas sin información observada de largo registro.

El ajuste mejora a medida se analizan estaciones ubicadas en lo más alto del Loa, resultando en ajustes casi perfectos para la serie estacional de precipitaciones. El buen desempeño del modelo para estaciones altas se corrobora con valores de KGE iguales a 0,73, NSE de 0,84, PBIAS de -14,06 y r^2 igual a 0,87 como promedio para las estaciones ubicadas sobre los 3200 m.s.n.m. Coincide además que el sector de Loa Alto es donde existe una mejor calidad en cobertura y registro de estaciones tanto de precipitaciones como de temperatura.

4.3.2.5 *Análisis de los datos observados*

Dentro del trabajo ejecutado por KP (2014a), se hizo un filtro de la calidad de las estaciones fluviométricas a considerar en la modelación producto de la constatación de su estado y calidad de medición mediante una visita a terreno.

En los resultados de dicha visita se concluyeron los siguientes aspectos:

1. "La gran mayoría de las estaciones se encuentra en buen estado y realiza la medición de caudal en una sección de hormigón rectangular que capta la totalidad del caudal pasante. Dentro de esta categoría se encuentran las siguientes estaciones: Río Loa antes Represa Lequena, Río Loa en Angostura, Río Loa en Escorial, Río Loa en Finca, Río Loa en Salida Embalse Conchi, Río Loa en Vado Santa Bárbara, Río Salado A.J. Curti, Río Salado en Sifón Ayquina, Río San Pedro en Parshall Nº 1, Río San Pedro en Parshall Nº 2, Río Toconce antes Represa Sendos y Vertiente Ojos de Opache. Estas estaciones representan los puntos de información fluviométrica más confiable para ser usados durante la calibración del modelo integrado MAGIC".

   Por tanto, se considerarán las mismas estaciones validadas por KP para los propósitos de calibración en WEAP.

2. "En el extremo opuesto se encuentran aquellas estaciones cuya información no es confiable debido a lo irregular de la sección de medición, estado de la estación y presencia de vegetación en el cauce. Dentro de esta categoría se encuentran las siguientes estaciones: Río Loa antes Zona Agrícola Quillagua, Río Loa D.J. San Salvador (Chacance) y Río Salado A.J. Río Loa. Para efectos de calibración, se evitará la utilización de la información proporcionada por estas estaciones".
3. "Finalmente, la estación Río Loa D.J. San Salvador (M. Elena) se encuentra en buenas condiciones, sin embargo, se observó agua fuera de la sección encausada de medición, lo que hace pensar que no se contabiliza todo el caudal pasante en la medición."

Estos comentarios son de suma utilidad para el proceso de calibración, resumiendo las estaciones que son confiables para dicho proceso, aquellas que deben mirarse con cuidado, y otras que de plano deben descartarse y solo tomarse como una referencia del orden de magnitud del caudal pasante.

4.3.3 Modelo Operacional de la Situación Actual (WEAP)

4.3.3.1 *Aspectos relativos a la operación del modelo*

Como se ha explicado anteriormente, se ha dividido el modelo superficial de la zona de estudio en un modelo hidrológico por subcuencas, el cual ha seguido una desagregación espacial por bandas de elevación, y un modelo operacional, el cual toma la información del modelo hidrológico y la usa para definir los aportes de cuencas intermedias y laterales e interacciones con otros elementos.

A continuación, se hace necesario definir cada uno de los aspectos fundamentales que permiten dar sustento al esquema conceptual de modelación operacional.

4.3.3.2 *Topología*

La topología del modelo, entendida como la presentación de los elementos que conforman el modelo y sus interacciones es presentada a continuación. El fin último de la topología es comunicar el esquema conceptual de manera que éste sea debidamente representado y aprobado por la contraparte técnica.

4.3.3.2.1 Subcuencas

En WEAP las cuencas son representadas a través de un nodo de tipo catchment donde se genera la producción hidrológica y se puede además, representar el riego. En esta se ingresan las forzantes comentadas anteriormente como serie de tiempo se deben calibrar valores como el coeficiente de cultivo, al albedo, la dirección preferente de flujo entre otras. En la cuenca de estudio, tal como se mencionó anteriormente, se empleó un enfoque de subcuencas por lo que se representaron 10 *catchments* que pueden ser revisados en la Tabla 4.15 donde se puede ver el nombre en el modelo WEAP y su área correspondiente. En la Figura 4.40 se puede apreciar la ubicación espacial de todos los elementos de tipo catchment. Cabe destacar que en este modelo sólo han sido empleados para la producción hidrológica mientras que el riego fue implementado a través de nodos de demanda.

Tabla 4.15 Cuencas implementadas en el modelo WEAP con el nodo de tipo Catchment.

Código Subcuenca DGA	Nombre Nodo WEAP	Nombre Subcuenca DGA	Área [km2]	Nota
2100	CU_2100	Rio Loa bajo junta Estero Chela	1480.56	
2101	CU_2101	Rio Loa Entre Estero Chela y Bajo Junta Quebrada de Hachas	864.16	
2102	CU_2102	Rio Loa entre Quebrada de Hachas y Rio San Pedro	1518.44	
2103	CU_2103	Rio San Pedro	1055.98	
2104	CU_2104	Rio Loa entre Rio San Pedro y Rio Salado	924.09	
2105	CU_2105	Rio Salado	2287.98	
2110	CU_2110	Rio Loa entre Rio Salado y Rio San Salvador	3061.47	
2111	CU_2111	Rio San Salvador	1803.62	
2112	CU_2112	Rio Loa entre Rio San Salvador y Quebrada Amarga	12858.50	Precipitación No Activa
2113		Salar de Llamara	6684.34	No implementada en el modelo
2120	CU_2120	Rio Loa entre Quebrada Amarga y Desembocadura	542.23	Precipitación No Activa

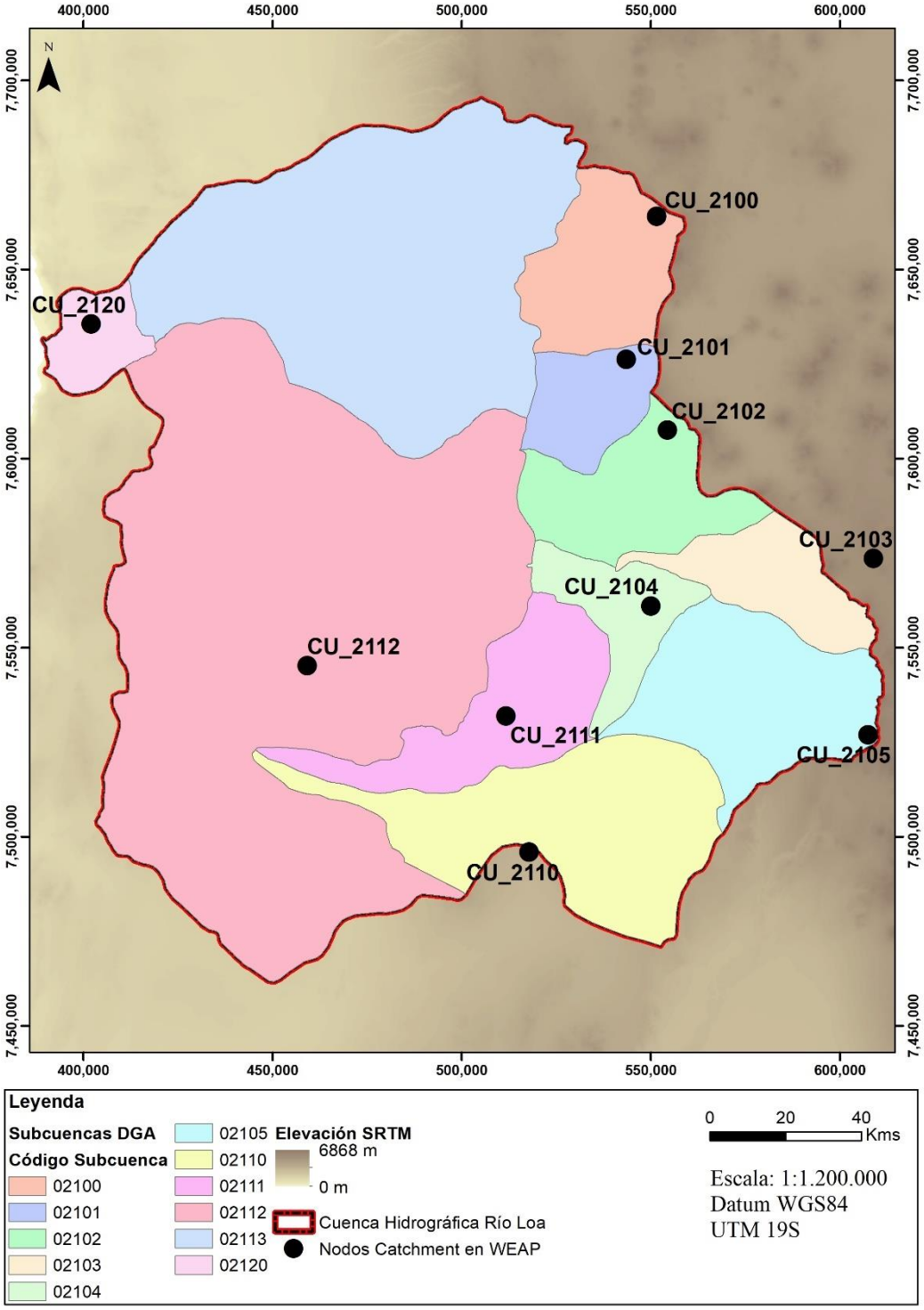


Figura 4.40.Ríos y subcuencas definidos en el modelo operacional.

4.3.3.2.2 Acuíferos

En WEAP, un acuífero está dado por un nodo de tipo “estanque”, el cual posee una capacidad de almacenamiento y un volumen inicial, y al cual se le pueden conectar links de salida y, de entrada. Un *link* de salida representa un bombeo, mientras que un link de entrada representa una recarga o aporte puntual, por ejemplo, una infiltración.

En el presente modelo, el acuífero sirve como fuente de agua si se quiere modelar el bombeo de pozos o afloramientos del cauce, y como receptor de las recargas provenientes del riego (derrames) y las pérdidas por conducción de los canales. Estos elementos son importantes al momento de establecer la vinculación con un modelo de aguas subterráneas en MODFLOW, ya que estas salidas de WEAP, se incorporan como flujos de entrada a MODFLOW de modo tal de poder representar ambos sistemas de forma integrada.

Para el caso de estudio, dicho sistema ha sido representado empleando los Sitios Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC) de acuerdo con el estudio de Knight Piésold (2014b). Este informe concluye que la cuenca cuenta con 9 SHACS que se pueden revisar en la Tabla 4.16, donde se puede revisar el volumen máximo de almacenamiento y el área superficial en kilómetros cuadrados. En esta tabla además se incluye el acuífero de Pampa Puno, que es un caso particular, dado que no está abordado por el estudio de KP (2014a) o 2014b y no presenta una relación con los demás acuíferos. En este estudio particular, se ha decidido agregarlo con la información disponible, sin embargo, no se pueden validar los flujos resultantes.

En la Figura 4.41 se puede observar la distribución espacial de los acuíferos en la cuenca y sus relaciones las que están representadas con una flecha. Se puede revisar más en detalle el flujo pasante entre los distintos acuíferos en la sección 4.3.3.2.2.1. En esta figura también se puede observar que el acuífero Pampa Puno esta desconectado de los otros y no tiene una flecha de entrada o salida. De acuerdo con el informe Estudio de Impacto Ambiental Suministro, Construcción y Operación de Aducción Pampa Puno de Codelco Chile (División Codelco Norte 2004) mencionado por Knight Piésold (2014b, p. 33) existe un flujo hacia Pampa Yocas, sin embargo, no fue representado en este modelo.

Tal como se mencionó anteriormente WEAP permite dos métodos de cálculo de flujo de acuíferos, y en este modelo se implementó el método de cálculo donde se especifican los flujos correspondientes. Esto dado que distintos estudios llevados a cabo en este modelo presentan mejores resultados, y una representación más coherente con los flujos observados o modelados de forma distribuida con MODFLOW, frente al método de la cuña. Cabe destacar que se consideró que en el primer periodo de modelación, el volumen inicial de cada acuífero corresponde al 70% de su volumen máximo de almacenamiento. Este porcentaje proviene del supuesto que los acuíferos, dada su explotación, no se encuentran en equilibrio.

Tabla 4.16 Propiedades de los acuíferos considerados en WEAP.

Nombre WEAP	Nombre	Volumen Máximo Almacenamiento. [m3]	Volumen Inicial [m3]	Área Superficial [km2]	Método Calculo WEAP
SHAC_01	Loa Aguas Arriba Embalse Conchi	26626531.3	21301225.1	1406.82326	Specify GW-SW flows
SHAC_02	Río San Pedro	2193319700	1754655760	398.7854	Specify GW-SW flows
SHAC_03	Río Salado	367604917	367604917	845.350986	Specify GW-SW flows
SHAC_04	Pampa Llalqui	1577320610	1577320610	1476.1959	Specify GW-SW flows
SHAC_05	Calama	2368155122	2368155122	1633.93174	Specify GW-SW flows
SHAC_06	Salar de Miraje	4572439734	4572439734	1192.19268	Specify GW-SW flows
SHAC_07	Salar de Llamara	2.2804E+10	2.2804E+10	1161.90254	Specify GW-SW flows
SHAC_08	Loa desde María Elena a Quillagua	1.0637E+10	1.0637E+10	2013.16451	Specify GW-SW flows
SHAC_09	Loa desde Quillagua a Desembocadura	443231175	354584940	274.920469	Specify GW-SW flows
ACUÍFERO Pampa Puno	Pampa Puno	2395000	2155500		Specify GW-SW flows

Para estimar los flujos subterráneos del modelo se empleó como referencia el informe de KP (2014b), el cual consideraba dos modelos. Un modelo superficial/subterráneo MAGIC y un modelo subterráneo distribuido MODFLOW. Para el presente informe, se consideró principalmente la información del modelo MAGIC dado que comparten la misma aproximación topológica de modelos agregados, sin embargo, se consideraron los flujos calculados por MODFLOW a modo de tener una referencia. En la Tabla 4.17 se presentan los flujos de todos los acuíferos obtenida desde MAGIC para el periodo de modelación 1975 a 2014. Se puede observar que el balance es negativo todos los meses, lo que significa que el acuífero se está vaciando dado que las salidas son menores que las entradas. Dentro de los flujos de salida el de mayor caudal corresponden a los afloramientos, mientras que de los flujos de entrada el de mayor caudal corresponde a las infiltraciones de los ríos. Cabe destacar también que en este modelo no se puede distinguir la recarga por precipitación, de aquella que surge desde los derrames de las zonas de riego.

Tabla 4.17 Balance de los flujos subterráneos en la cuenca del Loa de acuerdo con el modelo MAGIC empleado por KP (2014b). Esta tabla no considera los flujos impuestos como condiciones de borde en el modelo MODFLOW. El signo refiere * refiere a que no se consideran Salidas y Entradas subterráneas.

Entradas	Flujo (m^3/s)											
	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Subterránea	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21
Recarga PP+Riego	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Recarga Ríos	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24
Recarga Canales	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Salidas												
Subterránea	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31	-1.31
Pozos	-1.85	-1.85	-1.85	-1.85	-1.85	-1.85	-1.85	-1.85	-1.85	-1.85	-1.85	-1.85
Afloramientos	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00
Total Recargas*	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
Total Salidas*	-4.85	-4.85	-4.85	-4.85	-4.85	-4.85	-4.85	-4.85	-4.85	-4.85	-4.85	-4.85
Recarga (PP+R+C)	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
Afloramiento Neto	-1.76	-1.76	-1.76	-1.76	-1.76	-1.76	-1.76	-1.76	-1.76	-1.76	-1.76	-1.76
Balance	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10	-3.10

Un aspecto importante para la representación de los acuíferos es la recarga. En WEAP, a diferencia de MAGIC, es posible separar la recarga para el ingreso de los datos (operacional y recarga natural) como para el análisis de datos. En ese sentido, la implementación de la recarga en el modelo actual WEAP se basó en la información de la Tabla 4.18 donde se muestra la estacionalidad año promedio de la recarga por cada acuífero consideradas en el modelo MAGIC. En esta tabla, la última columna considera las condiciones de borde impuestas en el modelo MODFLOW que son necesarias de considerar.

Frente a esto, el modelo WEAP desarrollado considera las condiciones de borde estables para todo el periodo de modelación (calibración y escenarios). Para el caso de la recarga natural, se empleó el 3% de la precipitación producida sobre el área de cada acuífero. Para

esto, se calculó el área cubierta de cada acuífero de una cada subcuenca y fue multiplicado la precipitación.

El porcentaje señalado fue determinado considerando (a) obtener una magnitud de la recarga similar a lo expuesto en la Tabla 4.18 y (b) mantener una aproximación similar considerada en otras cuencas modeladas con WEAP como Limarí. (DGA- Rhodos, 2017). Cabe destacar que esta aproximación permite que la recarga sea un parámetro sensible ante el cambio climático dado que está en función de la precipitación, lo que es una ventaja frente a los modelos anteriores.

Ahora bien, en la misma tabla no se presentó la recarga del acuífero Pampa Puno dado que proviene de otra fuente. En el estudio de DGA-Mayco Consultores (2013) mencionado por Knight Piésold (2014b, p. 65) se determinó que la recarga es de 97 mm por año. Este valor fue implementado en WEAP sin mayor ajuste, al no disponer de nueva información por parte del consultor.

Tabla 4.18 Recarga Promedio desde precipitación y riego resultante del modelo MAGIC desarrollado por KP (2014b). No se puede separar en dos unidades dada la configuración de los resultados presentados. La última columna presenta las condiciones de borde impuestas en el modelo subterráneo desarrollado por KP (2014b).

	Flujo (m^3/s)												Condiciones de borde
	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	
	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s
SHAC 01	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.79
SHAC 02	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.73
SHAC 03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.95
SHAC 04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
SHAC 05	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	
SHAC 06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
SHAC 07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11
SHAC 08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
SHAC 09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Ahora bien, de la misma forma que se implementaron las condiciones de borde que ingresan caudal también se implementó una condición de salida, que representa un nivel de flujo constante, el océano. Esta es representada, de acuerdo con el estudio de KP (2014b) con un caudal de 0.06 m^3/s desde el SHAC-09 para todos los pasos de tiempo.

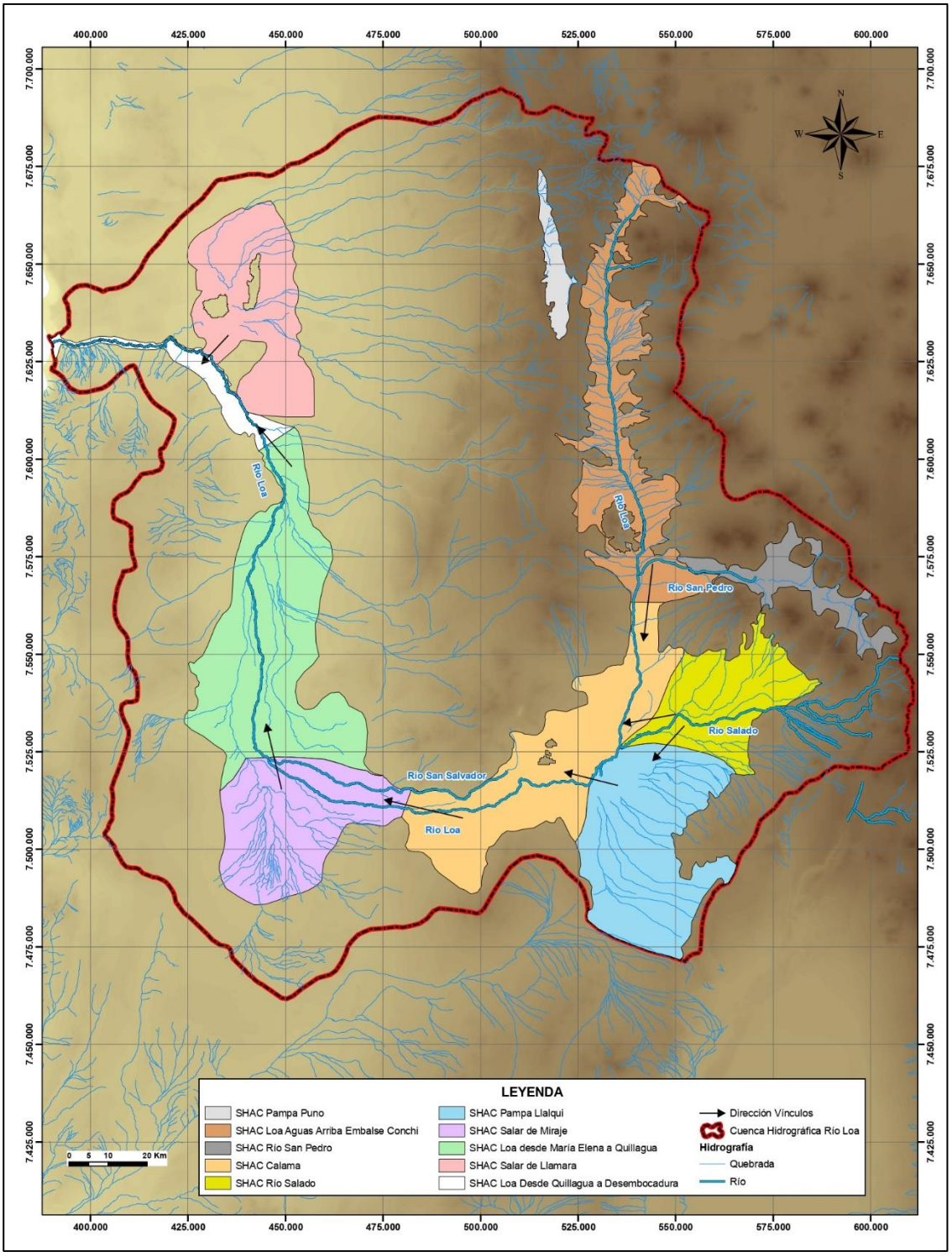


Figura 4.41. Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común. Fuente: KP, 2014b (p. 139)

4.3.3.2.2.1 Relaciones entre los acuíferos

Uno de los principales resultados del estudio de Knight Piésold (2014b) fue determinar las relaciones entre los acuíferos, donde se determinó que existe una fuerte interacción entre los distintos acuíferos a excepción de Pampa Puno como ya fue establecido y entre el acuífero del rio San Pedro que no presenta interacción. En la Figura 4.42 se pueden observar las relaciones implementadas en el modelo mientras que en la sección 4.3.3.2.2.2 se pueden revisar la estimación de los flujos pasantes entre los acuíferos.

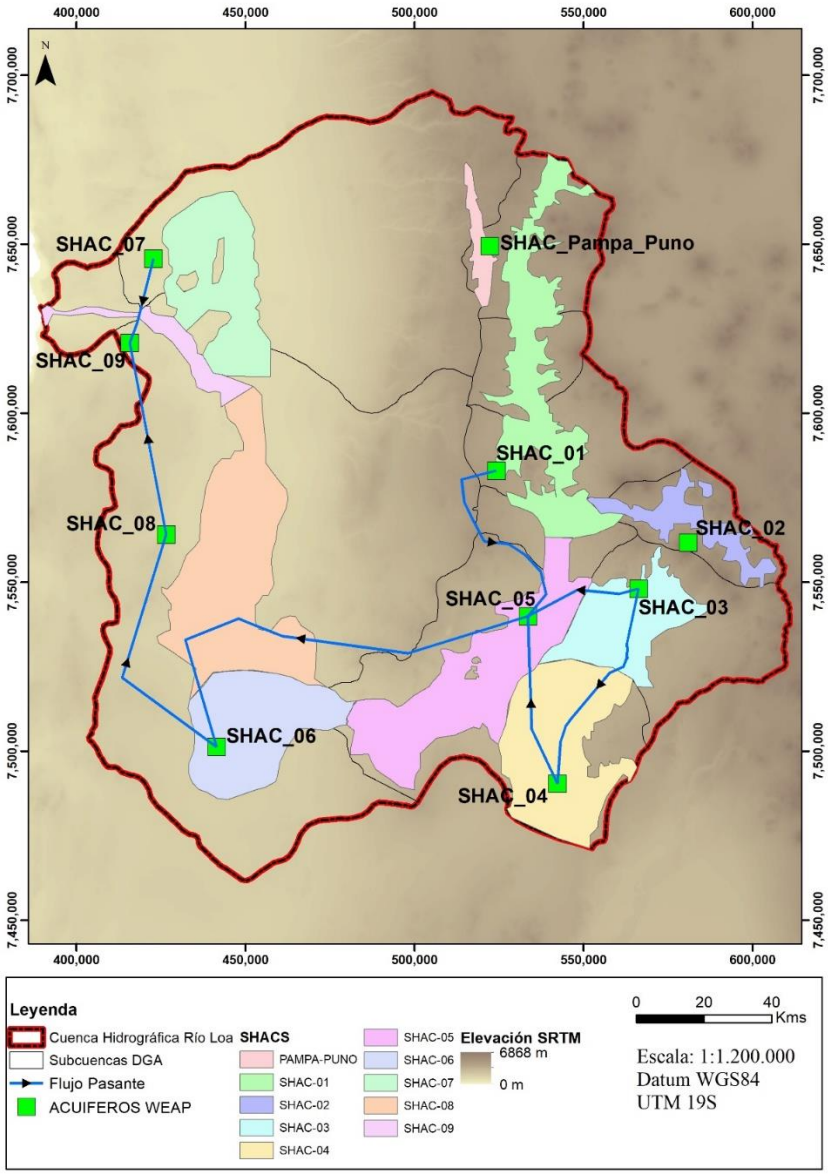


Figura 4.42. Relaciones entre los acuíferos implementadas en el modelo WEAP.

4.3.3.2.2.2 Estimación flujo pasante

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, existe una serie de flujos pasantes entre los acuíferos. En el informe de Knight Piésold (2014b) estos flujos son fijos para todos los pasos de tiempo, por lo que en este modelo fue establecido de la misma manera tal como se puede observar en la Tabla 4.19. En esta tabla se puede verificar el acuífero de origen y destino y la proporción de flujo, la que debe sumar 100% por cada acuífero de destino y el flujo pasante impuesto en m3/s. Este esquema permite la existencia de relaciones fijas todo el tiempo y asegura el intercambio de agua entre los diferentes sectores hidrogeológicos de la zona.

Tabla 4.19 Flujo pasante entre acuíferos impuesto en base a lo calculado por KP (2014b)

Acuífero de Origen	Acuífero destino	Proporción de flujo [%]	Flujo Pasante entre acuíferos [m3/s]
AC-01	AC-05	100%	0.102
AC-03	AC-04	90%	0.396
AC-03	AC-05	10%	0.044
AC-04	AC-05	100%	0.391
AC-05	AC-06	100%	0.206
AC-06	AC-08	100%	0.095
AC-07	AC-09	100%	0.048
AC-08	AC-09	100%	0.054

4.3.3.2.3 Ríos

A partir de la red hídrica obtenida desde la Dirección General de Aguas y de los cursos de agua con demandas activas considerados en el informe de Knight Piésold (2014b) se han considerado 12 cursos se agua que han sido representados en el modelo WEAP con el elemento de tipo río. La información de cada uno de ellos se puede revisar en la Tabla 4.20 junto a su longitud y al acuífero con que tienen interacción tanto de infiltración como de afloramientos. Además, en la Figura 4.43 se puede apreciar los ríos y quebradas implementados en el modelo sobre una imagen de altitud (SRTM).

Tal como se ha mencionado anteriormente, la producción hidrológica en este modelo se realiza internamente con parámetros de calibración a partir de las forzantes y por tanto, no se encuentra impuesta de forma externa.

Tabla 4.20 Nombre, longitud y relación con su acuífero de los principales ríos de la cuenca.

Nombre	ACUÍFERO / SHAC	Longitud [km]
Río Loa	SHAC-01	341.57
	SHAC-05	
	SHAC-08	
	SHAC-09	
Rio San Pedro	SHAC-02	68.27
Rio Toconce	SHAC-03	30.63
Rio Hojalar	SHAC-03	20.08
Rio Salado	SHAC-03	42.2
Rio Curti	SHAC-03	13.56
Rio Caspana	SHAC-03	9.77
Rio San Salvador	SHAC-05	70.23
Quebrada Colana	SHAC-03	9.77
Quebrada de Cupo	SHAC-03	36.87
Quebrada Turi Paniri	SHAC-03	67.98
Quebrada Amarga	SHAC-09	7.23

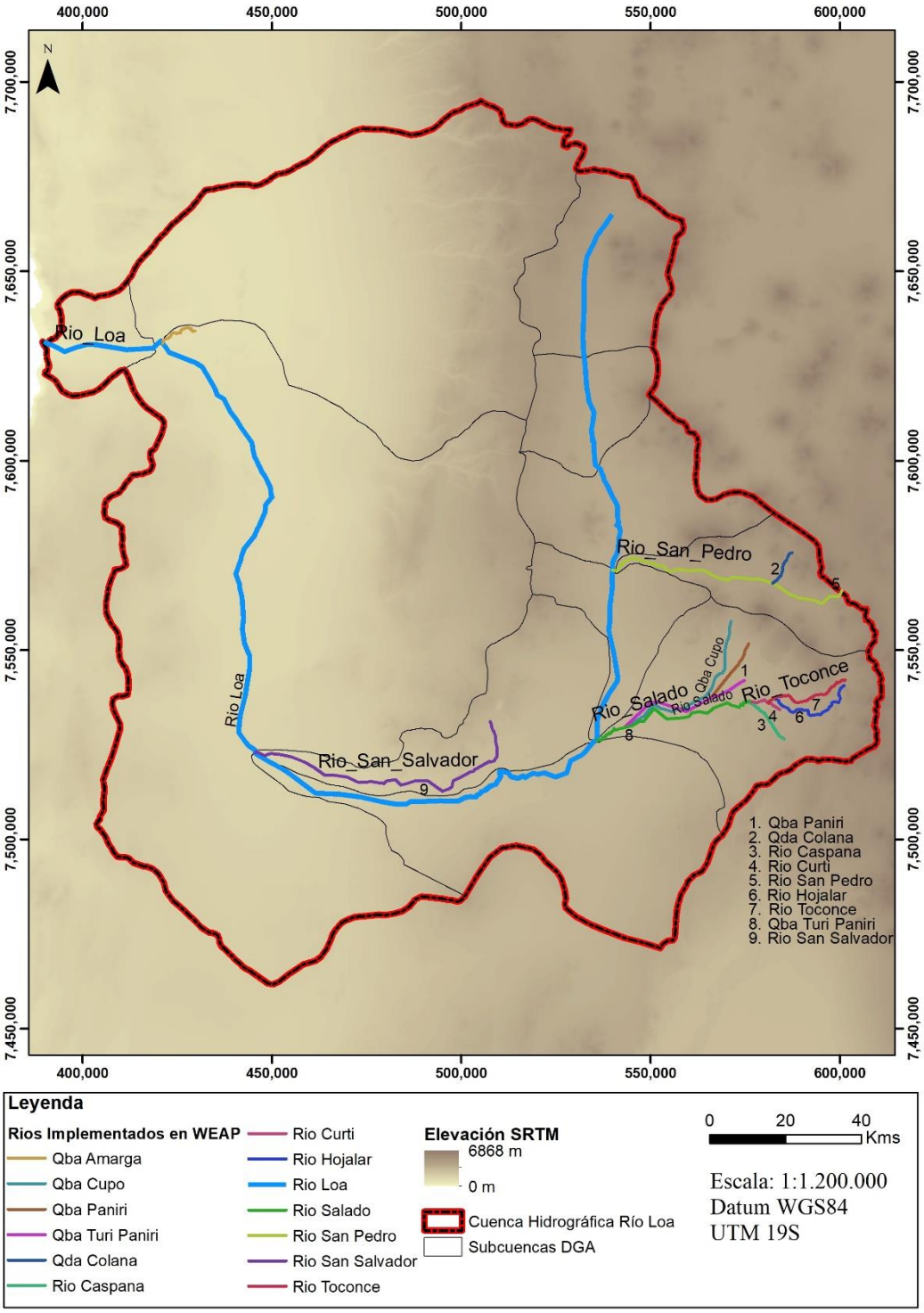


Figura 4.43. Ríos y Quebradas implementados en el Modelo WEAP.

4.3.3.2.3.1 Infiltraciones

Las representaciones de las interacciones superficiales y subterráneas son importantes de implementar correctamente, en especial en una cuenca como el Loa, donde los resultados de KP (2014b) existe una fuerte interacción traducida en infiltraciones y afloramientos. Las infiltraciones se refieren al flujo que recarga el acuífero desde el río. En el modelo MAGIC de KP (2014b) las infiltraciones estaban implementadas por cada tramo de río en base a parámetros físicos por lo que por cada paso de tiempo, se resolvía una cantidad de flujo. En WEAP la infiltración es un porcentaje por cada tramo, y no existen parámetros físicos a los que asociar este porcentaje. Frente a este escenario, se decidió considerar una alternativa de representar las infiltraciones como nodos de demanda por cada tramo de río, de la misma forma que MAGIC. La ventaja de este método es que permite establecer el caudal infiltrado en m3/s y no en un porcentaje. Lo que permite una validación mucho más clara de este parámetro.

Para determinar el caudal a extraer por cada tramo, se revisaron los tramos homólogos entre el modelo WEAP y el modelo MAGIC y se implementaron 74 nodos de infiltración con el prefijo INF y un correlativo entre el 1 y el 74. El caudal por extraer fue determinado analizando la infiltración resultante en el modelo MAGIC. En esto, se observaron tres comportamientos de la infiltración: (a) existen tramos en los cuales la infiltración es cero y que no fueron implementados, (b) tramos donde existe una relación lineal entre el caudal afluente y el caudal infiltrado y (c) tramos donde existe una relación escalonada entre el caudal afluente y el caudal infiltrado. Para todos los tramos donde la infiltración fuese mayor a cero se implementó el esquema propuesto, que se puede observar visualmente en la Figura 4.44 donde se puede ver que la mayor cantidad de nodos están cerca de la zona de Calama asociados al acuífero 5. Se puede revisar el detalle de cada nodo de infiltración en la Tabla 4.21 donde también se puede ver el tramo del modelo MAGIC y el promedio de la infiltración en el modelo MAGIC.

Los nodos no implementados refieren a zonas donde la infiltración es cero para todos los pasos de tiempo en el modelo MAGIC (1975 – 2014).

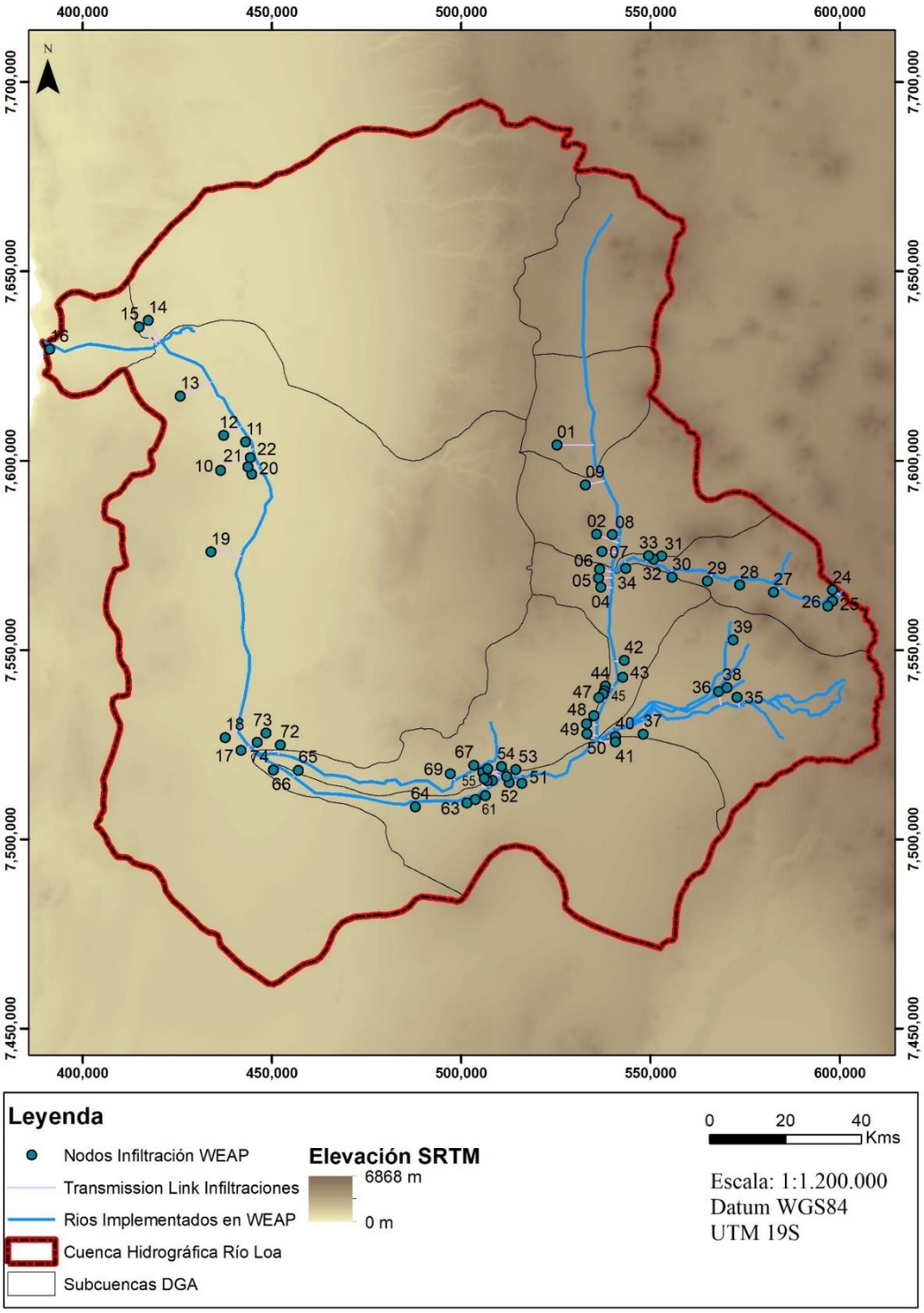


Figura 4.44. Ubicación de Nodos de infiltración en el modelo WEAP. Los números se corresponden con la tabla de Infiltraciones en el campo de nodo WEAP

Tabla 4.21 Detalle de cada nodo de infiltración implementado en el modelo WEAP

RIO WEAP	Tramo Río Magic	Acuífero WEAP	NODO WEAP	Promedio Infiltración [m3/s]	DETALLE
Río Loa	TR-001	AC-01	INF_01	0.0009	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-002	AC-01	INF_09	0.0065	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-003	AC-01	INF_08	0.0001	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-004	AC-01	INF_02	0.0010	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-005	AC-01	INF_07	0.0036	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-020	AC-01	INF_06	0.0000	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-021	AC-01		0.0000	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-022	AC-01	INF_05	0.0001	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-023	AC-01	INF_04	0.0024	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-024	AC-01		0.0000	Ecuación de infiltración
Rio San Pedro	TR-006	AC-02		0.0012	No implementada
Rio San Pedro	TR-007	AC-02	INF_24	0.0019	Ecuación de infiltración
Rio San Pedro	TR-008	AC-02	INF_25	0.0082	Ecuación de infiltración
Rio San Pedro	TR-009	AC-02	INF_26	0.0036	Ecuación de infiltración
Rio San Pedro	TR-010	AC-02	INF_27	0.0382	Ecuación de infiltración
Rio San Pedro	TR-013	AC-02	INF_28	0.0080	Ecuación de infiltración
Rio San Pedro	TR-014	AC-02	INF_29	0.0296	Ecuación de infiltración
Rio San Pedro	TR-015	AC-02	INF_30	0.1298	Ecuación de infiltración
Rio San Pedro	TR-016	AC-02	INF_31	0.0050	Ecuación de infiltración
Rio San Pedro	TR-017	AC-02	INF_32	0.0033	Ecuación de infiltración
Rio San Pedro	TR-018	AC-02	INF_33	0.0000	Ecuación de infiltración
Rio San Pedro	TR-019	AC-02	INF_34	0.0000	Ecuación de infiltración
Quebrada Colana	TR-011	AC-03		0.0000	No Implementada
Quebrada Colana	TR-012	AC-03		0.0004	No Implementada
Rio Toconce	TR-036	AC-03		0.0000	No Implementada
Rio Toconce	TR-037	AC-03		0.0000	No Implementada
Rio Toconce	TR-038	AC-03		0.0000	No Implementada
Rio Toconce	TR-039	AC-03		0.0000	No Implementada
Rio Toconce	TR-040	AC-03		0.0000	No Implementada
Rio Toconce	TR-041	AC-03		0.0000	No Implementada
Rio Toconce	TR-042	AC-03		0.0000	No Implementada
Rio Toconce	TR-043	AC-03		0.0000	No Implementada
Rio Toconce	TR-044	AC-03		0.0000	No Implementada
Rio Toconce	TR-045	AC-03		0.0000	No Implementada
Rio Toconce	TR-046	AC-03		0.0000	No Implementada
Rio Hojalar	TR-047	AC-03		0.0000	No Implementada
Rio Hojalar	TR-048	AC-03		0.0000	No Implementada

RIO WEAP	Tramo Río Magic	Acuífero WEAP	NODO WEAP	Promedio Infiltración [m3/s]	DETALLE
Rio Hojalar	TR-049	AC-03		0.0000	No Implementada
Rio Hojalar	TR-050	AC-03		0.0000	No Implementada
Rio Toconce	TR-051	AC-03		0.0000	No Implementada
Rio Curti	TR-052	AC-03		0.0000	No Implementada
Rio Curti	TR-053	AC-03		0.0000	No Implementada
Rio Curti	TR-054	AC-03		0.0000	No Implementada
Rio Curti	TR-055	AC-03		0.0000	No Implementada
Rio Curti	TR-056	AC-03		0.0000	No Implementada
Rio Caspana	TR-057	AC-03		0.0000	No Implementada
Rio Caspana	TR-058	AC-03		0.0000	No Implementada
Rio Curti	TR-059	AC-03		0.0000	No Implementada
Rio Curti	TR-060	AC-03		0.0000	No Implementada
Rio Salado	TR-061	AC-03	INF_35	0.0624	Ecuación de infiltración
Rio Salado	TR-062	AC-03	INF_36	0.0676	Ecuación de infiltración
Rio Salado	TR-063	AC-03	INF_37	0.1036	Ecuación de infiltración
Quebrada Turi Paniri	TR-064	AC-03		0.0000	No Implementada
Quebrada Turi Paniri	TR-065	AC-03	INF_38	0.0129	Ecuación de infiltración
Quebrada Turi Paniri	TR-066	AC-03		0.0028	No Implementada
Quebrada de Cupo	TR-067	AC-03		0.0000	No Implementada
Quebrada de Cupo	TR-068	AC-03	INF_39	0.0018	Ecuación de infiltración
Rio Salado	TR-069	AC-03	INF_40	0.0377	Ecuación de infiltración
Rio Salado	TR-070	AC-03	INF_41	0.0266	Ecuación de infiltración
Quebrada Amarga	TR-112	AC-03			No Implementada
Quebrada Amarga	TR-113	AC-03			No Implementada
Río Loa	TR-025	AC-05	INF_42	0.0064	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-026	AC-05	INF_43	0.0111	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-027	AC-05		0.0000	No Implementada
Río Loa	TR-028	AC-05	INF_44	0.0028	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-029	AC-05		0.0000	No Implementada
Río Loa	TR-030	AC-05	INF_45	0.0032	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-031	AC-05	INF_46	0.0009	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-032	AC-05	INF_47	0.0070	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-033	AC-05	INF_48	0.0085	Ecuación de infiltración

RIO WEAP	Tramo Río Magic	Acuífero WEAP	NODO WEAP	Promedio Infiltración [m3/s]	DETALLE
Río Loa	TR-034	AC-05	INF_49	0.0019	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-035	AC-05	INF_50	0.0058	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-071	AC-05		0.0000	No Implementada
Río Loa	TR-072	AC-05		0.0000	No Implementada
Río Loa	TR-073	AC-05		0.0000	No Implementada
Río Loa	TR-074	AC-05	INF_51	0.0026	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-075	AC-05	INF_52	0.0052	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-076	AC-05	INF_53	0.0025	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-077	AC-05	INF_54	0.0417	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-078	AC-05	INF_55	0.0070	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-079	AC-05	INF_56	0.0244	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-080	AC-05	INF_57	0.0046	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-081	AC-05	INF_58	0.0511	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-082	AC-05	INF_59	0.0119	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-083	AC-05	INF_60	0.0141	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-084	AC-05	INF_61	0.0308	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-085	AC-05	INF_62	0.0209	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-086	AC-05	INF_63	0.0119	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-087	AC-05	INF_64	0.1082	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-088	AC-05	INF_65	0.0090	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-089	AC-05	INF_66	0.0249	Ecuación de infiltración
Rio San Salvador	TR-090	AC-05		0.0000	No Implementada
Rio San Salvador	TR-091	AC-05	INF_67	0.0011	Ecuación de infiltración
Rio San Salvador	TR-092	AC-05	INF_68	0.0042	No Implementada
Rio San Salvador	TR-093	AC-05	INF_69	0.0232	Ecuación de infiltración
Rio San Salvador	TR-094	AC-05		0.0000	No Implementada
Rio San Salvador	TR-095	AC-05	INF_70	0.0036	No Implementada
Rio San Salvador	TR-096	AC-05	INF_71	0.0041	No Implementada
Rio San Salvador	TR-097	AC-05	INF_72	0.3569	Ecuación de infiltración
Rio San Salvador	TR-098	AC-05	INF_73	0.0015	Ecuación de infiltración
Rio San Salvador	TR-099	AC-05		0.0000	No Implementada

RIO WEAP	Tramo Río Magic	Acuífero WEAP	NODO WEAP	Promedio Infiltración [m3/s]	DETALLE
Río Loa	TR-100	AC-05	INF_74	0.0017	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-101	AC-08	INF_17	0.0057	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-102	AC-08	INF_18	0.0000	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-103	AC-08	INF_19	0.0535	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-104	AC-08	INF_20	0.0028	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-105	AC-08	INF_21	0.0000	No Implementada
Río Loa	TR-106	AC-08	INF_22	0.0024	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-107	AC-09	INF_10	0.0011	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-108	AC-09	INF_11	0.0042	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-109	AC-09	INF_12	0.0041	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-110	AC-09	INF_13	0.3569	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-111	AC-09	INF_14	0.0141	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-114	AC-09	INF_15	0.0308	Ecuación de infiltración
Río Loa	TR-115	AC-09	INF_16	0.0028	Ecuación de infiltración

4.3.3.2.3.2 Afloramientos

De la misma forma que las infiltraciones, los afloramientos son una interacción vital para comprender la cuenca del río Loa. En el informe de Knight Piésold (2014b) se estiman entre 1.55 m3/s en su modelo MODFLOW y 3.0 m3/s en su modelo superficial por lo que se deben representar adecuadamente.

En el modelo MAGIC se representaron de dos formas distintas (a) como pozos subterráneos, dado que de esa forma era posible extraer un caudal fijo todos los meses y (b) dentro de los tramos determinados. Este esquema asegura que los afloramientos representados como pozos podrán extraer el agua necesaria todos los meses de forma independiente de otros factores como la recarga, mientras que los de segundo tipo depende de las condiciones de ese mes y las distintas demandas.

En la Tabla 4.22 se presenta el esquema original de afloramientos del modelo MAGIC junto a las modificaciones para su implementación en el modelo WEAP. Se han incluido tanto los afloramientos representados como pozos y aquellos representados dentro de un tramo de río. Los primeros tienen un caudal fijo de extracción todo el tipo, pero no consumen su demanda sino que se la aportan al río. Estos se asocian a la parte inicial de los ríos Toconce, Hojalar, Curti, y Caspana y se complementa con lo ingresado por la precipitación. En la misma tabla se puede observar el nombre que reciben en el modelo WEAP.

Los afloramientos representados dentro de un tramo de río han sido implementados a través de una ecuación de afloramiento. Estas provienen de la observación de los resultados

del estudio de Knight Piésold (2014b) y están definidas para cada acuífero, en función de la recarga o de las infiltraciones, aunque también algunas son valores fijos. En la misma tabla existe una columna denominada proporción del flujo donde se observa en cuantos nodos y que proporción reciben ellos de todo el caudal aflorado. Si un acuífero tiene sólo un tramo de afloramiento, todo el caudal a aflorar en ese paso de tiempo es transportado sólo por ese nodo.

Tabla 4.22 Resumen Afloramientos modelo MAGIC y modelo WEAP.

Código	Acuífero	Proporción del flujo [%]	Nodo MAGIC	Nodo WEAP	Observación
QZV-01	AC-01	100%	NO-007		Ecuación de Afloramiento
QZV-02	AC-02	100%	NO-017		Ecuación de Afloramiento
QZV-03	AC-03	2%	NO-070		Ecuación de Afloramiento
QZV-04	AC-03	2%	NO-069		Ecuación de Afloramiento
QZV-05	AC-03	30%	NO-067		Ecuación de Afloramiento
QZV-06	AC-03	66%	NO-065		Ecuación de Afloramiento
QZV-POZO1	AC-03		PO-55	PO_55_AF	Afloramiento impuesto como pozo
QZV-POZO2	AC-03		PO-56	PO_56_AF	Afloramiento impuesto como pozo
QZV-POZO3	AC-03		PO-57	PO_57_AF	Afloramiento impuesto como pozo
QZV-POZO4	AC-03		PO-58	PO_58_AF	Afloramiento impuesto como pozo
QZV-POZO5	AC-03		PO-59	PO_59_AF	Afloramiento impuesto como pozo
QZV-07	AC-04	100%	NO-075		Ecuación de Afloramiento
QZV-08	AC-05	52%	NO-075		Ecuación de Afloramiento
QZV-09	AC-05	30%	NO-097		Ecuación de Afloramiento
QZV-10	AC-05	18%	NO-093		Ecuación de Afloramiento. Revisar consideración sobre afluente Río San Salvador
QZV-11	AC-06	100%	NO-103		Ecuación de Afloramiento
QZV-12	AC-07	10%	NO-113		Ecuación de Afloramiento
QZV-13	AC-07	90%	NO-115		Ecuación de Afloramiento. Revisar consideración sobre afluente Quebrada Amarga
QZV-14	AC-08	100%	NO-107		Ecuación de Afloramiento
QZV-15	AC-09	100%	NO-118		Ecuación de Afloramiento

4.3.3.2.3.3 Evaporación

En estudio de Knight Piésold (2014a) se determinaron tres tramos de río donde la evaporación desde los cauces superficiales es relevante y debía ser considerada en un modelo de la cuenca. Estos tramos corresponden (a) cauce del río San Salvador, (b) el tramo del río Loa desde la junta con el río San Salvador hasta la zona de riego de Quillagua y (c) el tramo entre la zona Agrícola de Quillagua y la zona de desembocadura del río. En ese modelo fueron representados como 3 puntos agregados que extraían toda la evaporación, sin embargo, este esquema no permite una evaporación distribuida en el espacio que es una aproximación más cercana a la realidad.

WEAP permite incorporar la precipitación como un porcentaje del caudal, sin embargo, se implementó un esquema por nodos dado que de esa forma se puede trabajar en una unidad como metros cúbicos. Frente a eso, se consideraron siete nodos que están descritos en la Tabla 4.23 junto a sus coordenadas y el caudal evaporado que mantienen los mismos tres tramos considerados por KP (2014a). Cabe destacar que el caudal evaporado presentado en la tabla es fijo para todos los pasos de tiempo en el esquema de calibración o en los escenarios de cambio climático.

Tabla 4.23 Detalle de cada nodo de evaporación considerado en el modelo WEAP

Nodo	Tramo	Río	Este WGS84 UTM 19S [m]	Norte WGS84 UTM 19S [m]	Caudal Evaporado [m3/s]
Nodo Evaporación 1	Tramo 1	San Salvador	505972.414	7524140.58	0.050
Nodo Evaporación 2	Tramo 1	San Salvador	449242.951	7524167.03	0.050
Nodo Evaporación 3	Tramo 2	Río Loa	448162.556	7530487.46	0.017
Nodo Evaporación 4	Tramo 2	Río Loa	451668.868	7571371.67	0.017
Nodo Evaporación 5	Tramo 2	Río Loa	454582.382	7600082.55	0.017
Nodo Evaporación 6	Tramo 3	Río Loa	445507.607	7615686.41	0.013
Nodo Evaporación 7	Tramo 3	Río Loa	393541.913	7635887.42	0.013

4.3.3.2.2.3.4 Otras consideraciones

En este apartado se mencionan dos cauces superficiales que a diferencia de los anteriores que obtienen su caudal desde la precipitación, estos lo obtienen de forma íntegra desde los acuíferos. Lo que se traduce que estos ríos nacen a partir de afloramientos.

4.3.3.2.2.3.4.1 Quebrada Amarga

En primer lugar, se menciona la quebrada Amarga que nace desde el afloramiento del acuífero de Salar de Llamara (AC-07). Los valores fueron obtenidos desde el informe de Pramar Ambiental (s.f) quienes presentan los caudales promedios en la quebrada Amarga para el periodo entre noviembre de 2002 y septiembre de 2006. Dado que no existen más estudios sobre el caudal de esta quebrada, se implementó un afloramiento que extrae el promedio de la serie para cada mes que puede observarse en la Figura 4.45, donde se ve que el caudal es relativamente constante para todo el año y se ubica cerca de 0.07 m3/s. Lo importante de representar adecuadamente esta quebrada es que la fuente principal para la demanda SQM Quebrada Amarga con el siguiente código de expediente ND-0103-142 que tiene asignado 0.06 m3/s desde el 05/09/94.

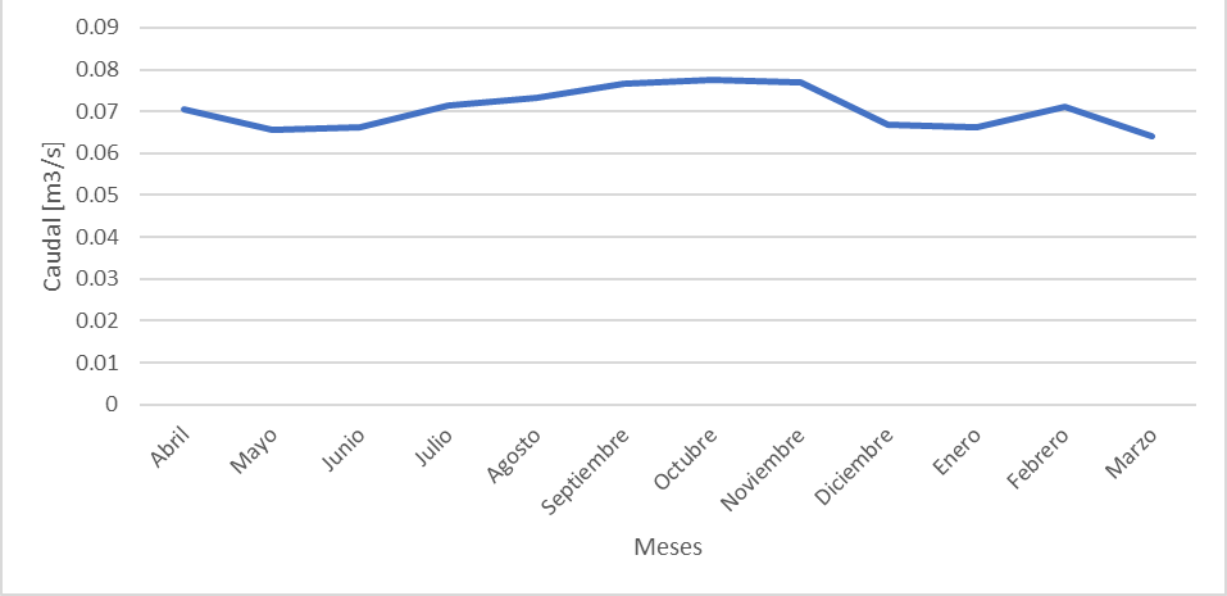


Figura 4.45. Caudal impuesto a través de afloramiento en la Quebrada Amarga.

4.3.3.2.3.4.2 Rio San Salvador

El río San Salvador, al igual que la quebrada Amarga, nace desde un afloramiento. Esta situación fue verificada durante una campaña de terreno por el equipo consultor. El caudal proviene desde el acuífero Calama (AC-05) y fue impuesto con un valor fijo para cada mes. Este valor fue obtenido desde el informe de KP (2014b) y se puede observar en la Figura 4.46 donde se ve que es mayor en los meses de enero a abril y menor en los meses de mayo a diciembre. En el esquema de modelación este río no recibe aportes desde la precipitación y recibe el flujo de retorno desde la planta de tratamiento de agua de Calama.

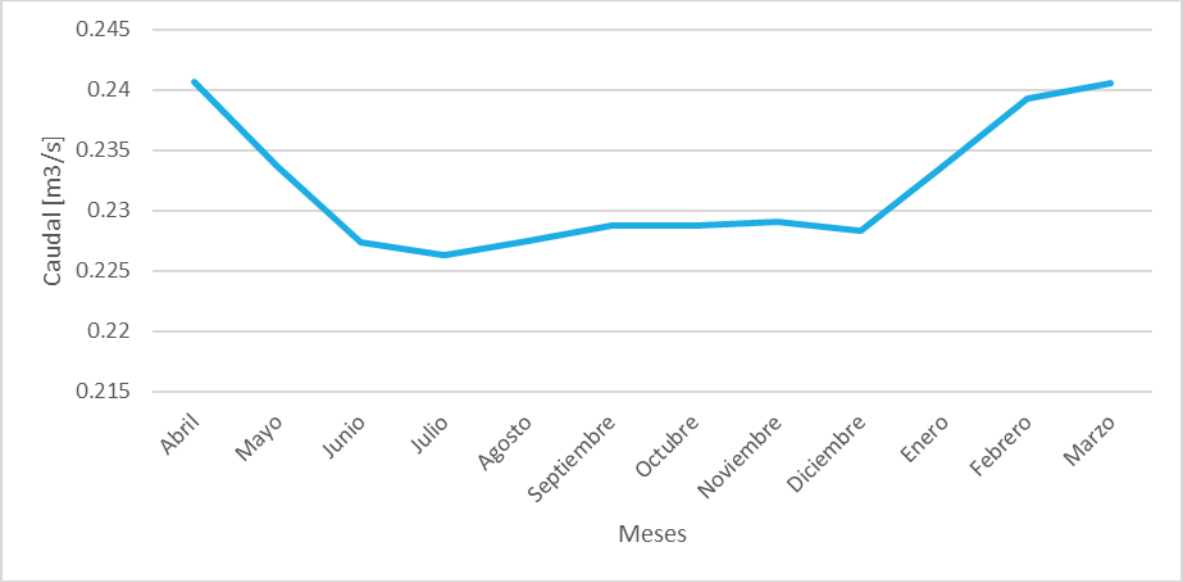


Figura 4.46. Caudal impuesto a través de afloramiento en el río San Salvador

4.3.3.2.3.5 Estaciones Fluviométricas de Calibración

Para realizar la calibración, se han incorporado una serie de estaciones de caudal dentro del modelo, que si bien no desempeñan ningún papel dentro de su funcionamiento permite comparar rápidamente los resultados observados por las estaciones de la Dirección General de Aguas con aquellos modelados.

En la Tabla 4.24 se presentan las 24 estaciones de caudal de la cuenca, sin embargo, existen varias que no cuentan con información durante más de diez años por lo que no fueron utilizadas. Se destacan con color gris aquellas estaciones efectivamente empleadas en el proceso de calibración. Ahora bien, dado que la estación Rio Loa en Vado Santa Barbara y Rio Loa Alcantarilla Conchi N2 representan el mismo tramo y sus periodos de tiempo son complementarios, estas fueron unidas en una estación denominada Río Loa antes del embalse Conchi, dado que de esa forma se podía representar de mejor forma el flujo por

ese tramo. En la Figura 4.47 se pueden apreciar las estaciones junto a los ríos y quebradas implementados en la modelación.

Tabla 4.24 Estaciones Fluviométricas de la cuenca y estado en el modelo.

Nombre Elemento	Estación	Observación
NO-001	Rio Loa Antes Represa Lequena	Estación Utilizada
NO-018	Rio San Pedro en Parshall N1	Estación No Utilizada
NO-019	Rio San Pedro en Parshall N2	Estación No Utilizada
NO-022	Rio San Pedro Camino Internacional	Estación No Utilizada
NO-024	Rio Loa en Vado Santa Barbara	Estación Utilizada
NO-025	Rio Loa Alcantarilla Conchi N2	Estación Utilizada
NO-026	Río Loa en Conchi	Estación No Utilizada
NO-028a	Rio Loa Salida Embalse Conchi	Estación Utilizada
NO-046	Rio Toconce antes Represa Sendos	Estación No Utilizada
NO-059	Rio Salado AJ Curti	Estación No Utilizada
NO-066a	Rio Salado en Sifón Ayquina	Estación Utilizada
NO-073	Rio Salado en AJ Loa	Estación Utilizada
NO-079	Rio Loa en Yalquincha	Estación Utilizada
NO-080a	Rio Loa en El Escorial	Estación Utilizada
NO-089a	Río Loa en Chintoraste	Estación No Utilizada
NO-090	Rio Loa en Finca	Estación Utilizada
NO-104	Rio Loa San Salvador (Chacance)	Estación No Utilizada
NO-106	Rio Loa San Salvador (M. Elena)	Estación Utilizada
NO-108	Rio Loa antes Agrícola Quillagua	Estación Utilizada
NO-119	Rio Loa en Desembocadura	Estación Utilizada
NO-111	Canal Quillagua en Quillagua	Estación No Utilizada
NO-112a	Río Loa en Quillagua	Estación No Utilizada
NO-010	Río Siloli antes B.T Fcab	Estación No Utilizada
NO-022	Río San Pedro en Camino Internacional	Estación No Utilizada

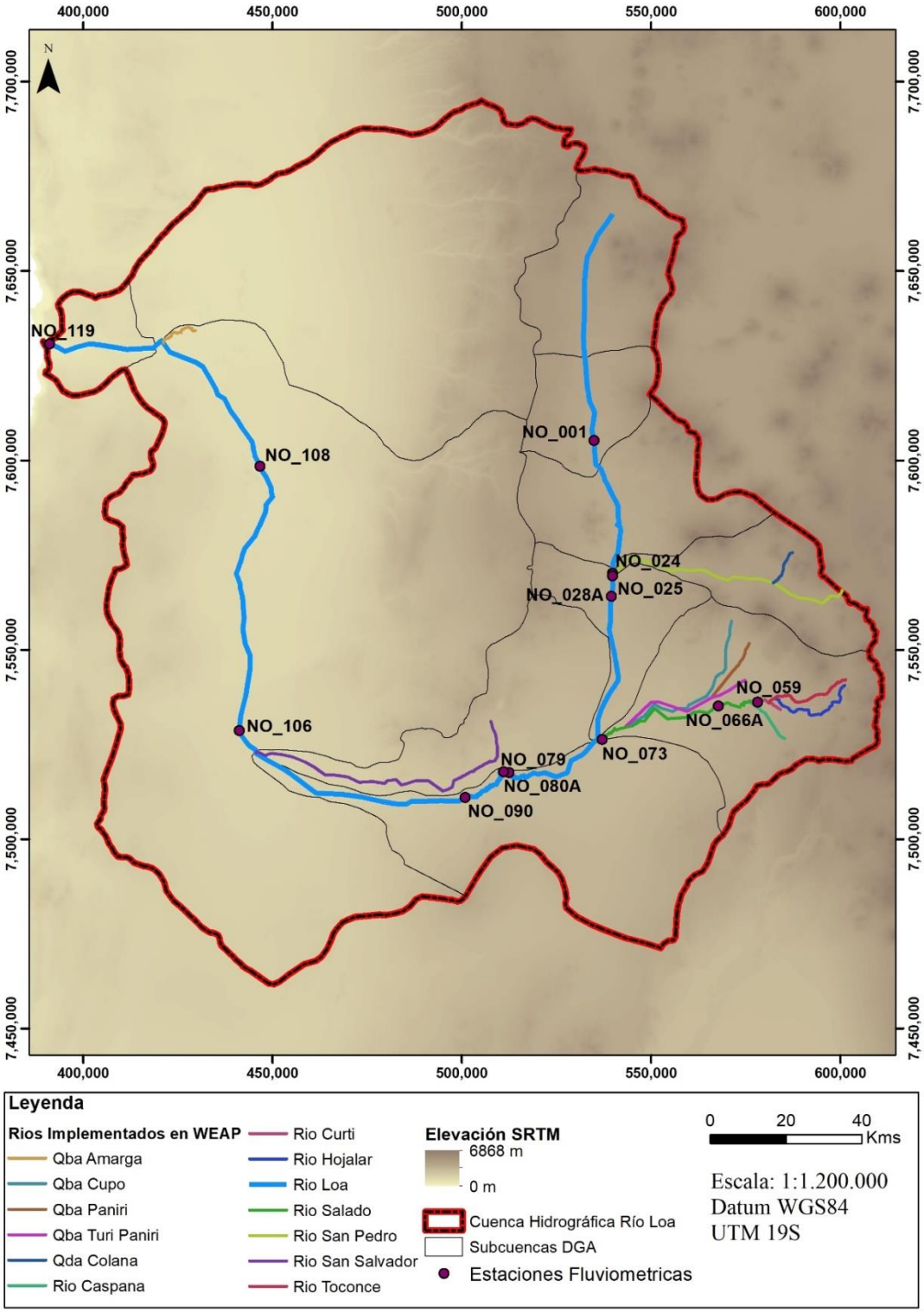


Figura 4.47. Estaciones Fluviométricas junto a la red hídrica en la cuenca del Loa.

4.3.3.2.3.6 Estaciones de Caudal Ambiental

Dado que uno de los principales objetivos de este estudio incluye la estimación de caudales ambientales, se han incorporado al modelo hidrológico los siguientes puntos de control mencionados en la Tabla 4.25. Cabe mencionar que no se cuenta con información de caudal observado en estos puntos, por lo que cada nodo será analizado de manera individual. En la Figura 4.48 se puede observar la distribución espacial de cada uno de estos nodos.

Tabla 4.25 Puntos de Control para Caudal Ambiental

Fuente	Sigla	Nombre	Este WGS-84 UTM 19S	Norte WGS-84 UTM 19S
Nodos solicitud caudal	N	Palpana	532800	7629000
Nodos solicitud caudal	N	Calina	540300	7589000
Nodos solicitud caudal	N	Lasana	539700	7551000
Nodos solicitud caudal	N	Chiu Chiu	537500	7535000
Nodos solicitud caudal	N	Ayquina	570900	7536000
Nodos solicitud caudal	N	Calamas	527700	7516000
Nodos solicitud caudal	N	Coya1	458500	7520000
Nodos solicitud caudal	N	Coya2	454600	7517000
Nodos solicitud caudal	N	Quillagua	448800	7588000
Nodos solicitud caudal extra	NA	Palpana	533100	7617000
Nodos solicitud caudal extra	NA	Calina	540200	7575000
Nodos solicitud caudal extra	NA	Lasana	539400	7540000
Nodos solicitud caudal extra	NA	ChiuChiu	535800	7531000
Nodos solicitud caudal extra	NA	Ayquina	570900	7536000
Nodos solicitud caudal extra	NA	Calama Alto	513600	7516000
Nodos solicitud caudal extra	NA	Coya	445600	7523000
Nodos solicitud caudal extra	NA	Quillagua	445100	7603000
Nodos solicitud caudal extra	NA	Confluencia Q.Amarga	420700	7631000
Nodos solicitud caudal extra	NA	Calama Medio	510200	7518000
Nodos solicitud caudal extra	NA	Calama Bajo	507300	7514000
Nodos solicitud caudal extra	NA	Rio Salado	536200	7526000
Nodos solicitud caudal extra	NA	Rio San Pedro	541400	7571000

Figura 4.48 Puntos de Control del Caudal Ambiental implementados en el modelo WEAP

4.3.3.2.4 Embalses

En general, WEAP requiere parámetros físicos y de operación para cada embalse. La información requerida se presenta en la Tabla 4.26.

Tabla 4.26 Parámetros Físicos y de Operación requeridos en WEAP. Fuente: Elaboración propia.

Tipo de Parámetro	Parámetro	Definición
Físicos	Volumen del Embalse	Corresponde a la capacidad total del embalse
	Almacenamiento Inicial	Corresponde al volumen inicial para la simulación
	Curva Volumen - Elevación	Relación entre la elevación del embalse y su volumen capturado. Viene de trabajos topográficos sobre el sitio.
	Evaporación Neta	Tasa de evaporación desde el espejo de agua del embalse
	Descarga Hidráulica máxima del embalse	Corresponde al flujo de descarga máximo que sale del embalse en condiciones de operación. Función del volumen Almacenado y de capacidades de vertedero también.
	Pérdida al Acuífero	Infiltración desde el embalse hacia el acuífero
	Serie de Volúmenes Observada	En condiciones de existir series de tiempo de la operación, corresponde a la serie de volúmenes observados, los que se contrastan con los simulados.
Operacionales	Límite de Conservación	Corresponde al volumen máximo de agua en el embalse, sin incluir la revancha.
	Límite de Reparto o "Buffer"	Bajo este límite, las entregas del embalse están restringidas de acuerdo a alguna regla o coeficiente de reparto.
	Límite Inactivo	Corresponde al volumen que no está disponible para el almacenamiento del recurso. Se liga con el volumen muerto.
	Coeficiente de Reparto ("Buffer Coefficient")	Corresponde a la fracción de agua que está disponible para cada mes, dentro de la zona de reparto, para ser entregada por el embalse.

4.3.3.2.4.1 Embalse Conchi

En la cuenca del río Loa se encuentra presente el embalse Conchi que está ubicado en 7564050m Norte, 7539131m Este (WGS84 UTM19S) y entro en funcionamiento en 1975 (KP, 2014a). El volumen embalsado corresponde a 22 millones de metros cúbicos (DGA, 2019). El calculo del volumen inicial, en el inicio de la modelación (abril 1981) fue obtenido revisando los datos entregados por la Dirección de Obras Hidraulicas, los que son presentados en la Figura 4.49. A partir de estos, se determina que el volumen inicial para esta modelación corresponde a 21 millones de metros cubicos.

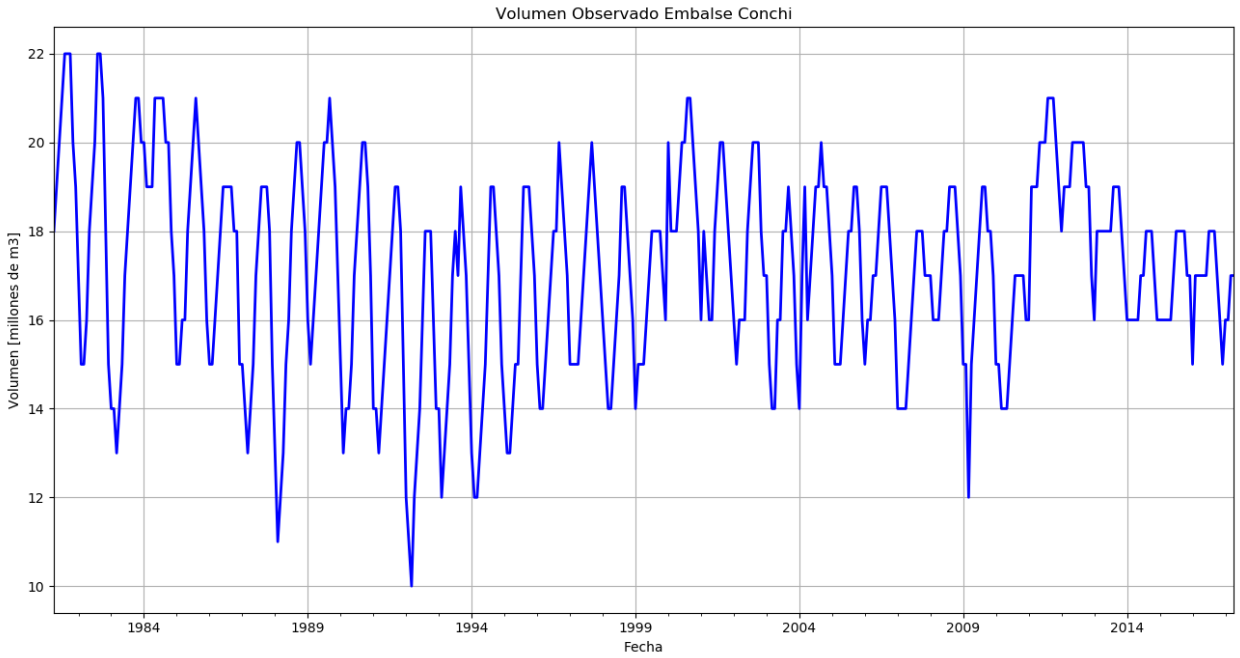


Figura 4.49 Volumen Observado Embalse Conchi

Otro elemento a considerar es la curva del embalse que relaciona el volumen y la elevación, que fue obtenida desde KP (2014b) cuyos datos se pueden observar en la Figura 4.50 y en la Tabla 4.27.

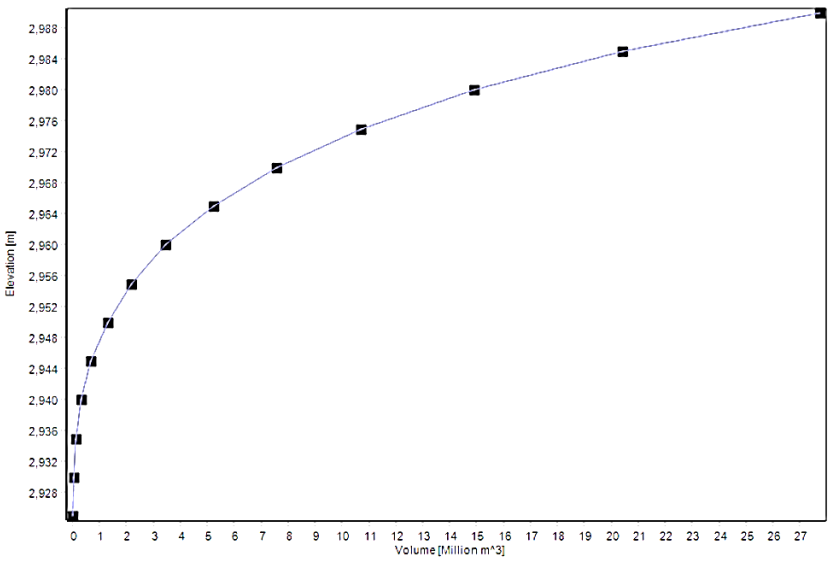


Figura 4.50. Curva relación volumen y elevación del Embalse Conchi. Elaboración propia.
Tabla 4.27: Curvas Características Embalse Conchi. Fuente: KP, 2014 (p. 19)

Cota [m s.n.m.]	Altura [m]	Superficie [m^2]	Volumen Embalsado [m^3]	Volumen Embalsado [Hm^3]
2.922	0	0	0	0
2.925	3	3.200	0	0
2.930	8	11.900	38.000	0
2.935	13	24.900	130.000	0
2.940	18	53.900	327.000	0
2.945	23	92.400	692.000	1
2.950	28	150.300	1.299.000	1
2.955	33	208.300	2.195.000	2
2.960	38	298.000	3.461.000	3
2.965	43	404.000	5.216.000	5
2.970	48	536.500	7.567.000	8
2.975	53	719.200	10.707.000	11
2.980	58	956.000	14.895.000	15
2.985	63	1.245.600	20.399.000	20
2.990	68	1.691.800	27.742.000	28

Sobre la evaporación del embalse Conchi, en el periodo de calibración, es decir, entre 1981 y 2017 se empleó la serie histórica calculada y verificada por KP (2014b) que se puede observar en la Figura 4.51 que sigue un patrón marcado a lo largo del año. Para el periodo entre 2017 y 2060 se utilizó la estacionalidad año promedio de la serie anterior que se puede apreciar en la Figura 4.52.

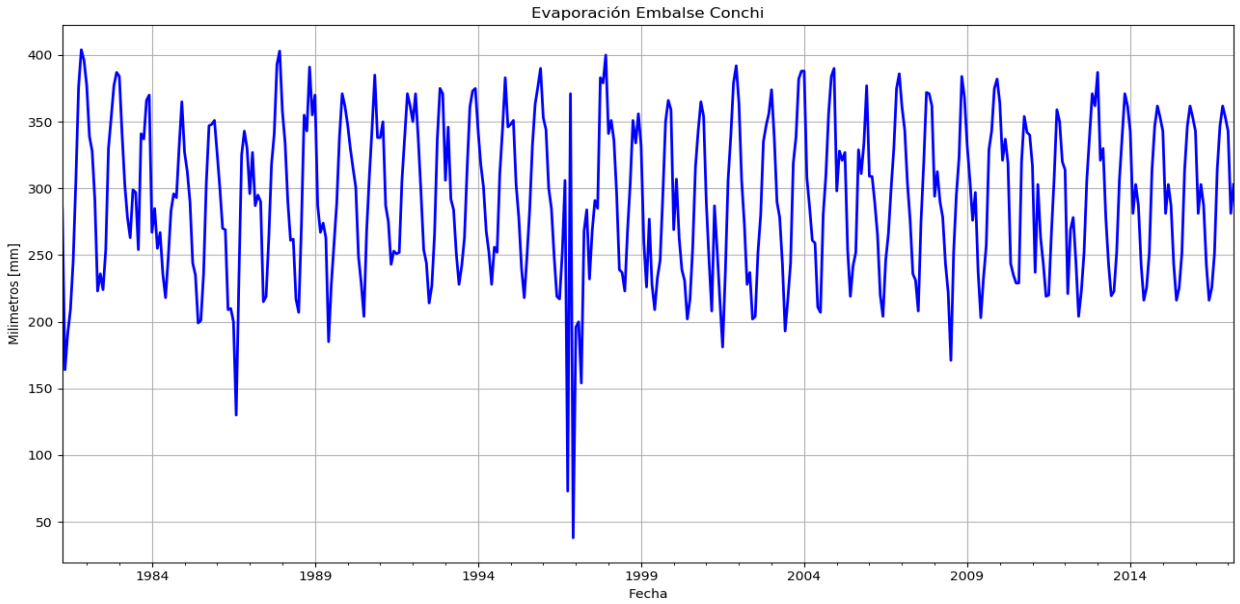


Figura 4.51 Evaporación del Embalse Conchi. Fuente: KP, 2014b

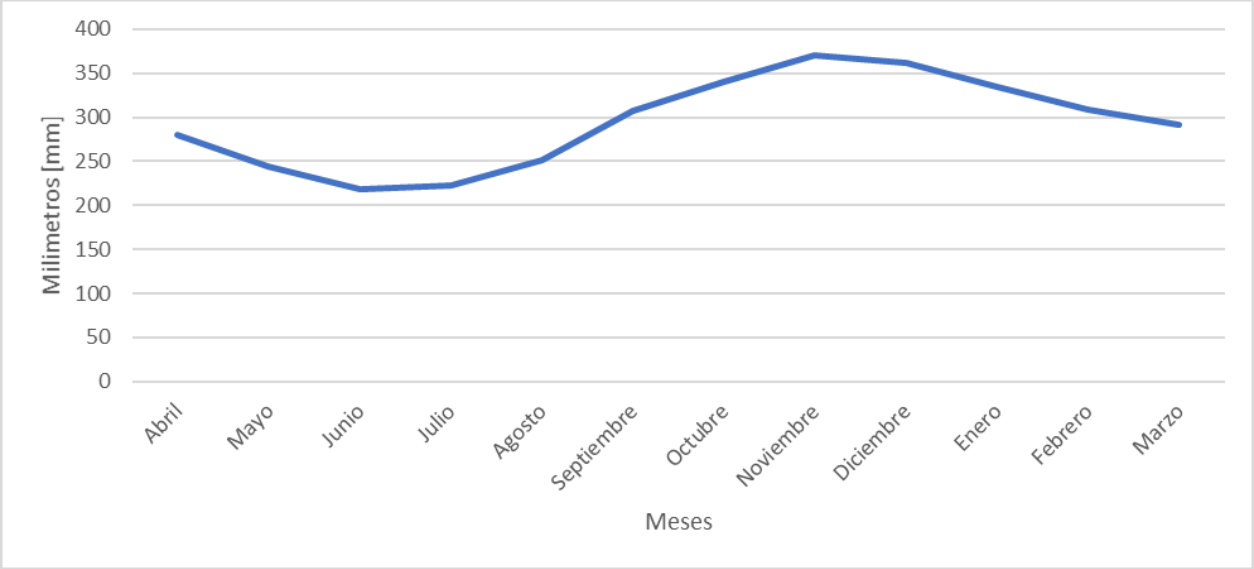


Figura 4.52: Estacionalidad Año Promedio Evaporación del Embalse Conchi. Esta serie fue utilizada para los años posteriores al 2017.

Con relación a la operación del embalse, se definió un límite de conservación de 22 millones de metros cúbicos entre el año 1980 a 1996 donde se produce un cambio de las reglas de operación y el límite disminuye a 20 millones m3. El límite de reparto se establece en 20 mm3 y el parámetro de límite de inactividad no es empleado. Finalmente el parámetro de coeficiente de reparto es definido con dos reglas de operación, la primera de 1980 a 1986 y la segunda desde 1996 hasta el fin de la modelación. Estas pueden observarse en porcentaje en Figura 4.53.

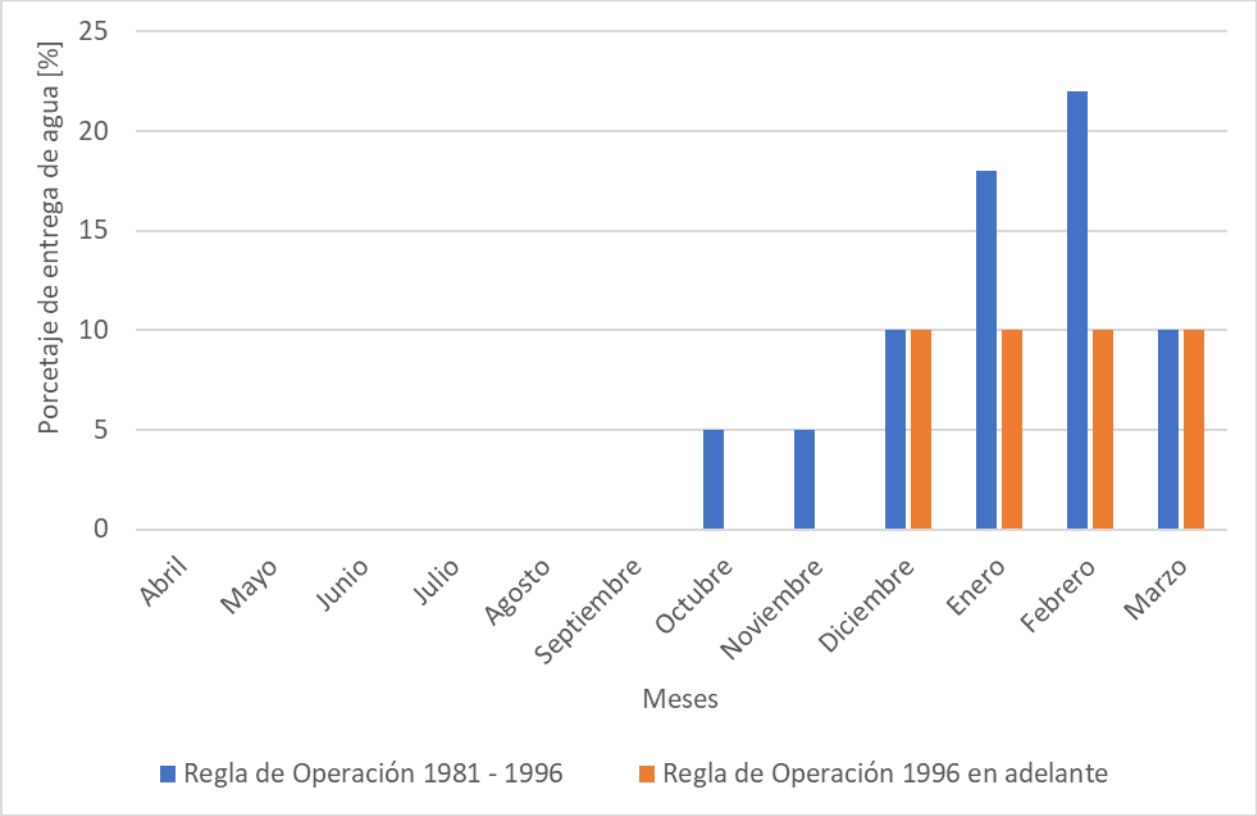


Figura 4.53 Coeficiente de Reparto en las dos reglas de operación definidas a nivel mensual. Los valores están en porcentaje del volumen a entregar

4.3.3.2.5 Demandas

En el área de estudio se presentan una serie de demandas hídricas, las que se corresponden a los distintos actores con derechos constituidos legalmente para extraer agua desde fuentes superficiales o subterráneas. Los datos de cada uno de estos elementos fueron obtenidos desde los estudios de Knight Piésold (2014a,2014b) donde estaban bajo la categoría de captaciones puntuales, zonas de riego, y pozos. A partir de esto, cada elemento fue revisado para obtener su demanda como una serie de tiempo en metros cúbicos y poder incorporarlos al modelo.

Se escogió el elemento de nodo de demanda o *demand site* dado que permite representar las distintas extracciones de agua tanto superficiales como subterráneas y se pueden establecer nodos de retorno donde se devuelva el agua no utilizada. WEAP además permite establecer prioridades de entrega o reparto del agua las que fueron asignada para todas las demandas en un valor de 1, lo que genera un caso base donde el modelo requiere satisfacer todos los requerimientos con igual prioridad.

En la Figura 4.54 se puede observar la suma de todas las demandas hídricas ingresadas en el modelo por cada paso de tiempo en todo el periodo de calibración y se puede apreciar que en

último periodo (abril de 2017) el valor corresponde a 9.16 m^3/s. Además, se observa una clara estacionalidad debido a los requerimientos de la actividad agrícola. Para el periodo futuro de modelación (2017 – 2060) se mantuvieron las series del último año de cada nodo, para conservar la variación estacional de la demanda.

Las distintas demandas han sido divididas en cuatro categorías: (a) demandas de agua potable, (b) demandas industriales, (c) demandas de riego y (d) demandas subterráneas o pozos de extracción, las que están distribuidas en la cuenca tal como se puede observar en la Figura 4.55. A continuación, se revisará el detalle de cada una de ellas.

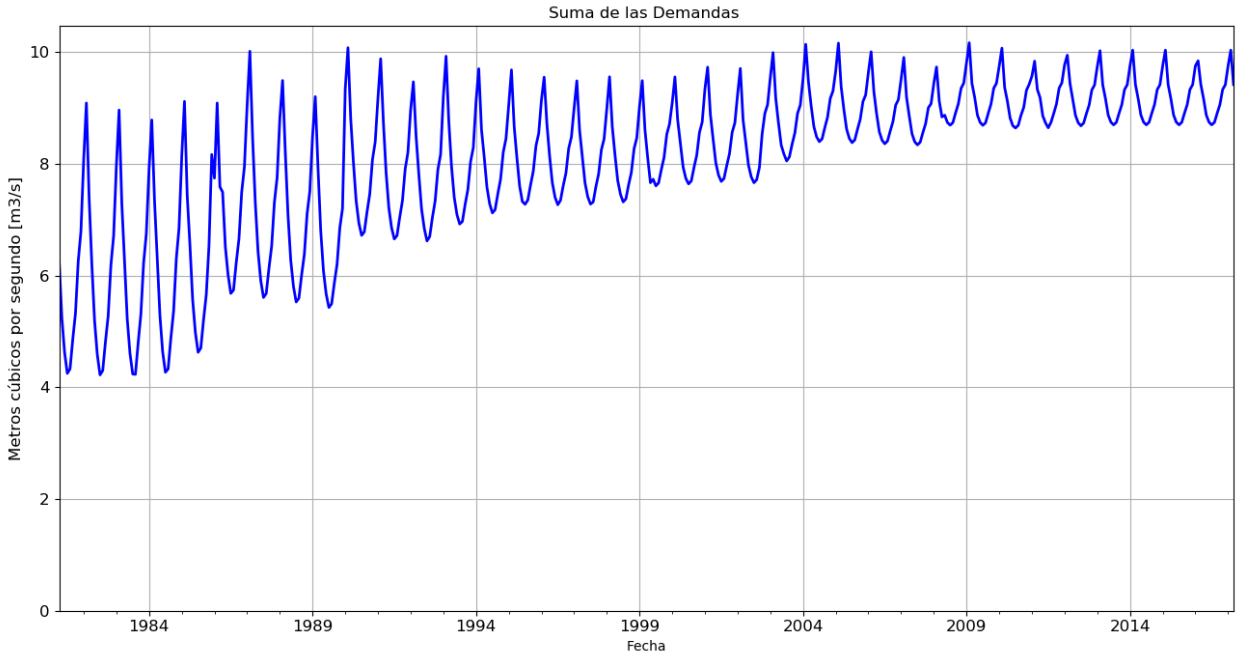


Figura 4.54 Gráfico de la suma de las demandas totales computadas por el modelo WEAP.

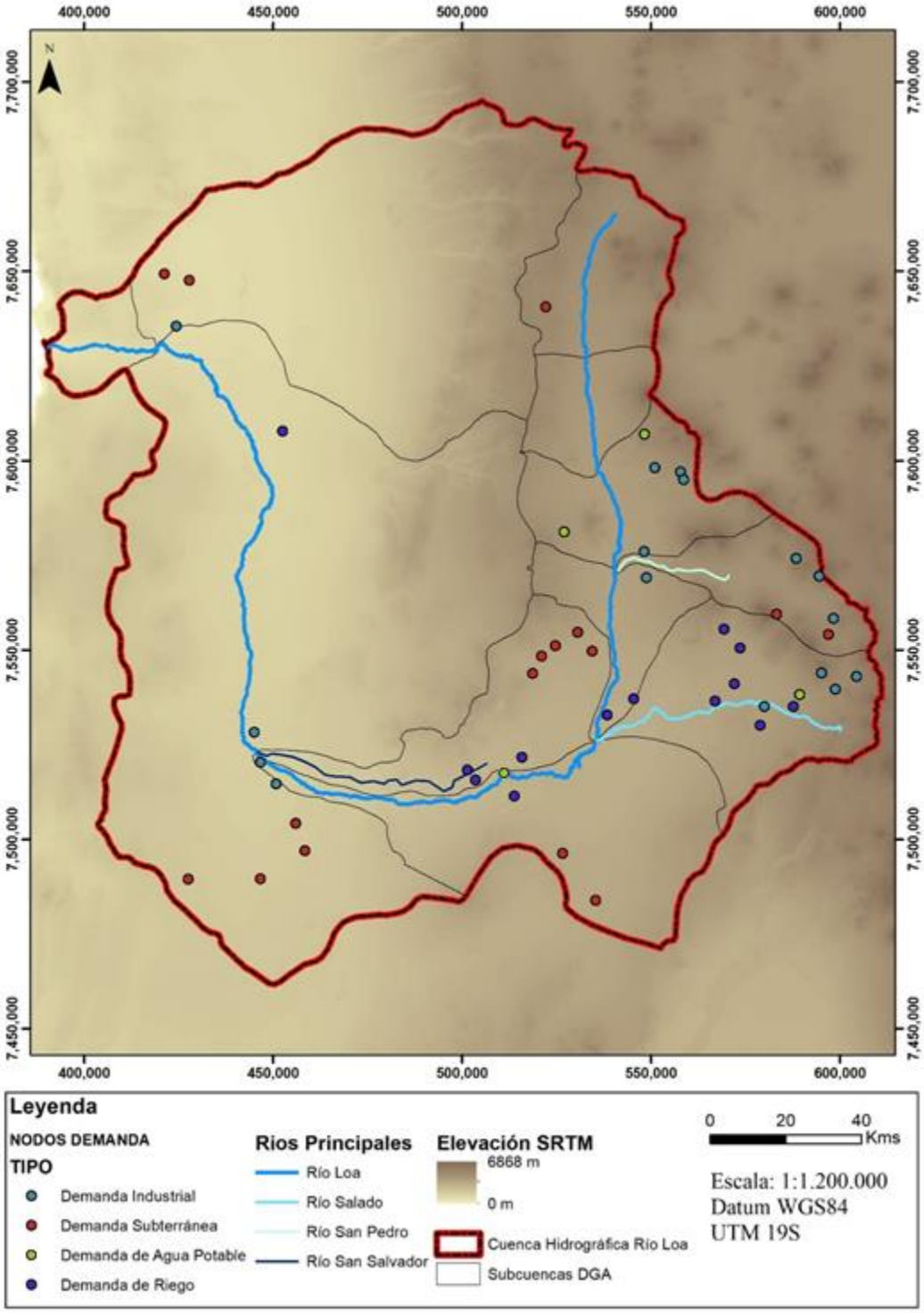


Figura 4.55. Disposición espacial de las Demandas implementadas en el modelo WEAP.

4.3.3.2.5.1 Demanda de agua potable

En primer lugar, se presentan las demandas de agua potable que son extraídas desde fuentes superficiales por la Empresa de Servicios Sanitarios de Antofagasta S. A (ESSAN) y que totalizan 1.32 m^3/s. Esta se distribuye en tres nodos que son presentados en la Tabla 4.28. Esta información fue obtenida desde Knight Piésold (2014b) donde cada demanda fue ingresada como una serie de tiempo, las que se pueden revisar en profundidad en Anexos Digitales (OE 2 Modelo Eco-Hidrológico Integrado/Modelo Hidrológico WEAP/Datos de entrada y Resultados/Anexo 2-4).

Tabla 4.28 Demandas de agua potable y sus coordenadas.

NOMBRE DE LA DEMANDA	CAUDAL OTORGADO POR DERECHO (m^3/s)	ESTE WGS84 UTM 19S (m)	NORTE WGS84 UTM 19S (m)	SUBCUENCA DGA
ESSAN Lequena	0.5500	535115	7603695	Rio Loa Entre Estero Chela y Bajo Junta Quebrada de Hachas
ESSAN Quinchamale	0.3000	541455	7577335	Rio Loa entre Quebrada de Hachas y Rio San Pedro
ESSAN Calama (Puente Negro)	0.15	510049	7517686	Río Loa entre Río Salado y Río San pedro
ESSAN Toconce	0.4700	587944	7536403	Rio Salado

4.3.3.2.5.2 Demanda industrial

En segundo lugar, se presentan las demandas industriales que extraen los recursos desde fuentes superficiales. El uso principal está orientado a la minería y totaliza 3.04 m^3/s los que son distribuidos en 17 nodos presentados en la Tabla 2-24. Además, cada nodo de demanda tiene asociado un nodo de requerimiento de flujo que implica que al menos se debe satisfacer una parte de lo demadado y que el valor entregado de agua no puede sobrepasar el derecho asignado. Esta información fue obtenida desde Knight Peasold (2014b). Se puede revisar el detalle de cada demanda en la serie de tiempo presentada en Anexos Digitales (OE 2 Modelo Eco-Hidrológico Integrado/Modelo Hidrológico WEAP/Datos de entrada y Resultados/Anexo 2-4).

Tabla 4.29 Demandas industriales implementas en el modelo y sus coordenadas

NOMBRE DE LA DEMANDA	CAUDAL OTORGADO POR DERECHO (m^3/s)	ESTE WGS84 UTM 19S (m)	NORTE WGS84 UTM 19S (m)	SUBCUENCA DGA
FCAB Aguada Palpana	0.0021	551545	7597550	Rio Loa entre Quebrada de Hachas y Rio San Pedro
Vertiente Polapi 1	0.0162	557485	7596545	Rio Loa entre Quebrada de Hachas y Rio San Pedro
Vertiente Polapi 2	0.0004	55825	7595456	Rio Loa entre Quebrada de Hachas y Rio San Pedro
Ferrocarriles Siloli	0.1243	600232	7565330	Rio San Pedro
Codelco Inacaliri	0.1515	596571	7563889	Rio San Pedro
Codelco Colana	0.0500	586697	7575396	Rio San Pedro
Parshall 2	0.1750	550047	7573027	Rio San Pedro
Inacaliri I y II ADASA	1.6522	549593	7573344	Rio San Pedro
Codelco Linzor	0.0500	60104	7541946	Rio Salado
Toconce (Linzor) ADASA	0.0500	60059	7541973	Rio Salado
Toconce (Hojalar) ADASA	0.1400	600872	7540530	Rio Salado
Codelco Salado	0.5400	582416	7535247	Rio Salado
Soquimich Pedro de Valdivia	0.0947	45432	7517567	Rio Loa entre Rio Salado y Rio San Salvador
Soquimich Coya Sur	0.0900	445667	7523182	Rio San Salvador
Soquimich María Elena	0.0625	441757	7528313	Rio Loa entre Rio San Salvador y Quebrada Amarga
SQM Quebrada Amarga	0.0600	420955	7631135	Rio Loa entre Rio San Salvador y Quebrada Amarga

4.3.3.2.5.3 Demanda de riego

En tercer lugar, se presenta la demanda de riego que se compone de 13 zonas descritas en la Tabla 4.30 donde se puede observar el nombre de cada una de ellas, las coordenadas del centroide de cada zona de riego, los cultivos plantados en cada zona y el método empleado. Cabe destacar como todas las zonas emplean el método del tendido. En la Figura 4.56 se puede observar la distribución espacial de las zonas de riego junto a los principales ríos de la cuenca. La información de las zonas de riego fue obtenida desde Knight Piésold (2014a).

El esquema de representación opera de la siguiente forma, los canales representados como *diversion* obtienen el agua de los ríos de acuerdo con su capacidad, la que es consumida por el nodo de demanda. Luego, el agua no ocupada por el riego dada la eficiencia de cada zona de riego es devuelta tanto al acuífero correspondiente como al río por un link de retorno. Además, si durante un periodo, el agua de los canales no es suficiente para satisfacer las necesidades de riego se pueden extraer agua desde fuentes subterráneas. Siempre como segunda prioridad frente al agua superficial.

Tabla 4.30 Nombre y código de las zonas de riego junto a los cultivos plantados

CÓDIGO ZONA DE RIEGO	NOMBRE ZONA DE RIEGO	ESTE WGS84 UTM 19S (m)	NORTE WGS84 UTM 19S (m)	CÓDIGO CULTIVO	NOMBRE CULTIVO	MÉTODO DE RIEGO
ZR-01	Chiuchiu 1	538385.227	7537731	TC-01	Alfalfa	Tendido
				TC-08	Maíz	Tendido
				TC-13	Zanahoria	Tendido
				TC-10	Papas	Tendido
				TC-03	Betarraga	Tendido
				TC-07	Lechugas	Tendido
ZR-02	Chiuchiu 2	536310.55	7530384	TC-01	Alfalfa	Tendido
				TC-08	Maíz	Tendido
				TC-10	Papas	Tendido
				TC-03	Betarraga	Tendido
				TC-13	Zanahoria	Tendido
				TC-07	Lechugas	Tendido
ZR-03	Toconce	584677.502	7537537	TC-08	Maíz	Tendido
				TC-05	Habas	Tendido
				TC-01	Alfalfa	Tendido
				TC-10	Papas	Tendido
ZR-04	Caspana	581589.137	7529188	TC-06	Hortalizas	Tendido
				TC-11	Peras	Tendido
				TC-09	Manzanas	Tendido
				TC-12	Tunas	Tendido

CÓDIGO ZONA DE RIEGO	NOMBRE ZONA DE RIEGO	ESTE WGS84 UTM 19S (m)	NORTE WGS84 UTM 19S (m)	CÓDIGO CULTIVO	NOMBRE CULTIVO	MÉTODO DE RIEGO
ZR-05	Ayquina	570468.937	7535899	TC-08	Maíz	Tendido
				TC-01	Alfalfa	Tendido
				TC-06	Hortalizas	Tendido
ZR-06	Turi	572762.5	7540251	TC-01	Alfalfa	Tendido
				TC-08	Maíz	Tendido
				TC-05	Habas	Tendido
ZR-07	Cupo 1	575411.659	7550821	TC-01	Alfalfa	Tendido
				TC-08	Maíz	Tendido
				TC-10	Papas	Tendido
ZR-08	Cupo 2	570576.151	7554319	TC-01	Alfalfa	Tendido
				TC-08	Maíz	Tendido
ZR-09	Calama 1	512660.844	7516978	TC-01	Alfalfa	Tendido
				TC-02	Avena	Tendido
				TC-08	Maíz	Tendido
				TC-06	Hortalizas	Tendido
ZR-10	Calama 2	509047.124	7515297	TC-01	Alfalfa	Tendido
				TC-02	Avena	Tendido
				TC-08	Maíz	Tendido
				TC-06	Hortalizas	Tendido
ZR-11	Calama 3	505168.671	7513446	TC-01	Alfalfa	Tendido
				TC-02	Avena	Tendido
				TC-08	Maíz	Tendido
				TC-06	Hortalizas	Tendido
ZR-12	Calama 4	502941.087	7517812	TC-06	Hortalizas	Tendido
				TC-01	Alfalfa	Tendido
ZR-13	Quillagua	444473.347	7604408	TC-01	Alfalfa	Tendido

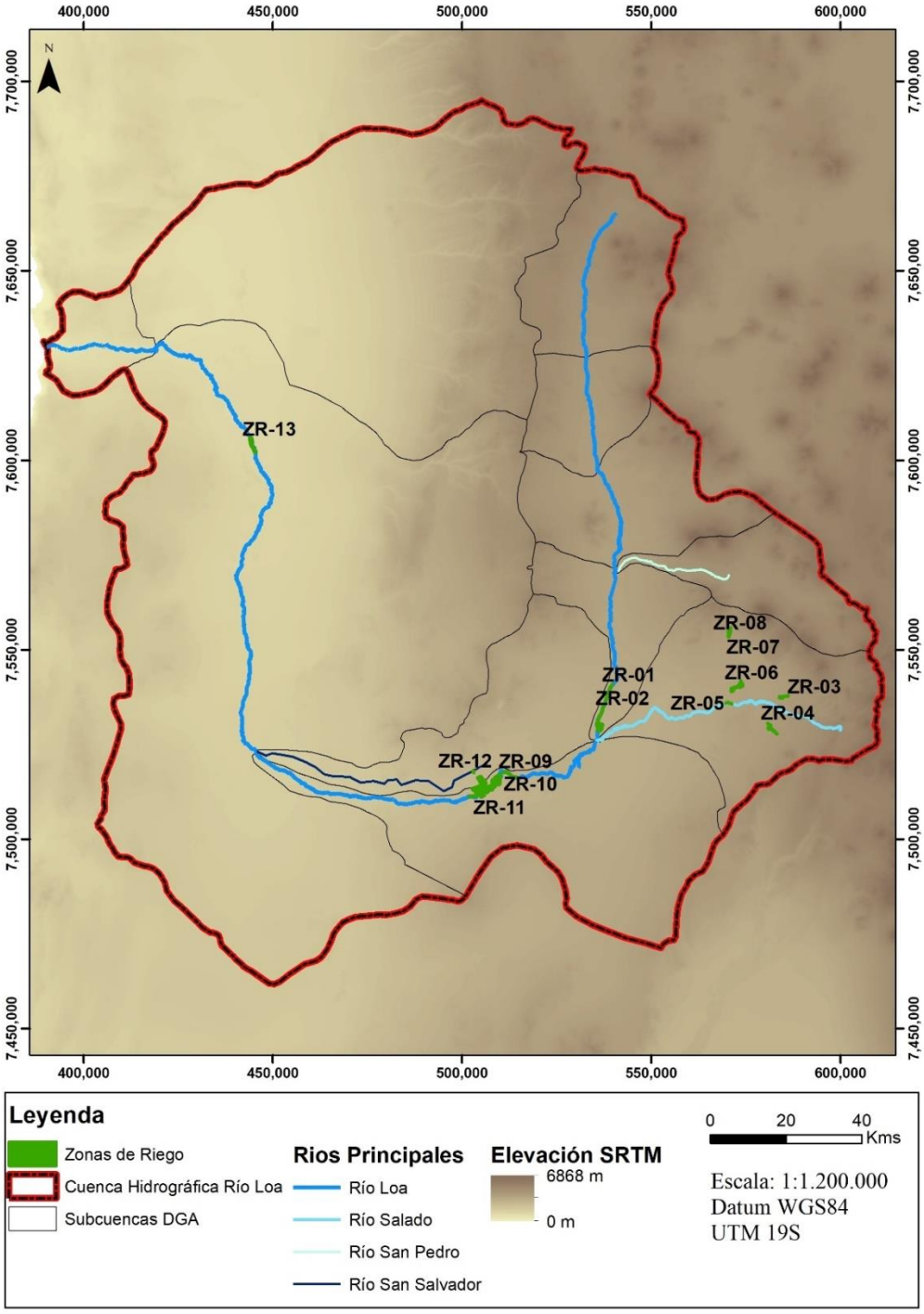


Figura 4.56 Zonas de Riego en la cuenca del río Loa

En el informe de Knight Piésold (2014a) se calculó la demanda hídrica por cada zona de riego de forma bruta y luego, en una planilla externa, fueron considerando las eficiencias de riego y distribución para entregarle al modelo la información de la demanda bruta. El modelo desarrollado para este informe le entrego directamente la demanda bruta al modelo con el objeto de que WEAP resuelva la demanda neta en función de los parámetros. Esto permite realizar análisis de sensibilidad a los distintos parámetros como la eficiencia de riego, el caudal máximo de cada canal entre otros. En la Figura 4.57 se puede observar la demanda bruta por todo el periodo de calibración del modelo, donde se puede apreciar

En el informe Knight Piesold (2014a) se calculó la demanda hídrica por cada zona de riego en base a las necesidades de cada especie considerada, lo que la demanda bruta total ha ido decayendo con el tiempo, principalmente porque la zona de Quillagua fue reduciendo su área de riego desde 1981 a la fecha actual. En Anexos Digitales (OE 2 Modelo Eco-Hidrológico Integrado/Modelo Hidrológico WEAP/Datos de entrada y Resultados/Anexo 2-4), se presentan los datos para cada zona en formato de serie de tiempo.

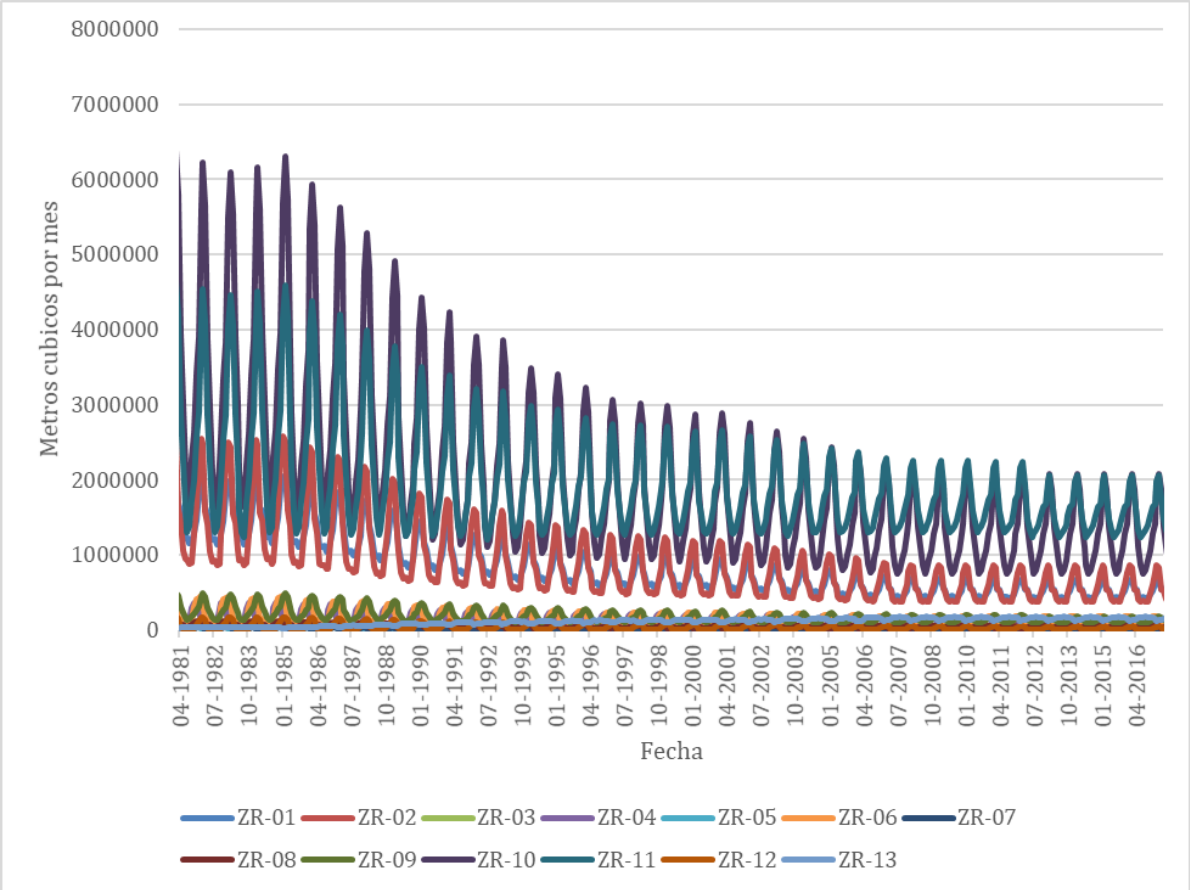


Figura 4.57 Gráfico de la demanda bruta de riego para todas las zonas

Tal como se mencionó anteriormente, para obtener la demanda neta de riego se ingresó a WEAP la eficiencia de cada zona de riego que es determinado por el método de riego empleado. Dado que todas las zonas usan el método del tendido la eficiencia del 60% es común para todas las zonas de riego tal como se observa en la Tabla 4.31. En estas también se aprecia la proporción del flujo que no es consumido en el proceso de riego y que es devuelto al acuífero o al río. Para cada zona de riego el porcentaje de flujo no usado es igual al 100% y en las columnas 3 y 4 se observa cómo se distribuye el porcentaje por cada zona.

Tabla 4.31 Eficiencia de cada zona de riego, junto al porcentaje percolado al acuífero y redirigido al río.

ZONA DE RIEGO	EFICIENCIA (%)	PORCENTAJE DEL FLUJO PERCOLADO AL ACUÍFERO (%)	PORCENTAJE DEL FLUJO REDIRIGIDO AL RÍO (%)
ZR_01	60	15	85
ZR_02	60	15	85
ZR_03	60	17.5	82.5
ZR_04	60	17.5	82.5
ZR_05	60	17.5	82.5
ZR_06	60	17.5	82.5
ZR_07	60	17.5	82.5
ZR_08	60	17.5	82.5
ZR_09	60	12.5	87.5
ZR_10	60	12.5	87.5
ZR_11	60	12.5	87.5
ZR_12	60	12.5	87.5
ZR_13	60	12.5	87.5

4.3.3.2.5.3.1 Canales de riego

Los canales de riego representados como *diversion* son los elementos que extraen el agua desde los ríos. Estos canales tienen una determinada capacidad y eficiencia en base a su revestimiento y de esa forma se suple la demanda de riego. En la Tabla 4.32 se presenta información detallada sobre cada canal de riego y la zona de riego donde distribuye su caudal. De acuerdo con la información de Knight Piésold (2014a)

Tabla 4.32 Información de los canales, las zonas de riego, su capacidad y largo

NOMBRE DEL CANAL	N° CANAL	N° NODO	ZONA DE RIEGO	ACUÍFERO	CAPACIDAD DEL CANAL [m3/s]	EFICIENCIA [%]	LARGO [m]
Canal Buen Retiro	CA-001	NO-030	ZR-01	AC-05	0.16	95%	1826
Canal San Antonio	CA-002	NO-031	ZR-01	AC-05	0.16	95%	1519
Canal Los Ramírez	CA-003	NO-032	ZR-01	AC-05	0.26	95%	1127
Canal Quichire	CA-004	NO-033	ZR-01	AC-05	0.182	95%	10706
Canal Los Perales	CA-005	NO-034	ZR-01	AC-05	0.16	95%	591
Canal Pona	CA-006	NO-035	ZR-01	AC-05	0.16	95%	3379
Canal Grande	CA-007	NO-036	ZR-02	AC-05	0.309	95%	6312
Canal La Banda	CA-008	NO-037	ZR-02	AC-05	0.309	95%	2705
Canal El Pueblo	CA-009	NO-038	ZR-02	AC-05	0.309	95%	4080
Canal Toconce	CA-010	NO-048	ZR-03	AC-03	0.195	95%	5070
Canal Caspana	CA-011	NO-061	ZR-04	AC-03	0.051	90%	8112
Canal Ayquina	CA-012	NO-065	ZR-05	AC-03	0.062	90%	1167
Canal El Trigal	CA-013	NO-067	ZR-06	AC-03	0.118	95%	485
Canal Puente	CA-014	NO-068	ZR-06	AC-03	0.118	95%	4106
Canal Paniri	CA-015	NO-069	ZR-07	AC-03	0.042	90%	150
Canal Inga	CA-016	NO-070	ZR-08	AC-03	0.062	95%	3110
Canal Mesón	CA-017	NO-071	ZR-08	AC-03	0.062	95%	2530
Canal Yalquincha 2	CA-018	NO-077	ZR-09	AC-05	0.275	95%	5674
Canal Yalquincha 1	CA-019	NO-078	ZR-09	AC-05	0.26	95%	4809

NOMBRE DEL CANAL	N° CANAL	N° NODO	ZONA DE RIEGO	ACUÍFERO	CAPACIDAD DEL CANAL [m3/s]	EFICIENCIA [%]	LARGO [m]
Canal Tronco	CA-020	NO-081	ZR-10	AC-05	1.22	95%	5135
Canal Unificado Banda Radic Topater	CA-021	NO-083	ZR-10	AC-05	0.121	95%	3467
Canal Lay Lay	CA-022	NO-084	ZR-10	AC-05	0.376	95%	3106
Canal Núñez	CA-023	NO-085	ZR-11	AC-05	0.532	95%	4772
Canal Chunchuri Bajo	CA-024	NO-086	ZR-11	AC-05	0.46	95%	4051
Canal La Prensa	CA-025	NO-087	ZR-11	AC-05	0.183	95%	2584
Canal Dupont	CA-026	NO-088	ZR-11	AC-05	0.091	95%	2337
Canal rio San Salvador	CA-027	NO-094	ZR-12	AC-05	0.062	95%	795
Canal 1	CA-028	NO-109	ZR-13	AC-09	0.429	95%	10227
Canal 2	CA-029	NO-110	ZR-13	AC-09	0.156	95%	4888

4.3.3.2.5.4 Demanda subterránea

En cuarto lugar, la demanda subterránea se refiere a los pozos que extraen agua desde los acuíferos ubicados en la cuenca. Existen 53 pozos legalmente constituidos con derechos que han sido otorgados desde 1990 hasta el año 2012 y se puede observar su variación a lo largo del periodo de calibración en la Figura 2-40. En esta se aprecia como ha aumentado sostenidamente el caudal extraído a lo largo del tiempo. La serie de tiempo se puede revisar en detalle en Anexos Digitales (OE 2 Modelo Eco-Hidrológico Integrado/Modelo Hidrológico WEAP/Datos de entrada y Resultados/Anexo 2-4).

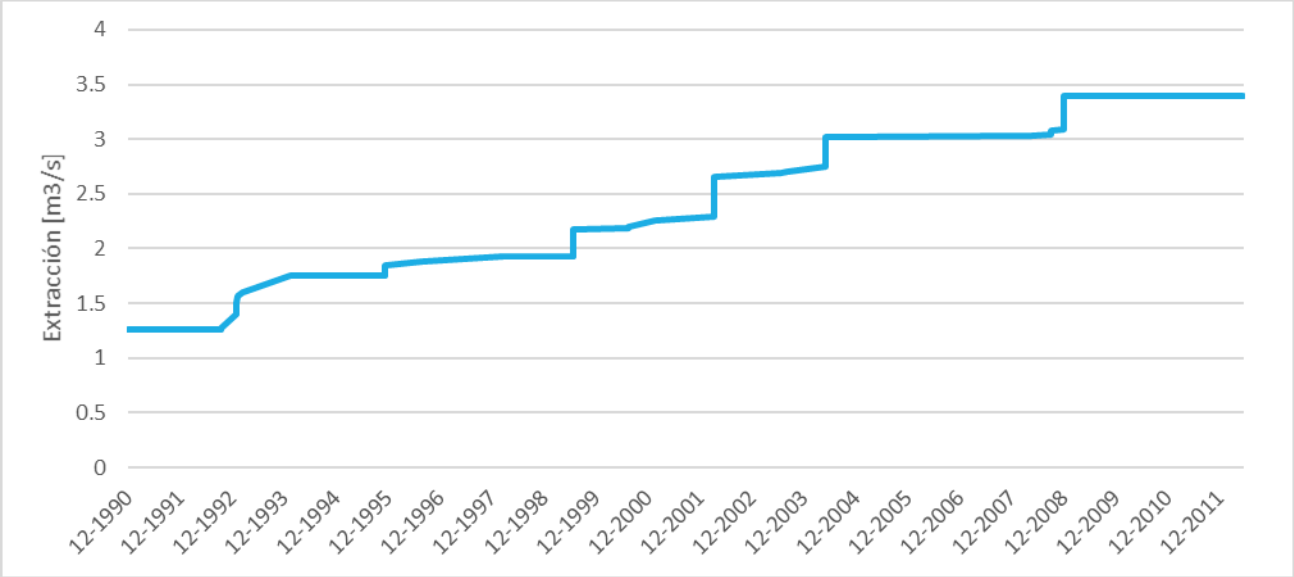


Figura 4.58 Evolución temporal de la asignación de derechos de agua subterráneos.

Dada la configuración del modelo, los distintos pozos fueron agregados en 14 nodos de demanda considerando el titular de los derechos, su uso y el sector hidrogeológico al que pertenecen, lo que es presentado en la Tabla 4.33. Esto se puede revisar en detalle en Anexos Digitales (OE 2 Modelo Eco-Hidrológico Integrado/Modelo Hidrológico WEAP/Datos de entrada y Resultados/Anexo 2-5).

Tabla 4.33 Información detallada sobre los nodos de demanda subterránea implementados en WEAP

NOMBRE EN WEAP	SHAC WEAP	SUMA DE DERECHOS [m3/s]	Nombre Pozo en DGA	Q Derecho (l/s)	Fecha Ejercicio
D_PZ_B	SHAC-02	0.535	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
D_PZ_CHU	SHAC-02	1.208	CHU-10B	90	12/01/1990
			CHU-10BN	200	12/01/1990
			CHU-17B	220	12/01/1990
			CHU-18B	220	12/01/1990
			CHU-1B	233	12/01/1990
			CHU-25B	150	13/01/1994

NOMBRE EN WEAP	SHAC WEAP	SUMA DE DERECHOS [m3/s]	Nombre Pozo en DGA	Q Derecho (l/s)	Fecha Ejercicio
			CHU-2B	58	12/01/1990
			CHU-5B	7	12/01/1990
			CHU-6B	30	12/01/1990
D_PZ_ADLS	SHAC-04	0.319	AGUAS DE LA SIERRA LIMITADA	30	12/05/2008
			AGUAS DE LA SIERRA LIMITADA	40	12/05/2008
			AGUAS DE LA SIERRA LIMITADA	35	12/05/2008
			AGUAS DE LA SIERRA LIMITADA	50	12/05/2008
			AGUAS DE LA SIERRA LIMITADA	20	12/05/2008
			AGUAS DE LA SIERRA LIMITADA	20	12/05/2008
			AGUAS DE LA SIERRA LIMITADA	50	12/05/2008
			AGUAS DE LA SIERRA LIMITADA	40	12/05/2008
			AGUAS DE LA SIERRA LIMITADA	34	12/05/2008
D_PZ_PATY	SHAC-04	0.031	Paty Nº1	31	01-08-1996
D_PZ_AM	SHAC-05	0.0165	ANTOFAGASTA MINERALS S.A.	16.5	09/01/2008
D_PZ_CRT2	SHAC-05	0.002	CODELCO CHILE DIVISIÓN RADOMIRO TOMIC	2	18/04/2008
D_PZ_CCML	SHAC-05	0.529	COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	0.7	11/07/1995
			COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	47	11/07/1995
			COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	50	11/07/1995
			COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	0.5	11/07/1995
			COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	45	13/02/1998
			COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	65.8	26/01/2001
			COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	46.8	05/02/2004
			COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	73.2	05/02/2004
			COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	65	05/02/2004
			COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	70	05/02/2004
			COMPAÑÍA CONTRACTUAL MINERA LEONOR	65	05/02/2004
D_PZ_CNCC	SHAC-05	0.03	CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE, DIVISIÓN CODELCO NORTE	30	19/06/2003

NOMBRE EN WEAP	SHAC WEAP	SUMA DE DERECHOS [m3/s]	Nombre Pozo en DGA	Q Derecho (l/s)	Fecha Ejercicio
D_PZ_IAL	SHAC-05	0.03	INVERSIONES ARLEQUÍN LIMITADA	30	09/05/2008
D_PZ_BE	SHAC-06	0.007	BAIX EBRE S.A.	7	14/07/2000
D_PZ_SQMN	SHAC-06	0.005	S.Q.M. NITRATOS S.A.	5	08/10/2003
D_PZ_SQM	SHAC-06	0.02018	SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA DE CHILE S.A. SQM S.A.	8	15/09/1992
			SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA DE CHILE S.A. SQM S.A.	2.68	15/09/1992
			SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA DE CHILE S.A. SQM S.A.	9.5	08/09/2003
D_PZ_SCSA	SHAC-06	0.016	SOQUIMICH COMERCIAL S.A.	16	14/07/2000
D_PZ_MSSC	SHAC-07	0.0062	MINERA SILVER STANDARD CHILE SOCIEDAD ANÓNIMA.	6.2	18/05/2012
D_PZ_SQM3	SHAC-07	0.2447	SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA DE CHILE S.A.	35	24/06/1999
			SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA DE CHILE S.A. SQM S.A.	4.7	23/06/1999
			SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA DE CHILE S.A. SQM S.A.	19	24/06/1999
			SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA DE CHILE S.A. SQM S.A.	65	24/06/1999
			SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA DE CHILE S.A. SQM S.A.	30	24/06/1999
			SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA DE CHILE S.A. SQM S.A.	60	24/06/1999
			SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA DE CHILE S.A. SQM S.A.	31	24/06/1999

4.3.3.2.6 Descarga de agua potable

En la cuenca existe también una descarga puntual que proviene desde la planta de tratamiento de aguas servidas de Calama. Esta agua, una vez tratada, es devuelta al río San Salvador antes de la junta con el río Loa. En la Figura 4.59 se presenta el valor de la descarga implementado en el modelo, que fue obtenido desde el informe de Knight Piésold (2014b).

Dado que el agua para consumo humano es extraída en una zona alejada de la ciudad y no existe más información sobre el funcionamiento de la planta, esta fue representada como un nodo independiente de aquellos que extraen agua para el suministro de agua potable. Para el periodo futuro, se repitieron los datos del año 2014 dado que de esa forma se mantiene la estacionalidad de la descarga.

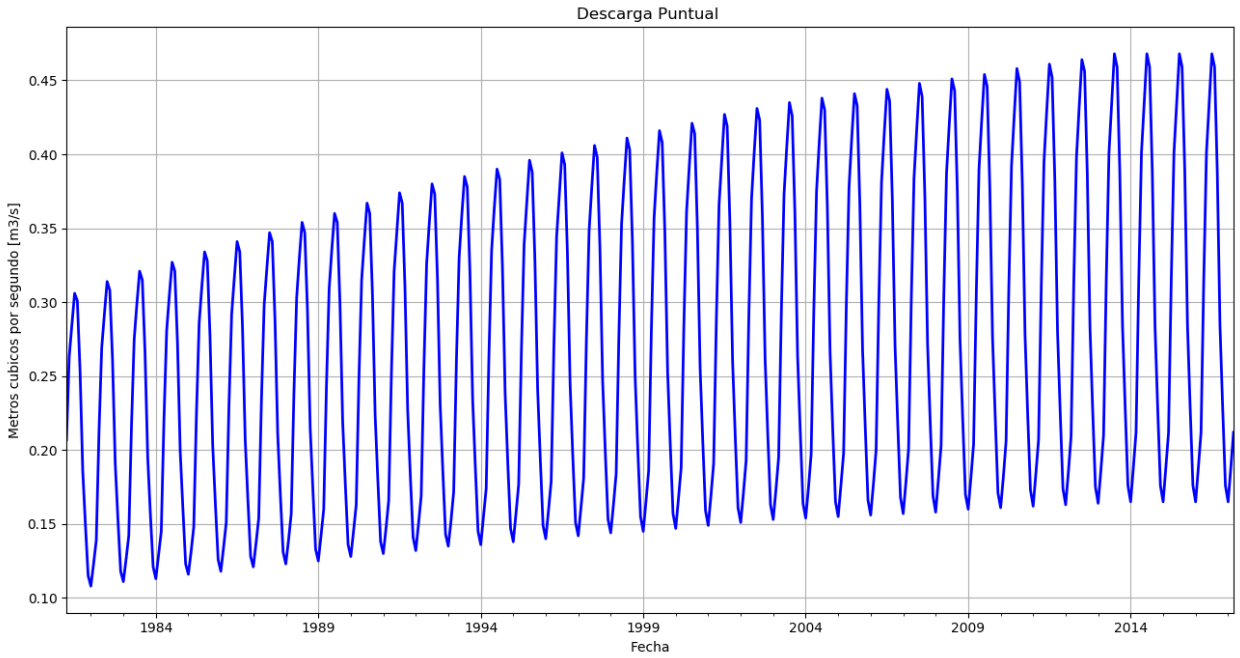


Figura 4.59 Caudal de descarga desde la Planta de Tratamiento de Aguas Servida de Calama

4.3.3.3 *Introducción a Reglas de Operación en WEAP*

Sólo como medida de información, conviene explicar cómo WEAP calcula tanto la satisfacción de la demanda como el supuesto de repartición de alícuotas.

1. **Satisfacción de la Demanda (SD) de riego**. La SD es lograda mediante la interacción de diversos elementos topológicos. Ejemplo: un sector de riego i tiene un caudal de demanda $Q_{dem,i}$, que debe ser suministrado por el río, a través de un canal. El caudal máximo que puede entrar a ese canal en la bocatoma corresponde al derecho de agua $Q_{der,i}$, el cual constituye el límite superior de captación y conducción. Así entonces se configura ese canal para que pueda captar y transportar como máximo el $Q_{der,i}$. Tanto $Q_{der,i}$ como $Q_{dem,i}$ pueden variar mensualmente, y evidentemente que la oferta hídrica también varía mes a mes. Si en un mes cualquiera, $Q_{der,i}$ es mayor que $Q_{dem,i}$, y el río trae suficiente agua, la SD será del 100%, y el agua que sobre pasará a ser derrame (este derrame se sumará a aquel que origine el mismo sector de riego producto de la ineficiencia de aplicación intrapredial y a la pérdida por conducción). Si $Q_{der,i}$ es menor que $Q_{dem,i}$, entonces la SD será menor al 100% aún cuando el río traiga suficiente agua. Debe recordarse también, que cada canal está afectado a una pérdida por conducción.

2. **Repartición alícuota de las aguas**. El modelo siempre buscará satisfacer todas las demandas en un 100%, sin asignar prioridades (a menos que el modelador así lo estableciera). Si el caudal del río en el punto (Q_{rio}) a lo largo del sistema es capaz de

satisfacer todas las demandas (incluyendo caudales ecológicos) a pesar de todas las pérdidas e ineficiencias, entonces todas las SD serán del 100%. Si por el contrario, Q_{rio} no alcanzara, entonces el modelo repartirá alícuotamente y optimizará la SD proporcionalmente. La satisfacción de los DAA eventuales, se activan únicamente si los DAA Permanentes están satisfechos totalmente.

A continuación, se presentan las ecuaciones que rigen las reglas de captación de los canales (Ec. 11), la regla de entrega al riego (Ec. 12) y las ecuaciones de derrames de riego (Ec. 13 y 14).

$$Q_{capt,i} = \left\{ \begin{array}{lll} \left\{ \begin{array}{lll} Q_{der,i} & si & Q_{rio} \geq \sum_i Q_{der,i} \\ Q_{rio,i} \cdot \frac{Q_{der,i}}{\sum_i Q_{der,i}} & si & Q_{rio} < \sum_i Q_{der,i} \end{array} \right\} & si & Q_{dem,i} > 0 \\ 0 & si & Q_{dem,i} = 0 \end{array} \right\} \quad \textbf{Ec. 6}$$

$$Q_{riego,i} = \left\{ \begin{array}{lll} Q_{dem,i} & si & Q_{capt,i} - Q_{inf,i} \geq Q_{dem,i} \\ Q_{capt,i} - Q_{inf,i} & si & Q_{capt,i} - Q_{inf,i} < Q_{dem,i} \end{array} \right\} \quad \textbf{Ec. 7}$$

$$Q_{derr1,i} = \left\{ \begin{array}{lll} Q_{riego,i} - Q_{dem,i} & si & Q_{riego,i} \geq Q_{dem,i} \\ 0 & si & Q_{riego,i} < Q_{dem,i} \end{array} \right\} \quad \textbf{Ec. 8}$$

$$Q_{derr2,i} = Q_{riego,i} \cdot (1 - Ef_{ap,i}) \quad \textbf{Ec. 9}$$

Donde, $Q_{capt,i}$ es el caudal captado por la bocatoma del canal i; $Q_{der,i}$ es el caudal de derechos de agua (permanente y continuo) del canal i; Q_{rio} es el caudal que lleva el río; $Q_{riego,i}$ es el caudal entregado al riego i desde el canal i; $Q_{inf,i}$ es la pérdida por infiltración desde el canal i hacia el acuífero; $Q_{derr1,i}$ es el derrame tipo 1 desde el sector de riego i, el cual se activa cuando el Q_{riegoi}

supera al $Q_{dem,i}$, es decir, "sobra agua" en ese sector; $Q_{derr2,i}$ es el derrame tipo 2, el cual corresponde al agua que se pierde por ineficiencia de aplicación intrapredial del sector i $(1 - Ef_{ap})$, y existe siempre que la $Ef_{ap,i}$ sea menor al 100%. Todos los caudales están en m^3/s.

De acuerdo con lo anterior, el caudal de recarga de riego desde el sector i ($Q_{rec-riego,i}$) queda dado por la Ec. 15.

$$Q_{rec-riego,i} = (1 - Ev) \cdot (Q_{derr1,i} + Q_{derr2,i}) + Q_{inf,i} \qquad \textbf{Ec. 10}$$

Donde Ev es la pérdida por evaporación (valor entre 0 y 1).

La Satisfacción de la Demanda del sector i en un mes cualquiera (SD_i), la cual se calcula según la Ec. 16.

$$SD_i = 100 \cdot \frac{Q_{riego,i}}{Q_{dem,i}} \qquad \textbf{Ec. 11}$$

Otros supuestos que permiten el funcionamiento del modelo son:

1. El 100% de los derrames del riego pasan a ser recarga del acuífero.
2. El 100% de las pérdidas por conducción de los canales pasan a ser recarga de acuífero.

4.3.4 Resultados del Modelo Operacional

A continuación, se entregan los indicadores de calibración para cada flujo de caudal y los resultados más relevantes para los elementos topológicos considerados.

Cabe destacar que de acuerdo a Moriasi et al (2007), existe una clasificación de modelos de acuerdo a distintos criterios de eficiencia, como se muestran en la siguiente figura.

Table 4. General performance ratings for recommended statistics for a monthly time step.

Performance Rating	RSR	NSE	PBIAS (%)		
			Streamflow	Sediment	N, P
Very good	0.00 ≤ RSR ≤ 0.50	0.75 < NSE ≤ 1.00	PBIAS < ±10	PBIAS < ±15	PBIAS< ±25
Good	0.50 < RSR ≤ 0.60	0.65 < NSE ≤ 0.75	±10 ≤ PBIAS < ±15	±15 ≤ PBIAS < ±30	±25 ≤ PBIAS < ±40
Satisfactory	0.60 < RSR ≤ 0.70	0.50 < NSE ≤ 0.65	±15 ≤ PBIAS < ±25	±30 ≤ PBIAS < ±55	±40 ≤ PBIAS < ±70
Unsatisfactory	RSR > 0.70	NSE ≤ 0.50	PBIAS ≥ ±25	PBIAS ≥ ±55	PBIAS ≥ ±70

Figura 4.60. Clasificación de los ajustes de modelos según indicadores como NSE y PBIAS. Fuente: Moriasi et al (2007).

En este caso se han calculado, al igual que en las forzantes naturales y su diagnóstico, los indicadores KGE y coeficiente de correlación (R^2). Es importante destacar que no existe un único criterio para evaluar la modelación, por lo que si bien ahora se presenta un resumen de los indicadores calculados en las estaciones fluviométricas seleccionadas, éstos deben ser complementados con los gráficos que se adjuntan más adelante.

4.3.4.1 *Caudales Simulados en estaciones de control*

La Tabla 4.34 resume los indicadores de eficiencia obtenidos del proceso de calibración, ya explicados en apartados anteriores (ver el acápite de las forzantes naturales).

Tabla 4.34 Indicadores de Calidad de Calibración para el periodo histórico (1981 -2017) en las estaciones DGA consideradas.

Estación	KGE	NSE	R^2	PBIAS
Rio Loa antes agrícola Quillagua	-0.578	-4.492	0.065	9.681
Rio Loa Antes Embalse Conchi	0.527	0.407	0.424	8.216
Rio Loa Antes Represa Lequena	0.647	0.268	0.429	6.386
Rio Loa en Desembocadura	-0.333	-2.440	0.268	49.182
Rio Loa en Escorial	0.746	0.650	0.666	-10.818
Rio Loa en Finca	0.632	0.305	0.556	-13.516
Rio Loa en Yalquincha	0.373	-0.710	0.472	-17.864
Rio Loa Salida Embalse Conchi	0.460	0.332	0.346	-8.392
Rio Loa San Salvador M. Elena	-1.137	-7.345	0.086	-8.819
Rio Salado en A.J Loa	0.574	0.075	0.491	29.043
Rio Salado en Sifon Ayquina	0.727	0.688	0.690	2.172

Como se puede apreciar, la calidad de los ajustes es variada a lo largo del modelo. Desde la zona alta, para las estaciones de río Loa antes represa en Lequena y río Loa antes embalse Conchi, los ajustes alcanzados son buenos, con una sobrestimación menor al 8% (PBIAS). Estas estaciones constituyen la oferta hídrica de la mayor parte del sistema. De ahí la importancia de que en dichas estaciones se esté representando el flujo pasante. La mezcla entre el KGE y NSE sugieren que existe una representación satisfactoria entre la media y la variabilidad del sistema.

Como se puede apreciar en la Figura 4.61, para la estación río Loa en Lequena, la señal de caudal es correctamente representada en el tiempo, y salvo específicamente entre el año 2002-2003, los caudales anuales se encuentran correctamente representados. Del mismo modo el régimen hidrológico es respetado, que puede ser entendido como un régimen nivo-pluvial, es simulado

con sobrestimaciones entre los meses de junio y julio; mientras que se subestima entre noviembre y diciembre. En general la curva de duración (CD) comunica una buena estimación del caudal 50% (Q50%), con sobrestimaciones para caudales entre el segmento 20 a 50% y subestimaciones asociados a los caudales mayores al 75%, que representan el flujo base del sistema, sobre las cuales operan las extracciones asociadas a caudales permanentes. Por tanto la simulación lograda se considera conservadora.

Del mismo modo, la Figura 4.62, muestra la simulación de la oferta hídrica justo antes del embalse Conchi. Como se puede ver, las simulaciones logran reproducir tanto la variabilidad de la señal mensual e interanual, salvo en el período 2013-2016, en donde los valores simulados se presentan más sobrestimados. Particularmente el año 2017 resulta muy distinto, y se cree que esto se debe a posibles errores de registro en la estación, debido a fenómenos de crecidas acaecidos en los últimos años. La CD se considera adecuadamente simulada, siendo más complejo simular la magnitud de la estacionalidad promedio(sobrestimada de mayo a enero), más no el régimen hídrico.

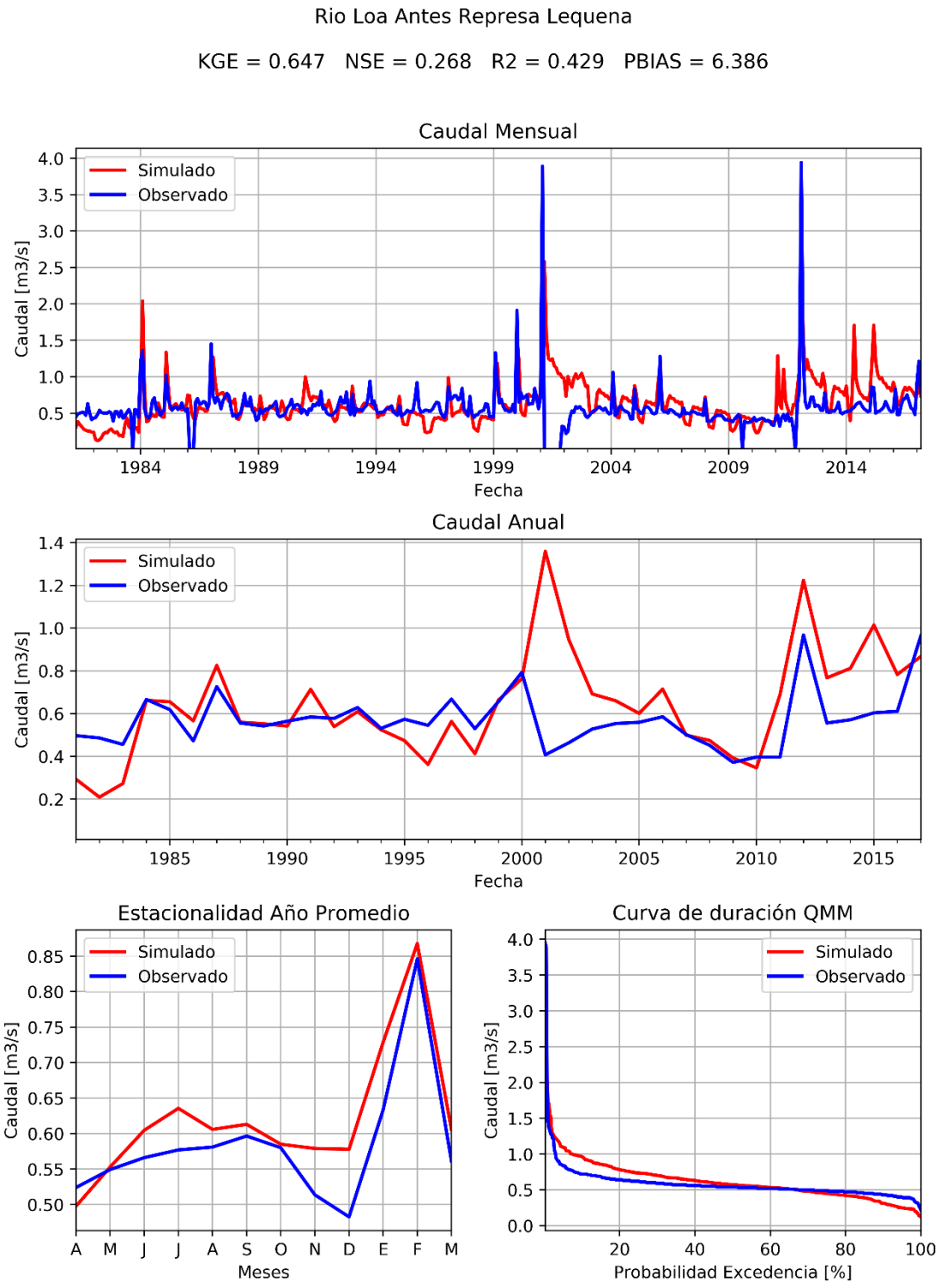


Figura 4.61 Resultados Calibración Estación Río Loa Antes Represa Lequena (Elaboración propia, 2020)

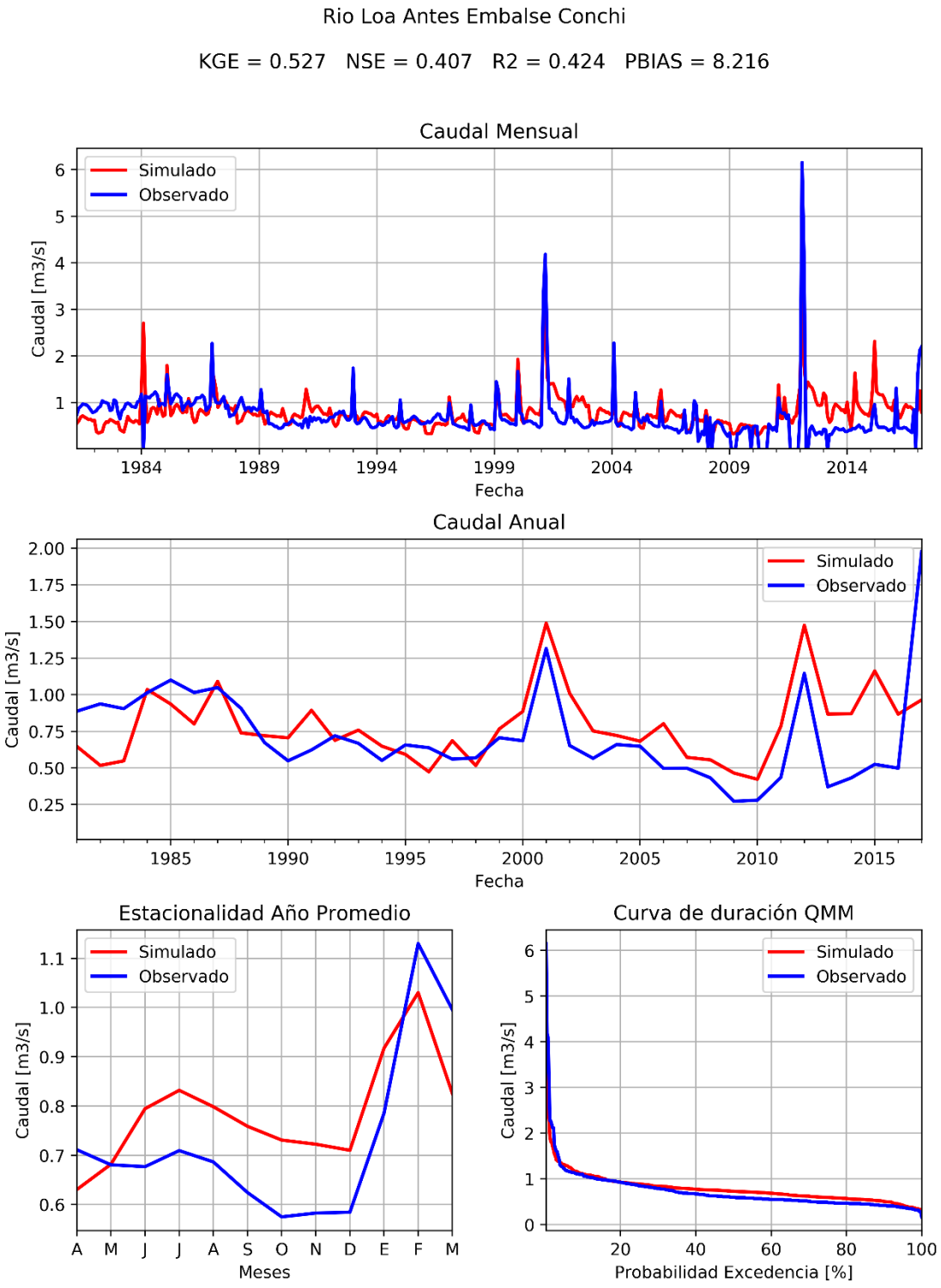


Figura 4.62 Resultados Calibración Estación Río Loa Antes Embalse Conchi (Elaboración propia, 2020)

Adicionalmente, y al no tener una claridad absoluta de la regla de operación del embalse, la estación aguas abajo del embalse Conchi tiene indicadores satisfactorios, siendo difícil poder 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.

Las estaciones río Loa en Escorial y Loa en la Finca también presentan indicadores buenos, con subestimaciones entre un 10 a 13%, valores esperables dada la operatoria del sistema, al igual que en la estación río Salado antes de la Junta con el Loa, estación que logró un mejor ajuste sobre la estación del río San Salvador, debido al alto grado de intervención sobre este cauce y las extracciones que hacen que en un momento sea difícil encontrar un caudal pasante sobre dicho curso.

Por ejemplo, la Figura 4.63, muestra el ajuste obtenido para Loa en Escorial. Si bien la estación no goza de un amplio registro fluviométrico, hay al menos 10 años para poder comparar el grado de ajuste. Se puede apreciar como los caudales medios anuales están correctamente representados, mientras que el régimen hidrológico es correctamente simulado (prácticamente nival, con una componente pluvial “truncada”). La CD está correctamente estimada, con una subestimación entre las probabilidades de excedencia entre el 50 y 90%, lo que para los propósitos del estudio es considerado conservador.

Las peores estaciones ajustadas fueron Río Loa antes de la agrícola Quillagua y río Loa en desembocadura, sin embargo, se discutirá la calidad también de la simulación, en función también del grado de respuesta lógico y físico que se ha representado. Es factible también que la calidad de la información observada en aquellos puntos donde el grado de intervención es alta, sea también limitada e interpretable también de acuerdo a la calidad de la información disponible.

En este sentido, y como se puede ver en la Figura 4.64, la estación Loa en desembocadura es capaza 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. Particularmente los años 2002 y 2012 se tuvieron importantes fenómenos en altura.

Cabe destacar que la precipitación considerada desde la desembocadura hasta Calama es prácticamente nula, como lo señala el Balance Hídrico y es también comentado por el informe de KP (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.

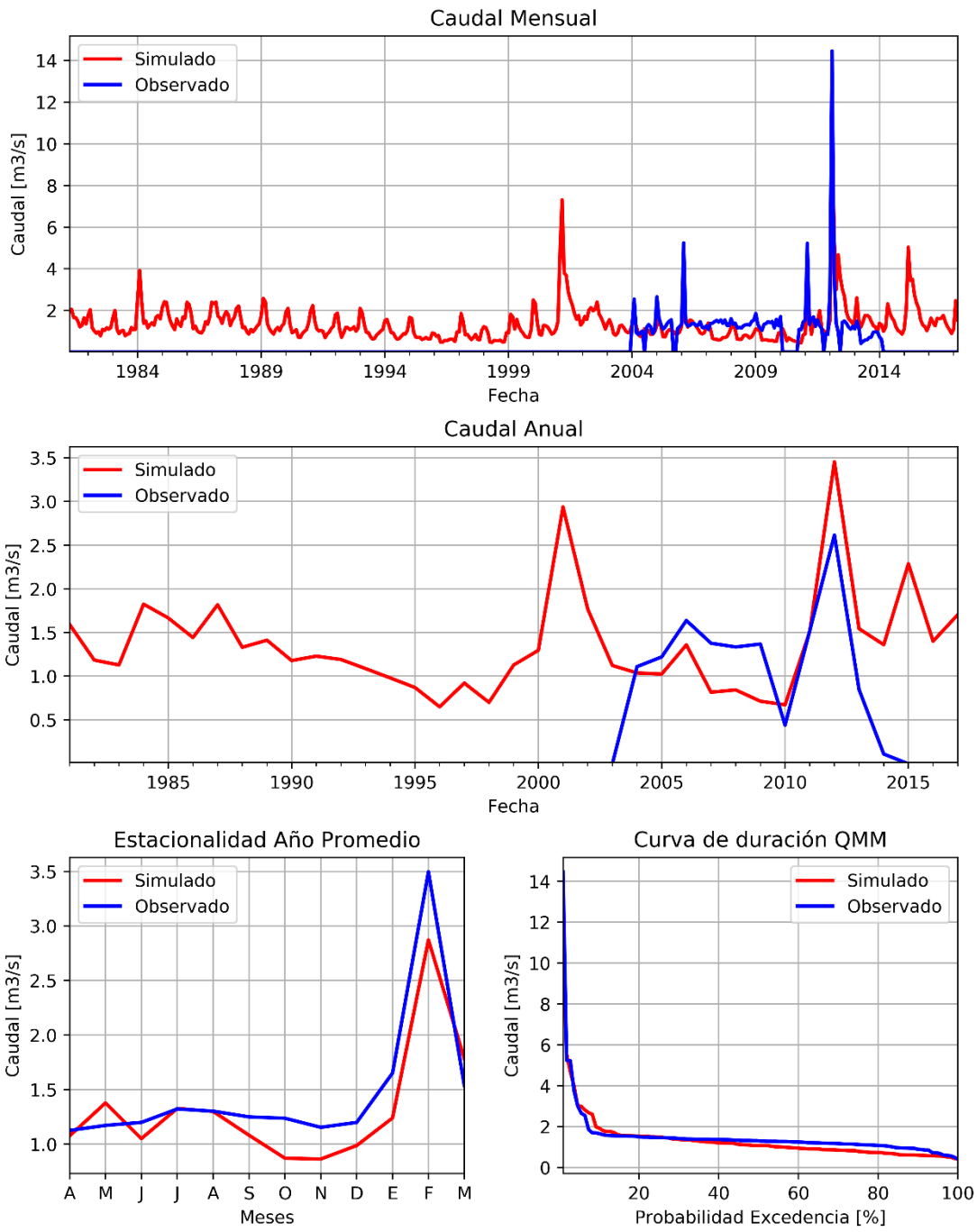


Figura 4.63 Resultados Calibración Estación Río Loa en Escorial (Elaboración propia, 2020)

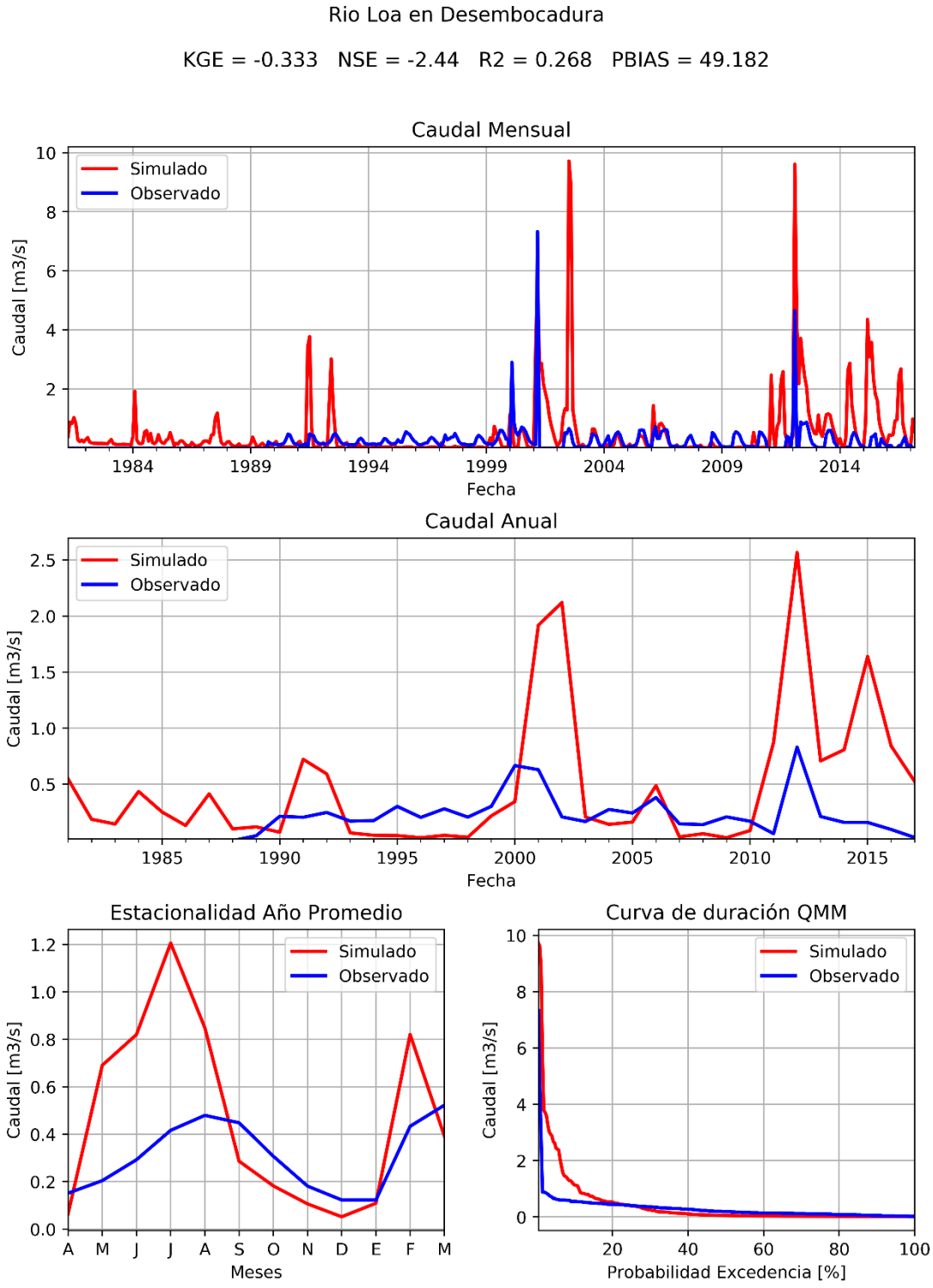


Figura 4.64 Resultados Calibración Estación Río Loa en Desembocadura (Elaboración propia, 2020)

Los resultados de otras estaciones pueden observarse en Anexos Digitales (OE 2 Modelo Eco-Hidrológico Integrado/Modelo Hidrológico WEAP/Datos de entrada y Resultados/Anexo 2-8), parte de este informe.

4.3.4.2 *Caudales Simulados en puntos de control ambiental*

Adicionalmente, la siguiente tabla resume los caudales estacionales del año promedio obtenidos para los puntos de control de caudal ambiental, en donde, por sobre todo, es posible concluir que la estacionalidad del flujo es la correcta para todos los puntos obtenidos, y se debe tener en cuenta que la mayor fortaleza de las simulaciones está justamente en la estacionalidad y en el flujo base que viene de las calibraciones, pero que claramente existen operaciones en el sistema que harán que algunos puntos comprometan su disponibilidad hídrica, como por ejemplo, "NA río San Pedro", ubicado aguas debajo de una importante extracción que prácticamente seca el río. Gracias a las campañas a terreno efectuadas por el equipo, esto pudo cotejarse.

Tabla 4.35 Estacionalidad Año Promedio Puntos Caudal Ambiental para el periodo histórico (1981 - 2017) en el esquema de calibración del modelo operacional.

	Flujo (m^3/s)											
	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
NA AYQUINA	0.58	0.60	0.45	0.37	0.35	0.38	0.38	0.40	0.38	0.49	1.01	0.75
NA CALAMA ALTO	1.22	1.37	1.25	1.20	1.20	1.08	1.01	1.04	1.12	1.51	2.27	1.79
NA CALAMA BAJO	0.39	0.59	0.55	0.61	0.57	0.36	0.26	0.19	0.19	0.27	0.84	0.66
NA CALAMA MEDIO	1.24	1.39	1.26	1.21	1.22	1.09	1.03	1.06	1.15	1.54	2.31	1.83
NA CALINA	0.63	0.70	0.79	0.82	0.79	0.75	0.73	0.72	0.72	0.92	1.05	0.81
NA CHIU CHIU	0.25	0.39	0.41	0.45	0.46	0.41	0.38	0.42	0.57	0.82	0.80	0.58
NA CONFLUENCIA QUEBRADA AMARGA	0.32	0.60	0.72	0.98	0.81	0.28	0.17	0.09	0.06	0.15	0.74	0.54
NA COYA	0.46	0.65	0.64	0.67	0.64	0.42	0.32	0.25	0.22	0.32	0.91	0.69
NA LASANA	0.42	0.51	0.58	0.63	0.65	0.60	0.57	0.62	0.85	1.13	1.13	0.80
NA PALPANA	0.52	0.57	0.62	0.65	0.62	0.62	0.60	0.59	0.58	0.73	0.86	0.66
NA QUILLAGUA	0.31	0.60	0.71	0.97	0.80	0.27	0.16	0.09	0.05	0.15	0.74	0.53
NA RIO SALADO	0.82	0.86	0.67	0.54	0.51	0.53	0.51	0.54	0.52	0.69	1.42	1.09
NA RIO 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
N AYQUINA	0.58	0.60	0.45	0.37	0.35	0.38	0.38	0.40	0.38	0.49	1.01	0.75
N CALAMAS	1.08	1.20	1.05	0.99	0.96	0.91	0.89	0.91	1.04	1.44	2.15	1.68
N CALINA	0.57	0.65	0.74	0.78	0.74	0.71	0.69	0.68	0.66	0.86	1.00	0.75
N CHIU CHIU	0.31	0.41	0.45	0.52	0.52	0.45	0.47	0.49	0.68	0.93	0.91	0.67

	Flujo (m^3/s)											
	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
N COYA1	0.19	0.18	0.18	0.17	0.18	0.18	0.18	0.17	0.16	0.16	0.17	0.17
N COYA2	0.50	0.70	0.70	0.74	0.70	0.48	0.37	0.31	0.30	0.39	0.98	0.75
N LASANA	0.59	0.67	0.71	0.78	0.76	0.70	0.74	0.78	1.04	1.31	1.32	0.97
N PALPANA	0.10	0.08	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.11	0.10	0.10
N QUILLAGUA	0.48	0.76	0.87	1.13	0.96	0.43	0.32	0.24	0.22	0.32	0.91	0.70

Por último, se debe recordar que el sistema hidrológico posee una influencia preponderante respecto del sistema subterráneo. Esto es importante porque el balance hídrico de la cuenca y los procesos que ocurren dentro de ella, son representativos de sistemas áridos, por lo que la evaporación, evapotranspiración y los procesos de infiltración y afloramientos tienden a ser dominantes y a modular la respuesta estacional, dando un flujo base más estable.

En este caso, el modelo implementado en WEAP es una plataforma en donde los flujos subterráneos son estimados en base al modelo hidrogeológico de KP (2014a, 2014b), el cual también alimenta el modelo operacional que se construyó. A través del análisis de sus resultados, estos flujos son ligados en WEAP a parámetros operacionales o a forzantes naturales, cuando es estrictamente necesario.

La situación de modelación “ideal” sería que existiese una interacción constante entre el modelo subterráneo y el modelo superficial, aspecto que sobrepasa los alcances del presente trabajo.

4.3.4.3 *Embalse Conchi*

Parte de la calibración ha sido mantener en vista elementos topológicos de control de flujo. La obra de regulación más importante en la cuenca corresponde al embalse Conchi. Si bien no se tiene la regla de operación de la obra, se utilizaron los parámetros internos de WEAP, en particular un factor de “Buffer” para todo el volumen útil, que trata de representar factores de entrega según el nivel del embalse.

Cabe destacar que fue necesario incluso definir períodos temporales de entrega debido a la disparidad de los caudales en la salida. La Figura 4.65 muestra el ajuste entre el volumen simulado y el observado disponible a la fecha desde los reportes de embalse de la DGA.

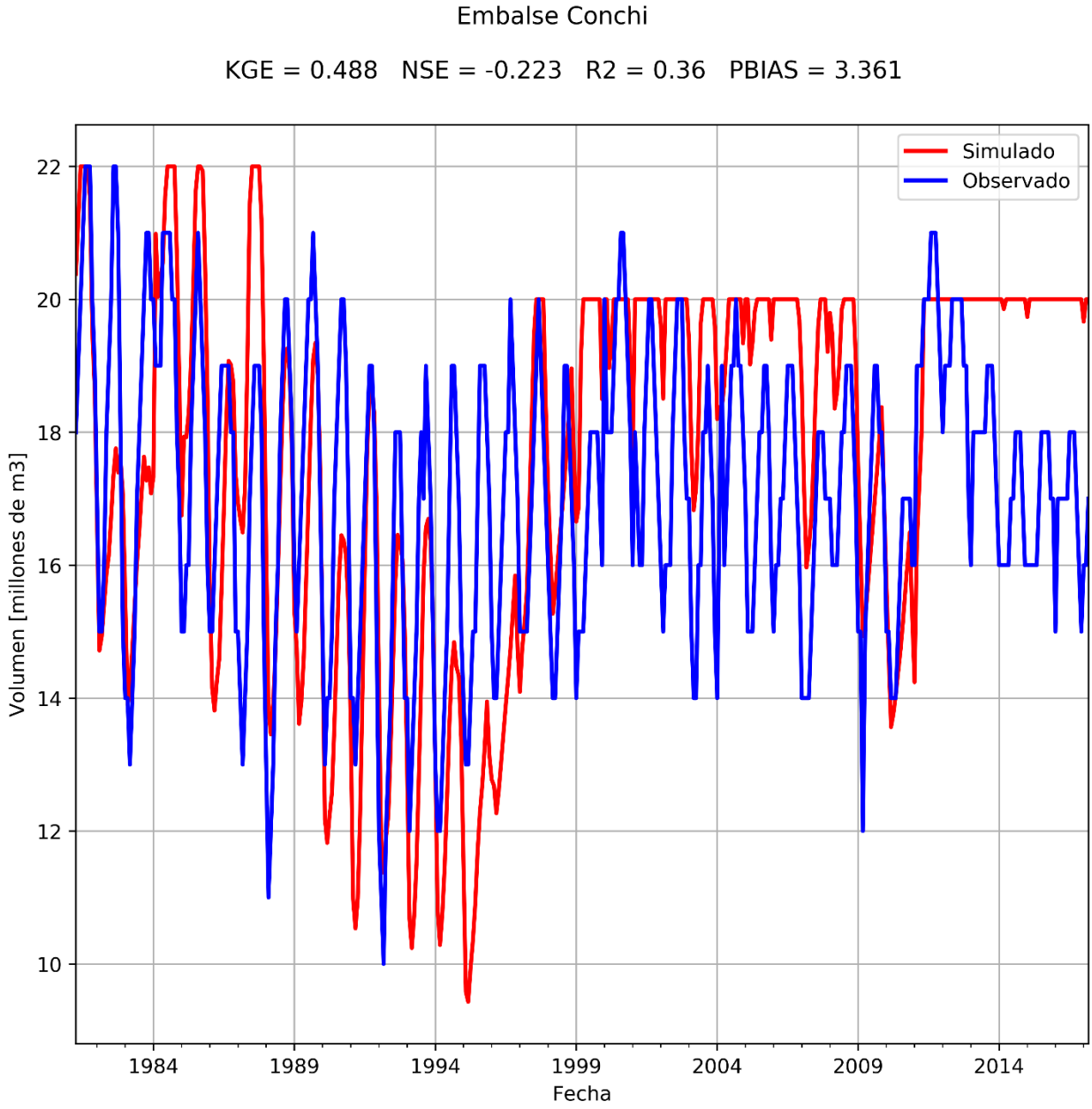


Figura 4.65 Resultados Calibración Embalse Periodo Histórico 1981 -2017.

Dado que el embalse funciona con los caudales simulados en la parte, logra reproducir la tendencia a la baja desde el año 1988 y la posterior recuperación hacia el año 1998. Posterior a esa fecha el volumen simulado tiende a recuperarse al 100% en la variabilidad interanual y no descender de los 16 Mm3, mientras que los volúmenes observados llegan a los 14 Mm3. La caída de almacenamiento desde el 2008 al 2010 y su recuperación al 2013 es correctamente representada, pero pasada esa fecha el embalse no ha sido presionado para liberar los volúmenes que se observan entre los años 2014 a 2017.

4.3.4.4 *Acuíferos*

Otro aspecto sensible a evaluar es el comportamiento de los acuíferos. Se debe recordar que estas aproximaciones topológicas deben ser interpretadas como "cajas de balance", en donde se han rescatado los flujos más relevantes que provienen de la modelación numérica de KP (2014a y 21014b). Las recargas, flujos entre acuíferos e infiltraciones han sido aproximadas teniendo en consideración el balance ya reproducido por dicho estudio.

La Tabla 4.36 presenta el balance hídrico del acuífero en su totalidad, sumando en efecto todos sus balances.

Tabla 4.36 Resumen del Balance de todos los acuíferos considerados bajo el esquema de calibración el periodo histórico (1981 -2017). El signo ** significa que no se consideran las entradas ni salidas subterráneas.

	Flujo (m^3/s)											
	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Entradas												
Entrada subterránea	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34
Recarga PP	3.63	3.59	3.60	3.60	3.60	3.60	3.58	3.59	3.75	4.33	4.33	3.88
Recarga ríos	0.18	0.18	0.18	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.18	0.17
Recarga Canales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga Operacional	0.21	0.22	0.19	0.14	0.10	0.07	0.10	0.14	0.24	0.57	1.23	1.28
Salidas												
Salida subterránea	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34
Pozos	-1.95	-1.77	-1.73	-1.72	-1.75	-1.81	-1.86	-1.99	-1.96	-2.02	-2.12	-2.05
Afloramientos WEAP	-0.77	-0.75	-0.75	-0.75	-0.75	-0.76	-0.76	-0.76	-0.75	-0.77	-0.78	-0.77
Overflow	-1.94	-1.93	-1.94	-1.95	-1.93	-1.90	-1.88	-1.88	-1.98	-2.34	-2.33	-2.13
Totales												
Total Entradas**	4.02	4.00	3.97	3.93	3.88	3.85	3.87	3.90	4.17	5.07	5.74	5.33
Total Salidas**	-4.66	-4.46	-4.42	-4.42	-4.43	-4.47	-4.49	-4.62	-4.69	-5.13	-5.24	-4.94
Balance	-0.64	-0.46	-0.44	-0.50	-0.55	-0.62	-0.63	-0.72	-0.52	-0.06	0.50	0.39

Lo más relevante en este sentido es que de acuerdo a lo simulado, el balance es negativo, por lo que hay un vaciamiento del volumen del acuífero de la cuenca del orden de 0.328 m^3/s anuales.

A continuación, se ahonda en el balance de cada sector modelado.

La Tabla 4.37 presenta el balance hídrico del sector AC-01. En este caso es factible constatar que el acuífero se encuentra prácticamente en equilibrio (balance casi nulo, con muy poca señal de

aumento en los meses de Abril-Junio, probablemente están dentro del margen de error de la simulación).

Tabla 4.37 Balance Acuífero AC-01 para el periodo histórico (1981 -2017) bajo el esquema de calibración

	Flujo (m^3/s)											
	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Entradas												
Recarga PP	0.83	0.80	0.81	0.81	0.80	0.80	0.79	0.80	0.89	1.22	1.20	0.97
Recarga ríos	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Recarga Canales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga Operacional	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salidas												
Salida subterránea	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10
Pozos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Afloramientos WEAP	-0.09	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.09	-0.10	-0.10	-0.09
Overflow	-0.62	-0.61	-0.61	-0.61	-0.61	-0.62	-0.62	-0.62	-0.71	-1.02	-1.00	-0.78
Totales												
Total Entradas	0.83	0.81	0.81	0.82	0.81	0.81	0.80	0.80	0.90	1.22	1.20	0.97
Total Salidas	-0.81	-0.79	-0.80	-0.80	-0.79	-0.81	-0.80	-0.80	-0.90	-1.22	-1.20	-0.97
Balance	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

La Tabla 4.38, presenta el balance del sector AC-02, donde es posible comentar que existe un balance negativo entre los meses de abril a diciembre, lo que cambia entre enero y marzo, pues ahí se concentra el grueso de la recarga. De todas maneras, el promedio anual del balance indica una condición de equilibrio (0.031 m3/s promedio anual).

Tabla 4.38 Balance Acuífero AC-02 para el periodo histórico (1981 -2017) bajo el esquema de calibración

	Flujo (m^3/s)											
	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Entrada												
Entrada subterránea	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga PP	0.75	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.73	0.74	0.80	1.06	1.08	0.86
Recarga ríos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga Canales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga Operacional	0.32	0.34	0.30	0.25	0.21	0.17	0.19	0.19	0.30	0.63	1.29	1.35
Salidas												
Salida subterránea	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pozos	-1.23	-1.23	-1.23	-1.23	-1.23	-1.23	-1.23	-1.23	-1.23	-1.27	-1.28	-1.28
Afloramientos WEAP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Overflow	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Totales												
Total Entradas	1.07	1.08	1.04	0.99	0.95	0.91	0.92	0.93	1.10	1.69	2.37	2.21
Total Salidas	-1.23	-1.23	-1.23	-1.23	-1.23	-1.23	-1.23	-1.23	-1.23	-1.28	-1.28	-1.28
Balance	-0.16	-0.15	-0.19	-0.24	-0.28	-0.32	-0.31	-0.30	-0.13	0.41	1.10	0.94

La Tabla 4.39 muestra el balance del sector AC-03, el cual se muestra en perfecto equilibrio.

Tabla 4.39 Balance Acuífero AC-03 para el periodo histórico (1981 -2017) bajo el esquema de calibración.

	Flujo (m^3/s)											
	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Entrada												
Entrada subterránea	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga PP	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95
Recarga ríos	0.16	0.16	0.16	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15
Recarga Canales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga Operacional	-0.11	-0.12	-0.12	-0.12	-0.11	-0.10	-0.09	-0.06	-0.06	-0.07	-0.07	-0.07
Salidas												
Salida subterránea	-0.44	-0.44	-0.44	-0.44	-0.44	-0.44	-0.44	-0.44	-0.44	-0.44	-0.44	-0.44
Pozos	-0.03	-0.01	-0.01	-0.01	-0.03	-0.07	-0.11	-0.14	-0.12	-0.07	-0.06	-0.03
Afloramientos WEAP	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21

Overflow	-1.32	-1.33	-1.33	-1.33	-1.32	-1.28	-1.26	-1.26	-1.27	-1.32	-1.33	-1.35
Totales												
Total Entradas	1.99	1.99	1.99	1.99	2.00	2.00	2.02	2.05	2.04	2.03	2.03	2.02
Total Salidas	-1.99	-1.99	-1.99	-1.99	-2.00	-2.00	-2.02	-2.05	-2.04	-2.03	-2.03	-2.02
Balance	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

La Tabla 4.40 presenta el balance para el sector AC-04, en donde se aprecia un balance negativo a una tasa de 0.09 m3/s a nivel anual, pero a diferencia de los otros sectores este desbalance es constante para todos los meses exceptuando el mes de Abril.

Tabla 4.40 Balance Acuífero AC-04 para el periodo histórico (1981 -2017) bajo el esquema de calibración

	Flujo (m^3/s)											
	A	**M**	**J**	**J**	**A**	**S**	**O**	**N**	**D**	**E**	**F**	**M**
Entrada												
Entrada subterránea	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Recarga PP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga ríos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga Canales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga Operacional	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salidas												
Salida subterránea	-0.39	-0.39	-0.39	-0.39	-0.39	-0.39	-0.39	-0.39	-0.39	-0.39	-0.39	-0.39
Pozos	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10
Afloramientos WEAP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Overflow	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Totales												
Total Entradas	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Total Salidas	-0.48	-0.49	-0.49	-0.49	-0.49	-0.49	-0.49	-0.49	-0.49	-0.49	-0.49	-0.49
Balance	-0.08	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09

La Tabla 4.41 presenta el balance para el acuífero AC-05, en donde es posible apreciar que al igual que el acuífero anterior, el balance es negativo durante todo el año, debido al uso intensivo que se le comienza a dar al acuífero.

Tabla 4.41 Balance Acuífero AC-05 para el periodo histórico (1981 -2017) bajo el esquema de calibración

	Flujo (m^3/s)											
	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Entrada												
Entrada subterránea	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
Recarga PP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga ríos	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Recarga Canales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga Operacional	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salidas												
Salida subterránea	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21
Pozos	-0.47	-0.30	-0.25	-0.25	-0.25	-0.27	-0.28	-0.38	-0.37	-0.44	-0.55	-0.51
Afloramientos WEAP	-0.24	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.24	-0.24	-0.24
Overflow	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Totales												
Total Entradas**	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
Total Salidas**	-0.92	-0.74	-0.68	-0.68	-0.69	-0.70	-0.72	-0.82	-0.80	-0.88	-1.00	-0.95
Balance	-0.38	-0.19	-0.14	-0.14	-0.14	-0.16	-0.17	-0.27	-0.25	-0.34	-0.45	-0.41

En el caso del acuífero AC-06, la siguiente tabla resume que la condición de balance es de equilibrio parcial, con una tasa de descenso menor de -0.01 m3/s.

Tabla 4.42 Balance Acuífero AC-06 para el periodo histórico (1981 -2017) bajo el esquema de calibración

	Flujo (m^3/s)											
	A	M	A	J	A	S	A	N	A	E	A	M
Entradas												
Entrada subterránea	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
Recarga PP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga ríos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga Canales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga Operacional	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salidas												
Salida subterránea	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10

Pozos	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02
Afloramientos WEAP	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09
Overflow	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Totales												
Total Entradas	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
Total Salidas	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21
Balance	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01

Para el acuífero AC-07, muestra un escenario muy similar al acuífero precedente por cuanto existe un vaciamiento a una tasa de 0.13 m3/s anual.

Tabla 4.43 Balance Acuífero AC-07 para el periodo histórico (1981 -2017) bajo el esquema de calibración

	Flujo (m^3/s)											
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Entradas												
Entrada subterránea	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga PP	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Recarga ríos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga Canales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga Operacional	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salidas												
Salida subterránea	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05
Pozos	-0.11	-0.11	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12
Afloramientos WEAP	-0.08	-0.07	-0.07	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.07	-0.07	-0.08	-0.07
Overflow	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Totales												
Total Entradas	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Total Salidas	-0.24	-0.23	-0.24	-0.24	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-0.24	-0.24	-0.24	-0.24
Balance	-0.13	-0.12	-0.13	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.13	-0.13	-0.14	-0.13

En el caso del acuífero AC-08, la siguiente tabla comunica primero una disminución sustancial de la recarga, el único flujo de entrada es el que proviene del acuífero precedente y en términos de balance este es prácticamente estable, con una leve tasa anual de aumento de 0.04 m^3/s.

Tabla 4.44 Balance Acuífero AC-08 para el periodo histórico (1981 -2017) bajo el esquema de calibración

	Flujo (m^3/s)											
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Entradas												
Entrada subterránea	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Recarga PP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga ríos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga Canales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga Operacional	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salidas												
Salida subterránea	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05
Pozos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Afloramientos WEAP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Overflow	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Totales												
Total Entradas	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Total Salidas	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06
Balance	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04

Finalmente, la Tabla 4.45, presenta el balance de la última caja acuífera considerada. Como se aprecia se tiene un balance positivo, pues recibe todos los flujos de las cajas eventualmente, en una tasa de 0.05 m^3/s.

Tabla 4.45 Balance Acuífero AC-09 para el periodo histórico (1981 -2017) bajo el esquema de calibración

	Flujo (m^3/s)											
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Entradas												
Entrada subterránea	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Recarga PP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga ríos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga Canales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga Operacional	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Salidas												
Salida subterránea	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pozos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Afloramientos WEAP	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06
Overflow	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Totales												
Total Entradas	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Total Salidas	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06
Balance	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Con el propósito de mostrar la variación de los almacenamientos, se presenta la Figura 4.66 que resume la variación del volumen normalizado (Vol/Vol Total) para la parte alta y baja de la cuenca.

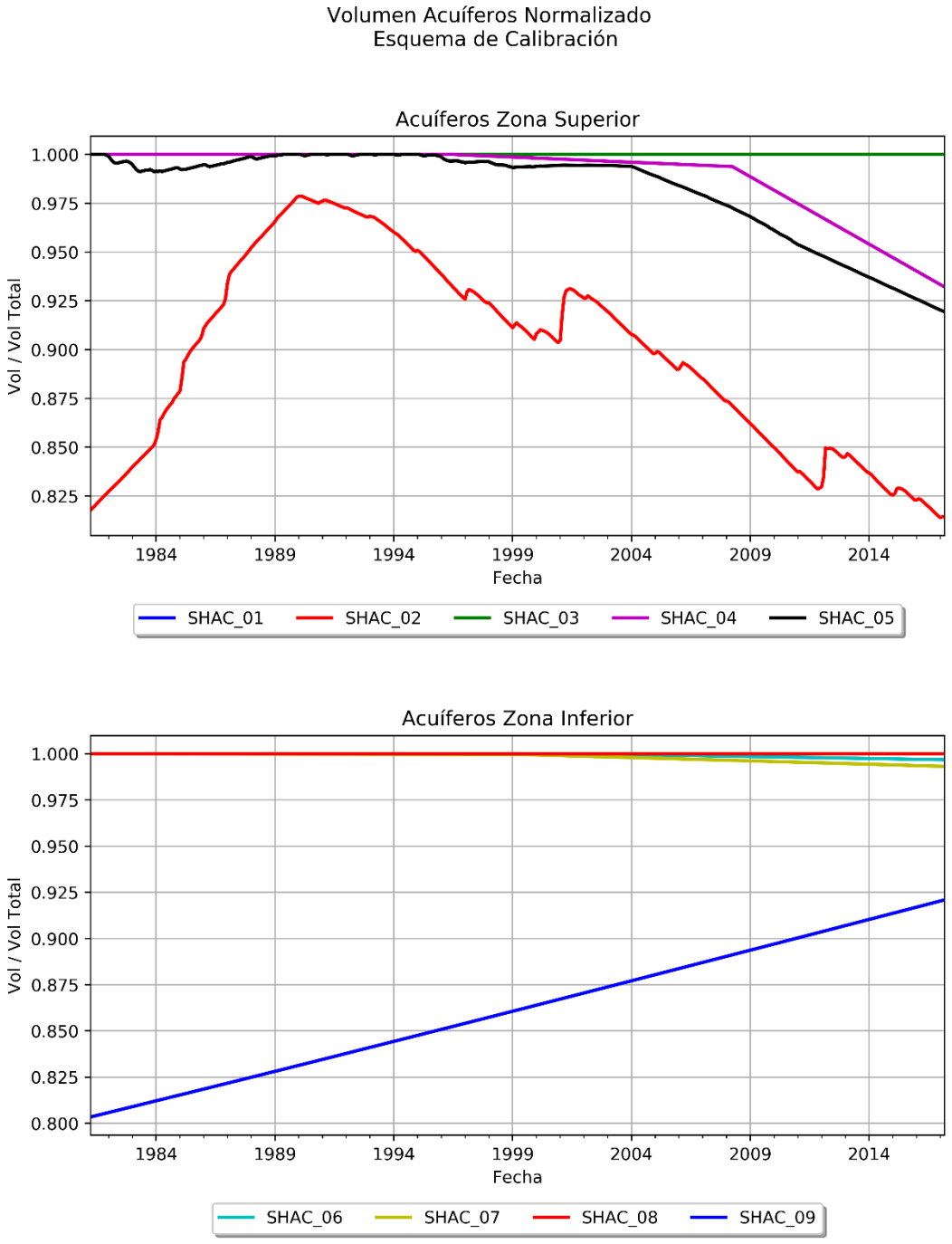


Figura 4.66. Variación del Volumen normalizado de los acuíferos en el proceso de calibración.

Como se puede apreciar, la variación del almacenamiento es dinámica según la hidrología, y en este sentido las señales de los almacenamientos están correlacionadas con la ocurrencia de las

extracciones en la cuenca. Notar que todos los gráficos empiezan entre 0.8 – 0.825, lo que representa del orden del 80% de la capacidad de almacenamiento, valor que fue también calibrado en la fase de ajuste.

Los acuíferos de la parte alta, salvo el SHAC-03, presentan una variación estable hasta el año 2004, para luego decaer hacia el 2017 debido al uso intensivo de la cuenca. La parte baja comunica almacenamientos más estables, pero las caídas son del orden del 2 a 3%, salvo para el SHAC-09, que corresponde a la desembocadura del Loa, que recibe todos los aportes de flujo.

El acuífero con mayor variación corresponde al SHAC-02, donde se ve un aumento del almacenamiento hasta el año 1991 (Podría por ejemplo empezar con una condición de llenado inicial más alta), para luego decaer linealmente hasta el año 2017, mezclada con recuperaciones puntuales, debido probablemente a eventos de crecida particulares. Esto último, debido a que las señales de recarga más relevantes o de mayor intensidad están separadas aproximadamente 10 años, entre el 2002 y 2012.

4.3.5 Escenarios de Cambio Climático para la cuenca

4.3.5.1 *Supuestos considerados en los escenarios*

Dada la calibración del sistema, se reemplazaron las series de tiempo de las variables meteorológicas: Precipitación, Temperatura, Humedad Relativa y Viento que se encuentran debidamente “escaladas” para cada subcuenca definida en la modelación.

El período de reemplazo fue desde el año 1981 hasta el año 2060, y, por ende, se generaron las series de caudales para cada uno de los puntos, para el GCM CSIRO y MIROC.

Las otras series de tiempo fueron mantenidas como constantes, de acuerdo a lo que han informado en el último año de estadística.

Debido a que este es un estudio de escenarios con cambio climático, las comparaciones hacia el futuro sólo pueden hacerse a través de estadísticos de comparación, debido a que no hay una correlación temporal exacta. Es así que se han construidos las siguientes tablas y gráficos que resumen para cada estación DGA usada en la calibración los estadísticos de variación más relevantes hacia la ventana futura, como también los comportamientos del embalse Conchi y los acuíferos para analizar la tendencia a futuro.

En el caso particular de caudales se optó por comparar a la ventana 2017-2053, de manera de respetar el número de años de la calibración (36 años).

4.3.5.2 *GCM: CSIRO*

4.3.5.2.1 Caudal

La siguiente tabla compara los estadísticos más relevantes obtenidos en las estaciones fluviométricas para la ventana futura.

Como se puede apreciar en la tabla resumen, para el modelo CSIRO se obtiene una reducción sistemática del promedio de caudales en el futuro para todas las estaciones consideradas. En promedio esta reducción es de un 52%.

La desviación estándar disminuye prácticamente en todas las estaciones, salvo en Quillagua y Desembocadura. El comportamiento del mínimo en la serie también experimenta reducciones para todas las estaciones consideradas, no así el valor máximo de la serie que para las mismas dos estaciones anteriores presenta un aumento del orden del 50%. Aun así, a nivel de cuenca, el valor mínimo tiene un promedio de reducción del 37 % y el valor máximo de un 12%.

Respecto de la variabilidad, presentada a través del coeficiente de variación, presenta fuertes aumentos, en algunos casos es duplicado (aumentos por sobre el 100%) alcanzando un aumento promedio del 39%. Este resultado está en línea con lo reportado en la literatura en que si bien puede haber tendencias a la disminución del monto de una variable (en este caso disponibilidad hídrica), en términos de variabilidad (asociada a eventos extremos) se tiene que estos podrían aumentar en el futuro.

Esto principalmente se puede deber al comportamiento de la precipitación, en el sentido que lloverá menos, pero los eventos extremos serán más intensos.

Del mismo modo, la Tabla 4.47, presenta las variaciones de caudal en los puntos de control “ambientales” definidos para la evaluación de la metodología. Como se puede apreciar, los puntos y sus variaciones son una extensión de lo que sucede en los tramos representativos por sus estaciones fluviométricas de control.

Tabla 4.46 Estadísticos para la línea base y ventana futura (2017-2053) de las series de caudales asociadas a los puntos de control fluviométricos DGA para el modelo GCM CSIRO.

Est./Per. MCG	CSIRO: 1981-2017					CSIRO: 2017-2053					Variación [%]				
Estadístico	P	DE	Min	Max	CV	P	DE	Min	Max	CV	P	DE	Min	Max	CV
Rio Loa antes Agrícola Quillagua	0.833	1.380	0.060	10.990	1.656	0.406	1.498	0.049	16.072	3.694	-51%	9%	-19%	46%	123%
Rio Loa Antes Embalse Conchi	0.922	0.523	0.327	5.056	0.568	0.510	0.314	0.204	3.922	0.617	-45%	-40%	-37%	-22%	9%
Rio Loa Antes Represa Lequena	0.102	0.052	0.035	0.558	0.511	0.049	0.031	0.018	0.340	0.636	-52%	-40%	-48%	-39%	24%
Rio Loa en Desembocadura	0.722	1.376	0.005	10.886	1.906	0.314	1.487	0.004	15.928	4.743	-57%	8%	-22%	46%	149%
Rio Loa en Escorial	1.639	1.306	0.314	12.339	0.797	0.680	0.690	0.127	9.215	1.015	-59%	-47%	-60%	-25%	27%
Rio Loa en Finca	0.812	1.158	0.121	10.352	1.427	0.294	0.570	0.082	8.231	1.940	-64%	-51%	-32%	-20%	36%
Rio Loa en Yalquincha	1.615	1.301	0.297	12.284	0.806	0.662	0.690	0.108	9.195	1.043	-59%	-47%	-64%	-25%	29%
Rio Loa Salida Embalse Conchi	0.791	0.556	0.083	4.899	0.704	0.404	0.350	0.033	3.775	0.866	-49%	-37%	-60%	-23%	23%
Rio Loa San Salvador M. Elena	0.825	1.157	0.149	10.349	1.403	0.309	0.569	0.113	8.232	1.843	-63%	-51%	-24%	-20%	31%
Rio Salado en A.J Loa	0.878	0.768	0.249	7.483	0.874	0.536	0.426	0.202	5.487	0.796	-39%	-45%	-19%	-27%	-9%
Rio Salado en Sifon Ayquina	0.636	0.555	0.200	5.518	0.872	0.414	0.297	0.154	4.015	0.719	-35%	-46%	-23%	-27%	-18%

Donde: P=promedio; DE=Desviación estándar; Min: Mínimo; Max: Máximo; CV: Coef. De Variación (DE/P).

Tabla 4.47. Variación de la estacionalidad del año Promedio para puntos de Caudal Ambiental respecto del periodo histórico (1981 - 2017) bajo el modelo CSIRO.

Punto de Control	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	Anual
NA AYQUINA	-38.2%	-40.6%	-33.3%	-25.0%	-21.4%	-29.5%	-32.6%	-33.3%	-40.0%	-41.1%	-50.8%	-44.9%	-35.9%
NA CALAMA ALTO	-62.6%	-63.9%	-61.7%	-61.8%	-60.7%	-68.4%	-69.4%	-70.0%	-48.0%	-54.7%	-59.2%	-59.5%	-61.7%
NA CALAMA BAJO	-79.3%	-77.8%	-79.3%	-82.6%	-77.6%	-85.2%	-90.7%	-78.8%	-82.1%	-63.6%	-65.5%	-69.8%	-77.7%
NA CALAMA MEDIO	-61.7%	-63.2%	-60.7%	-61.4%	-60.5%	-67.4%	-68.3%	-69.1%	-48.1%	-54.3%	-59.2%	-59.4%	-61.1%
NA CALINA	-45.8%	-44.2%	-46.2%	-45.4%	-44.6%	-43.2%	-43.4%	-45.2%	-45.9%	-50.5%	-54.5%	-48.5%	-46.4%
NA CHIU CHIU	-52.6%	-58.9%	-58.3%	-56.1%	-58.5%	-66.1%	-63.3%	-67.3%	-13.8%	-36.6%	-52.1%	-41.0%	-52.0%
NA CONFLUENCIA	-77.4%	-47.9%	-48.2%	-40.9%	-47.7%	-88.9%	-91.2%	-85.7%	-80.0%	-54.2%	-68.8%	-68.8%	-66.6%
NA COYA	-73.8%	-75.5%	-76.0%	-78.8%	-76.3%	-83.6%	-81.6%	-77.1%	-58.1%	-45.0%	-64.1%	-62.6%	-71.1%
NA LASANA	-70.2%	-66.7%	-64.1%	-65.5%	-67.5%	-72.6%	-77.5%	-78.9%	-37.4%	-52.0%	-58.0%	-53.0%	-63.6%
NA PALPANA	-46.8%	-44.4%	-43.8%	-43.6%	-41.9%	-41.1%	-41.4%	-42.9%	-43.5%	-49.4%	-52.4%	-46.8%	-44.8%
NA QUILLAGUA	-78.8%	-48.4%	-48.6%	-41.3%	-48.1%	-90.6%	-93.9%	-95.0%	-92.9%	-60.9%	-70.5%	-71.4%	-70.0%
NA RIO SALADO	-42.3%	-42.4%	-38.0%	-33.3%	-29.0%	-33.9%	-35.6%	-38.1%	-39.3%	-41.0%	-50.6%	-45.7%	-39.1%
NA RIO SAN PEDRO	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
N AYQUINA	-38.2%	-40.6%	-33.3%	-25.0%	-21.4%	-29.5%	-32.6%	-33.3%	-40.0%	-41.1%	-50.8%	-44.9%	-35.9%
N CALAMAS	-47.8%	-50.7%	-48.9%	-49.2%	-48.0%	-51.7%	-50.9%	-52.3%	-29.1%	-42.3%	-51.9%	-49.0%	-47.7%
N CALINA	-50.7%	-49.3%	-50.6%	-49.5%	-49.4%	-47.6%	-48.1%	-50.0%	-51.3%	-55.1%	-57.8%	-53.8%	-51.1%
N CHIU CHIU	-66.7%	-65.0%	-62.7%	-63.4%	-65.2%	-71.7%	-73.7%	-77.2%	-27.0%	-46.2%	-54.1%	-50.6%	-60.3%
N COYA1	-5.3%	0.0%	-5.6%	0.0%	-5.6%	-5.6%	-5.6%	0.0%	6.3%	12.5%	5.9%	5.9%	0.3%
N COYA2	-68.6%	-71.8%	-71.7%	-74.5%	-71.7%	-75.3%	-72.7%	-66.7%	-47.4%	-41.7%	-60.0%	-60.2%	-65.2%
N LASANA	-60.0%	-57.6%	-56.4%	-57.1%	-58.5%	-62.8%	-66.7%	-69.3%	-33.3%	-47.3%	-52.6%	-47.1%	-55.7%
N PALPANA	-54.5%	-55.6%	-50.0%	-54.5%	-50.0%	-50.0%	-55.6%	-55.6%	-55.6%	-54.5%	-54.5%	-58.3%	-54.1%
N QUILLAGUA	-67.6%	-45.9%	-46.5%	-39.9%	-45.5%	-78.6%	-75.5%	-69.4%	-53.1%	-41.5%	-62.8%	-60.6%	-57.2%

Como se puede observar, de la tabla anterior, la mayoría de los caudales promedio presenta fuertes reducciones entre el período 2017-2053 respecto del período histórico 1981-2017. Salvo el punto de control Coya, cuya variación anual es de 0.3%, la mayoría de los otros puntos de control experimentarán reducciones entre un 35% a 70% aproximadamente, lo que sin duda impone una condición desfavorable para los propósitos de la mantención de una caudal mínimo en los ríos.

Las siguientes figuras tienen por objetivo ilustrar el comportamiento del modelo en el período de calibración (1981-2017).

Como se puede apreciar, para la estación río Loa en represa Lequena (Figura 4.67), CSIRO tiene una sobrestimación del orden de 0.01 a 0.02 m^3/s en su estacionalidad. La curva de duración (CD) tiene un buen ajuste respecto de los datos simulados (importante, la comparación debe de realizarse con lo que simula el modelo con la estación observada). Se puede apreciar justamente como el modelo se ajusta bastante bien para las probabilidades entre el 20% y 90%, existiendo sobrestimaciones para probabilidades menores al 20% (caudales altos).

El ajuste es similar al alcanzado antes del embalse Conchi (Figura 4.68). En esta ocasión, a pesar de que el régimen es bien representado por el modelo, hay una sobrestimación entre 0.08 a 0.25 m^3/s aproximadamente que tiende a ser mayor en los meses de verano que en los de invierno. La CD en este caso se ajusta mejor entre las probabilidades entre un 50 a 95%, mientras que para las probabilidades menores al 50% existe sobrestimación de caudales.

En el caso de río Loa en Escorial (Figura 4.69), también existe una sobrestimación entre los rangos de 0.25 a 0.5 m^3/s. La estacionalidad sigue bien representada, y la sobrestimación es mayor entre los meses de abril a agosto y en el mes de diciembre. La CD está bien representada. Las mejores probabilidades representadas se encuentran dentro del rango 35 a 100%.

Finalmente, la Figura 4.70 presenta el cierre en Loa en Desembocadura, en donde se puede apreciar un comportamiento muy similar al de Loa en Escorial, salvo que la sobrestimación está acotada a 0.2 m3/s aproximadamente, representándose la estacionalidad simulada en el período de calibración. Adicionalmente, las probabilidades de excedencia mejor representadas están dentro del rango del 40 a 100%.

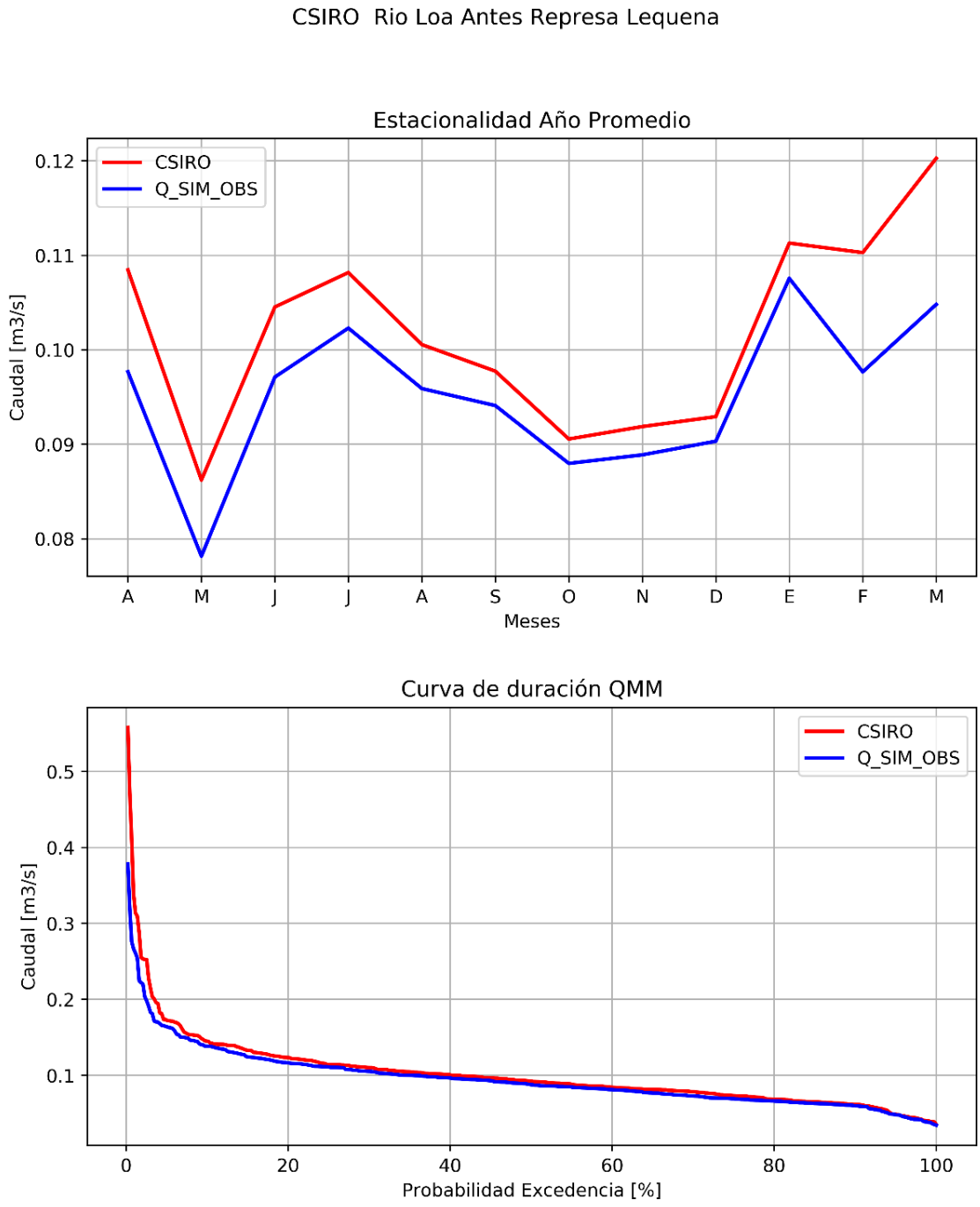
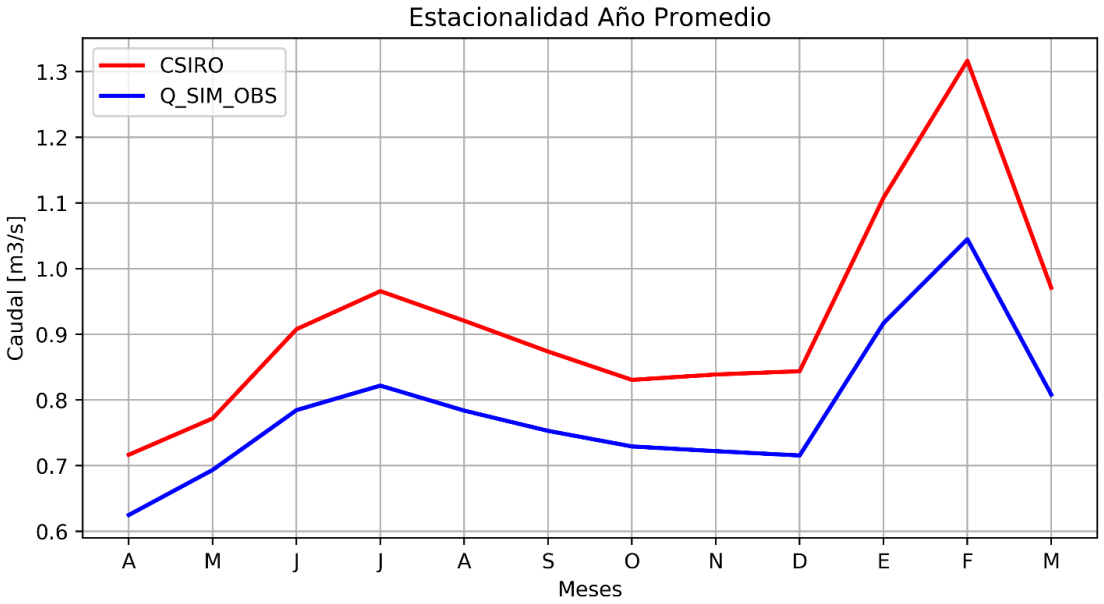


Figura 4.67 Resultados Estación Río Loa antes de represa Lequena bajo modelo CSIRO (Elaboración propia, 2020).

CSIRO Rio Loa Antes Embalse Conchi



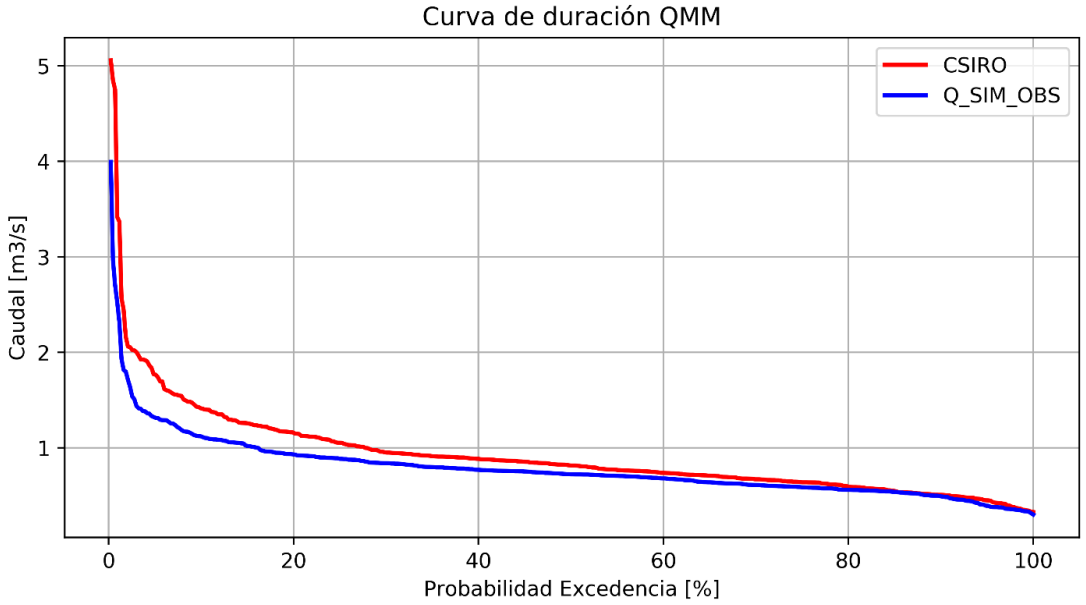


Figura 4.68 Resultados Estación Río Loa antes de embalse Conchi bajo modelo CSIRO (Elaboración propia, 2020)

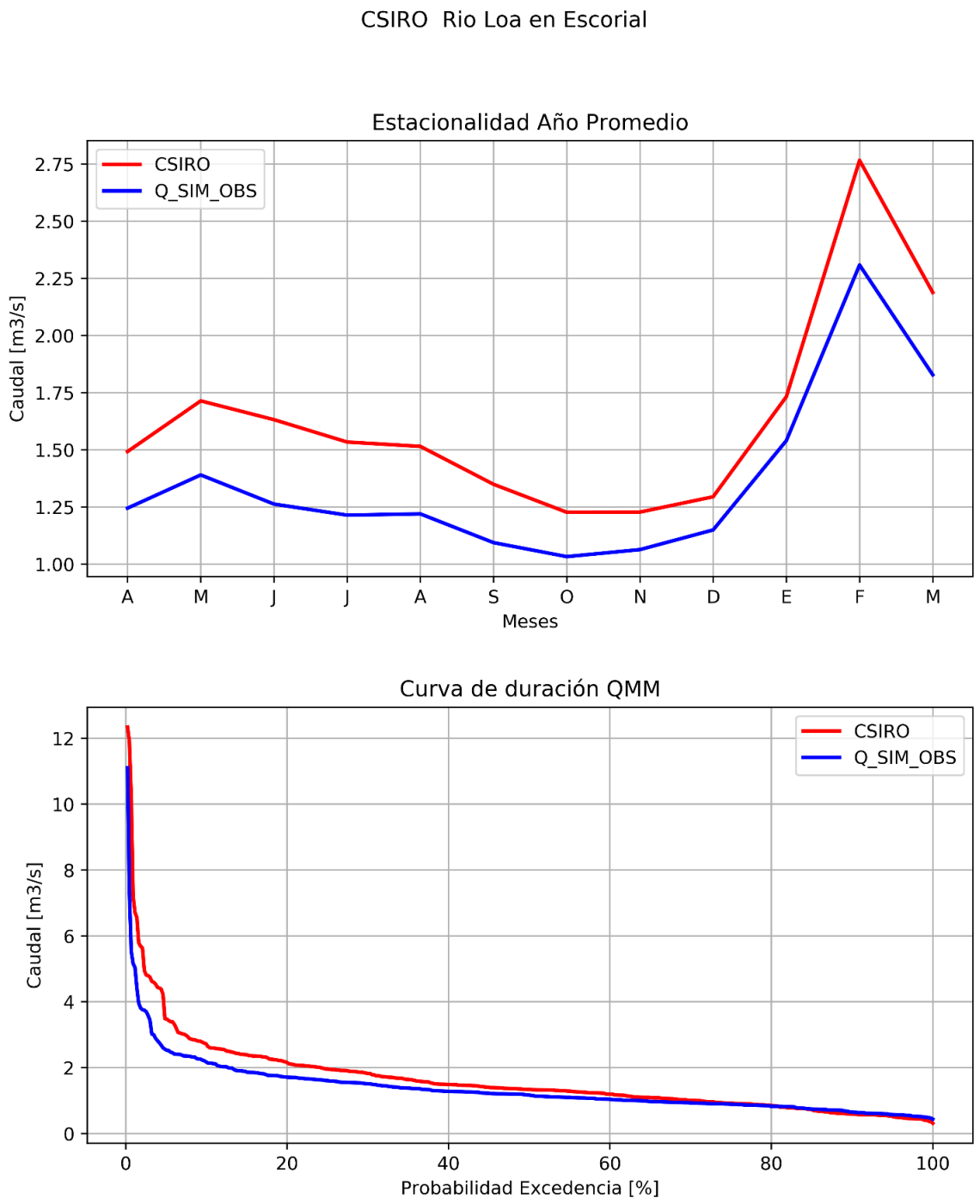


Figura 4.69 Resultados Estación Río Loa en Escorial bajo modelo CSIRO (Elaboración propia, 2020)

CSIRO Rio Loa en Desembocadura

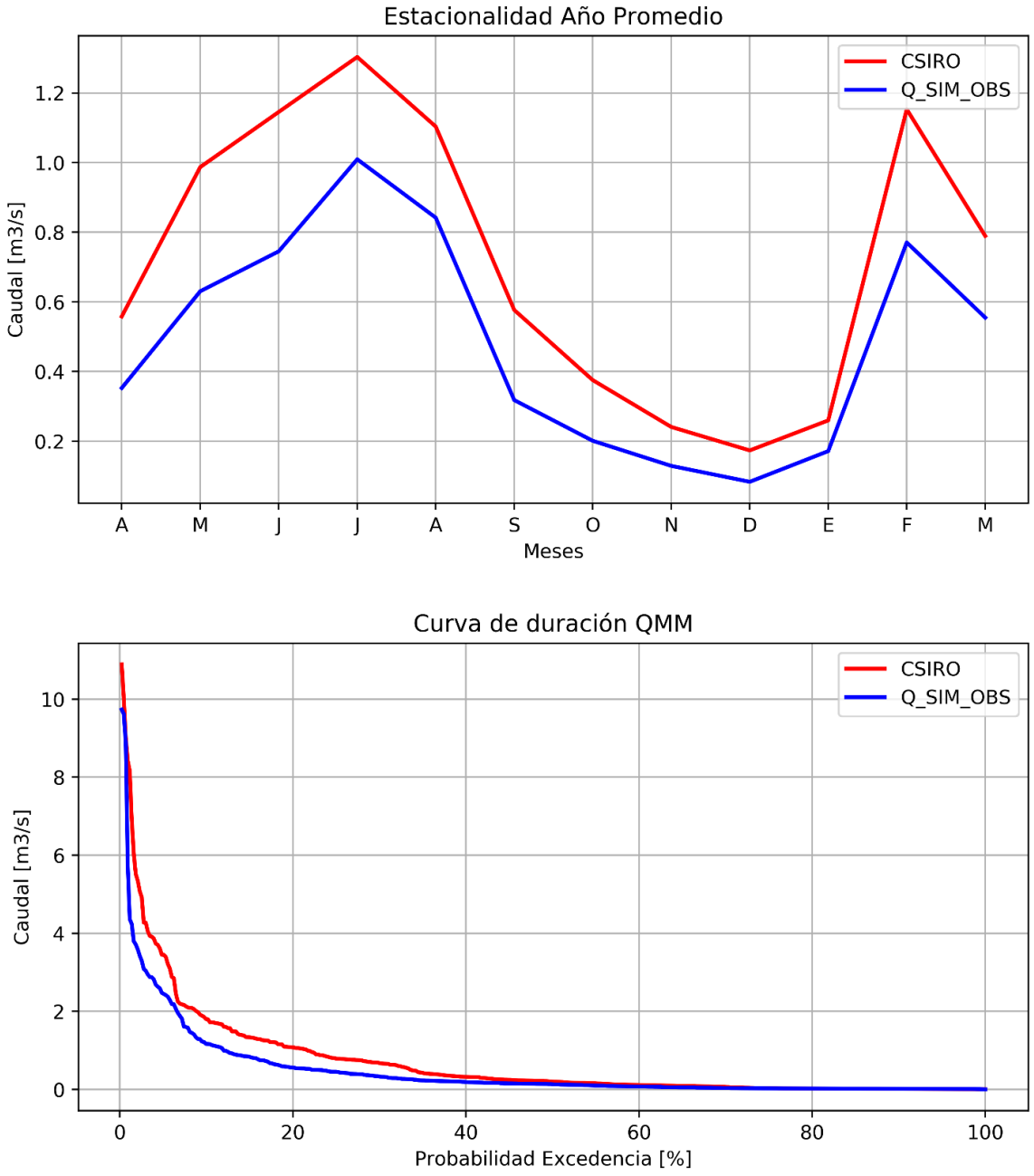


Figura 4.70 Resultados Estación Río Loa en Desembocadura bajo modelo CSIRO (Elaboración propia, 2020)

4.3.5.2.2 Embalse Conchi

El otro elemento topológico de interés resulta ser el embalse Conchi. La siguiente figura ilustra los caudales afluentes al embalse.

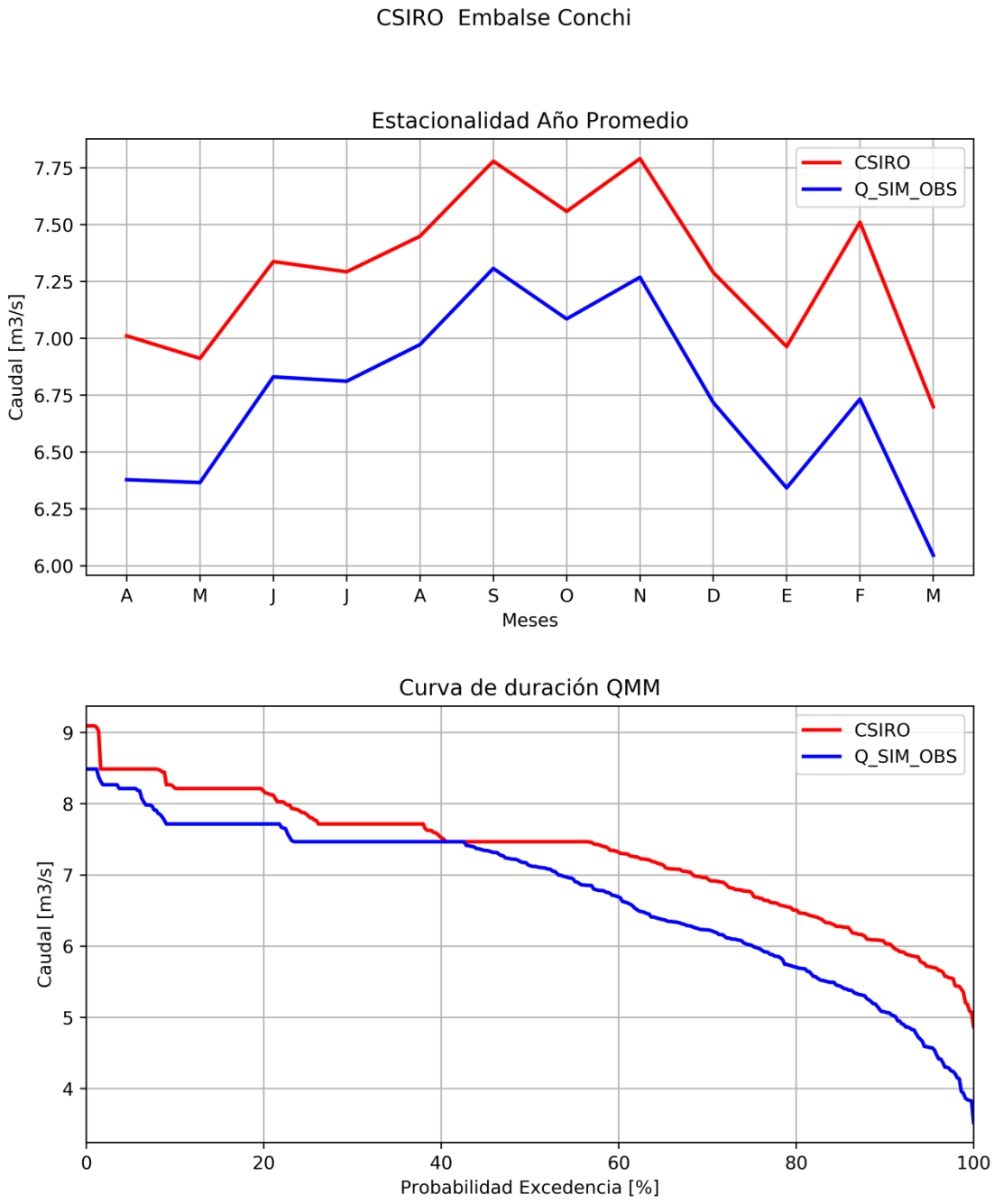


Figura 4.71 Resultados Embalse Periodo Histórico 1981 -2017 bajo el modelo CSIRO.

Como se puede apreciar, CSIRO sobrestima en la línea base el volumen embalsado. En comparación con la condición histórica y con MIROC, CSIRO tiende a sobrestimar entre 0.5 a 1.5 Mm3 mensuales.

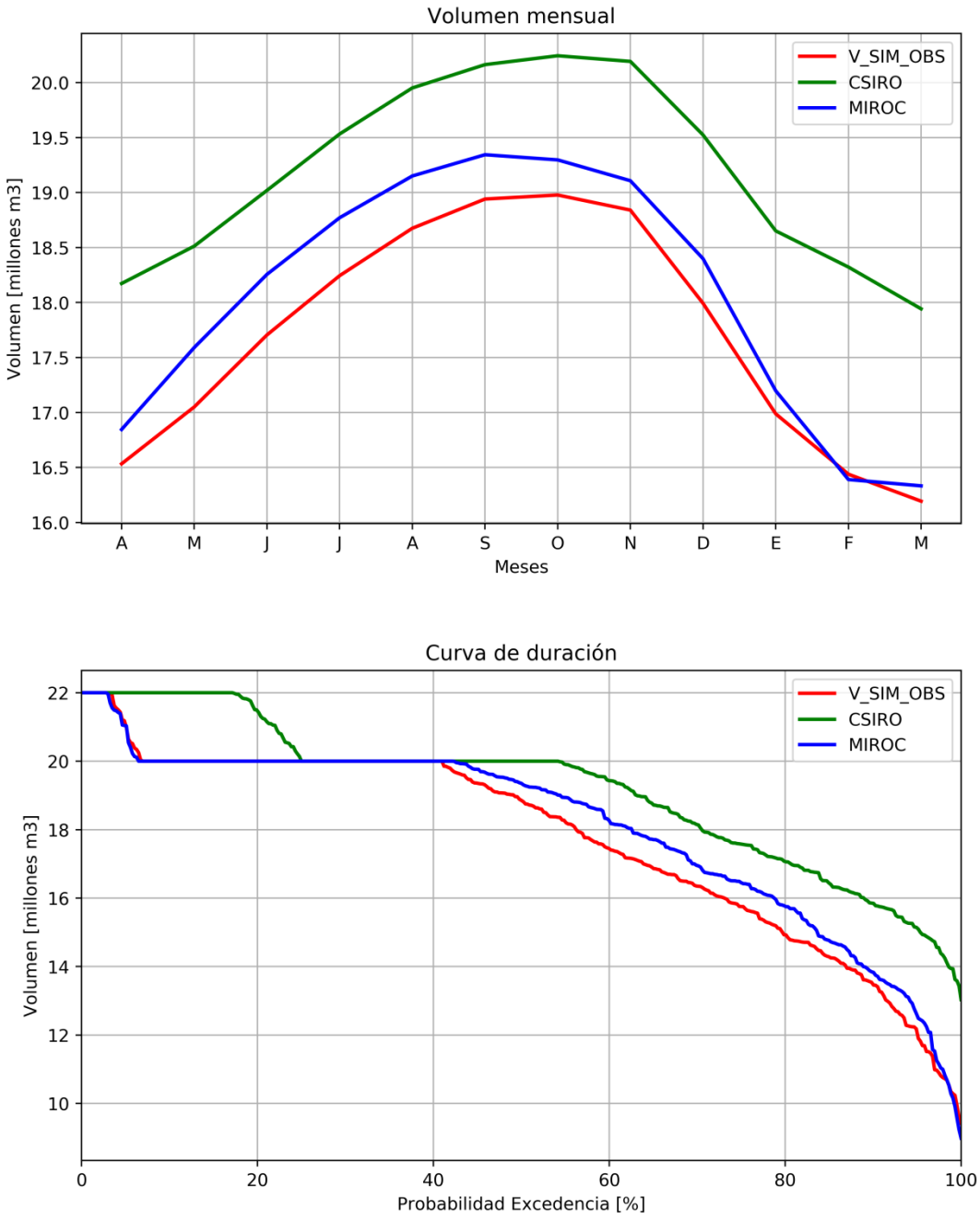


Figura 4.72. Resultados de Volúmenes embalsados Periodo Histórico 1981 -2017 bajo el modelo CSIRO, MIROC y Línea Base (SIM-OBS)

Sin embargo, para el periodo futuro, la siguiente figura ilustra que el modelo CSIRO resulta ser el que reduce el volumen de agua a embalsar en comparación con el modelo MIROC, por ende

tiende a ser el más conservador. Ambos respetan la estacionalidad en donde se embalsa, pero MIROC es claramente un modelo más optimista.

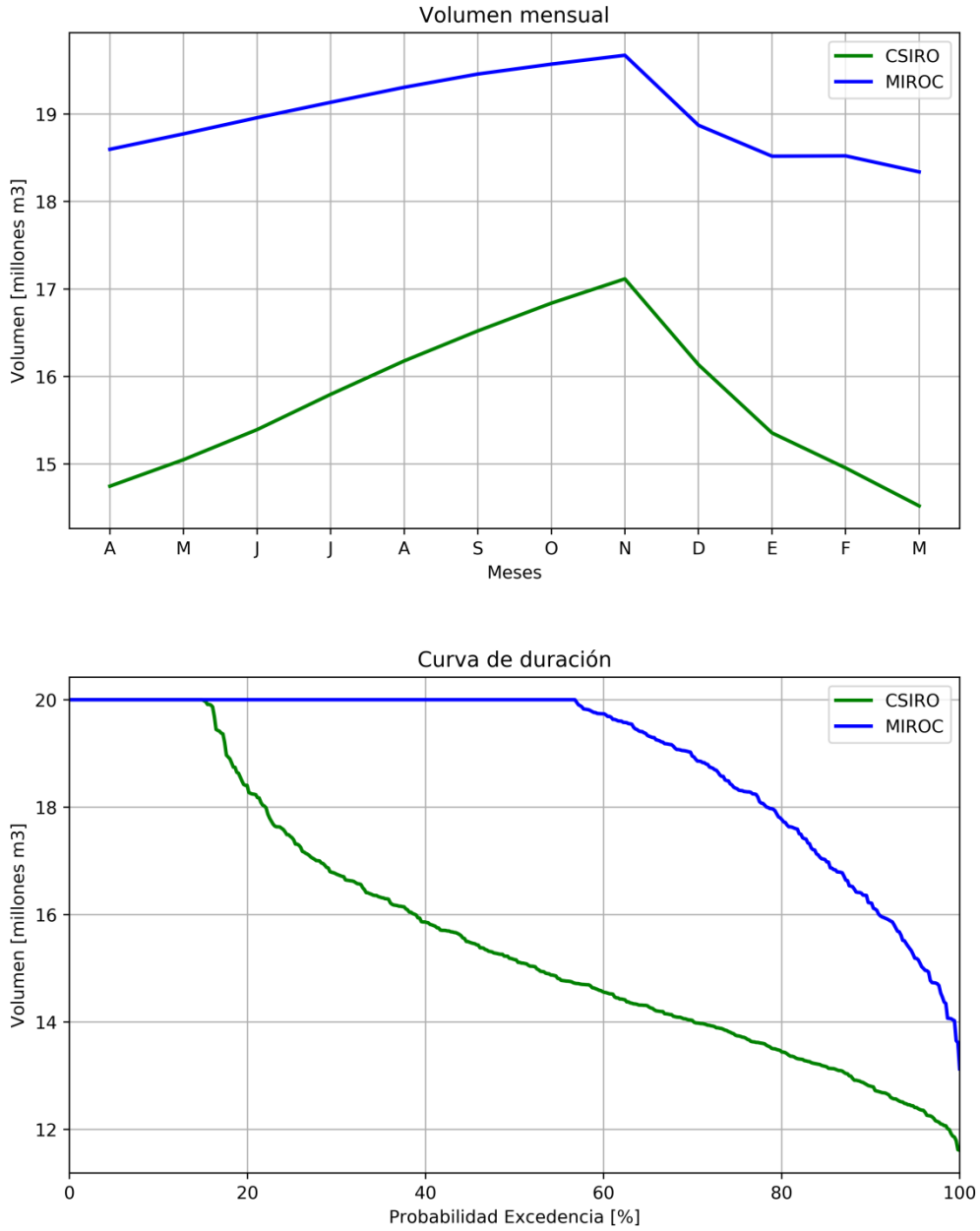


Figura 4.73. Volúmenes estacionales y curva de duración simulada con modelo CSIRO y MIROC para el período futuro (2017-2060).

4.3.5.2.3 Acuíferos

En el caso de los acuíferos, las siguientes tablas resumen el balance general de la cuenca, tanto para la condición histórica como para la condición futura.

Tabla 4.48 Resumen del Balance de todos los acuíferos considerados utilizando el modelo CSIRO en el periodo histórico (1981 -2017). El signo ** significa que no se consideran las entradas ni salidas subterráneas.

	Flujo (m^3/s)											
	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Entradas												
Entrada subterránea	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34
Recarga PP	3.62	3.59	3.60	3.60	3.60	3.59	3.58	3.59	3.81	4.41	4.38	3.89
Recarga ríos	0.18	0.18	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18	0.19	0.19	0.18
Recarga Canales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga Operacional	0.13	0.27	0.26	0.21	0.16	0.13	0.14	0.26	0.37	1.33	1.94	1.33
Salidas												
Salida subterránea	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34
Pozos	-1.86	-1.76	-1.72	-1.73	-1.75	-1.80	-1.84	-1.91	-1.88	-1.88	-2.00	-1.90
Afloramientos WEAP	-0.77	-0.75	-0.75	-0.75	-0.75	-0.76	-0.76	-0.76	-0.76	-0.77	-0.78	-0.77
Overflow	-1.94	-1.93	-1.94	-1.95	-1.93	-1.90	-1.90	-1.89	-2.03	-2.41	-2.37	-2.14
Totales												
Total Entradas**	3.93	4.04	4.04	4.00	3.94	3.90	3.90	4.03	4.36	5.93	6.51	5.40
Total Salidas**	-4.57	-4.45	-4.41	-4.42	-4.43	-4.46	-4.50	-4.56	-4.67	-5.06	-5.16	-4.82
Balance	-0.64	-0.41	-0.37	-0.42	-0.49	-0.56	-0.59	-0.53	-0.31	0.87	1.35	0.58

En el caso de la condición histórica, es factible ver que el balance resulta negativo entre los meses de abril a diciembre, siendo solo positivo en los meses de lluvias de verano (EFM).

La condición futura del balance para el modelo CSIRO es presentada en la tabla siguiente. Como se puede apreciar, los flujos entre abril a diciembre son “más negativos” por lo que se concluye un mayor vaciamiento en esos meses, mientras que los meses en donde el balance era originalmente positivo, presenta un fuerte cambio de signo, por lo que se concluye que bajo este modelo la cuenca se encuentra en una tasa de vaciamiento del orden de 2 m^3/s promedio anual.

Tabla 4.49 Resumen del Balance de todos los acuíferos considerados utilizando el modelo CSIRO en el periodo futuro (2017 – 2060). El signo ** significa que no se consideran las entradas ni salidas subterráneas

	Flujo (m^3/s)											
	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Entradas												
Entrada subterránea	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34
Recarga PP	3.60	3.59	3.58	3.62	3.59	3.59	3.58	3.60	3.68	3.99	4.09	3.79
Recarga ríos	0.18	0.18	0.18	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.16	0.16	0.16	0.16
Recarga Canales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga Operacional	0.13	0.16	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.12	0.14	0.69	0.88	0.46
Salidas												
Salida subterránea	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34
Pozos	-3.42	-3.38	-3.40	-3.39	-3.40	-3.47	-3.49	-3.51	-3.26	-3.23	-3.24	-3.23
Afloramientos WEAP	-0.77	-0.75	-0.75	-0.75	-0.75	-0.76	-0.76	-0.76	-0.75	-0.77	-0.78	-0.76
Overflow	-2.01	-2.01	-1.99	-2.01	-2.00	-1.99	-1.99	-1.99	-2.03	-2.19	-2.22	-2.10
Totales												
Total Entradas**	3.91	3.93	3.92	3.94	3.89	3.89	3.87	3.89	3.98	4.84	5.13	4.41
Total Salidas**	-6.19	-6.13	-6.14	-6.16	-6.15	-6.22	-6.24	-6.26	-6.03	-6.19	-6.24	-6.09
Balance	-2.28	-2.20	-2.23	-2.22	-2.26	-2.33	-2.37	-2.36	-2.06	-1.35	-1.11	-1.69

Finalmente, la siguiente tabla resume las variaciones porcentuales para ambos períodos de análisis. Tal como se puede apreciar las variaciones porcentuales son negativas de abril a diciembre, y cambian de signo respecto de la condición histórica (positiva a negativa) para los meses de enero a marzo.

Tabla 4.50. Resumen de las variaciones porcentuales asociadas al balance hídrico para la condición histórica y futura para el modelo CSIRO.

Flujos / Meses	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	Anual
Entradas	VARIACIÓN ENTRADAS												
Entrada subterránea	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Recarga PP	-0.6%	0.0%	-0.6%	0.6%	-0.3%	0.0%	0.0%	0.3%	-3.4%	-9.5%	-6.6%	-2.6%	-1.9%
Recarga ríos	0.0%	0.0%	-5.3%	-10.5%	-5.3%	0.0%	0.0%	0.0%	-11.1%	-15.8%	-15.8%	-11.1%	-6.2%
Recarga Canales	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Recarga Operacional	0.0%	-40.7%	-38.5%	-28.6%	-18.8%	-7.7%	-21.4%	-53.8%	-62.2%	-48.1%	-54.6%	-65.4%	-36.7%
Salidas	VARIACIÓN SALIDAS												
Salida subterránea	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Pozos	83.9%	92.0%	97.7%	96.0%	94.3%	92.8%	89.7%	83.8%	73.4%	71.8%	62.0%	70.0%	83.9%
Afloramientos WEAP	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-1.3%	0.0%	0.0%	-1.3%	-0.2%
Overflow	3.6%	4.1%	2.6%	3.1%	3.6%	4.7%	4.7%	5.3%	0.0%	-9.1%	-6.3%	-1.9%	1.2%
Totales	VARIACIONES TOTALES												
Total Entradas**	-0.5%	-2.7%	-3.0%	-1.5%	-1.3%	-0.3%	-0.8%	-3.5%	-8.7%	-18.4%	-21.2%	-18.3%	-6.7%
Total Salidas**	35.4%	37.8%	39.2%	39.4%	38.8%	39.5%	38.7%	37.3%	29.1%	22.3%	20.9%	26.3%	33.7%
Balance	-256.3%	-436.6%	-502.7%	-428.6%	-361.2%	-316.1%	-301.7%	-345.3%	-564.5%	-255.2%	-182.2%	-391.4%	-361.8%

Finalmente, la Figura 4.74, resume la variación de los volúmenes a futuro para el modelo CSIRO, donde se puede apreciar que los SHACS 2, 4 y 5 son los que acumulan un mayor descenso, llegando al 40% de la capacidad de almacenamiento.

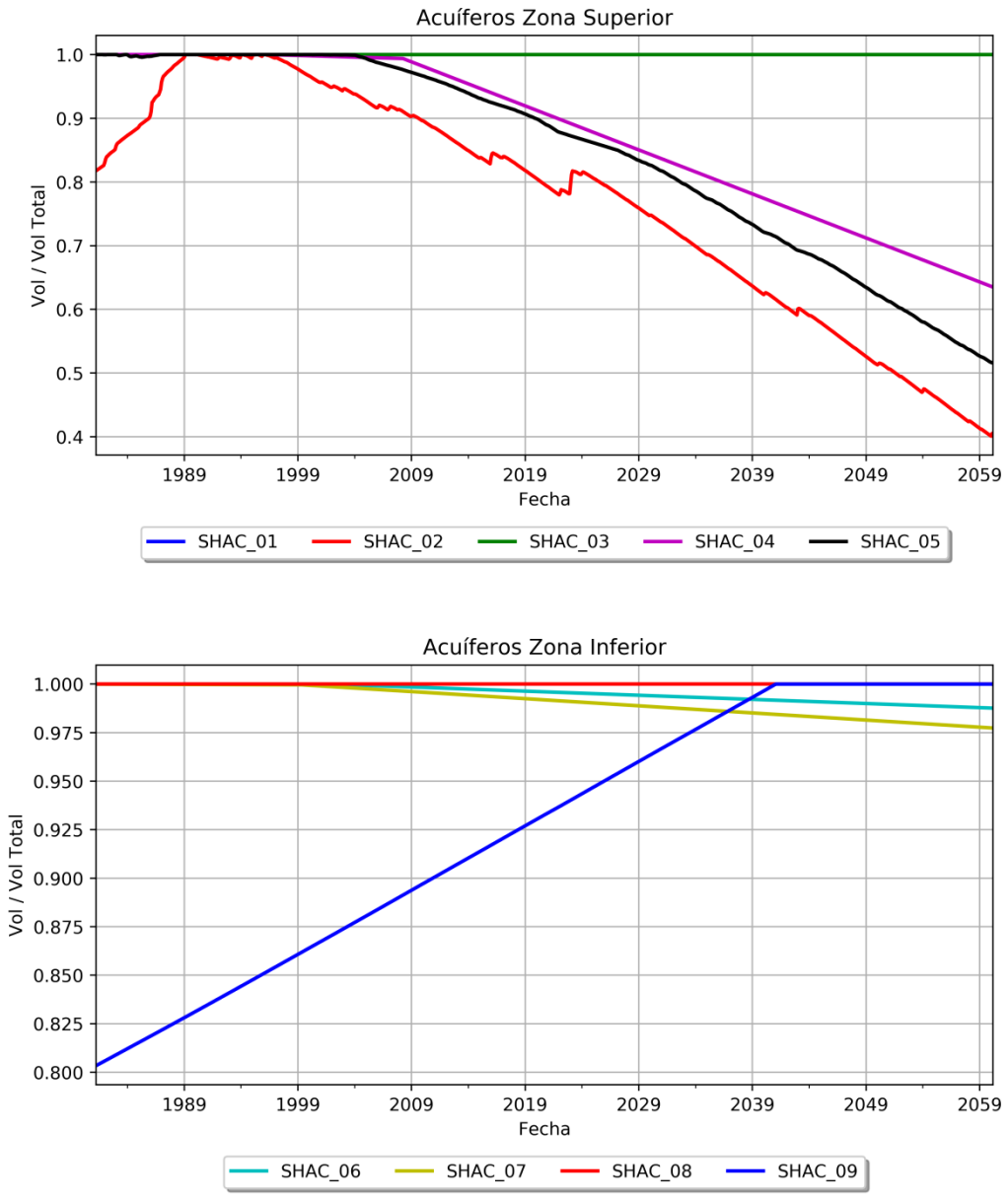


Figura 4.74. Variación de los volúmenes normalizados de los acuíferos considerados en la modelación en el período 1981-2060 para el modelo CSIRO.

4.3.5.3 *GCM: MIROC*

4.3.5.3.1 Caudal

La siguiente tabla (Tabla 4.51) compara los estadísticos más relevantes obtenidos en las estaciones fluviométricas para la ventana futura, utilizando el modelo MIROC.

Como se puede apreciar en la tabla resumen, para el modelo MIROC se obtiene una reducción heterogénea del promedio de caudales. En el futuro, para algunas de las estaciones consideradas, hay aumentos de disponibilidad que pueden llegar a un 30%, mientras que hay otras estaciones que presentan un reducción de un 20% aproximadamente.

La desviación estándar aumenta prácticamente en todas las estaciones, salvo en las estaciones de la parte alta (Lequena y antes del embalse Conchi). El comportamiento del mínimo en la serie también experimenta reducciones para algunas de las estaciones consideradas (15 a 45%), mientras que el aumento de este valor mínimo está concentrado en el río Salado y a la salida del embalse.

El valor máximo de la serie aumenta para casi todas las estaciones anteriores y es del orden del 150%. La única estación que experimenta una reducción del máximo es Lequena con un 67%.

Respecto de la variabilidad, presentada a través del coeficiente de variación, esta presenta fuertes aumentos, en algunos casos es duplicado (aumentos por sobre el 100%) alcanzando un aumento promedio del 45% a nivel promedio cuenca, aunque existen dos estaciones, Lequena y antes del embalse Conchi, que presentan reducciones.

Este resultado está en línea con lo reportado en la literatura en que si bien puede haber tendencias a la disminución del monto de una variable (en este caso disponibilidad hídrica), en términos de variabilidad (asociada a eventos extremos) se tiene que estos podrían aumentar en el futuro.

Esto principalmente se puede deber al comportamiento de la precipitación, en el sentido que lloverá menos, pero los eventos extremos serán más intensos. Sin embargo, el grado de intervención del sistema es también un factor importante a tener en consideración.

Del mismo modo, la Tabla 4.52, presenta las variaciones de caudal en los puntos de control “ambientales” definidos para la evaluación de la metodología. Como se puede apreciar, los puntos y sus variaciones son una extensión de lo que sucede en los tramos representativos por sus estaciones fluviométricas de control, existiendo un comportamiento heterogéneo, a diferencia de CSIRO, donde la reducción era sistemática.

Tabla 4.51 Estadísticos para la línea base y ventana futura (2017-2053) de las series de caudales asociadas a los puntos de control fluviométricos DGA para el modelo GCM CSIRO.

Est./Per. MCG	CSIRO: 1981-2017					CSIRO: 2017-2053					Variación [%]				
Estadístico	P	DE	Min	Max	CV	P	DE	Min	Max	CV	P	DE	Min	Max	CV
Rio Loa antes Agrícola Quillagua	0.484	0.807	0.078	7.459	1.665	0.615	2.415	0.066	39.881	3.926	27%	199%	-15%	435%	136%
Rio Loa Antes Embalse Conchi	0.762	0.220	0.339	2.365	0.289	0.746	0.259	0.352	3.442	0.347	-2%	18%	4%	46%	20%
Rio Loa Antes Represa Lequena	0.099	0.050	0.037	0.605	0.511	0.061	0.025	0.021	0.200	0.413	-39%	-50%	-44%	-67%	-19%
Rio Loa en Desembocadura	0.372	0.802	0.004	7.328	2.154	0.486	2.412	0.004	39.738	4.967	30%	201%	-15%	442%	131%
Rio Loa en Escorial	1.269	0.578	0.521	4.699	0.456	1.096	0.807	0.364	8.122	0.736	-14%	40%	-30%	73%	61%
Rio Loa en Finca	0.475	0.460	0.156	3.640	0.969	0.488	0.762	0.136	7.219	1.560	3%	66%	-13%	98%	61%
Rio Loa en Yalquincha	1.244	0.573	0.506	4.670	0.460	1.078	0.807	0.345	8.104	0.748	-13%	41%	-32%	74%	63%
Rio Loa Salida Embalse Conchi	0.647	0.368	0.000	2.220	0.569	0.623	0.264	0.141	3.316	0.425	-4%	-28%	> 100%	49%	-25%
Rio Loa San Salvador M. Elena	0.487	0.460	0.175	3.655	0.944	0.499	0.763	0.142	7.239	1.527	2%	66%	-19%	98%	62%
Rio Salado en A.J Loa	0.677	0.429	0.194	3.435	0.634	0.800	0.531	0.356	6.415	0.664	18%	24%	84%	87%	5%
Rio Salado en Sifon Ayquina	0.496	0.300	0.158	2.461	0.605	0.590	0.377	0.280	4.716	0.640	19%	26%	77%	92%	6%

Donde: P=promedio; DE=Desviación estándar; Min: Mínimo; Max: Máximo; CV: Coef. De Variación (DE/P).

Tabla 4.52. Variación de la estacionalidad del año Promedio (2017-2053) para puntos de Caudal Ambiental respecto del periodo histórico (1981 - 2017) bajo el modelo MIROC.

Punto de Control	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	Anual
NA AYQUINA	10.7%	15.8%	21.4%	31.3%	45.2%	23.5%	21.2%	13.9%	2.7%	0.0%	1.2%	8.8%	16.3%
NA CALAMA ALTO	-14.9%	-0.8%	-6.7%	-7.9%	-1.8%	-23.5%	-31.6%	-36.4%	-19.6%	-38.0%	-26.0%	-13.5%	-18.4%
NA CALAMA BAJO	18.5%	25.6%	-20.4%	-39.6%	-18.4%	-60.6%	-69.6%	-58.8%	-30.0%	-38.1%	29.6%	50.0%	-17.6%
NA CALAMA MEDIO	-16.2%	-0.8%	-6.6%	-7.8%	-1.8%	-24.0%	-32.0%	-35.6%	-20.0%	-37.9%	-26.4%	-13.9%	-18.6%
NA CALINA	-1.6%	2.9%	-3.9%	-6.2%	-3.9%	-5.4%	-8.5%	-9.9%	-7.1%	-12.1%	-10.3%	0.0%	-5.5%
NA CHIU CHIU	32.0%	64.3%	38.9%	26.2%	15.6%	-2.4%	0.0%	-31.3%	-3.6%	-41.6%	-50.0%	2.1%	4.2%
NA CONFLUENCIA	50.0%	46.8%	21.4%	77.9%	42.6%	-52.2%	-37.5%	-25.0%	50.0%	-25.0%	26.7%	96.4%	22.7%
NA COYA	8.6%	17.3%	-21.1%	-34.4%	-17.9%	-45.9%	-37.5%	-36.8%	-5.6%	-17.2%	14.5%	52.3%	-10.3%
NA LASANA	0.0%	51.2%	14.0%	1.5%	1.6%	-20.3%	-30.5%	-42.2%	-11.3%	-38.3%	-41.0%	3.0%	-9.4%
NA PALPANA	9.6%	12.5%	6.6%	4.7%	10.0%	8.3%	5.3%	1.7%	3.6%	-2.8%	-3.7%	4.8%	5.0%
NA QUILLAGUA	45.0%	47.8%	21.7%	78.8%	43.3%	-54.5%	-50.0%	-33.3%	0.0%	-33.3%	25.0%	89.3%	15.0%
NA RIO SALADO	10.1%	13.4%	16.1%	22.9%	40.0%	23.4%	17.8%	12.2%	4.1%	-3.3%	1.7%	6.1%	13.7%
NA RIO SAN PEDRO	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
N AYQUINA	10.7%	15.8%	21.4%	31.3%	45.2%	23.5%	21.2%	13.9%	2.7%	0.0%	1.2%	8.8%	16.3%
N CALAMAS	11.0%	25.2%	19.4%	12.9%	18.9%	2.3%	-3.7%	-10.3%	5.2%	-23.1%	-15.0%	3.4%	3.9%
N CALINA	-1.8%	1.6%	-4.2%	-7.8%	-4.1%	-5.8%	-9.1%	-10.6%	-9.4%	-14.1%	-12.0%	0.0%	-6.4%
N CHIU CHIU	17.9%	64.5%	27.9%	11.8%	5.8%	-13.0%	-27.1%	-34.0%	1.6%	-37.6%	-39.4%	5.5%	-1.4%
N COYA1	-5.3%	0.0%	0.0%	0.0%	-5.6%	-5.6%	-5.6%	0.0%	6.3%	12.5%	5.9%	5.9%	0.7%
N COYA2	12.8%	17.5%	-17.5%	-29.9%	-14.5%	-39.5%	-30.0%	-24.0%	-11.5%	-16.7%	13.0%	41.2%	-8.2%
N LASANA	-5.3%	28.1%	13.0%	2.6%	1.3%	-13.9%	-25.3%	-33.8%	-11.2%	-37.4%	-39.0%	-4.7%	-10.5%
N PALPANA	-40.0%	-37.5%	-40.0%	-40.0%	-50.0%	-50.0%	-44.4%	-44.4%	-44.4%	-36.4%	-36.4%	-36.4%	-41.7%
N QUILLAGUA	19.4%	35.5%	17.6%	64.7%	34.9%	-36.8%	-29.2%	-26.3%	0.0%	-13.8%	17.7%	57.8%	11.8%

Como se puede observar, de la tabla anterior, la mayoría de los caudales promedio presenta fuertes reducciones entre el período 2017-2053 respecto del período histórico 1981-2017. Salvo el punto de control Coya, cuya variación anual es de 0.3%, la mayoría de los otros puntos de control experimentarán reducciones entre un 35% a 70% aproximadamente, lo que sin duda impone una condición desfavorable para los propósitos de la mantención de una caudal mínimo en los ríos.

Las siguientes figuras tienen por objetivo ilustrar el comportamiento del modelo en el período de calibración (1981-2017).

Como se puede apreciar, para la estación río Loa en represa Lequena (Figura 4.75), CSIRO tiene una subestimación del orden de 0.005 a 0.001 m^3/s en su estacionalidad aproximadamente. La curva de duración (CD) tiene un buen ajuste respecto de los datos simulados (importante, la comparación debe de realizarse con lo que simula el modelo con la estación observada). Se puede apreciar justamente como el modelo se ajusta bastante bien para las probabilidades entre el 5% y 100%, existiendo sobrestimaciones para probabilidades menores al 5% (caudales altos).

El ajuste es similar al alcanzado antes del embalse Conchi (Figura 4.76). En esta ocasión, a pesar de que el régimen es bien representado por el modelo, hay una subestimación entre 0.01 a 0.1 m^3/s aproximadamente que tiende a ser mayor en los meses de verano que en los de invierno. La CD en este caso se ajusta mejor entre las probabilidades entre un 30 a 90%, mientras que para las probabilidades menores al 30% existe subestimación de caudales y una sobrestimación para probabilidades mayores al 95% (menor relevancia).

En el caso de río Loa en Escorial (Figura 4.77), también existe una subestimación entre los rangos de 0.05 a 0.1 m^3/s. La estacionalidad sigue bien representada, y la sobrestimación es mayor ocurre entre los meses de verano, mientras que se mantiene bien acotada en el período "abril-noviembre". La CD está bien representada. Las mejores probabilidades representadas se encuentran dentro del rango 20 a 100%, con una subestimación para probabilidades menores al 20%.

Finalmente, la Figura 4.78 presenta el cierre en Loa en Desembocadura, en donde se puede apreciar un comportamiento muy similar al de Loa en Escorial, salvo que la subestimación está acotada al rango entre 0.15 a 0.4 m3/s (Mes de diciembre la máxima variación) aproximadamente, representándose la estacionalidad simulada en el período de calibración. Adicionalmente, las probabilidades de excedencia mejor representadas están dentro del rango del 20 a 100%.

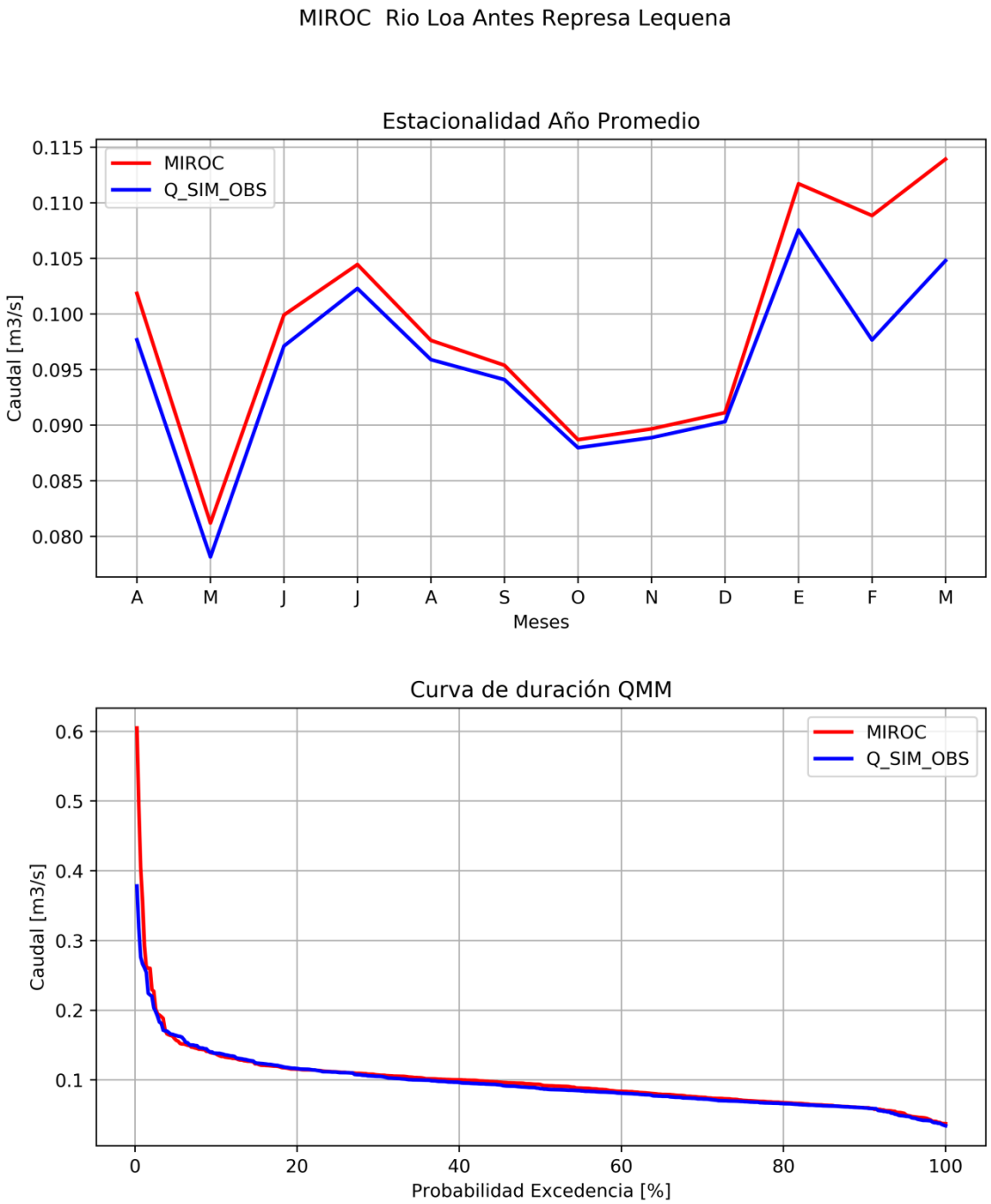


Figura 4.75 Resultados Estación Río Loa antes de represa Lequena bajo modelo MIROC (Elaboración propia, 2020).

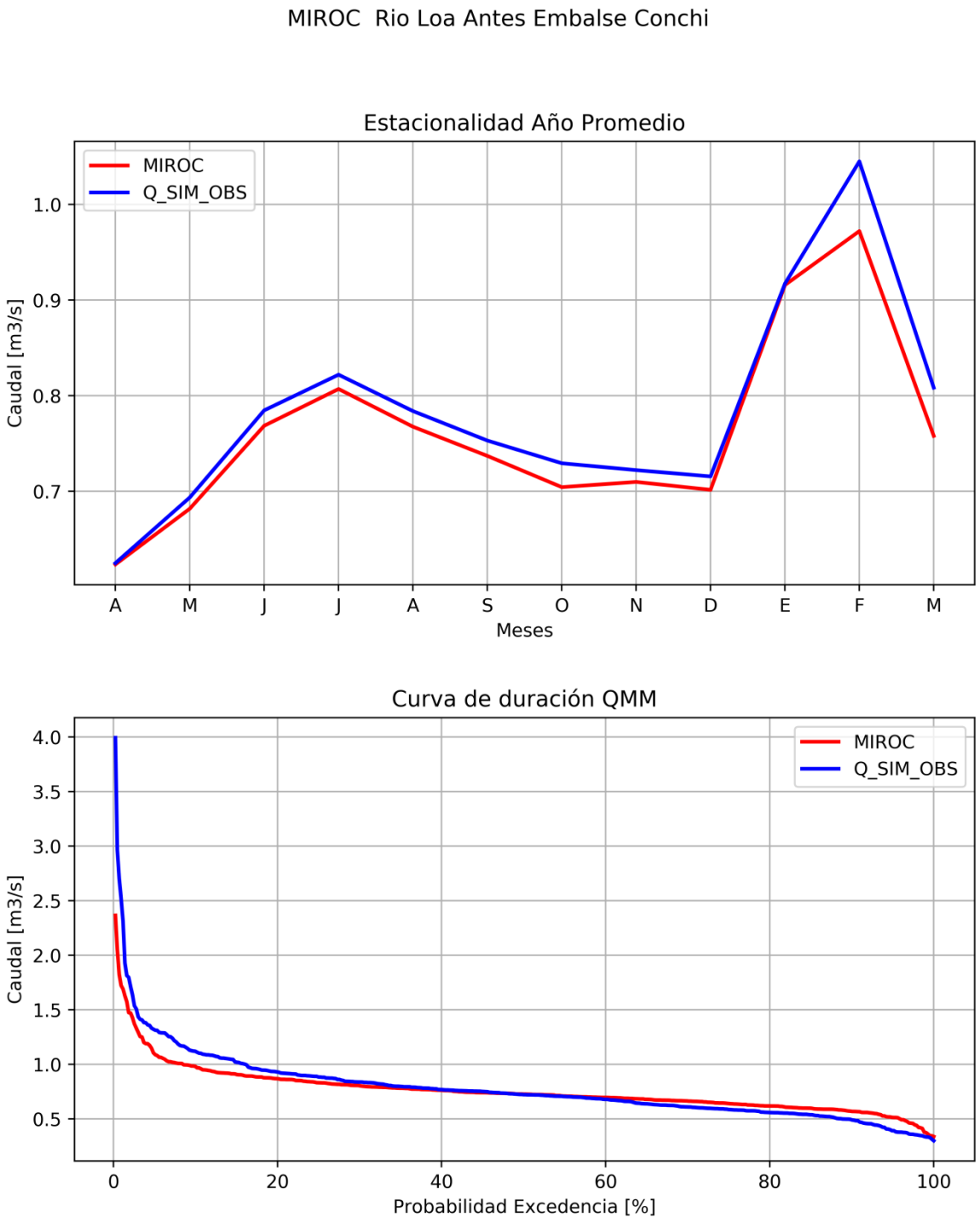


Figura 4.76 Resultados Estación Río Loa antes de embalse Conchi bajo modelo MIROC (Elaboración propia, 2020)

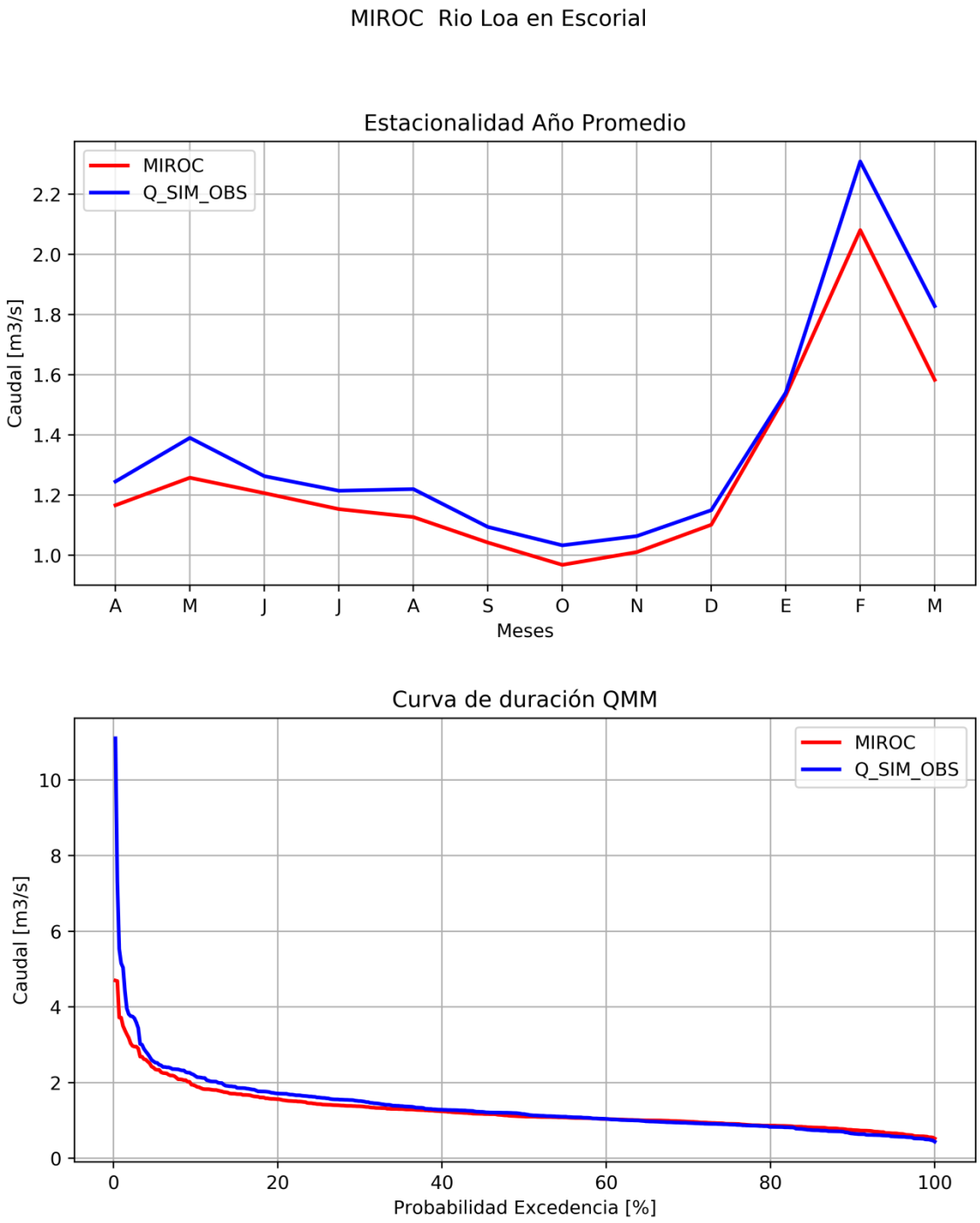


Figura 4.77 Resultados Estación Río Loa en Escorial bajo modelo CSIRO (Elaboración propia, 2020)

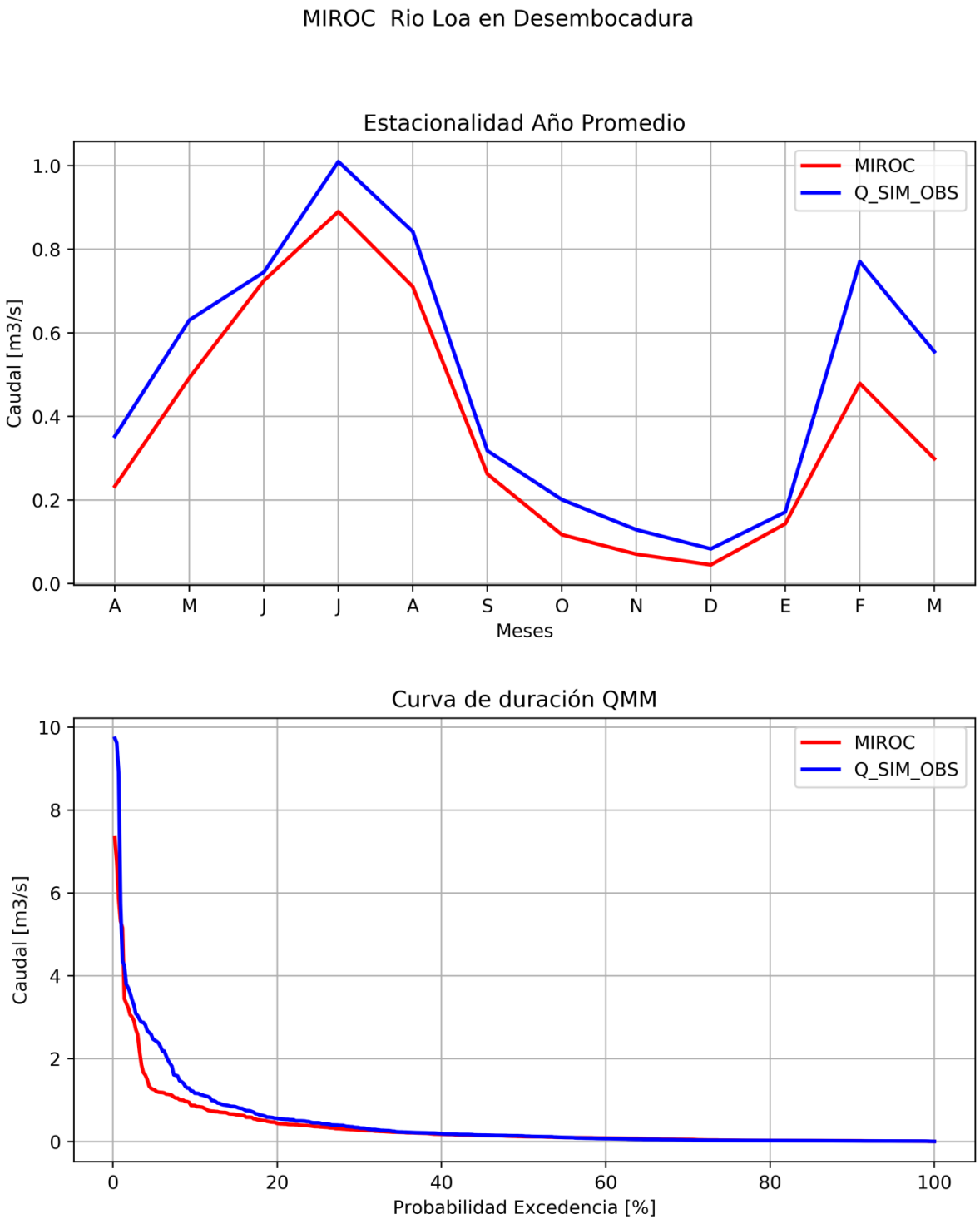


Figura 4.78 Resultados Estación Río Loa en Desembocadura bajo modelo CSIRO (Elaboración propia, 2020)

4.3.5.3.2 Embalse Conchi

La situación del embalse Conchi ya fue explicada en el acápite 2.5.2.2 en donde se presentaron los resultados comparativos tanto ente MIROC como CSIRO, en donde se demuestra que MIROC es un modelo bastante más optimista respecto de la condición base y de lo proyectado por CSIRO.

4.3.5.3.3 Acuíferos

En el caso de los acuíferos, las siguientes tablas resumen el balance general de la cuenca, tanto para la condición histórica como para la condición futura, al igual que en el caso del modelo CSIRO.

Tabla 4.53 Resumen del Balance de todos los acuíferos considerados utilizando el modelo MIROC en el periodo histórico (1981 -2017). El signo ** significa que no se consideran las entradas ni salidas subterráneas.

	Flujo (m^3/s)											
	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Entradas												
Entrada subterránea	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34
Recarga PP	3.63	3.59	3.59	3.60	3.60	3.59	3.58	3.59	3.77	4.37	4.29	3.90
Recarga ríos	0.18	0.18	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17
Recarga Canales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga Operacional	0.10	0.17	0.16	0.13	0.10	0.08	0.08	0.16	0.38	1.11	1.38	0.69
Salidas												
Salida subterránea	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34
Pozos	-1.92	-1.76	-1.72	-1.72	-1.74	-1.80	-1.84	-1.96	-1.99	-2.01	-2.04	-2.03
Afloramientos WEAP	-0.77	-0.75	-0.75	-0.75	-0.75	-0.76	-0.76	-0.76	-0.76	-0.78	-0.79	-0.77
Overflow	-1.94	-1.94	-1.94	-1.95	-1.93	-1.90	-1.88	-1.88	-1.99	-2.36	-2.32	-2.14
Totales												
Total Entradas**	3.91	3.94	3.94	3.92	3.88	3.86	3.85	3.93	4.33	5.65	5.86	4.76
Total Salidas**	-4.63	-4.45	-4.41	-4.42	-4.42	-4.47	-4.48	-4.60	-4.74	-5.15	-5.14	-4.94
Balance	-0.72	-0.51	-0.47	-0.50	-0.54	-0.61	-0.63	-0.67	-0.40	0.51	0.72	-0.18

Tabla 4.54 Resumen del Balance de todos los acuíferos considerados utilizando el modelo MIROC en el periodo futuro (2017 – 2060). El signo ** significa que no se consideran las entradas ni salidas subterráneas

	Flujo (m^3/s)											
	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Entradas												
Entrada subterránea	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34
Recarga PP	3.64	3.60	3.59	3.62	3.60	3.59	3.58	3.59	3.78	4.29	4.29	3.95
Recarga ríos	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.19	0.19	0.18
Recarga Canales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recarga Operacional	0.24	0.25	0.24	0.20	0.17	0.15	0.15	0.17	0.20	0.80	0.88	0.58
Salidas												
Salida subterránea	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34
Pozos	-3.18	-3.12	-3.11	-3.10	-3.10	-3.18	-3.20	-3.23	-3.08	-3.07	-3.07	-3.07

	Flujo (m^3/s)											
	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Afloramientos WEAP	-0.77	-0.75	-0.75	-0.75	-0.75	-0.76	-0.76	-0.76	-0.76	-0.78	-0.79	-0.77
Overflow	-2.05	-2.04	-2.03	-2.05	-2.03	-2.01	-2.01	-2.01	-2.12	-2.40	-2.37	-2.22
Totales												
Total Entradas**	4.06	4.03	4.01	4.00	3.94	3.92	3.91	3.95	4.15	5.28	5.35	4.71
Total Salidas**	-6.00	-5.90	-5.89	-5.90	-5.89	-5.95	-5.96	-5.99	-5.95	-6.24	-6.22	-6.07
Balance	-1.93	-1.88	-1.88	-1.90	-1.94	-2.03	-2.05	-2.05	-1.80	-0.96	-0.87	-1.35

Finalmente, la siguiente tabla resume las variaciones porcentuales para ambos períodos de análisis. Tal como se puede apreciar las variaciones porcentuales son negativas de abril a marzo, y acumulan una reducción promedio anual (vaciamiento) de un 200% aproximadamente.

Tabla 4.55. Resumen de las variaciones porcentuales asociadas al balance hídrico para la condición histórica y futura para el modelo MIROC.

Flujos / Meses	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	Anual
Entradas	VARIACIÓN ENTRADAS												
Entrada subterránea	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Recarga PP	0.3%	0.3%	0.0%	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	-1.8%	0.0%	1.3%	0.1%
Recarga ríos	0.0%	0.0%	-5.3%	-5.3%	-5.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5.6%	5.6%	5.9%	0.1%
Recarga Canales	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Recarga Operacional	140.0%	47.1%	50.0%	53.8%	70.0%	87.5%	87.5%	6.3%	-47.4%	-27.9%	-36.2%	-15.9%	34.6%
Salidas	VARIACIÓN SALIDAS												
Salida subterránea	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Pozos	65.6%	77.3%	80.8%	80.2%	78.2%	76.7%	73.9%	64.8%	54.8%	52.7%	50.5%	51.2%	67.2%
Afloramientos WEAP	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Overflow	5.7%	5.2%	4.6%	5.1%	5.2%	5.8%	6.9%	6.9%	6.5%	1.7%	2.2%	3.7%	5.0%
Totales	VARIACIONES TOTALES												
Total Entradas**	3.8%	2.3%	1.8%	2.0%	1.5%	1.6%	1.6%	0.5%	-4.2%	-6.5%	-8.7%	-1.1%	-0.4%
Total Salidas**	29.6%	32.6%	33.6%	33.5%	33.3%	33.1%	33.0%	30.2%	25.5%	21.2%	21.0%	22.9%	29.1%
Balance	-168.1%	-268.6%	-300.0%	-280.0%	-259.3%	-232.8%	-225.4%	-206.0%	-350.0%	288.2%	220.8%	-650.0%	-202.6%

Finalmente, la Figura 4.79, resume la variación de los volúmenes a futuro para el modelo CSIRO, donde se puede apreciar que los SHACS 2, 4 y 5 son los que acumulan un mayor descenso, llegando al 43% de la capacidad de almacenamiento.

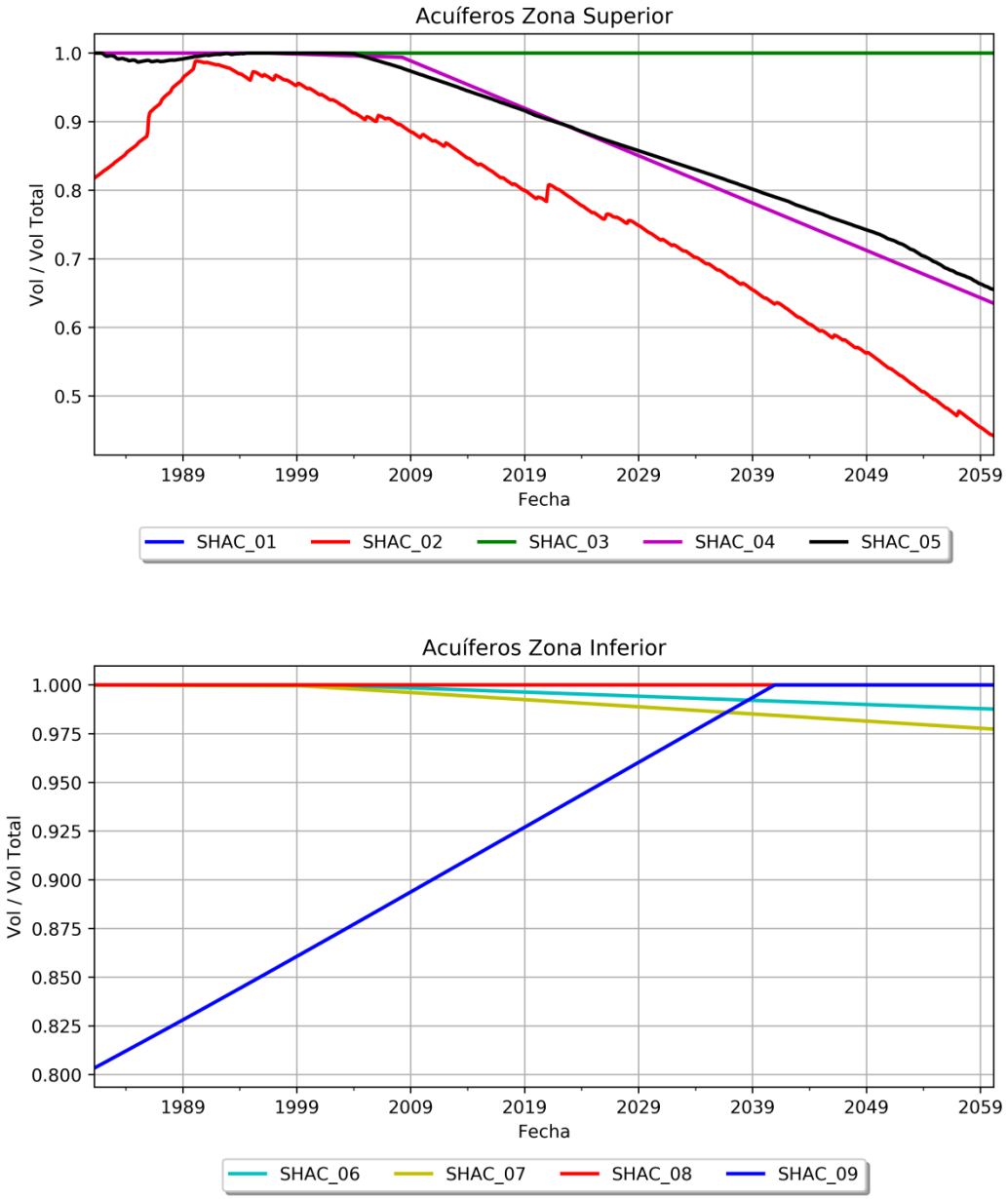


Figura 4.79. Variación de los volúmenes normalizados de los acuíferos considerados en la modelación en el período 1981-2060 para el modelo MIROC.

4.3.6 Brechas y Recomendaciones

En general, la modelación hidrológica es siempre un desafío por cuanto no sólo se estima la oferta hídrica natural de un sistema, sino que también como este opera en toda la cuenca. En este sentido, el trabajo realizado por KP (2014a, 2014b) constituyeron enormes aportes a la creación de la topología del sistema, permitiendo identificar zonas de demanda, afloramientos, e infiltraciones las que posteriormente fueron utilizadas para calibrar las que aquí se reprodujeron.

Este trabajo se nutrió de la experiencia de ese predecesor y del conocimiento adquirido de la cuenca que tiene el Centro de Ecología Aplicada en la cuenca a través de sus numerosas campañas de terreno.

A pesar de eso, el modelo creado es un modelo hidrológico-operacional, y en cuencas donde también existe una importante componente subterránea es ideal avanzar hacia una línea de modelación integrada superficial-subterránea. En ese sentido, esta es una brecha del presente estudio y a la vez una recomendación, para que el próximo esfuerzo se encamine hacia un acople directo (celda a celda) o bien indirecto (a través de la integración de flujos) entre dos modelos numéricos.

En este sentido, las condiciones de borde del modelo subterráneo de KP (2014a, 2014b) se han mantenido en el modelo superficial, pero claramente los flujos entre acuíferos como los flujos que podrían salir hacia la desembocadura podrían tener una calibración justamente a través de la integración entre ambos sistemas.

Cabe destacar que este trabajo a abordado el lineamiento más complejo, en el sentido que el modelo no inicia con una condición de borde de caudal impuesta, sino que toda la parte alta de la cuenca es simulada a través de una modelación hidrológica, teniendo en cuenta la información actualizada de meteorología del CR2, el CR2MET, producto obtenido a través de los respaldos del estudio de actualización del balance hídrico de la DGA (2017).

Otro aspecto a mejorar, bajo un esquema de modelación integrada será comparar la variación de los volúmenes con zonas de balance acuífero (“Zone Budget” en modflow) en las mismas extensiones espaciales, asi como comparar las variaciones de volúmenes con series de pozos de observación (niveles estáticos y dinámicos).

Finalmente, uno de los supuestos del modelo ha sido la mantención en el tiempo de las demandas. Si bien este es un supuesto no conservador, se debe tener conciencia también de la disponibilidad actual de la cuenca y que primero se debiese asegurarse la correcta gestión de los recursos actuales, antes de evaluar la intensificación del uso de los acuíferos o algún curso superficial.

Dado eso, un aspecto a evaluar entonces sería la creación de escenarios que evalúen proyecciones de demanda futuras para tener una mejor comprensión del rango de incertidumbre de la disponibilidad.

Respecto del embalse Conchi, es deseable conocer en el futuro cual es la regla de operación de dicha obra para poder implementarla y así actualizar el modelo.

4.3.7 Conclusiones

Respecto de los objetivos de este trabajo, cabe enumerar los siguientes aspectos relevantes que se han cumplido durante el desarrollo de esta modelación:

1. Topología: El modelo actual está basado con las interacciones más actualizadas, y considera las extracciones, demandas, ríos e interacciones simplificadas entre ríos y acuíferos. Han sido considerado además los canales de riego existentes.
2. Plataforma: El modelo ha sido implementado en plataforma WEAP, utilizando para ello los modelos hidrológicos que tiene incorporado la plataforma para obtener un producto autocontenido.
3. Meteorología: Se ha usado el producto CR2MET, que viene respaldado en el estudio de Actualización del Balance Hídrico de Chile, particularmente en la macrozona Norte. Sobre ese estudio, y siguiendo sus subproductos, se han incorporado la información a escala mensual de precipitación, temperatura, viento y humedad relativa. Adicionalmente se ha hecho un diagnóstico completo de dicha información entregando un anexo digital del desempeño de dicha información.
4. Acuíferos: Los volúmenes de los acuíferos utilizados aquí son los utilizados por el estudio de KP (2014a y 2014b), los que se entienden son obtenidos a partir del modelo hidrogeológico implementado en dicho estudio.
5. Incorporación de evaluación del escenario de cambio climático RCP 8.5, para dos modelos de circulación general (GCM por sus siglas en inglés), el modelo MIROC y el modelo CSIRO, de tal manera de abordar la incertidumbre asociada a las estimaciones.
6. Estimación de las series de caudales medios mensuales en los puntos de control ambiental requeridos para este trabajo.
7. Análisis de la obra de regulación de la cuenca, el embalse Conchi, considerando los dos escenarios de cambio climático, como el trabajo que significó la interpretación de una regla de operación para dicha obra.

En este sentido, existen ya brechas y recomendaciones planteadas en el punto anterior conducentes a mejorar el presente trabajo con información medida.

Llama la atención la necesidad de contar con puntos de control fluviométricos con mayor longitud de registro, que permitan validar cuencas intermedias y operaciones de extracciones superficiales. Adicionalmente, puede ser relevante la inclusión de campañas

de afloramientos e infiltraciones a lo largo del cauce para mejorar la comprensión del sistema.

En este sentido el punto de control ambiental corresponde al río San Pedro, en donde luego de una extracción superficial, el río queda prácticamente seco.

Es recomendable también, a la luz de poder mejorar el modelo, conocer un estado de las estaciones fluviométricas, particularmente después de los eventos acaecidos los años 2015 y 2016, en donde en otros sectores del país se reportaron grandes aluviones, causando una merma considerable a los sistemas de registro.

Teniendo en consideración todos los avances y limitaciones del presente trabajo, se puede concluir que los resultados de la modelación actual permiten evaluar la variación de los puntos de control de caudales ambientales tanto en el período histórico como futuro, siendo deseable, en un trabajo posterior, incorporar dos aspectos fundamentales: una modelación numérica integrada, sea esta directa o indirecta; la evaluación de otros escenarios de modelación que consideren proyecciones de la demanda como también se incorporen otros modelos de cambio climático para tratar de reducir la incertidumbre.

Bajo todo aspecto, la condición más desfavorable, y por ende conservadora, estaría representada por el modelo CSIRO, pese a que el modelo que mejor se ajustó en el período de calibración fue el modelo MIROC.

4.4 Determinación del Caudal Ambiental

Para la construcción de la Guía metodológica para la estimación del caudal ambiental, se desarrolló una metodología basada en la teoría y entendimiento general de un caudal ambiental, y 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"*. Esta definición es la misma que la utilizada en la Guía Metodológica para Determinar el Caudal Ambiental para Centrales Hidroeléctricas en el SEIA (SEA, 2016), pero a diferencia de esa guía, en la cual se busca poder realizar una evaluación ambiental de un proyecto en concreto, la presente tiene como objetivo el poder determinar un caudal ambiental asociado al sistema en su condición original, o en un punto más cercano a ella y que muchas veces no está dado por la actual condición del sistema. Así, determinando un escenario base desde el cual iniciar cualquier análisis de disponibilidad del recurso y condición del sistema (y de las otras partes que de él dependen), será posible realizar una evaluación igualitaria y comparable de todos los servicios ecosistémicos prestados y de las demandas externas de recursos (tanto actuales como futuras). Lo anterior posibilita el análisis de disponibilidad de recursos como la priorización de ellos, y evitar poner en riesgo los servicios y funciones críticas del ecosistema (O´Keeffe, 2012; Harwood et al., 2017).

A continuación, se muestran las principales actividades asociadas a la determinación de los caudales ambientales del río Loa. Lo anterior, es complementado con un análisis de distintas proyecciones futuras considerando escenarios de cambio climático. Además, mediante un modelo eco-hidrológico integral, se realizará un análisis económico costo-beneficio de la implementación de distintos caudales ambienales en la cuenca.

La metodología para el desarrollo de la estimación del caudal ambiental propiamente tal, corresponden a los primeros 5 pasos de los análisis incluidos en el desarrollo y evaluación del caudal ambiental antes indicados (ver Figura 4.80).

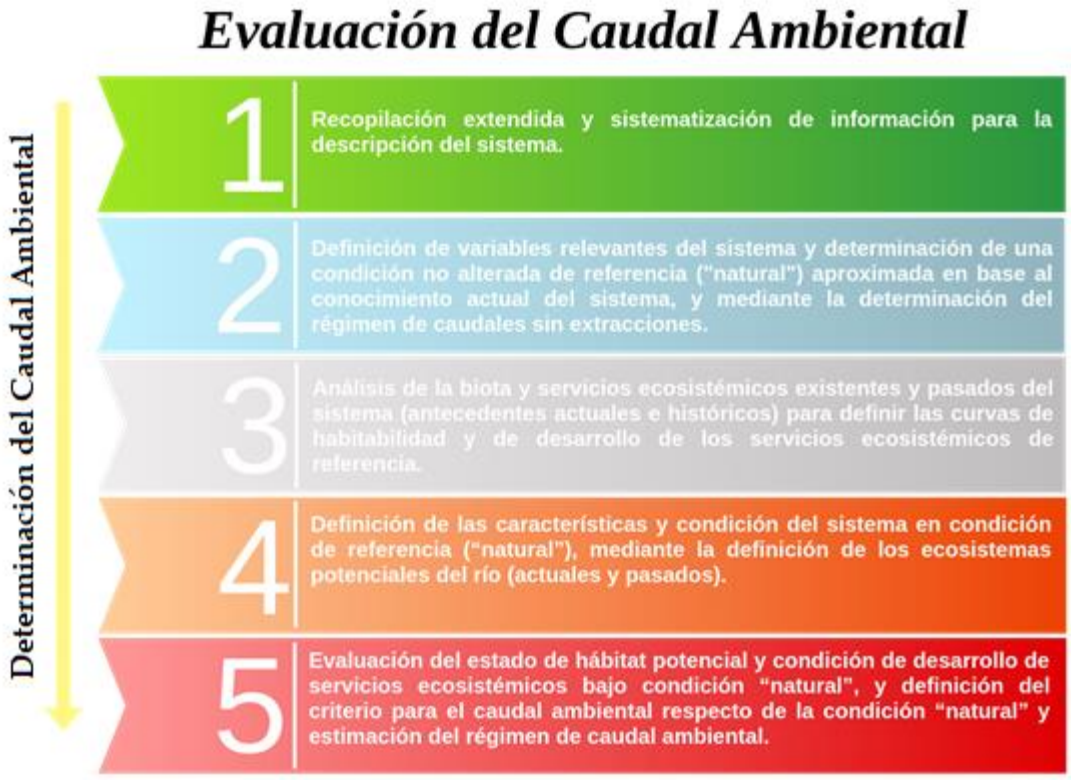


Figura 4.80. Pasos asociados a la determinación del caudal ambiental (Fuente: Elaboración propia).

A continuación, se desarrollan las etapas requeridas para la determinación del "caudal ambiental en base a una condición base natural del río".

4.4.1 Etapa 1: Recopilación/levantamiento de información para la descripción del sistema fluvial.

El cálculo de caudal ambiental se realiza enfocado en los sectores de mayor relevancia ambiental del sistema fluvial, basado en los servicios ecosistémicos presentes. Para ello, es indispensable realizar una caracterización del sistema con el objetivo de conservar sus características al determinar el régimen de caudal ambiental. Esta caracterización se encuentra desarrollada en el Capítulo 3: "Desarrollo OE-1" de este estudio. Donde se incluye una caracterización hidrológica, morfológica (macroescala y mesoescala) y ecológica. Para la determinación de la hidrología actual del sistema, debido a la longitud del río, se utilizan 10 puntos de referencia, definidos en un inicio según la caracterización presentada en el Capitulo 3, y cuyas coordenadas se presenta en la Tabla 4.56:

Tabla 4.56: Puntos de interés para determinación de caudal actual.

Punto de interés	Este(m)	Norte(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
ChiuChiu	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

Luego, para definir la hidrología de los puntos de interés, se seleccionaron las estaciones fluviométricas de la Tabla 4.57, utilizando como criterio elegir aquellas que están en estado activo y que se encuentran más cercanas a los puntos mencionados.

Tabla 4.57: Estaciones fluviométricas consideradas en el cálculo del caudal actual según punto de interés.

Punto de interés	Estaciones fluviométricas consideradas	Rango de años con datos
Palpana	Río Loa antes represa Lequena	1967-2017
Calina	Río Loa en vado Santa Bárbara (DOH)	2006-2017
Ayquina	Río Salado en sifón Ayquina	1975-2017
Lasana	Río Loa en salida embalse Conchi	1976-2017
ChiuChiu	Río Salado A.J. Loa, Río Loa en Angostura	2002-2013, 2012-2017
Calama Alto	Río Loa en Escorial	1964-2017
Calama Medio	Río Loa en Escorial, Río Loa en Finca	1965-2017, 1971-2017
Calama Bajo	Río Loa en Finca	1971-2017
Coya	Río Loa D.J. San Salvador (Chacance)	1984-2015
Quillagua	Río Loa antes zona agrícola Quillagua	1998-2012

A partir de la información recopilada de las estaciones fluviométricas, se realiza un análisis de frecuencia que permite determinar los caudales mensuales según diferentes probabilidades de excencia, los cuales se presentan gráficamente desde la Figura 4.81 a la Figura 4.90. El caudal actual mensual con probabilidad de excedencia del 50% para cada punto y el nombre de la estación fluviométrica representativa se detallan en la Tabla 4.58.

Tabla 4.58: Caudal actual mensual en m3/s con probabilidad de excedencia del 50% según punto de interés.

Punto de interés	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Palpana	0,51	0,52	0,55	0,57	0,56	0,59	0,56	0,50	0,46	0,51	0,56	0,53
Calina	0,82	0,84	0,82	0,84	0,82	0,77	0,77	0,74	0,71	0,86	0,93	0,94
Ayquina	0,21	0,23	0,24	0,24	0,22	0,21	0,18	0,15	0,17	0,27	0,39	0,27
Lasana	1,78	1,76	1,77	1,76	1,76	1,71	1,73	1,69	1,69	1,80	1,86	1,92
ChiuChiu	1,43	1,41	1,42	1,41	1,41	1,37	1,39	1,36	1,35	1,44	1,49	1,54
Calama Alto	1,55	1,60	1,66	1,83	1,76	1,71	1,59	1,47	1,46	1,80	2,64	1,68
Calama Medio	0,98	1,12	1,24	1,33	1,26	1,09	0,97	0,88	0,86	1,08	1,63	1,09
Calama Bajo	0,41	0,64	0,83	0,83	0,76	0,47	0,35	0,28	0,27	0,36	0,61	0,50
Coya	0,58	0,86	1,03	1,30	1,18	0,95	0,68	0,51	0,43	0,41	0,93	0,62
Quillagua	0,28	0,73	1,52	1,94	1,67	1,19	0,66	0,30	0,25	0,19	0,22	0,15

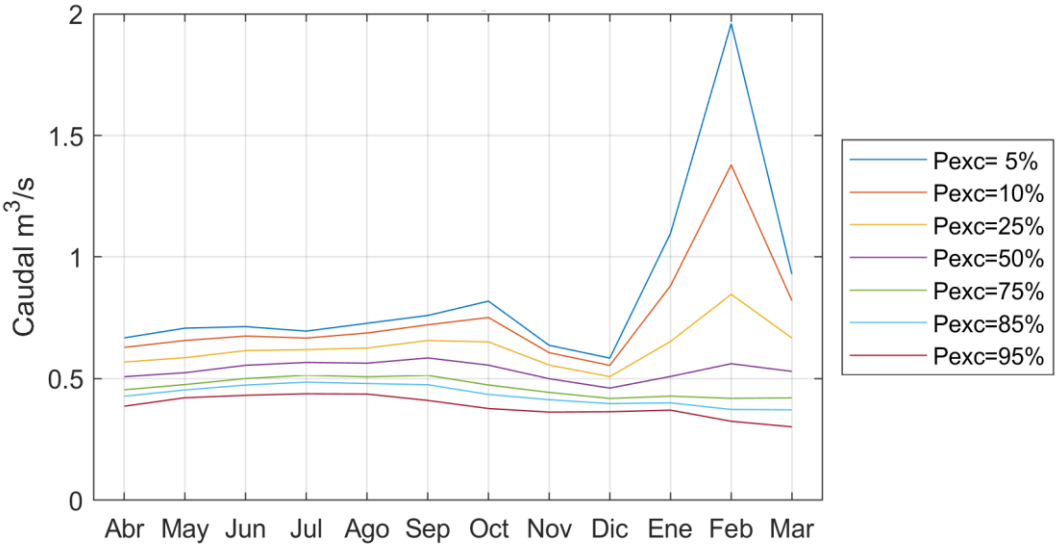


Figura 4.81: Caudal medio mensual en m3/s según probabilidad de excedencia construido a partir de datos fluviométricos en punto Palpana.

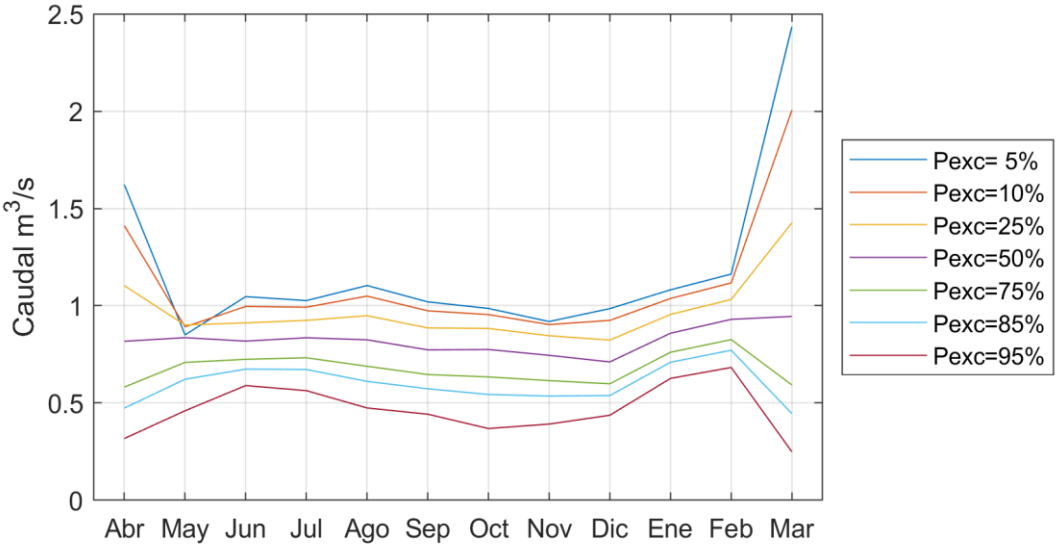


Figura 4.82: Caudal medio mensual en m3/s según probabilidad de excedencia construido a partir de datos fluviométricos en punto Calina.

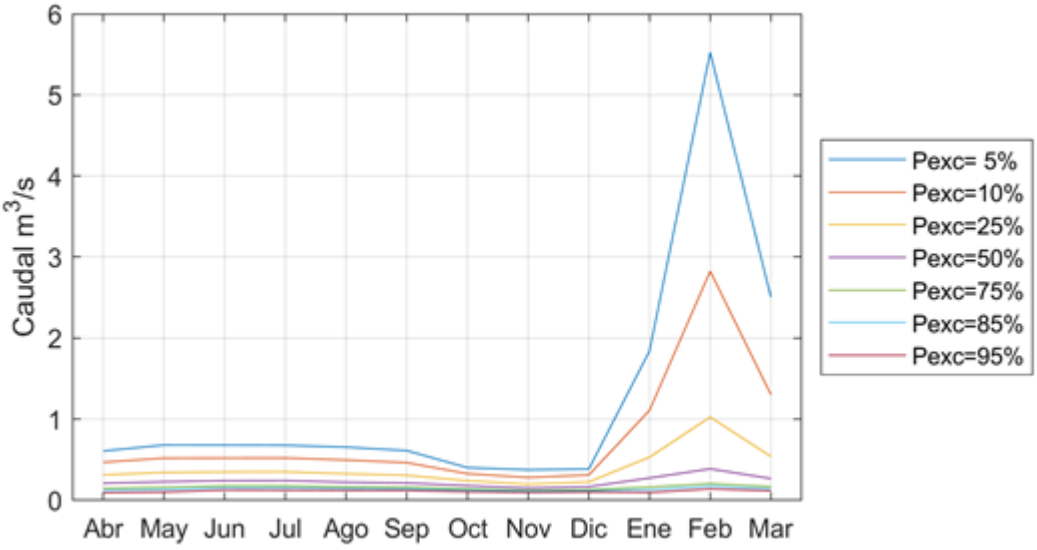


Figura 4.83: Caudal medio mensual en m3/s según probabilidad de excedencia construido a partir de datos fluviométricos en punto Ayquina.

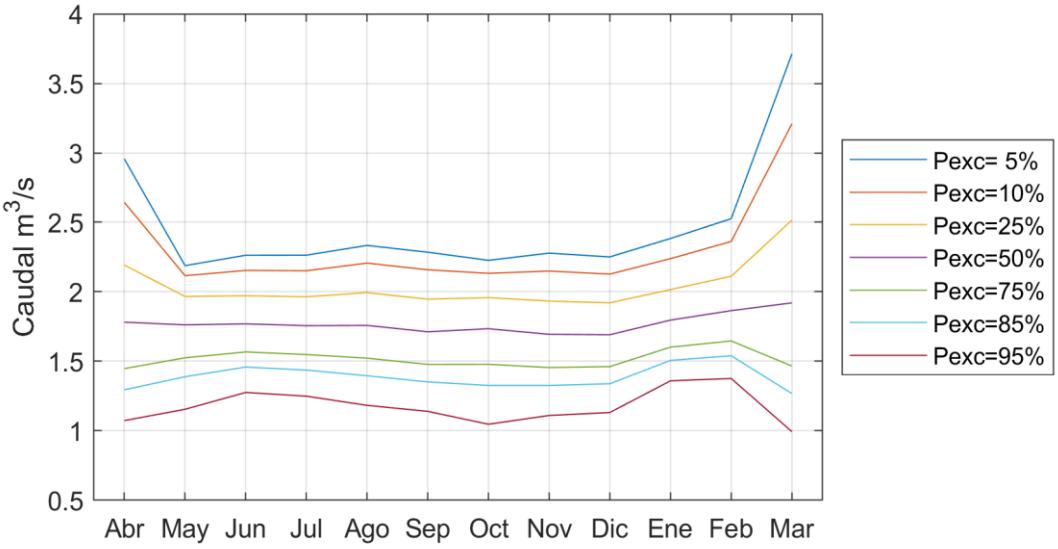


Figura 4.84: Caudal medio mensual en m3/s según probabilidad de excedencia construido a partir de datos fluviométricos en punto Lasana.

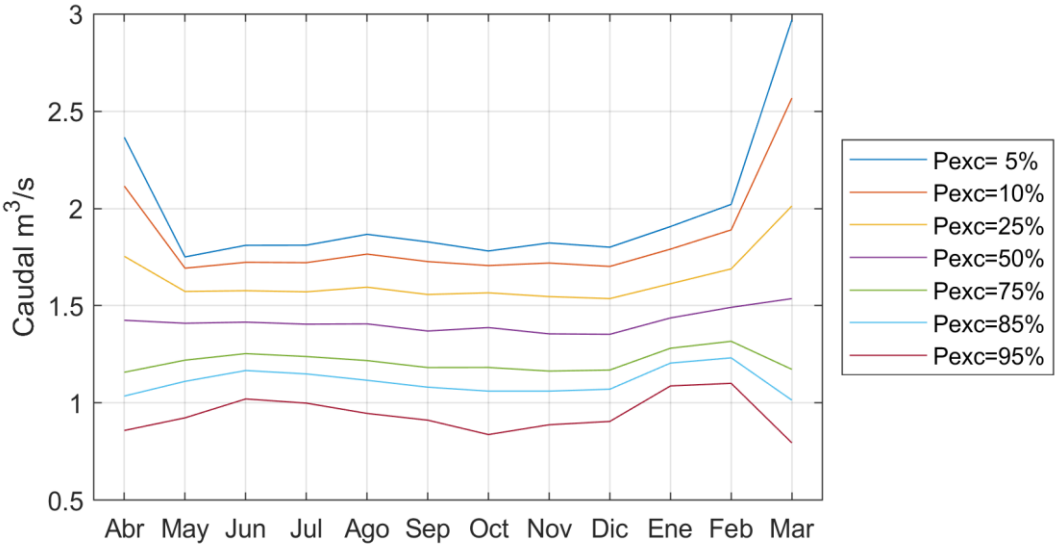


Figura 4.85: Caudal medio mensual en m3/s según probabilidad de excedencia construido a partir de datos fluviométricos en punto ChiuChiu.

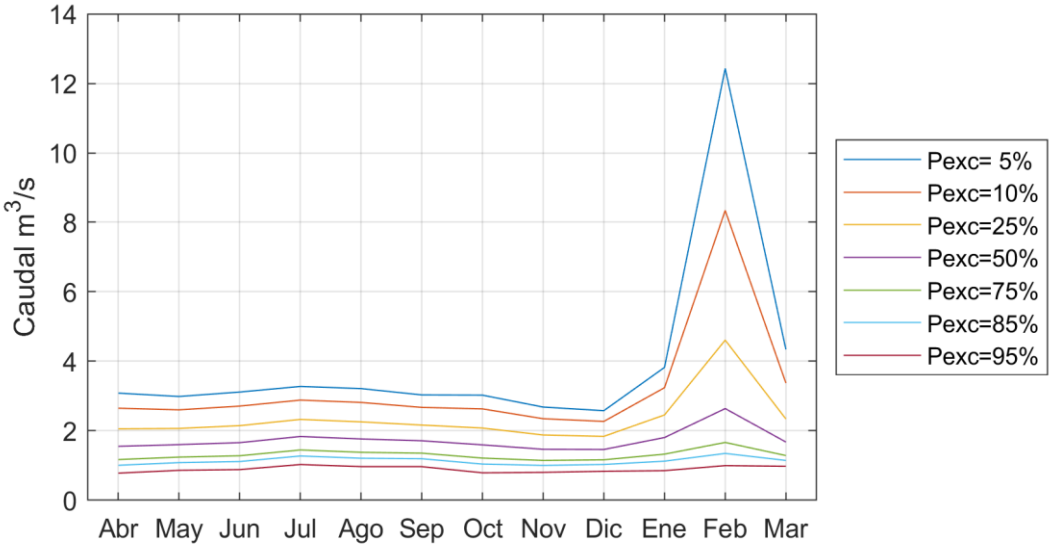


Figura 4.86: Caudal medio mensual en m3/s según probabilidad de excedencia construido a partir de datos fluviométricos en punto Calama Alto.

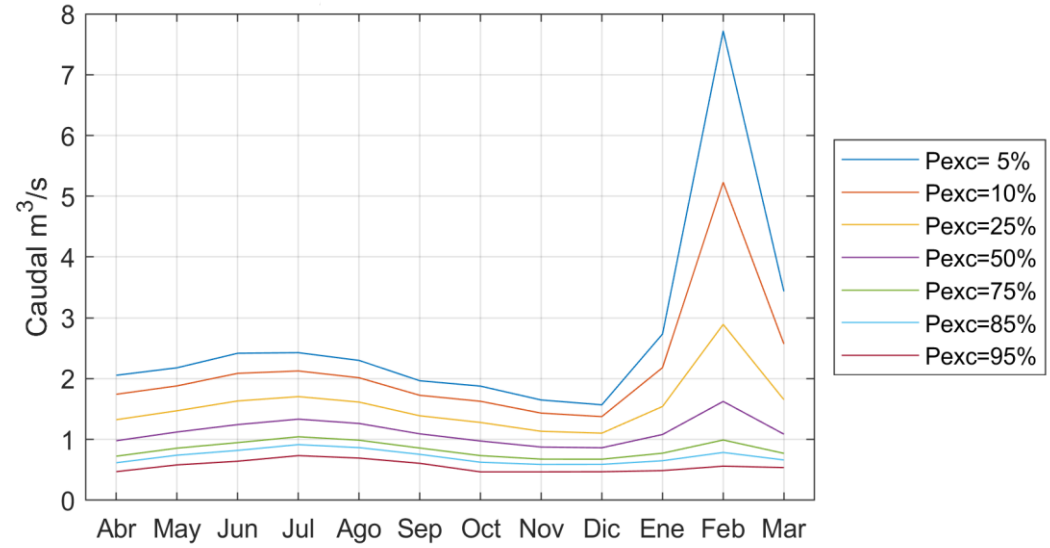


Figura 4.87: Caudal medio mensual en m3/s según probabilidad de excedencia construido a partir de datos fluviométricos en punto Calama Medio.

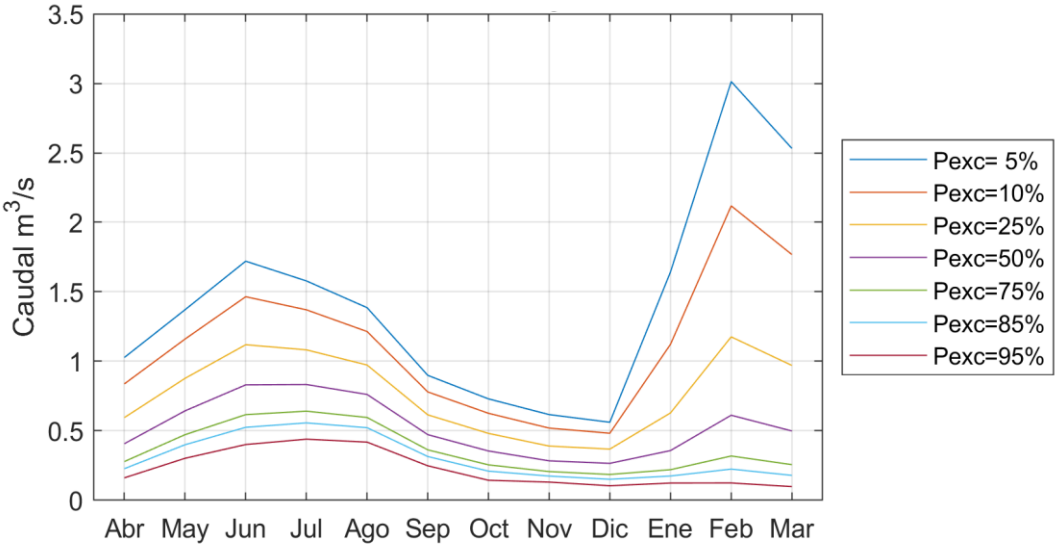


Figura 4.88: Caudal medio mensual en m3/s según probabilidad de excedencia construido a partir de datos fluviométricos en punto Calama Bajo.

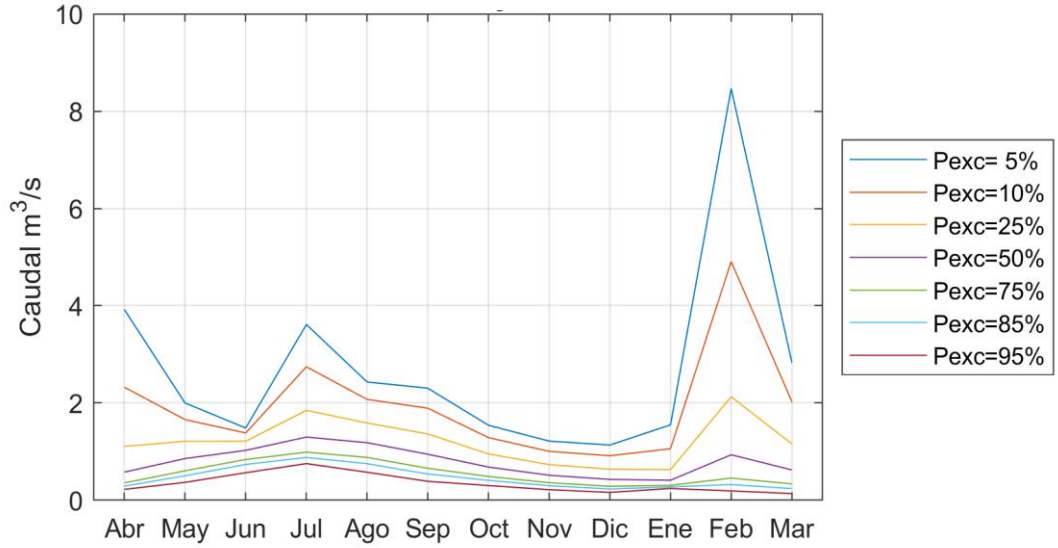


Figura 4.89: Caudal medio mensual en m3/s según probabilidad de excedencia construido a partir de datos fluviométricos en punto Coya.

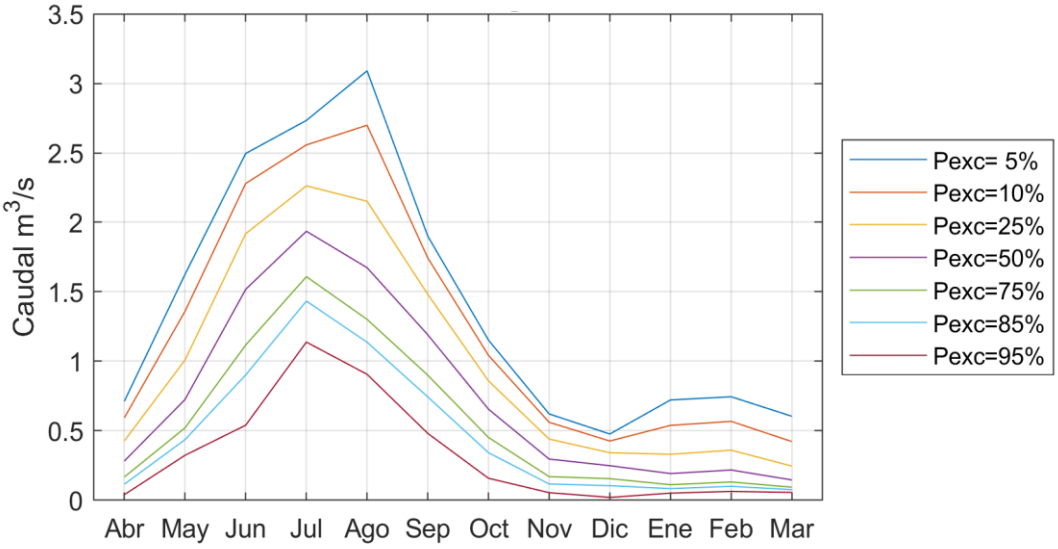


Figura 4.90: Caudal medio mensual en m3/s según probabilidad de excedencia construido a partir de datos fluviométricos en punto Quillagua.

4.4.2 Etapa 2: Definición de variables relevantes del sistema y determinación de la condición no alterada o "natural" del sistema

4.4.2.1 *Estimación de la Hidrología natural del sistema*

Con el fin de determinar la condición natural del sistema, es necesario realizar el levantamiento de todas las alteraciones de régimen natural del río, ya sean extracciones o reincorporaciones de caudal. Al identificar las alteraciones, según su derecho, periocidad y tipo, será necesario determinar la ubicación de estos, con lo cual poder construir el diagrama unifilar del río. De este modo, para un punto en particular a lo largo del río, se define el caudal natural como la suma entre el caudal acumulado por extracciones aguas arriba y el caudal medio mensual actual.

De las extracciones observadas actualmente, se identifican usos sociales (agua potable), uso industrial y uso en riego, cuyas demandas se detallan en las tablas Tabla 4.28, Tabla 4.29, y Tabla 4.32.

Dado lo anterior, en la Tabla 4.59 se presenta el caudal acumulado que en un régimen natural, se reincorpora a cada punto de interés definido anteriormente.

Tabla 4.59: Caudal reincorporado mensual en m3/s a cada AEC

Punto de interés	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Palpana	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Calina	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
Ayquina	1,77	1,77	1,76	1,76	1,77	1,80	1,83	1,85	1,84	1,80	1,80	1,75
Lasana	1,42	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,42	1,43	1,44	1,43	1,42
ChiuChiu	1,60	1,55	1,55	1,55	1,54	1,54	1,57	1,60	1,65	1,69	1,68	1,61
Calama Alto	3,37	3,32	3,30	3,31	3,31	3,34	3,40	3,45	3,50	3,49	3,48	3,36
Calama Medio	3,68	3,57	3,49	3,46	3,48	3,54	3,63	3,73	3,81	3,94	3,97	3,81
Calama Bajo	4,14	3,97	3,85	3,80	3,83	3,92	4,04	4,18	4,29	4,52	4,59	4,37
Coya	4,58	4,38	4,22	4,17	4,20	4,31	4,46	4,63	4,76	5,07	5,17	4,90
Quillagua	4,64	4,44	4,28	4,23	4,26	4,37	4,52	4,69	4,82	5,13	5,23	4,96

Este caudal reincorporado se calcula a partir de la información de extracciones industriales presentada en la Tabla 4.29 y las demandas de riego históricas por zona de riego presentadas en la Figura 4.57 considerando pérdidas por infiltración, evaporación y la reincorporación de parte del flujo según las proporciones mostradas en la Tabla 4.31.

Al sumar las reincorporaciones presentadas en la Tabla 4.59 con el caudal actual presentado en el acápite anterior, se obtienen los hidrogramas de caudal medio mensual para cada punto presentados desde la Figura 4.91 a la Figura 4.100.

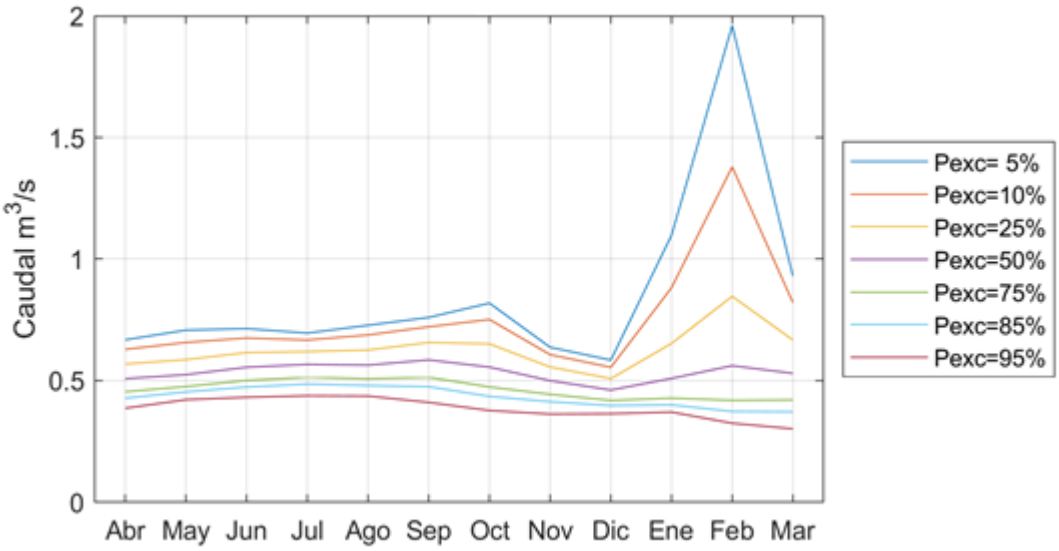


Figura 4.91: Caudal natural mensual en m3/s según probabilidad de excencia para punto Palpana.

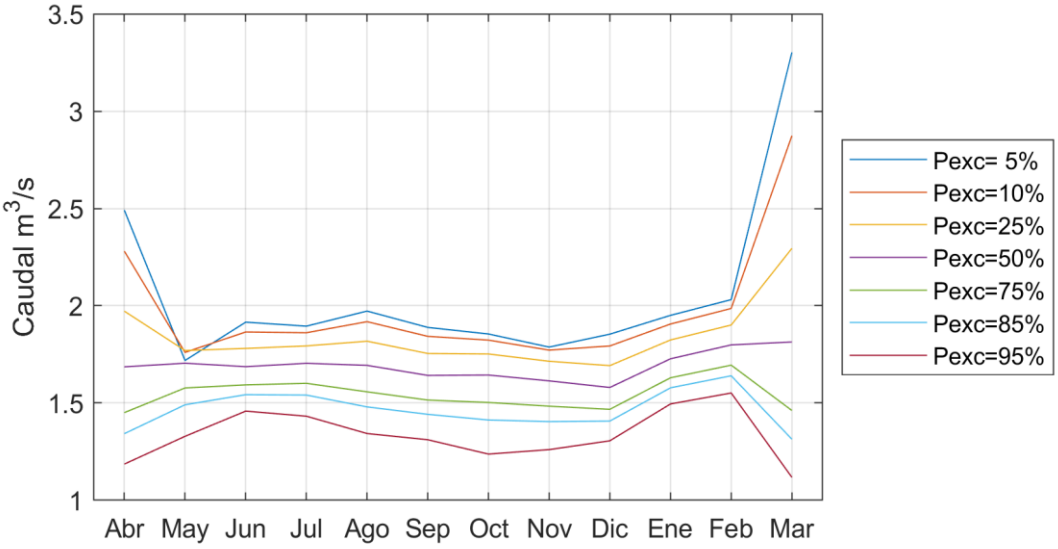


Figura 4.92: Caudal natural mensual en m3/s según probabilidad de excencia para punto Calina.

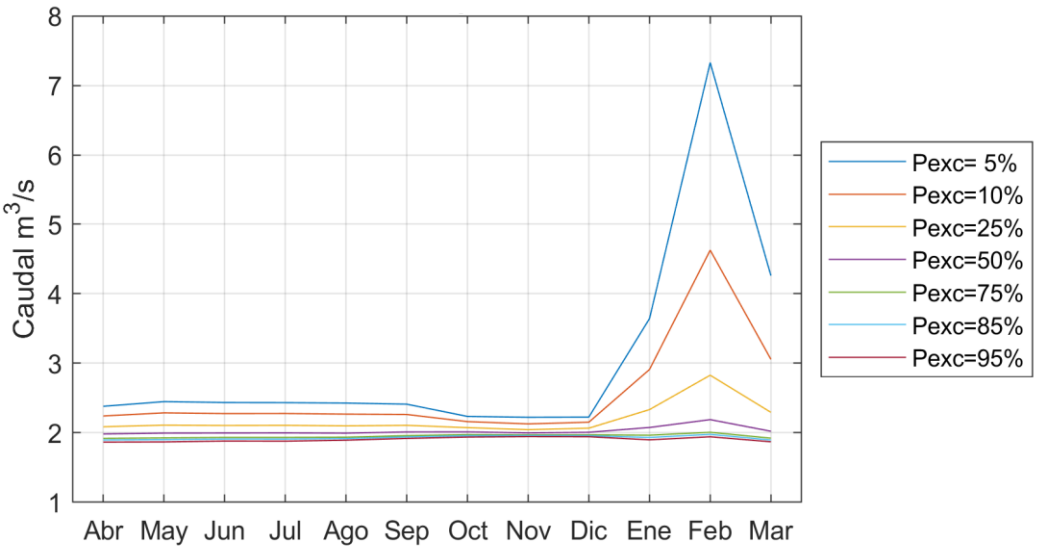


Figura 4.93: Caudal natural mensual en m3/s según probabilidad de excencia para punto Ayquina.

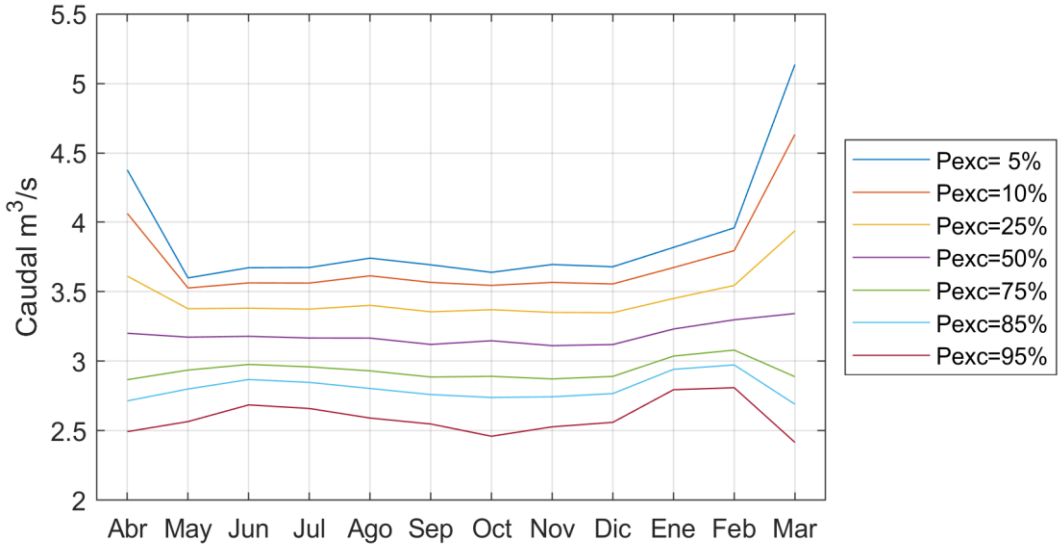


Figura 4.94: Caudal natural mensual en m3/s según probabilidad de excencia para punto Lasana.

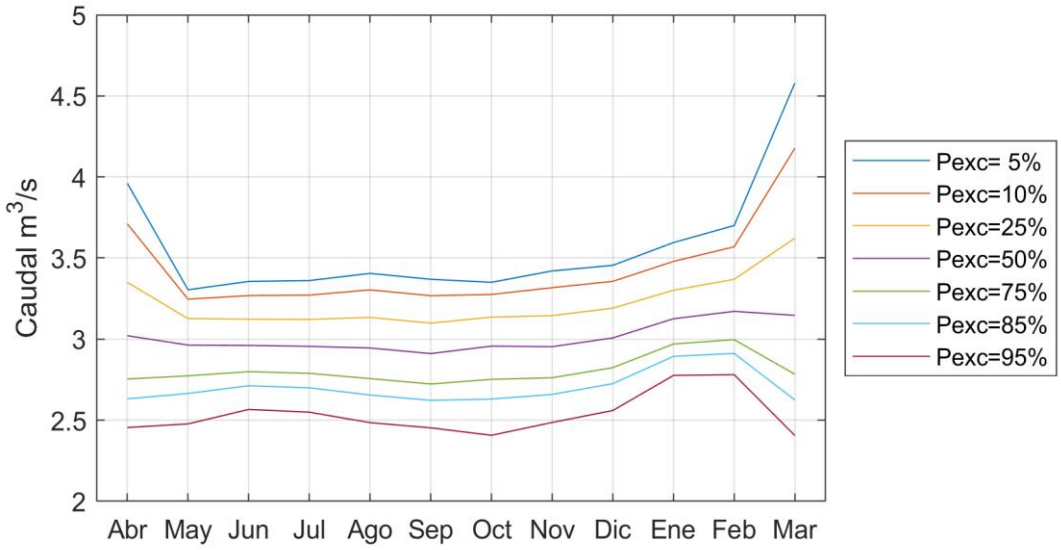


Figura 4.95: Caudal natural mensual en m3/s según probabilidad de excencia para punto ChiuChiu.

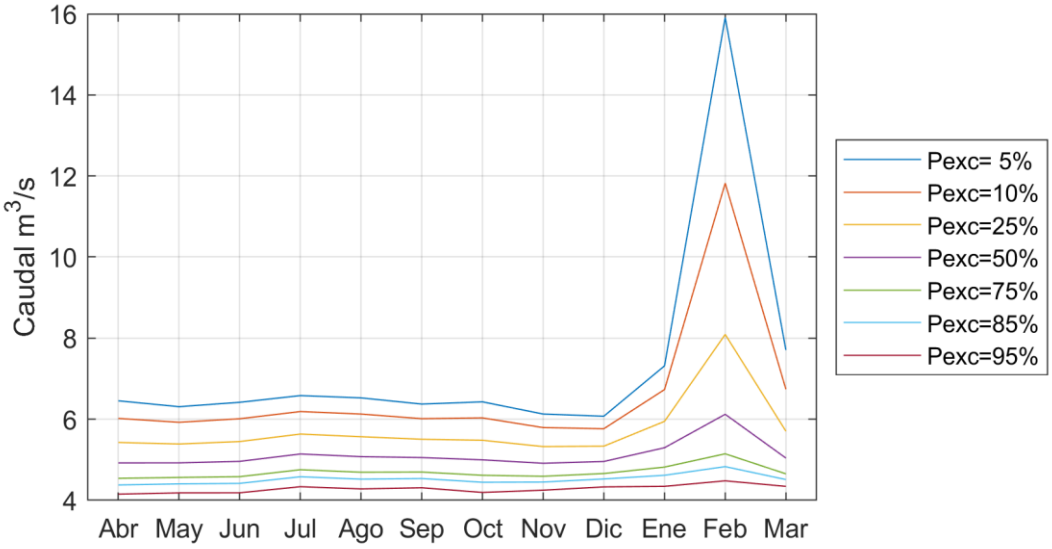


Figura 4.96: Caudal natural mensual en m3/s según probabilidad de excencia para punto Calama Alto.

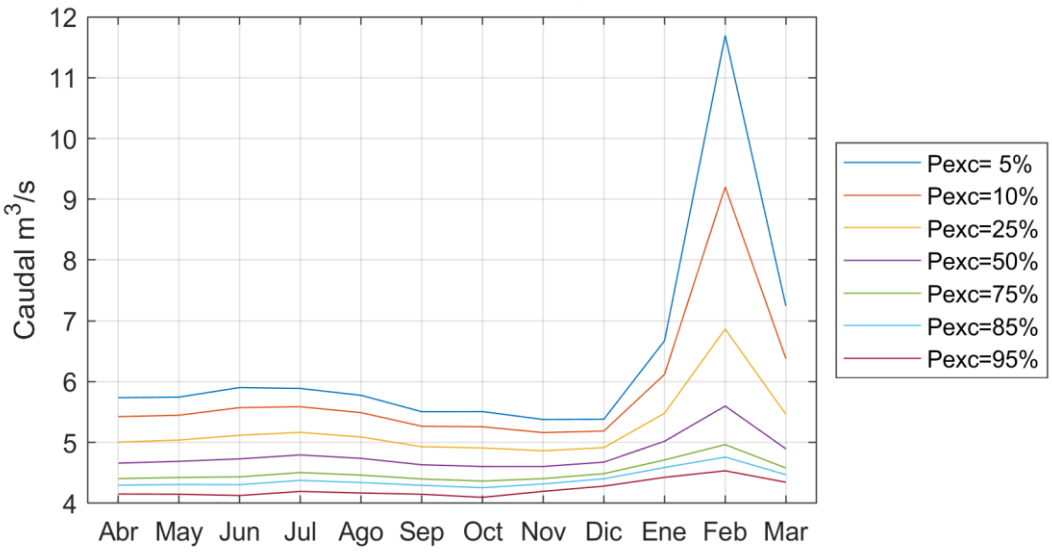


Figura 4.97: Caudal natural mensual en m3/s según probabilidad de excencia para punto Calama Medio.

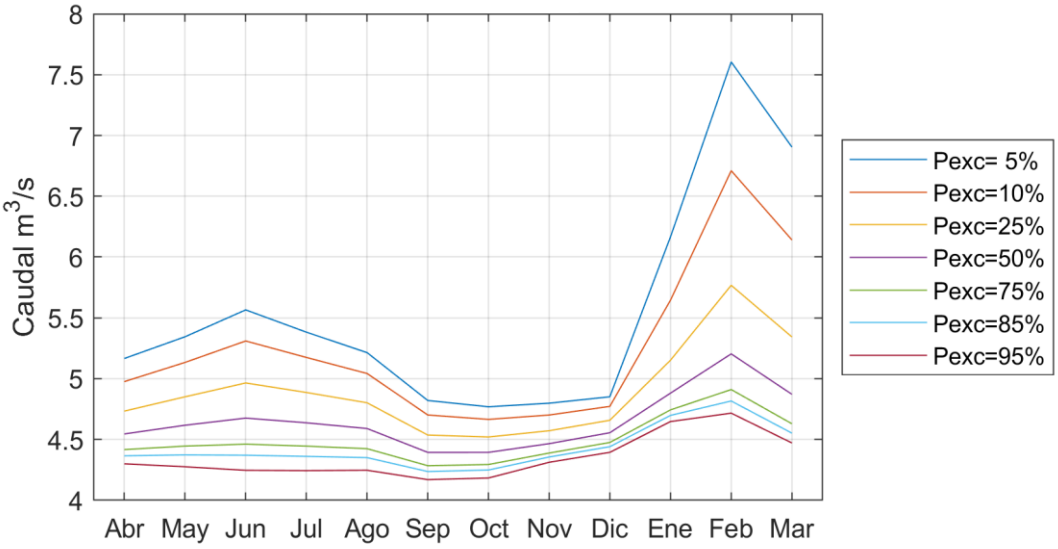


Figura 4.98: Caudal natural mensual en m3/s según probabilidad de excencia para punto Calama Bajo.

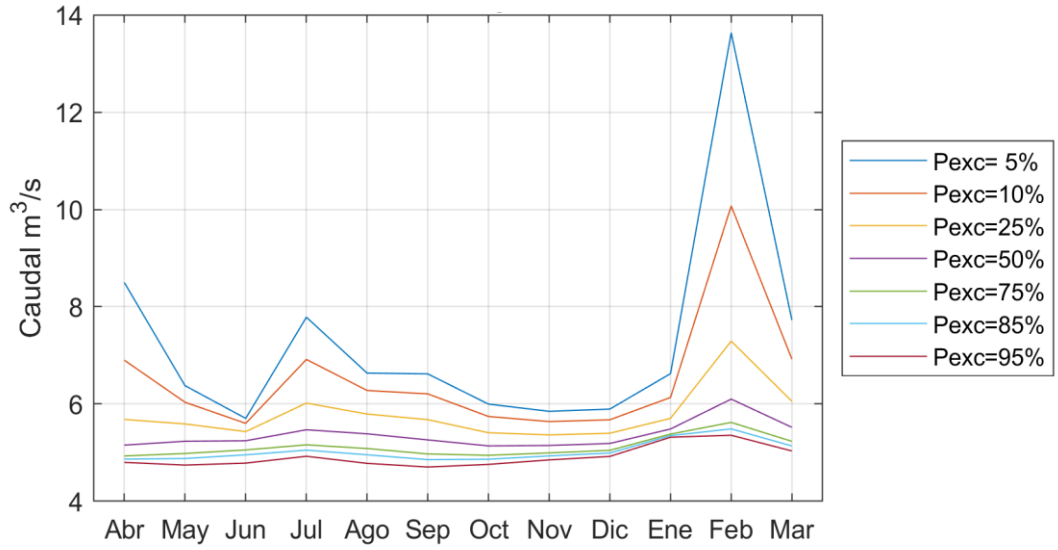


Figura 4.99: Caudal natural mensual en m3/s según probabilidad de excencia para punto Coya.

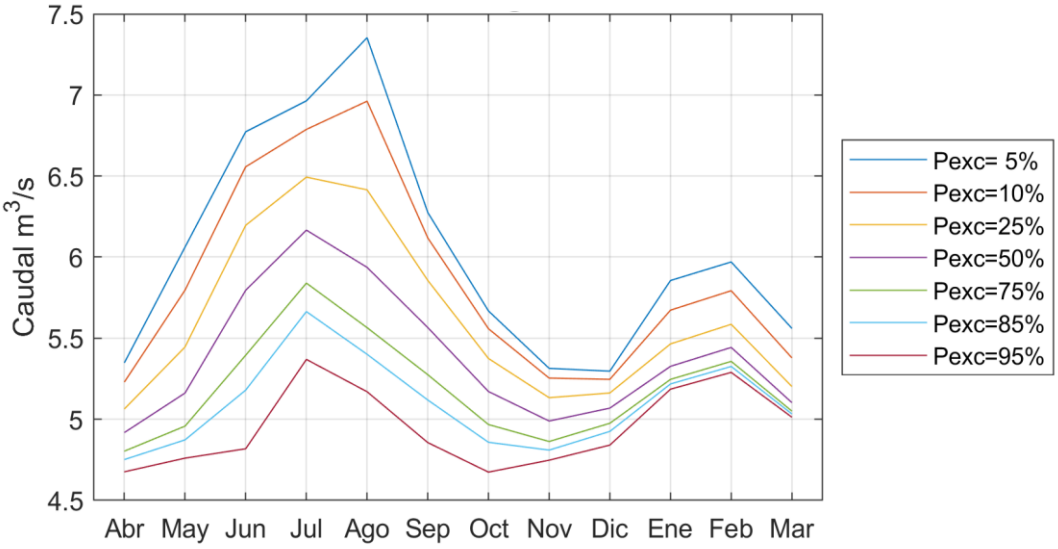


Figura 4.100: Caudal natural mensual en m3/s según probabilidad de excencia para punto Quillagua.

De este modo, en la Tabla 4.60 se presenta el caudal medio mensual según probabilidad de excedencia del 50% por punto de interés:

Tabla 4.60: Caudal medio mensual en m3/s según probabilidad de excedencia del 50% en puntos de interés.

Punto de interés	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Palpana	0,51	0,52	0,55	0,57	0,56	0,59	0,56	0,50	0,46	0,51	0,56	0,53
Calina	1,69	1,70	1,69	1,70	1,69	1,64	1,64	1,61	1,58	1,73	1,80	1,81
Ayquina	1,98	1,99	2,00	2,00	1,99	2,01	2,01	2,00	2,01	2,08	2,19	2,02
Lasana	3,20	3,17	3,18	3,17	3,17	3,12	3,15	3,11	3,12	3,23	3,30	3,34
ChiuChiu	3,02	2,96	2,96	2,96	2,95	2,91	2,96	2,95	3,01	3,13	3,17	3,15
Calama Alto	4,92	4,92	4,96	5,14	5,08	5,05	5,00	4,91	4,96	5,30	6,12	5,04
Calama Medio	4,66	4,69	4,73	4,79	4,74	4,63	4,60	4,60	4,68	5,02	5,60	4,89
Calama Bajo	4,55	4,62	4,68	4,64	4,59	4,39	4,39	4,47	4,56	4,88	5,20	4,87
Coya	5,15	5,23	5,24	5,47	5,39	5,26	5,14	5,15	5,19	5,49	6,10	5,52
Quillagua	4,92	5,16	5,80	6,17	5,94	5,57	5,17	4,99	5,07	5,33	5,44	5,10

4.4.3 Etapa 3: Análisis de la biota y servicios ecosistémicos del sistema

4.4.3.1 *Biota presente en el sistema*

Dentro de las especies identificadas en el ecosistema del río Loa, destaca la presencia de fauna como reptiles, anfibios, macroinvertebrados bentónicos y peces, además de vegetación acuática y ribereña.

En cuanto a los reptiles, éstos no dependen directamente del flujo de agua. Sino que dependen de la presencia o ausencia del río, ya que existiendo éste, por muy mínimo que sea su caudal, crea las condiciones para que existan mosquitos y otras condiciones que permitan su supervivencia. Su hábitat, al igual que el de aves, se encuentra en las laderas del cajón del río alejado del cuerpo de agua.

Por otro lado, tanto los anfibios como la vegetación acuática y ribereña, dependen de los niveles de agua y su variacíon. Los anfibios y vegetación acuática se alojan preferentemente en pozones que se crean en sectores del río con baja o nula velocidad de flujo, mientras que la vegetacíon ribereña se encuentra en las cercanías del cauce gobernada por el nivel freático del suelo, el que a su vez depende del nivel del río y morfología de las riberas. Por lo tanto, estas especies se desarrollan y adaptan a los niveles medios del río. Es por ello que toma importancia para estas especies respetar el régimen intra anual del río, más que la magnitud del caudal propiamente. Por ello se considera la variabilidad de la componente ecológica del caudal ambiental, que corresponde a una de las componentes más determinantes en el régimen del caudal ambiental, igual a la variabilidad intra anual del caudal “natural” del río. Esta condición de caudal natural se detalla en la Etapa 4 (acápite 4.4.4).

En cuanto a los macroinvertebrados bentónicos, los modelos de preferencia hidráulica existentes, han utilizado una serie de variables para describir la hidráulica del microhabitat, incluida la velocidad media de la columna de agua, la velocidad a una distancia fija desde el fondo, el número de Froude, el número de rugosidad de Reynolds y el número de hemisferio. Todos los enfoques enfrentan la dificultad de describir el microhábitat real de macroinvertebrados, dado que los diversos taxones difieren en tamaño y comportamiento y ocupan diferentes posiciones alrededor de las piedras y en el sustrato. (Doledec et al, 2006). En consideración de ésto, es necesario realizar un análisis a escala de microhábitat en los distintos tramos del río, lo cual no es posible de realizar con la resolución de información levantada y disponible en la bibliografía. Corresponde a una labor inviable para un análisis a escala de cuenca y escapa de los alcances del proyecto. Además, en el estudio de Doledec et al (2006), se mencionan rangos de preferencia de las especies bentónicas en torno a los 0,25 y 0,80 m/s. Estas condiciones de velocidad, resultan bastante menos restrictivas que los caudales y alturas de escurrimiento que requieren las especies de fauna íctica en general. Al tener velocidades mayores a los 0,80 m/s en el cauce, siempre existirán zonas en la sección transversal, en particular en las orillas, en donde se tendrán velocidades

bajas, y considerando la heterogeneidad de la morfología del cauce, se tienen en un mismo tramo, zonas de altas y bajas velocidades a escala de microhábitat.

Por lo anteriormente descrito, para la determinación de las condiciones hidráulicas del río que garanticen un desarrollo ecosistémico completo, se utiliza la fauna íctica como indicador, por ser la única categoría de especie que depende directamente de las condiciones hidráulicas del río, tales como velocidad y profundidad, para el desarrollo de su hábitat a una escala de tramos y no microhábitat. De la información de especies de fauna íctica localizada en el río Loa descritas en el acápite 3.2 (OE-1), solo se recopiló información de las especies *Oncorhynchus mykiss* y *Basilichtys Semotylus.* La primera, que corresponde a una especie introducida, se considera por estar relacionada con el servicio ecosistémico de aprovisionamiento por pesca para la comunidad. La segunda en cambio, corresponde a la única especie de fauna íctica nativa identificada en el río Loa y que se encuentra en peligro de extinción.

Dada la escasa información de curvas de preferencia para ambas especies de peces, se llevó a cabo una revisión bibliográfica de información referente a las preferencias de hábitat de éstas. Luego, se digitalizaron las curvas de preferencia encontradas para los distintos rangos etarios de las especies para los parámetros de velocidad y altura de escurrimiento, para posteriormente elegir la que represente de mejor manera las preferencias según las geometrías hidráulicas del río.

4.4.3.1.1 Oncorhynchus mykiss

4.4.3.1.1.1 Revisión de información

- ***"Simulating Spawning and Juvenile Rainbow Trout (Oncorhynchus mykiss) Habitat in Colorado River Bases on High-Flow Effects"*, Yao et al. 2017, Water*:*** Los autores propusieron un modelo para evaluar los efectos de crecidas en la velocidad del río, profundidad, cambio de sustrato de fondo, distribución de temperatura y, en consecuencia, como se ven afectados los hábitats de los rangos etarios de desove y juvenil de la trucha arcoíris, aguas abajo de la "*Presa del Cañón Glen"*. Para esto, simularon la altura, velocidad y distribución de temperatura del flujo mediante un modelo 2D de altura promedio CFD (*"Computational Fluid Dynamics"*), que, en conjunto con las curvas de preferencia, se utilizaron para estimar valores del área ponderada usable (WUA) y el índice de idoneidad general (OSI), para así obtener la sensibilidad del hábitat en el área de estudio. Las curvas de preferencia fueron extraídas de un estudio específico realizado en el Río Colorado por Jowett et al. (2007), seleccionando solo 4 parámetros de interés que afectan el hábitat: altura, velocidad, tipo de sustrato y temperatura.
- ***"Hydraulic Geometry and Longitudinal Patterns of Habitat Quantity and Quality for Rainbow Trout (Oncorhynchus Mykiss)", Laliberte et al. 2013, River Research***

***and Applications*:** Los autores desarrollaron predicciones en calidad y cantidad de hábitat para 3 rangos etarios de la trucha arcoíris, considerando un rango de caudales caracterizados por valores medios anuales entre 1 m^3/s y 50 m^3/s. El hábitat físico se generó al anidar un modelo hidrodinámico bidimensional (River2D) dentro de un sistema de geometría hidráulica, utilizando coeficientes publicados para cuencas de baja y alta pendiente. Con los resultados de profundidad, altura y curvas de preferencia, se obtuvieron predicciones del área ponderada útil (WUA) y de la proporción de perfil del río que presentaría condiciones óptimas de habitabilidad. Las curvas de preferencia consideradas se obtuvieron del estudio realizado por Addley et al. (2003) para 3 rangos etarios de la trucha arcoíris: "Young of the year" (YOY), juvenil y adulto, para los parámetros de altura y velocidad.

- ***"Hydraulic geometry as a physical template for the River Continuum: application to optimal flows and longitudinal trends in salmonid habitat"***, **Rosenfeld et al. 2007, NRC Research Press:** Los autores evaluaron si las relaciones de geometría hidráulica pueden usarse como modelo físico para predecir tendencias longitudinales en la disponibilidad del hábitat y en los flujos óptimos para diferentes rangos etarios de la trucha arcoíris. Las curvas de preferencia consideradas fueron las obtenidas por Raleigh et al. (1984) para los estadios de alevín, juvenil, adulto y desove de la trucha arcoíris, para los parámetros de altura y velocidad.
- ***"Generalized instream hábitat models" Lamouroux N. and Jowett I., 2005, NRC Research:*** Estudios realizados en Francia sugieren que se pueden obtener valores de hábitat ponderado en función del caudal, usando datos hidráulicos simplificados. Los autores sometieron a prueba esta afirmación utilizando 99 secciones de río y 9 taxas acuáticas en Nueva Zelanda. Los resultados de los modelos de hábitat generalizados predicen valores similares a los predichos por los modelos convencionales de datos hidráulicos simplificados.

4.4.3.1.1.2 Curvas de preferencia digitalizadas

Las distintas curvas de preferencia de hábitat para los parámetros de altura y velocidad de escurrimiento, en los rangos etarios de alevín, juvenil, adulto y desove, se adjuntan desde la Figura 4.101 a la Figura 4.104.

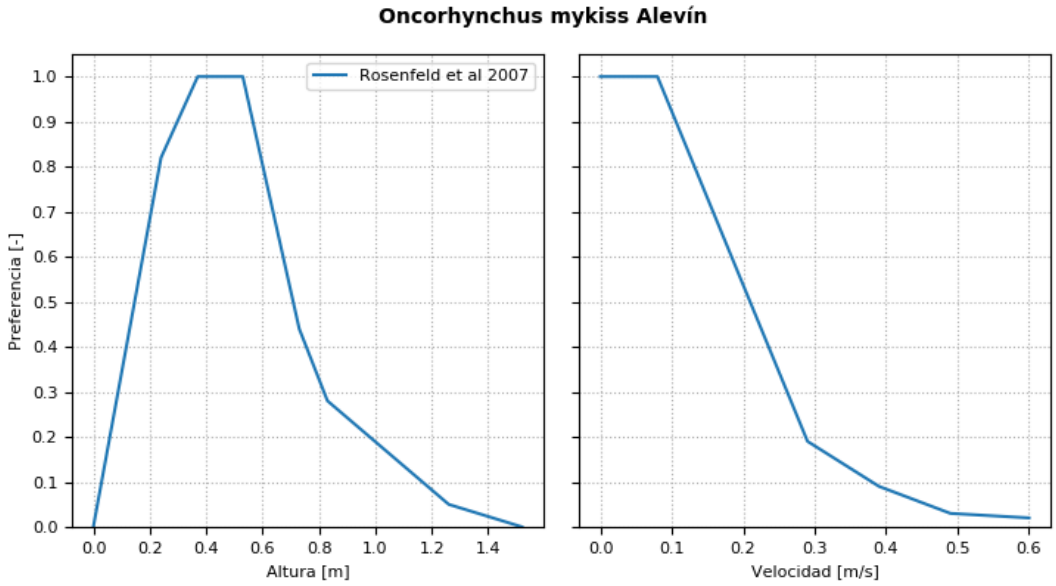


Figura 4.101: Curvas de preferencia de altura y velocidad, recopiladas para el Oncorhynchus mykiss en la etapa de alevín.

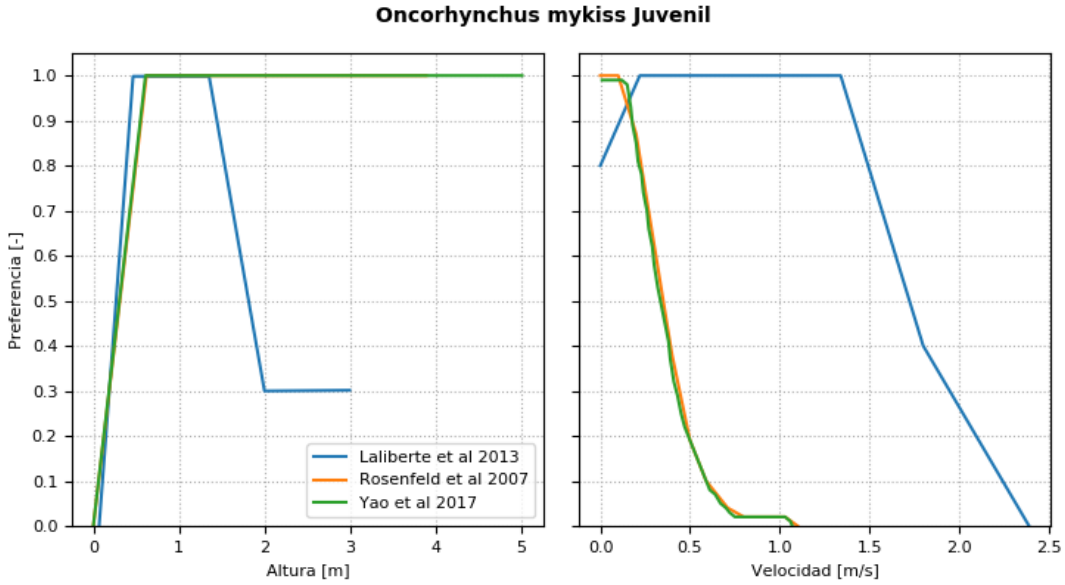


Figura 4.102: Curvas de preferencia de altura y velocidad, recopiladas para el Oncorhynchus mykiss en la etapa juvenil.

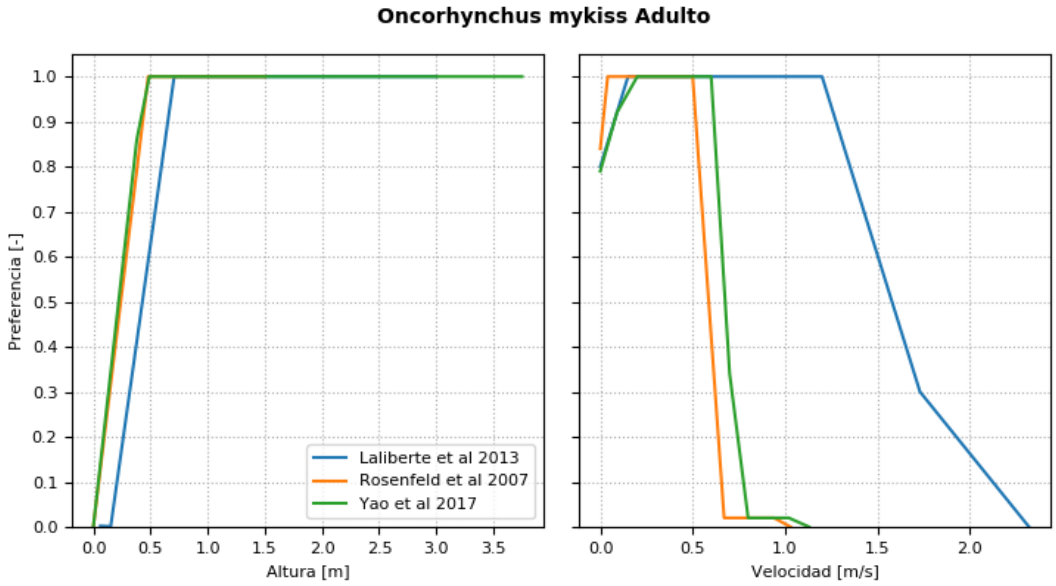


Figura 4.103: Curvas de preferencia de altura y velocidad, recopiladas para el Oncorhynchus mykiss en la etapa adulta.

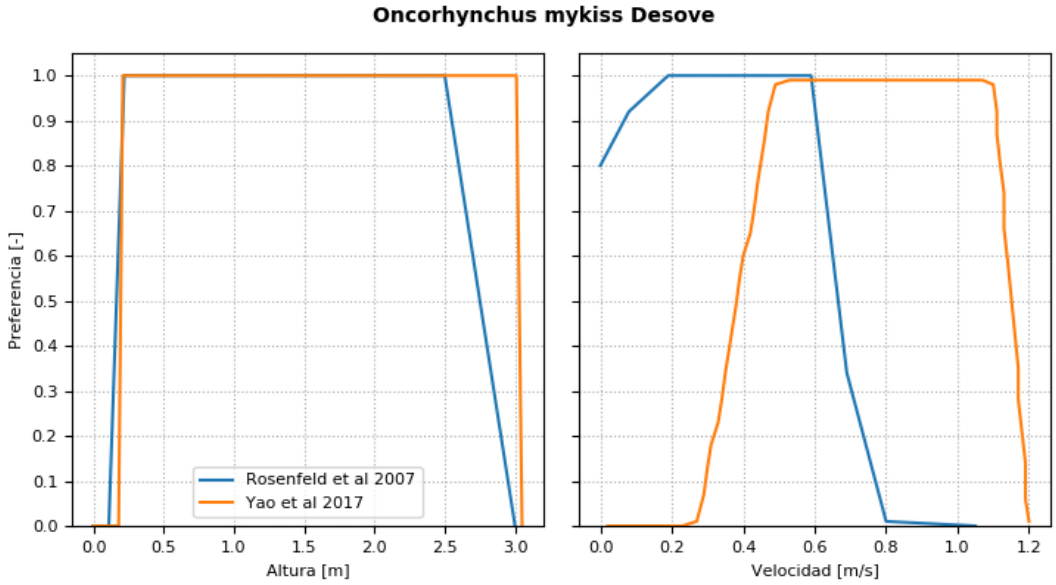


Figura 4.104: Curvas de preferencia de altura y velocidad, recopiladas para el Oncorhynchus mykiss en la etapa de desove.

Se consideró las curvas de preferencia presentadas por Rosenfeld et al (2007) como representativas de las preferencias de la Trucha Arcoíris a analizar, debido a que es el único autor de la recopilación de información que presenta curvas de preferencia para la etapa de alevín, por lo que, al considerar las curvas de preferencia en el resto de las etapas de vida de la trucha del mismo autor, se está respetando considerar las características de la misma muestra.

4.4.3.1.2 Basilichthys Semotylus

4.4.3.1.2.1 Revisión de información

- **"Determinación de caudales ecológicos en cuencas con fauna íctica nativa y en estado de conservación", DGA-CEA, 2008:** Se propuso un modelo conceptual para determinar el caudal ecológico de un río, incorporando un enfoque multiescalado y jerárquico. Para la evaluación de hábitat, se utilizó una nueva metodología en la obtención de curvas de preferencia, incorporando el análisis de la respuesta metabólica de los individuos ante los cambios de velocidad. Esta metodología fue aplicada en las cuencas del río Choapa (Norte), cuenca del río Bíobío (Centro) y cuenca del río San Pedro (Sur). En la cuenca norte se estudió el Pejerrey (*Basilichthys microleptidus*).

4.4.3.1.2.2 Curvas digitalizadas

Dado que la revisión de información no da cuenta de las curvas de preferencia para el *Basilichtys Semotylus*, se opta por una aproximación de estas a partir de la utilización de las condiciones hidráulicas del río en los sectores donde fue avistada la especie (Acápite 3.2 (OE-1)). Para esto, se desarrolla una modelación hidráulica en HEC-RAS con los caudales aforados en cada una de las áreas de evaluación, de manera que aquellas áreas donde se avistó la especie, son aquellas donde las condiciones hidráulicas generan sectores habitables para esta. Es con estas condiciones hidráulicas que se desarrollan histogramas de caudal vs profundidad y caudal vs velocidad para la especie, los cuales se aproximan a las curvas de preferencia de la especie, como se muestra en la Figura 4.105.

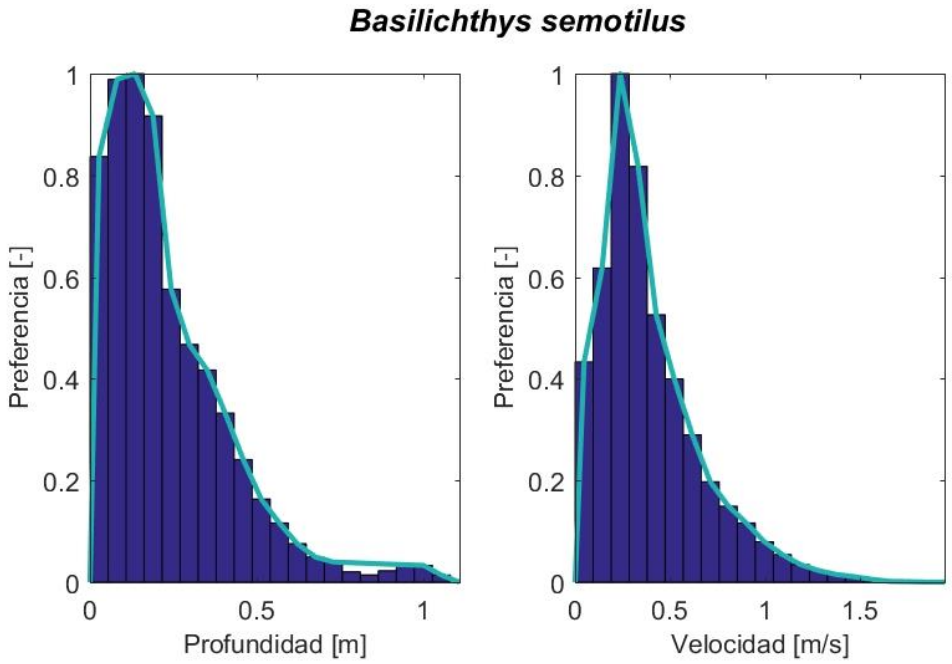


Figura 4.105: Curvas de preferencia de altura y velocidad, recopiladas para el Basilichthys Semotilus.

4.4.3.2 *Usos y Servicios Ecosistémicos en la cuenca*

De acuerdo con la revisión de antecedentes teóricos, se plantea como definición conceptual de los servicios ecosistémicos (SE) del río, a aquellos que brindan los ecosistemas: protección de la biodiversidad y conservación de los hábitats acuáticos, belleza escénica o paisajismo y el turismo asociado. La clasificación CICES propone tres categorías de servicios ecosistémicos, los cuales corresponden a:

- Servicios de aprovisionamiento
- Servicio de mantención o regulación
- Servicios culturales

Dentro de cada una de estas categorías se puede discriminar entre servicios bióticos y abióticos.

En el Capítulo 5: "Desarrollo OE-3" de este estudio, se realiza la identificación de los servicios ecosistémicos, los cuales se resumen a continuación:

Tabla 4.61. Consolidación de Servicios Ecosistémicos proporcionados por la cuenca del Río Loa.

Categoría	Ítem de consolidación	Clase CICES v 5.1
APROVISIONAMIENTO	Uso productivo agrícola	Plantas terrestres cultivadas (incluyendo hongos, algas) cultivadas con fines nutricionales
		Fibras y otros materiales de plantas cultivadas, hongos, algas y bacterias para uso directo o procesamiento
		Plantas cultivadas (incluyendo hongos, algas) cultivadas como fuente de energía
	Uso productivo pecuario	Animales criados para proporcionar nutrición.
		Fibras y otros materiales de animales criados para uso directo o procesamiento (excepto materiales genéticos)
		Animales criados para proporcionar energía (incluyendo mecánica)
	Agua potable	Agua de superficie para beber.
	Agua uso industrial	Aguas superficiales utilizadas como material (no para bebida)
	Agua generación de energía	Agua superficial de agua dulce utilizada como fuente de energía.
	Agua potable	Agua subterránea para beber
	Agua uso industrial	Agua subterránea utilizada como material (no para bebida)
	Agua generación de energía	Agua subterránea utilizada como fuente de energía.
	Ítem de consolidación	Clase CICES v 5.1
SERVICIOS DE MANTENCIÓN O REGULACIÓN (Biótico)	Depuración de residuos o basuras.	Bio-remediación por microorganismos, algas, plantas y animales.
	Secuestro y almacenamiento de carbono	Filtración / secuestro / almacenamiento / acumulación por microorganismos, algas, plantas y animales.
	Moderación de fenómenos extremos	Ciclo hidrológico y Regulación del flujo de agua (incluido el control de inundaciones)
	Moderación de fenómenos extremos	Protección contra incendios
	Polinización	Dispersión de semillas

Categoría	Ítem de consolidación	Clase CICES v 5.1
	Control biológico de plagas	Mantención de poblaciones y hábitats de viveros (incluida la protección de la reserva genética)
	Clima local y calidad del aire	Procesos climáticos y su efecto en la calidad del suelo.
	Prevención de la erosión y conservación de la fertilidad del suelo	Procesos de descomposición y fijación y su efecto en la calidad del suelo.
	Secuestro y almacenamiento de carbono	Regulación de la condición química de las aguas dulces por procesos vivos.
	Clima local y calidad del aire	Regulación de la composición química de la atmósfera.
	Clima local y calidad del aire	Regulación de la temperatura y la humedad, incluyendo ventilación y transpiración.
	Ítem de consolidación	Clase CICES v 5.1
REGULACIÓN Y MANTENCIÓN (Aiótico)	Depuración de residuos o basuras	Dilución por los ecosistemas marinos y de agua dulce.
	Depuración de residuos o basuras	Mediación por otros medios químicos o físicos (por ejemplo, mediante filtración, secuestro, almacenamiento o acumulación)
	Regulación de los flujos de agua	Flujos de líquidos
	Depuración de residuos o basuras	Mantenimiento y Regulación por procesos químicos y físicos naturales inorgánicos.
CULTURAL (Abiótico)	-	Características naturales, abióticas de la naturaleza que permiten interacciones físicas y experienciales activas o pasivas.
	-	Características naturales, abióticas de la naturaleza que permiten interacciones intelectuales.
	-	Características naturales, abióticas de la naturaleza que permiten interacciones espirituales, simbólicas y otras.
	-	Características naturales, abióticas o características de la naturaleza que tienen un valor de existencia o legado

4.4.4 Etapa 4: Definición de ecosistemas en condición de referencia (“natural”) y actual

4.4.4.1 *Aproximación Metodológica para las “Condiciones de Referencia”*

La gestión de los recursos hídricos en Chile ha estado orientada principalmente a los cursos de agua permanentes y de uso no consuntivo. De acuerdo con los antecedentes entregados en acápites anteriores, el desarrollo de la evaluación del estado ecológico y la determinación de caudales ambientales, definidos como la fuerza motora fundamental para la determinación de la integridad de los ríos y su biodiversidad, puede desarrollarse en consideración de algunas aproximaciones más innovadoras y que incorporan de mejor manera ríos afectados por usos no consuntivos y consuntivos.

Para el desarrollo de las evaluaciones ambientales del caudal se propone:

i) Definir la condición de ecosistemas históricos, concepto subyacente al desarrollo de las líneas base y condiciones de referencia, usadas en los estudios de impacto ambiental y así evaluar los cambios potenciales de la biodiversidad y servicios ecosistémicos. En este

concepto subyace también la idea de estabilidad y resiliencia de los ecosistemas, para retornar a un estado estable en el ambiente.

ii) Definir la condición de ecosistemas en ríos regulados y con desviaciones de parte de su caudal, pudiendo retornar a un estado ecológico que se aproxime a las condiciones históricas de los ecosistemas.

iii) Planteamiento de metas u objetivos ***mínimos*** para mantener la biodiversidad actual y los niveles de servicios ecosistémicos que hoy proveen los ríos, dado que es posible que algunos ecosistemas no puedan retornar a sus estados históricos.

iv) Analizar la biodiversidad y funcionamiento ecosistémico de los ríos mediante el uso de modelos conceptuales o hipótesis reconocidas en el ámbito de la ecología, que permitan explicar las respuestas potenciales de los sistemas fluviales desde un punto de vista ecológico.

El esquema permite relacionar el caudal, objeto de las demandas de uso del agua de los ríos, con las hipótesis de funcionamiento de los ríos como ecosistemas y de su biodiversidad, aceptadas en el ámbito de la ecología.

La descripción ecológica podría ser establecida en un documento denominado "modelo de referencia que sintetiza toda la información que es necesaria para el diseño y planificación de un proyecto de restauración (Clewell & Aronson, 2013.)

En Chile, la información de los ríos como ecosistemas tiene un desarrollo reciente, y solamente en la última década se ha desarrollado investigación desde el punto de vista biológico, y más recientemente desde el punto de vista ecológico. Por otra parte, la información de los aspectos hidrológicos se ha centrado especialmente en el registro de los caudales para su uso. El Ministerio de Obras Públicas (MOP), a través de la Dirección General de Aguas (DGA), es el organismo que registra los caudales para otorgamiento y administración de derechos de agua según tipo y uso.

En este contexto de información en Chile, y los antecedentes teóricos indicados anteriormente, es conveniente definir una aproximación a las condiciones de referencia de los ecosistemas de ríos, basados en el caudal ambiental, como un aspecto fundamental. Esto significa que los datos de caudales de los ríos, son básicos para desarrollar una aproximación de "caudales naturalizados" como condición de referencia de los ecosistemas. Simultáneamente, considerar la información de grupos de organismos que se usan como descriptores de la condición del río, como son los peces, macroinvertebrados bentónicos, diatomeas y plantas de la vegetación ripariana, todos conforman los componentes bióticos de los ecosistemas. Estos grupos se caracterizan en función de su composición y abundancia, asociados a características físicas y químicas tanto del caudal

como del sustrato. También pueden incluirse características geomorfológicas del río, tales como la formación de canales y su dinámica.

En Chile, la información referente a las características bióticas de los ríos sin intervención antrópica a lo largo de su eje longitudinal, es escasa. Los datos se han obtenido principalmente en las últimas décadas, y sólo para unos pocos ríos, mucho después que se iniciara el uso consuntivo de agua en sus cuencas. Así, es difícil determinar una "condición de referencia" que se aproxime a un estado natural o con una baja intervención antrópica, o de una condición histórica en relación con estos componentes. Por otra parte, ecológicamente la "condición de referencia" se origina en la idea de un estado estable único y que en la actualidad ha cambiado, aceptándose que pueden existir varios estados estables para un ecosistema. En este contexto de conocimiento, las observaciones actuales difícilmente pueden ser usadas como representativas de las condiciones no perturbadas o mínimamente perturbadas o históricas. Entonces, se propone considerar el estado actual, como un punto en un gradiente de cambio temporal de los ecosistemas ribereños. En los casos que existiera información documentada (descripciones pasadas), ella podría considerarse como (o parte de) la "condición de referencia". Por otra parte, los ecosistemas cambian a lo largo del eje longitudinal del río, tal como ha sido propuesto por la idea del "río continuo" (Vannote et al 1980), lo que implica obtener para varias localidades los antecedentes para establecer las "condiciones de referencia" respectivas de esos ecosistemas.

Dado que la aproximación de "condiciones de referencia" asume o supone un estado de estabilidad único de los ecosistemas, y la evidencia actual es que más bien ocurren múltiples estados estables, es más apropiado considerar que existen varios estados, que son fuertemente dependientes del "régimen de caudal actual". En relación con las características abióticas de los ríos, las condiciones de referencia pueden ser aspectos como el sustrato, propiedades fisicoquímicas del agua o el caudal con sus distintos componentes. Dada la existencia de registros de caudal, al menos de algunas décadas y en los principales ríos de Chile, sería conveniente usar el "régimen del caudal" como la variable con más información y establecer con ella una condición de referencia. En el caso que existan antecedentes sobre los componentes biológicos, se pueden establecer "condiciones de referencia" para grupos de organismos como peces, macrófitas, macroinvertebrados y diatomeas bentónicas.

4.4.4.1.1 Área de los Ecosistemas, Especies y Hábitat

Dada la importancia del caudal en los ecosistemas de ríos, el régimen del caudal es determinante para el área (espacio) que ocupan los ecosistemas a lo largo de los ejes longitudinales y laterales en los cursos de agua. Así, desde el punto de vista espacial, los ecosistemas tienen una extensión en concordancia con el régimen del caudal. Los cambios en el caudal pueden afectar la distribución de especies acuáticas como peces, macroinvertebrados, microalgas y vegetación ripariana. Por otra parte, el régimen del

caudal y las características físicas y químicas del agua, determinan la presencia de las especies acuáticas y, en consecuencia, su distribución espacial. La expresión espacial de las propiedades que determinan la presencia de las especies o grupos de especies, representan el *área del hábitat* para esos organismos.

Entonces, cambios en el régimen del caudal natural afectan la extensión o área de los ecosistemas y de las especies, teniéndose que distintos escenarios de caudal o del régimen del caudal, pueden proveer una "condición de referencia" de los ecosistemas y de la extensión del área de distribución de las especies a lo largo de los ríos.

Lo anterior permitirá estimar la distribución espacial de las especies en los ecosistemas acuáticos y riparianos, y sus localizaciones espaciales en función de sus características de hábitat en cada escenario, tomándose como condición de referencia la composición de especies presentes, e incluyendo aquellas especies posibles de estar presentes tanto en el eje longitudinal como lateral del río, en función de las características del hábitat de ellas, con la información actual disponible.

En términos prácticos, con la actual distribución de especies a lo largo del sistema, entendidas ellas como constitutivas de los ecosistemas y como "condición de referencia" del estado del mismo, se asumirá la posible expansión, contracción y/o desplazamiento de los espacios hoy por ellas ocupados, ante cambios en los caudales pasantes o régimen del caudal.

Con lo anterior, se utilizará la condición de referencia del caudal (naturalizado) para determinar la localización aproximada de los ecosistemas de referencia (distribución y o área del hábitat de las especies). Este resultado será comparable contra la condición dada por el régimen de caudal actual o cualquier otro escenario futuro propuesto.

Es esta condición de referencia (dada por el caudal, la distribución de especies y la condición del hábitat para ellas) la que será utilizada para la definición del régimen de caudal ambiental.

Finalmente, la evaluación del estado del sistema se basará en evaluar tanto la condición de las diferentes especies como la distribución de ellas, pudiéndose evaluar y comparar los diferentes escenarios (inclusive escenarios futuros de gestión).

4.4.4.2 *Determinación de Áreas de Evaluación de la Condición (AEC)*

Considerando la existencia de una definición para el tipo y extensión de los ecosistemas potenciales a lo largo del río, en cada uno de ellos se deberán identificar (definir) las áreas relevantes para el análisis. Así, similar al concepto de "Áreas de Importancia Ambiental" (AIA) definido en la Guía metodológica del SEA (2016), se deberán seleccionar las "Áreas para la Evaluación de la Condición" (AEC). Ellas corresponderán a tramos de río que sean característicos de los ecosistemas identificados, y en los cuales se desarrolla tanto la biota

(símil a "Área de Importancia Ecológica"-AIE en SEA, 2016) como los servicios ecosistémicos (símil a "Área de Uso Antrópico"-AUA en SEA, 2016). Estas áreas deben ser individualizadas, georreferenciadas y mapeadas, de forma de identificarlas de forma clara dentro de la cuenca.

Los sectores relevantes para el desarrollo de la biota, primera componente de las AEC, son aquellos que mantiene la heterogeneidad de hábitats del sistema fluvial, permitiendo conservar la biodiversidad del ecosistema. Éstas deben ser identificadas en base a la definición de ecosistemas y la caracterización del sistema. Producto de la extensión del río en estudio, será necesario definir varias AEC y considerando las singularidades del río que logran modificar las condiciones de hábitat y el desarrollo de diferentes ecosistemas. Las singularidades que pueden existir en el río incluyen a todas aquellas que puedan generar un cambio brusco en el sistema, como por ejemplo, un afluente que genera un aumento significativo de caudal y provoca un cambio en la dinámica fluvial, o un cambio brusco de pendiente que desconecte el flujo o cambie el régimen del flujo (p.ej. de torrente a río).

Uno de los criterios posibles de ser utilizados en la definición de las áreas de evaluación, podrá ser la potencial presencia de especies (biota) en él, las que pueden corresponder a especies de la fauna íctica o microinvertebrados, como también a plantas acuáticas. En particular, las especies de fauna íctica corresponderán al primer criterio de selección de especies para los estudios de caudal ambiental, similar a lo definido en la Guía del SEA (2016), lo cual es debido a la importancia que poseen en la ecología acuática por su rol de animales estructuradores del ecosistema y por presentar mayores requerimientos de caudal (por lo que satisfarían los requerimientos de otras especies como invertebrados) (SEA, 2016). Cabe señalar que dentro de la fauna íctica, tomarán relevancia aquellas especies que se encuentren con algún grado de protección y/o endemismo.

Complementariamente, parte de las AEC seleccionadas deberán dar cuenta de los servicios ecosistémicos provistos por el sistema, y en el caso en que ellos sean demasiados, podrán seleccionarse zonas donde se concentren varios servicios y/o se encuentren los más relevantes. Como criterios mínimos para la selección e inclusión de sectores en la evaluación, se deberá considerar el incluir los AEC que den cuenta de los hábitats de especies en categoría de conservación, zona del río que son utilizadas para actividades culturales y/o religiosas; y zona con uso del agua para aprovisionamiento, entre otras.

La primera aproximación para la determinación de las áreas relevantes y que son utilizadas para enfocar el estudio (recopilación y levantamientos de terreno) en los distintos tramos de la cuenca del río Loa, se realiza en función de los servicios ecosistémicos reconocidos. A partir de esto y considerando el análisis regional de presiones sobre el sistema, presentado en el Capítulo 3: "Desarrollo OE-1" de este informe, se pudo reconocer zonas en las cuales los servicios ecosistémicos se presentan con mayor concentración.

Por otro lado, se priorizó el servicio ecosistémico relacionado al hábitat de fauna acuática, debido a que, según la recopilación de antecedentes, se ha evidenciado la presencia de especies nativas amenazadas. En la Tabla 4.62, se presentan las especies recopiladas, tanto de los terrenos realizados como de antecedentes de otros estudios. A partir de esta última fuente se reconoció las especies *Basilichthys semotilus* (Pejerrey del norte grande), Mugil cephalus (Lisa) y Cryphiops caementarius (Camarón de río del Norte de Chile), sin embargo, solo el *Basilichthys semotilus* ha sido encontrado en las campañas de terreno que se han llevado a cabo a la fecha. Además, en las campañas de terreno llevadas a cabo, se ha podido encontrar Oncorhynchus mykiss (Trucha arcoiris) y Gambusia affinis (Pez mosquito), ambas especies introducidas.

Tabla 4.62. Fauna acuática localizada en el río Loa

Nombre Científico	Nombre Comun	Categoría	Estado de Conservación	Observada en terrenos del estudio
Basilichthys semotilus	Pejerrey del norte grande	Endémica	En Peligro	Sí
Mugil cephalus	Lisa	Nativa	Preocupación menor	No
Cryphiops caementarius	Camarón de río del Norte de Chile	Nativa	Vulnerable	No
Oncorhynchus mykiss	Trucha arcoiris	Introducida	Sin categoría	Sí
Gambusia affinis	Pez mosquito	Introducida	Sin categoría	Sí

Además de las especies acuáticas presentadas en la Tabla 4.62, existen otras especies con categoría de conservación que podrían encontrarse en la cuenca, tales como los anfibios presentados en el Capítulo 3: “Desarrollo OE-1”. Entre ellos se encuentra la especie endémica *Telmatobius dankoi* que solo ha sido encontrada en el sector de Ojo de Opache en las cercanías de Calama. Cabe señalar que los ejemplares presentes en Ojos de Opache fueron introducidos por medio del rescate de los individuos provenientes del hábitat natural original, el sector de la vertiente Las Cascadas, a unos 250 metros al norte del río Loa.

Para la selección de las AEC, se consideran los siguientes criterios:

- Relevancia ecológica e hidrológica
- Relevancia por desarrollo de actividades socio-productivas

Respecto a la relevancia ecológica se considera aquellos lugares donde hay antecedentes de presencia de fauna íctica nativa o endémica. También se consideran zonas donde existen acuíferos protegidos, ya que al tener mayor caudal superficial pasante hay una mayor infiltración y por ende se contribuye a su recarga, sin embargo, se considera como externalidad positiva, ya que no es determinante de la selección de las AEC. Según este criterio se seleccionan las AEC de Lasana, Chiu Chiu, Coya y Quillagua (ver Tabla 4.63).

Respecto a la relevancia por actividades socio-productivas, se consideran zonas en las cuales se concentra el desarrollo de agricultura y ganadería como actividades productivas asociadas a derechos de aguas otorgados. También se consideran los lugares que ofrecen servicios ecosistémicos culturales, recreativos o de interés turístico, tal como se reconocen y mapean en el Capítulo 5, de los cuales destacan zonas de camping, balnearios, sitios de ceremonias culturales. Según este criterio se seleccionan las AEC de Palpana, Calina, Lasana, Chiu Chiu, Ayquina, Calama (alto, medio y bajo), Coya y Quillagua (ver Tabla 4.63).

En el documento "Diagnóstico y Evaluación (2002-2015) de la Estrategia Regional y Plan de Acción para la Conservación y Uso Sustentable de la Diversidad Biológica de la Región de Antofagasta, los autores Villablanca & Ibarra (2015) se realiza una revisión sobre conservación de la biodiversidad, considerando especies en categoría de conservación, ecosistemas relevantes, vacíos de representatividad y áreas prioritarias. Respecto a estas últimas se consideran las áreas prioritarias, para las cuales las AEC de Palpana y las de Calama las consideran.

En cuanto a las AEC seleccionadas, en la Figura 4.106 se presenta su ubicación en la cuenca del río Loa.

Tabla 4.63. Áreas de importancia ambiental propuestas

Nombre AEC	Río	Subcuenca	Longitud [m]	Motivo	Fauna acuática relevante
Palpana	Loa	Alta	1385	Bajo acuifero protegido (Chela), arriba zonas interes turistico (Lequena), extracción agua potable	*Oncorhynchus mykiss* (Observada en terreno)
Calina	Loa	Alta	2950	Acuifero protegido, riego	*Oncorhynchus mykiss* (Observada en terreno)
Lasana	Loa	Alta	5958	Acuifero protegido, riego, derechos de agua, interes turistico	*Basilichthys semotilus* (Revisión bibliográfica)
Chiu Chiu	Loa	Alta	5929	Acuifero protegido, riego, derechos de agua, interes turistico	*Basilichthys semotilus* (Revisión bibliográfica)[11]
Ayquina	Salado	Alta	1718	Acuifero protegido, riego, derechos de agua, interes turistico	-
Calama alto	Loa	Media	4060	Acuifero protegido, riego, derechos de agua, interes turistico	*Basilichthys semotilus* (Revisión bibliográfica)
Calama medio	Loa	Media	6356	Acuifero protegido, riego, derechos de agua, interes turistico	-
Calama bajo	Loa	Media	7971	Acuifero protegido, riego, derechos de agua, interes turistico	*Basilichthys semotilus*, en el sector de la Finca (EIA Lomas Bayas 2019).
Coya	Loa	Media	7990	Derechos de agua, interes turístico/recreativo	*Mugil cephalus* (Revisión bibliográfica) y *Basilichthys semotilus* (Observada en terreno, en río San Salvador en la junta con río Loa)
Quillagua	Loa	Media y baja	5286	Sitio prioritario, Derechos de agua	*Mugil cephalus* y *Basilichthys semotilus* (Revisión bibliográfica)

[11] Antecedentes de avistamientos en Lasana y Chiu Chiu, además de otros sectores, se puede encontrar en MMA, 2015: Fauna íctica continental nativa de Chile.
Se adjunta documento en Anexos Digitales/OE 1 Recopilación y sistematización/ OE1_Referencias.

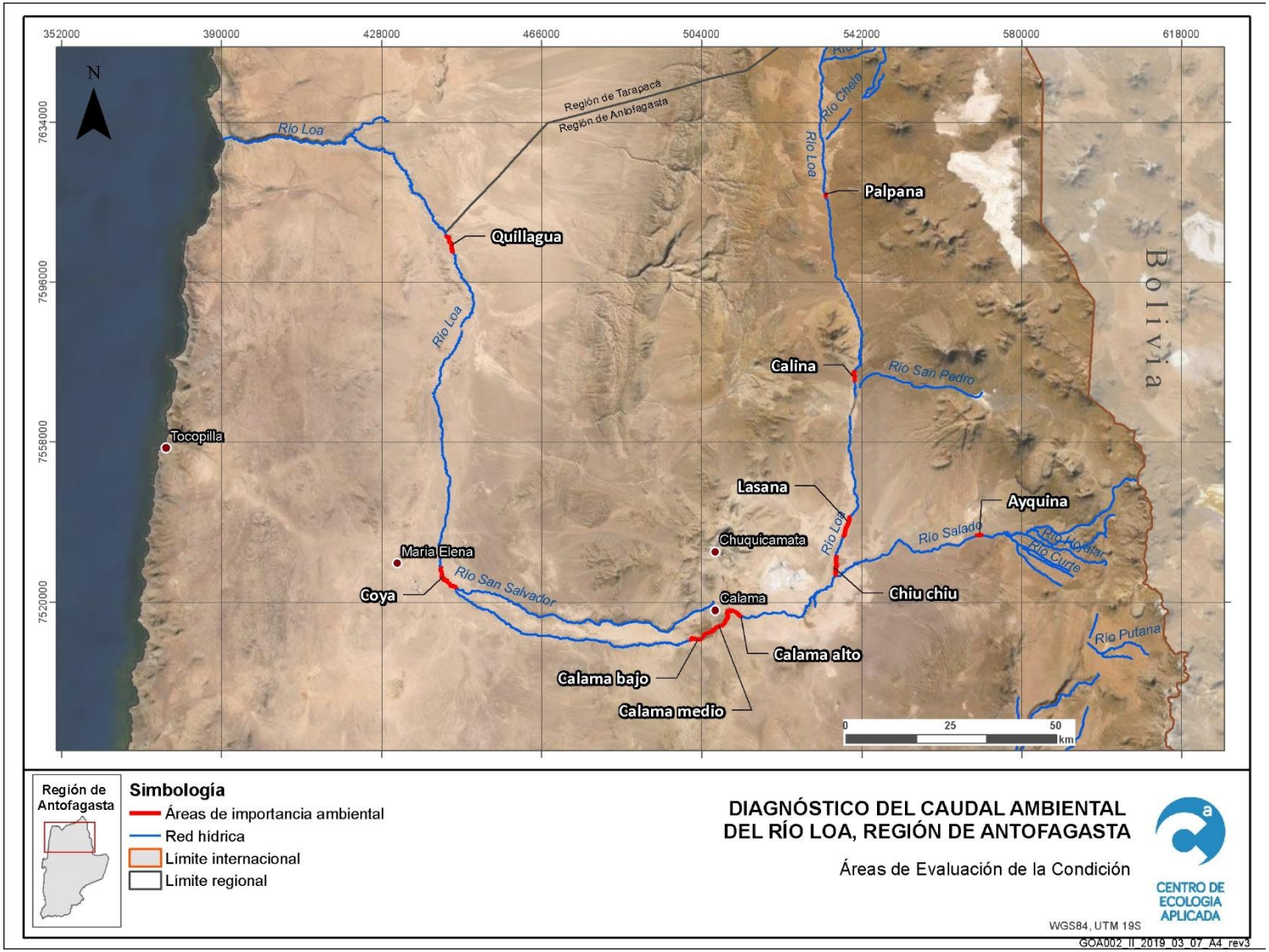


Figura 4.106. Ubicación Áreas de Evaluación de la Condición (AEC)

4.4.5 Etapa 5: Evaluación del estado de hábitat y servicios ecosistémicos en condición “natural”, definición del criterio y estimación del régimen del caudal ambiental

La evaluación del estado del hábitat y de los servicios ecosistémicos del sistema, y la definición de un régimen de caudal ambiental, están enmarcadas en el desarrollo de información y metodología que permitan no solamente realizar una definición estática de sistema, sino que también sirvan como instrumentos para el desarrollo y gestión del río en sí. Es por ello que para poder no solamente evaluar una condición “natural” del sistema, sino que evaluar otras condiciones posibles (actuales y futuras), se considera la utilización de la aproximación al caudal ambiental IFIM (Instream Flow Incremental Methodology). Como es descrito en Stalnaker et al (1995), esta metodología busca integrar el concepto de la planificación de las fuentes de agua, los modelos analíticos de ingeniería hidráulica y de calidad del agua, y de hábitat derivado empíricamente versus funciones de flujo. Esta metodología cuenta en su base con el entendimiento hidrológico del sistema evaluado, permitiendo con ello incorporar en sus bases, las limitaciones en el uso del recurso (disponibilidad).

La metodología produce simulaciones de la cantidad y calidad del "hábitat potencial" resultante del desarrollo del agua propuesto, ilustrados a través de una serie de regímenes de flujo alternativos. Así, los métodos incrementales se convirtieron en herramientas de selección cuantitativa de las alternativas de manejo de las aguas, los que definen la base para la discusión sobre el uso de las aguas y la toma de decisión final sobre ella.

Cabe señalar que la metodología IFIM completa considera un proceso de evaluación de escenarios con todos los usuarios y tomadores de decisiones relacionados al sistema natural evaluado, con lo que el resultado final permite resolver el problema de la gestión integral del recurso (Gopal, 2013). En el presente caso, la consideración de los diferentes usuarios (intereses) es incorporada mediante la evaluación de los servicios ecosistémicos prestados por el río. Un componente importante de IFIM es un conjunto de modelos informáticos llamado Physical Habitat Simulation (PHABSIM), que incorpora hidrología, morfología del río y las preferencias de microhábitat para generar relaciones entre el flujo y la disponibilidad del hábitat (Bovee, 1982).

El uso de la herramienta PHABSIM requiere de información específica de la hidráulica del río, la cual puede ser derivada de diferentes maneras. En el presente estudio el desarrollo de la hidráulica del sistema fluvial es llevado a cabo utilzando el software *HEC-RAS* (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System), que corresponde a un modelo hidráulico unidimensional para el cálculo del eje hidráulico (USACE, 2016). Dentro de las principales características del modelo, es posible indicar que el modelo es aplicable a ríos y canales de régimen subcrítico, supercrítico o régimen mixto. El enfoque base es resolver la ecuación de energía unidimensional, considerando la fricción (Manning), contracciones/expansiones y obstrucciones por elementos típicos en un río, como por

ejemplo, un puente. La geometría del modelo se construye en base a perfiles transversales de topobatimetría, los que son levantados en campañas de terreno y desde otros estudios y literatura existente y específica del sistema. Mediante *HEC-RAS* es posible realizar una interpolación entre los perfiles transversales medidos, con lo que es posible dar continuidad al modelo y completar la información en las zonas intermedias que cuentan con menor información batimétrica.

La modelación del hábitat requerida es realizada en el software PHABSIM (Physical Habitat Simulation), el que permite obtener como producto final el hábitat ponderado útil[12] (llamado WUA por su sigla en inglés "Weighted Usable Area") para distintos caudales de simulación (Milhous y Waddle, 2012). El software se basa en el supuesto de que las especies acuáticas están limitadas por la disponibilidad de hábitat físico, es decir, por las condiciones hidráulicas generadas por el caudal pasante. Así, se combina y cruza la información acerca de la preferencia de condiciones hidráulicas de la especie acuática (curvas de idoneidad) con las condiciones de la hidráulica resultante para distintos caudales, generando como respuesta la idoneidad que tendrá la especie ante las distintas condiciones hidrológicas. En la modelación se utiliza el modelo HABTAE, correspondiente al principal modelo de hábitat disponible en PHABSIM, debido a que este entrega una mayor versatilidad en las simulaciones de hábitat en términos de la velocidad de la corriente.

A diferencia de la modelación hidráulica, el modelo PHABISIM es desarrollado/aplicado de forma separada para cada subtramo del río a evaluar, obteniéndose el hábitat ponderado útil en cada uno de ellos. PHABSIM utiliza los resultados de la modelación hidráulica ejecutada en HEC-RAS y la geometría de las secciones transversales para describir cada tramos o sección, interpretándolo com un agregado de celdas, en cada una de las cuales se conoce la profundidad, la velocidad del escurrimiento y el sustrato para cada condición hidráulica (Figura 4.107).

[12] El hábitat ponderado útil corresponde a una medida creada para dar cuenta del tamaño (espacio) disponible para que las especies evaluadas puedan desarrollarse a un cierto nivel de preferencia.

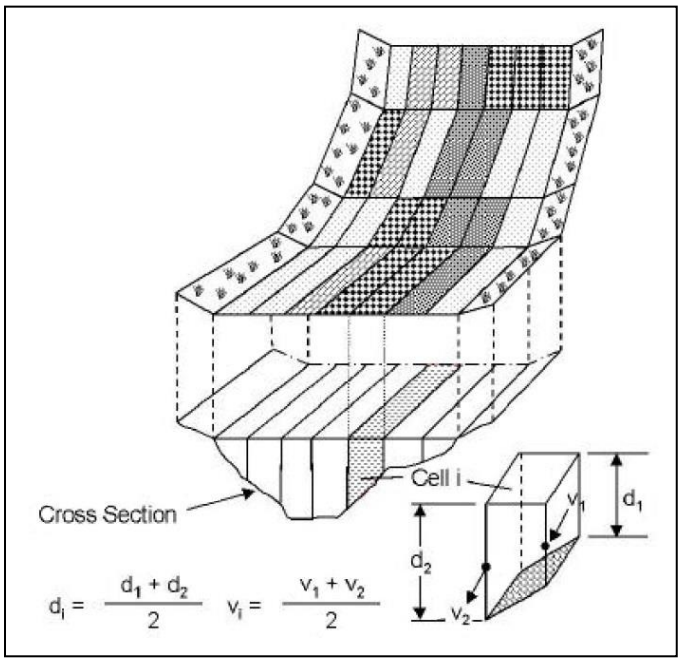


Figura 4.107: Conceptualización de un tramo de río en PHABSIM.

En el esquema de la Figura 4.108 se indican los pasos requeridos en PHABSIM para realizar la modelación. En primer lugar, se ingresarán los datos de geometría y calibración de PHABSIM, donde se incluye la información de las secciones transversales a simular y las velocidades asociadas al caudal de calibración. Esta información se interpola a partir de los datos y resultados del modelo hidráulico. Adicionalmente, se ingresan los caudales de simulación y las curvas de idoneidad a utilizar para cada especie objetivo.

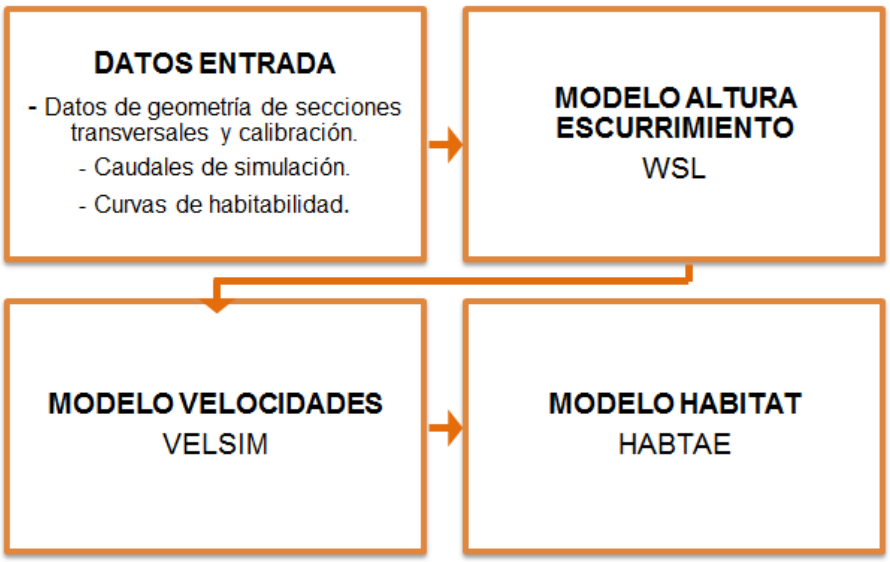


Figura 4.108: Esquema de módulos a ejecutar en PHABSIM.

A continuación, se describe la implemetación de ambos modelos junto resultados obtenidos desde ellos.

4.4.5.1 *Modelo Hidráulico*

El desarrollo del modelo hidráulico del río Loa y sus afluentes, consiste en la simulación y calibración de las características morfológicas, batimétricas e hidráulicas del área de estudio, de las cuales se llevaron a cabo por medio del software Hydrologic Engineering Center y River Analysis System (HEC-RAS) y sus herramientas.

En la etapa de implementación de los atributos morfológicos y georreferenciados del cauce natural de los ríos de estudio, requirió inicialmente le desglose de los respectivos tramos de río que se utilizarán en la modelación (Figura 4.109), por lo que de acuerdo a la red hídrica del área de estudio, disponible por parte de la dirección general de aguas (DGA), se logró importar cada figura con su forma y correcta ubicación por medio de la herramienta "RAS-mapper", la cual permite editar y recalcular los atributos de la figura modificada, con su respectivos reconocimientos de los puntos de unión entre afluentes (Junctions), tal como se ejemplifica en la siguiente ilustración:

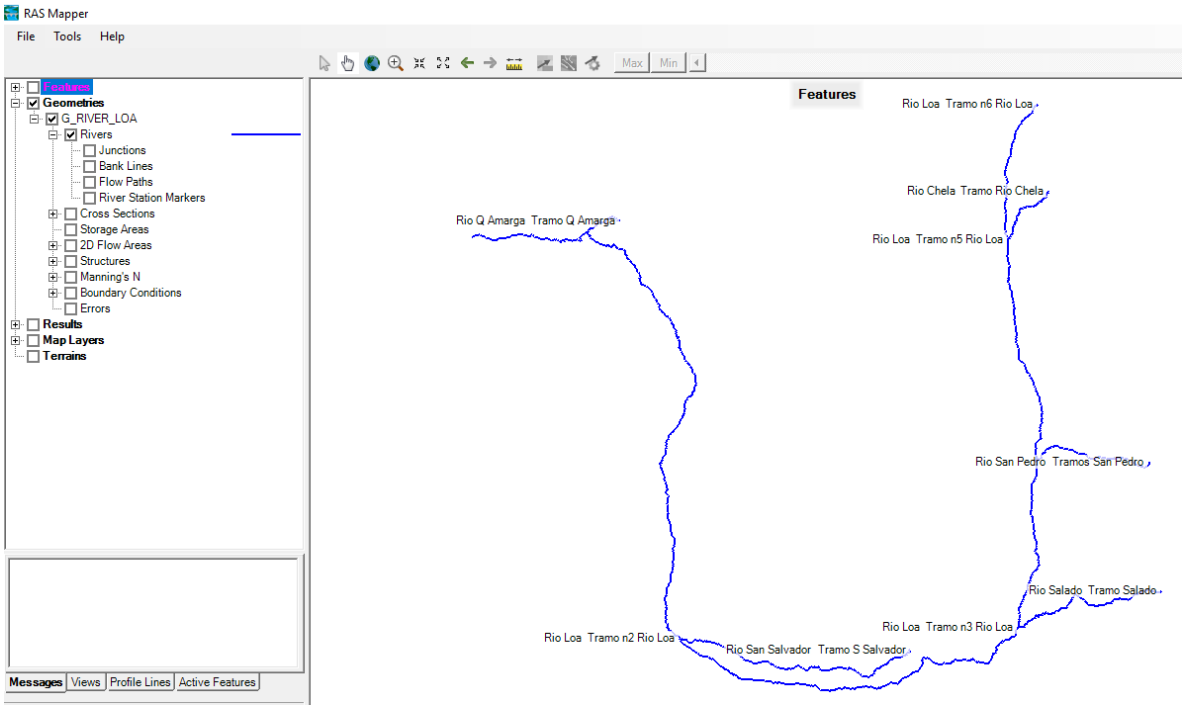


Figura 4.109. Visualización de los tramos de rio, programa HEC-RAS, Herramienta Ras-Mapper

Además, la herramienta permite modificar la georreferencia de cualquier elemento adjunto a la modelación, como es el caso de los perfiles transversales, los cuales derivan de las campañas batimétricas del Centro de Ecología Aplicada (CEA) y por parte la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), para que así, la etapa de implementación finalice con la

visualización del sentido de los cauces, junto con sus respectivos perfiles trasversales de cada tramo de rio de estudio.

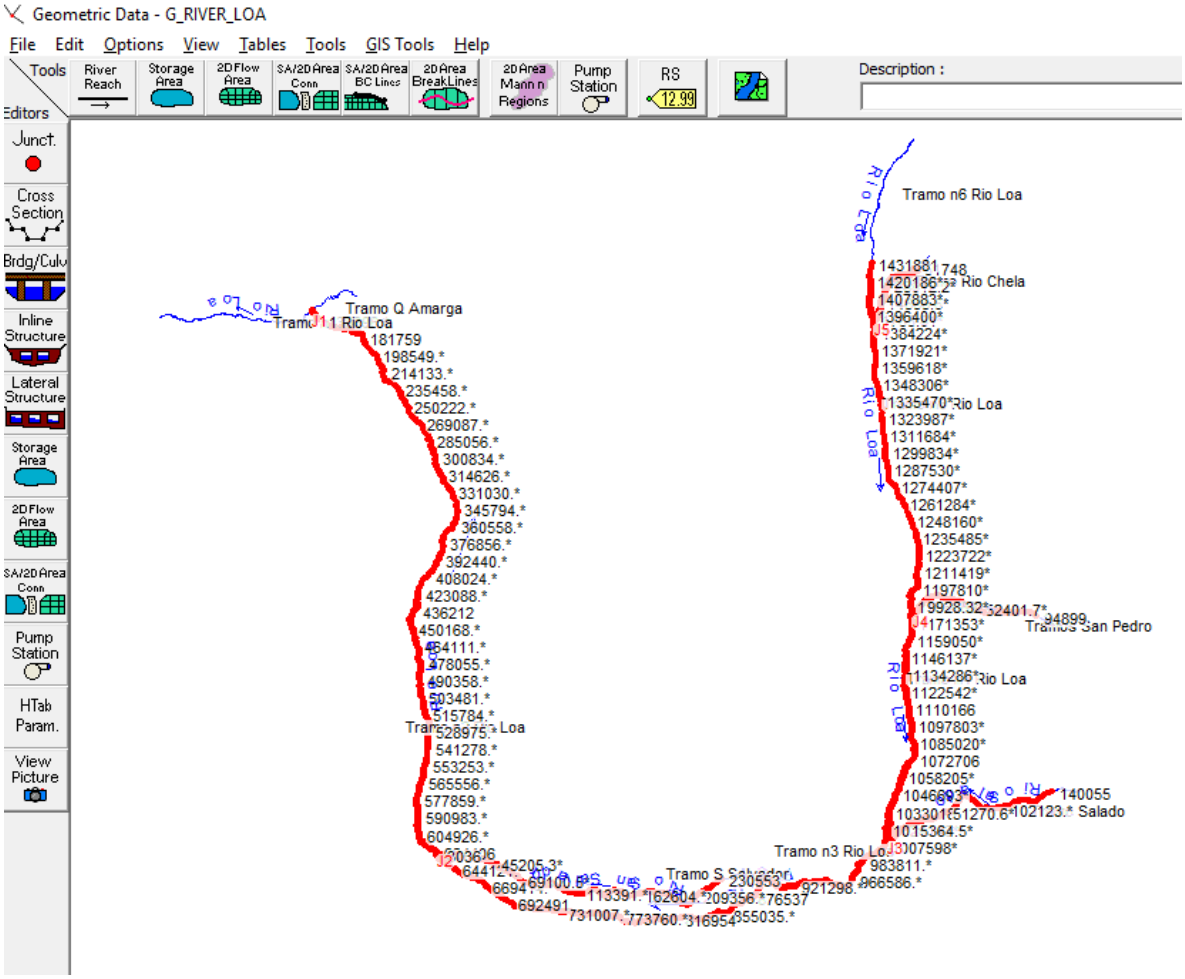


Figura 4.110.. Visualización del área de estudio, Programa HEC-RAS.

Producto a que temporalmente no se dispone de la información sedimentométrica, el régimen que se establece para la modelación es el de flujo permanente, así la simulación entrega ellos niveles de agua de cada perfil ingresado en función de su morfología y características topográficas, tales como la pendiente, además, se puede observar la representación en tres dimensiones de su comportamiento longitudinal (Figura 4.111).

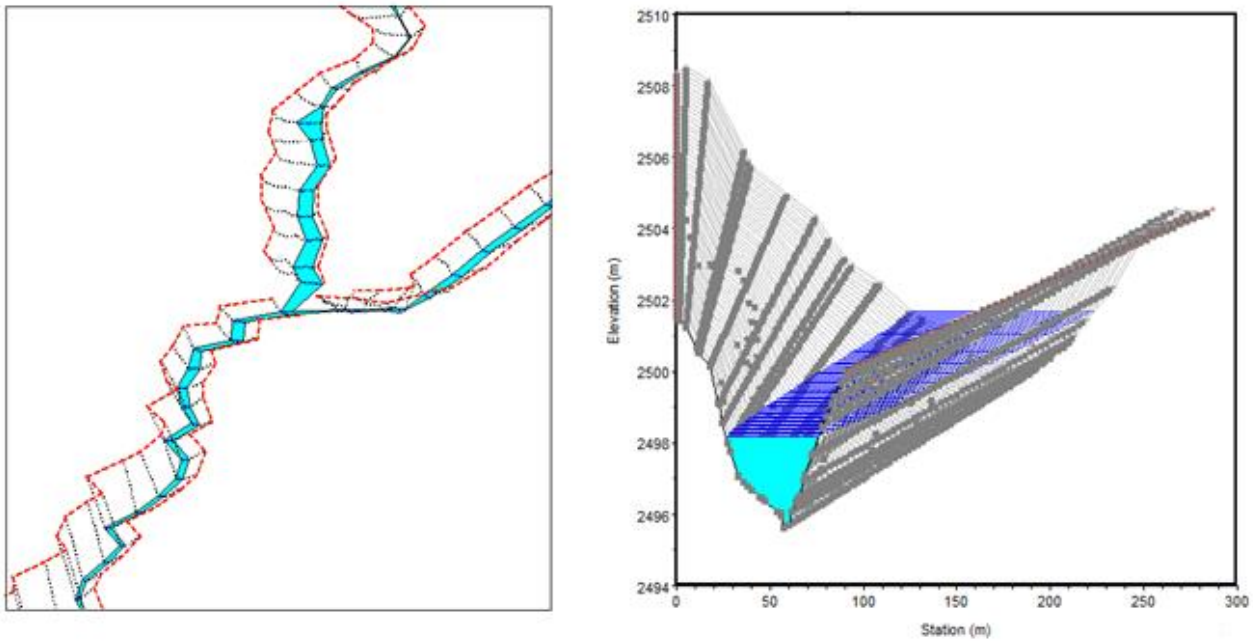


Figura 4.111.. Perfil longitudinal y transversal de un tramo de rio.

El proceso de modelación continúa con la calibración del coeficiente de rugosidad del cauce o coeficiente 'n' de Manning, el cual se obtiene de manera iterativa comparando las alturas de escurriemiento modeladas y medidas en terreno, teniendo como valor inicial, al estimado teóricamente. Para la determinación del coeficiente de Manning inicial para la iteración, se utilizaron los metodos de Cowan y de Jarrett (Mckey, K., Fischenich, C., 2011).

$$n_{Cowan} = m * (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)$$

Donde:

n_{Cowan}: Coeficiente de rugocidad del cauce, metodo de Cowan (1959)
n_b: Valor base del coeficiente de rugocidad asociado a un canal recto y uniforme.
n_1: Factor de corrección de irregularidades de la superficie.
n_2: Factor por variaciones de forma y tamaño de la sección transversal.
n_3: Factor por el nivel de obstrucciones en el cauce.
n_4: Factor por el área de vegetación.
m: Factor de correción por caracteristicas meandricas del canal.

$$n_{Jarret} = 0.32 * {S_F}^{0.38} * {R_h}^{-0.16}$$

Donde:

n_{Jarret}: Coeficiente de rugocidad del cauce, metodo de Jarrett (1984)
S_F: Pendiente de energia del canal.
R_h: Radio Hidraulico.

Al realizar el levantamiento topobatimétrico se tenía preseleccionadas las AEC a considerar por lo tanto se realizó el levantamiento de perfiles transversales topobatimétricos con mayor concentración en estas zonas. Por lo tanto, en el modelo hidráulico se tienen las AEC mejor representadas que otros sectores.

Los caudales utilizados en la simulación corresponden a aquellos caudales resultantes del caudal natural para cada AEC, sin embargo, debido a que en algunos casos estos caudales son mucho mayores a 0, se simulan también caudales menores al mínimo natural, con objeto de poder representar una mayor gamma de regímenes de caudal en el río.

Las condiciones de borde utilizadas en la simulación hidráulica de cada AEC corresponden a un flujo de régimen mixto, en el cual se impone altura normal tanto aguas arriba como aguas debajo del AEC, cada cual dada según la pendiente que corresponda.

Puesto que sólo se cuenta con perfiles topobatimétricos en las áreas de estudio, para determinar las pendientes aguas arriba y aguas abajo del AEC se utiliza la pendiente resultante de los últimos dos perfiles topobatimétricos. Las pendientes utilizadas en la simulación se presentan en la Tabla 4.64.

Tabla 4.64: Pendientes utilizadas en la construcción del modelo hidráulico.

AEC	Pendiente (m/m)	
	Aguas arriba	Aguas abajo
Palpana	0,00825	0,00683
Calina	0,00607	0,02865
Ayquina	0,00694	0,01405
Lasana/ChiuChiu	0,00795	0,00092
Calama	0,00451	0,06220
Coya	0,00424	0,00336
Quillagua	0,00300	0,00322

Cabe mencionar que para las AEC Lasana – ChiuChiu y Calama Alto – Calama Medio – Calama Bajo se utiliza un solo modelo hidráulico, de modo que se utilizan las pendientes antes presentadas. Lo anterior se debe a que gracias a la gran cantidad de perfiles topobatimétricas en zonas intermedias, es posible representar de mejor manera las condiciones morfológicas del río que la que se podría lograr al analizar cada sección por separado.

4.4.5.2 *Simulación de hábitat y desarrollo de servicios ecosistémicos*

4.4.5.2.1 Modelación de Hábitat

Para la modelación de hábitat se utiliza el software PHABSIM, que requiere como input una modelación hidráulica en el tramo de río de interés para llevar a cabo la ponderación de hábitat útil. Lo anterior, permite el desarrollo de curvas de hábitat ponderado útil (WUA)

versus caudal para cada una de las AEC, las cuales se presentan en las Figura 4.112 a Figura 4.121.

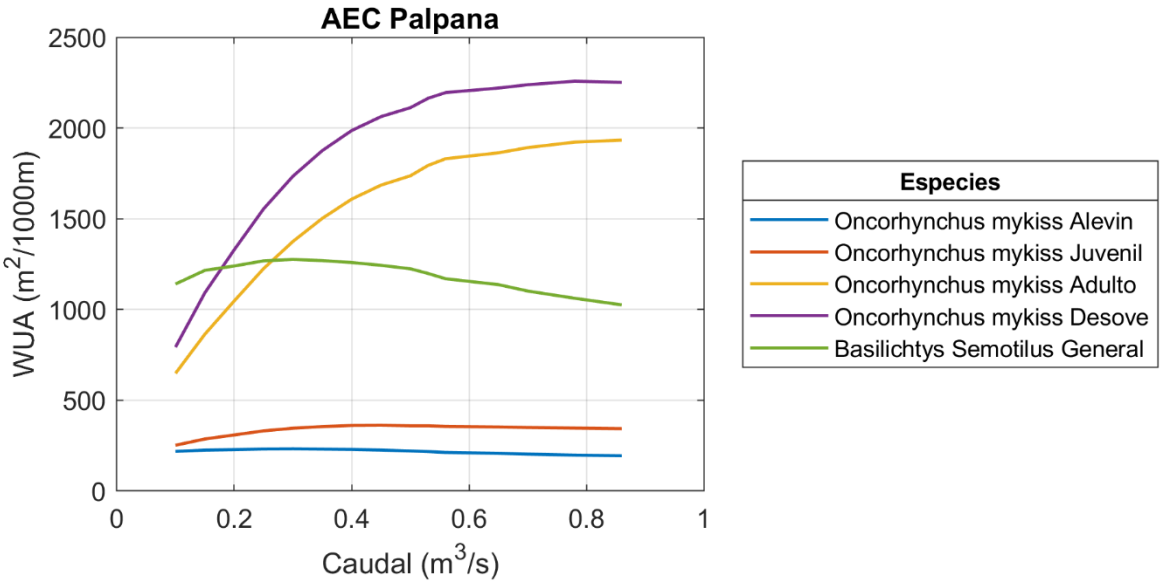


Figura 4.112: Curva de hábitat ponderado útil (WUA) para la *Oncorhynchus mykiss* en sus diferentes estadíos de vida y *Basilichtys Semolitus* simulado según las condiciones hidráulicas del AEC Palpana.

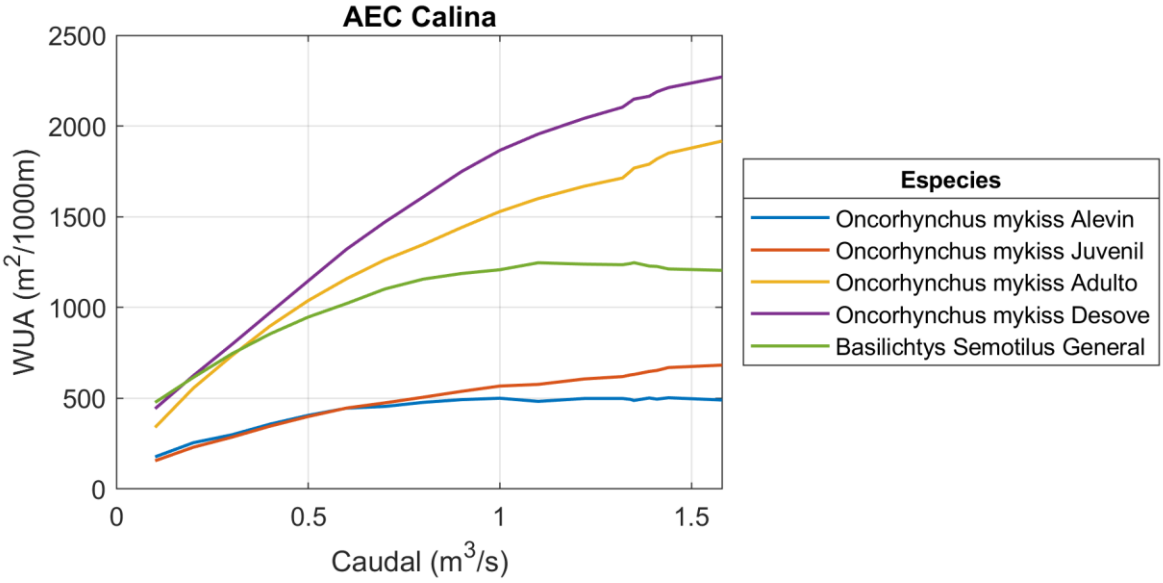


Figura 4.113: Curva de hábitat ponderado útil (WUA) para la Oncorhynchus mykiss en sus diferentes estadíos de vida y Basilichtys Semolitus simulado según las condiciones hidráulicas del AEC Calina.

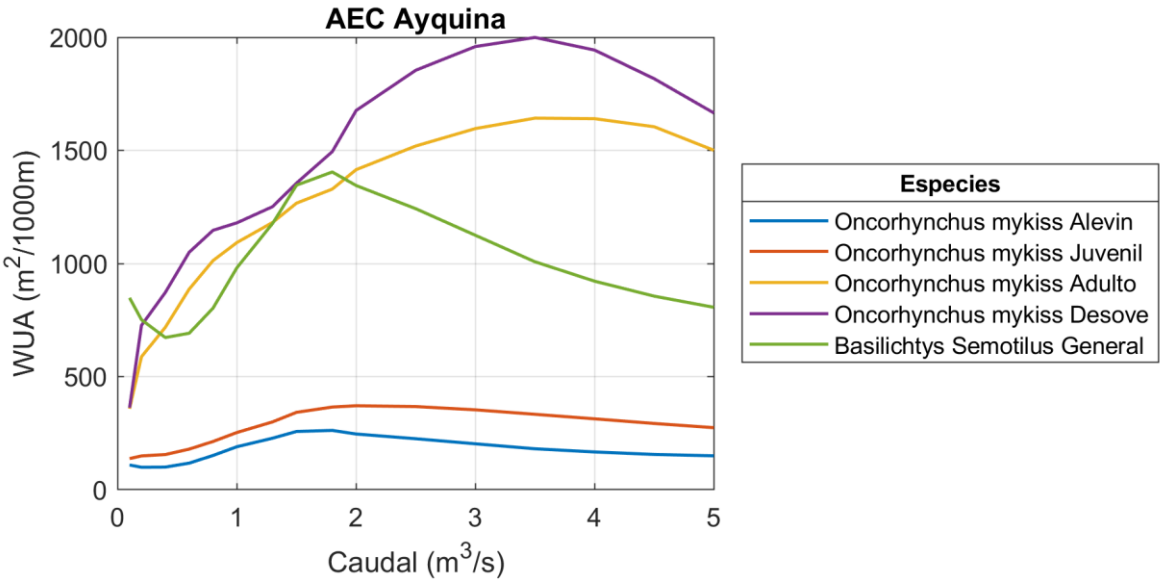


Figura 4.114: Curva de hábitat ponderado útil (WUA) para la Oncorhynchus mykiss en sus diferentes estadíos de vida y Basilichtys Semolitus simulado según las condiciones hidráulicas del AEC Ayquina.

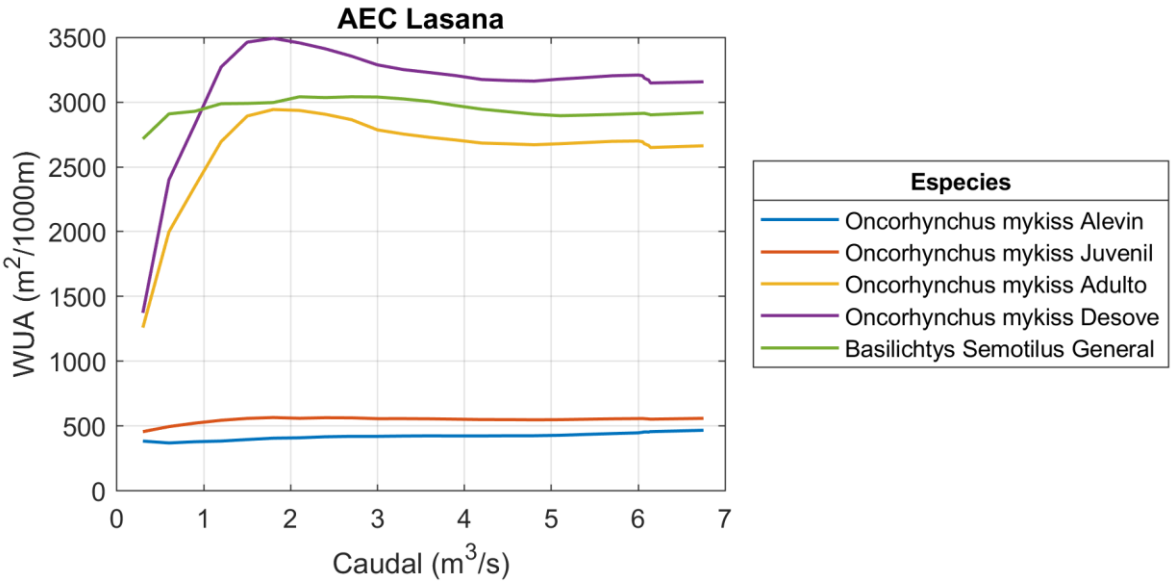


Figura 4.115: Curva de hábitat ponderado útil (WUA) para la Oncorhynchus mykiss en sus diferentes estadíos de vida y Basilichtys Semolitus simulado según las condiciones hidráulicas del AEC Lasana.

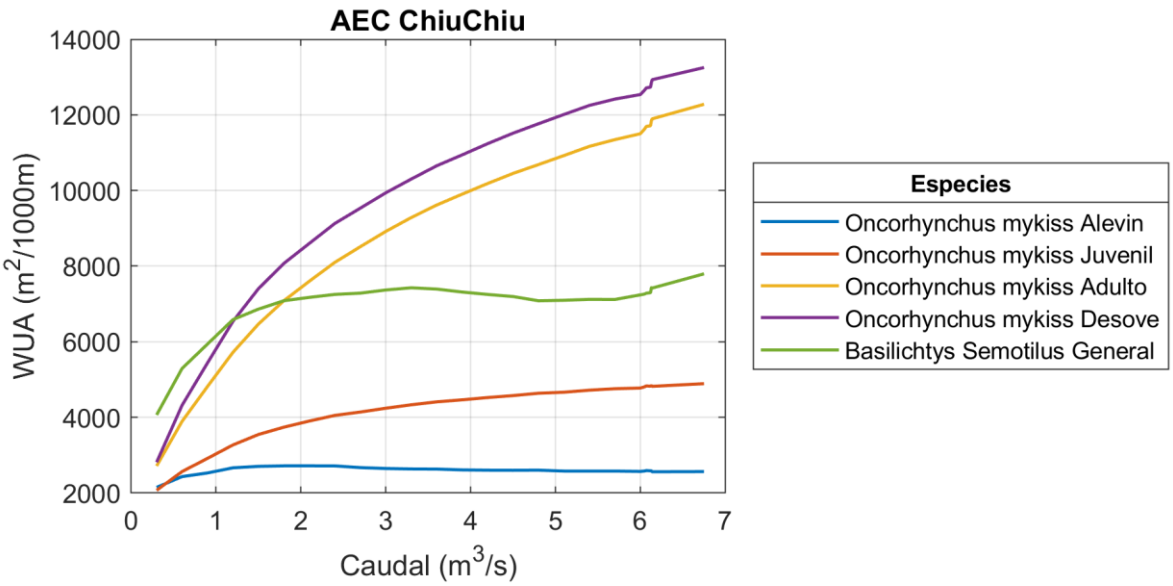


Figura 4.116: Curva de hábitat ponderado útil (WUA) para la Oncorhynchus mykiss en sus diferentes estadíos de vida y Basilichtys Semolitus simulado según las condiciones hidráulicas del AEC ChiuChiu.

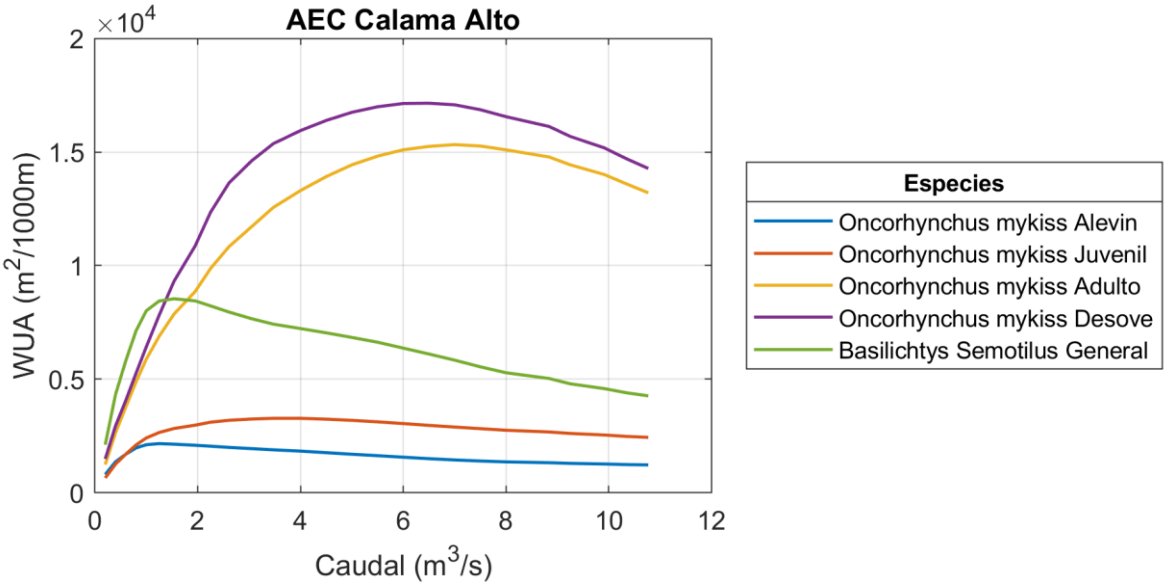


Figura 4.117: Curva de hábitat ponderado útil (WUA) para la Oncorhynchus mykiss en sus diferentes estadíos de vida y Basilichtys Semolitus simulado según las condiciones hidráulicas del AEC Calama Alto.

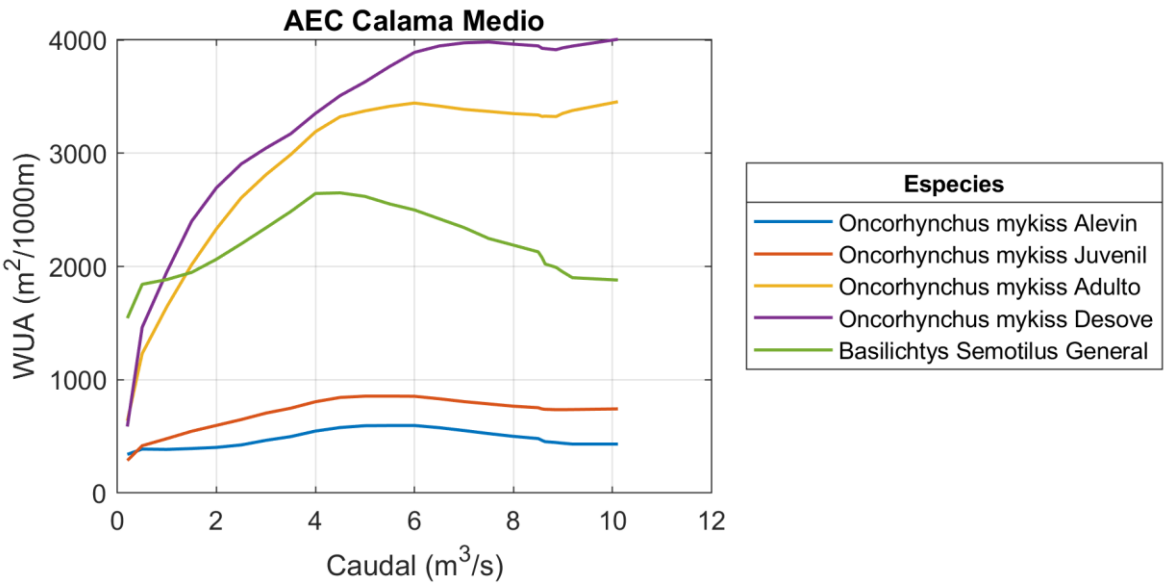


Figura 4.118: Curva de hábitat ponderado útil (WUA) para la Oncorhynchus mykiss en sus diferentes estadíos de vida y Basilichtys Semolitus simulado según las condiciones hidráulicas del AEC Calama Medio.

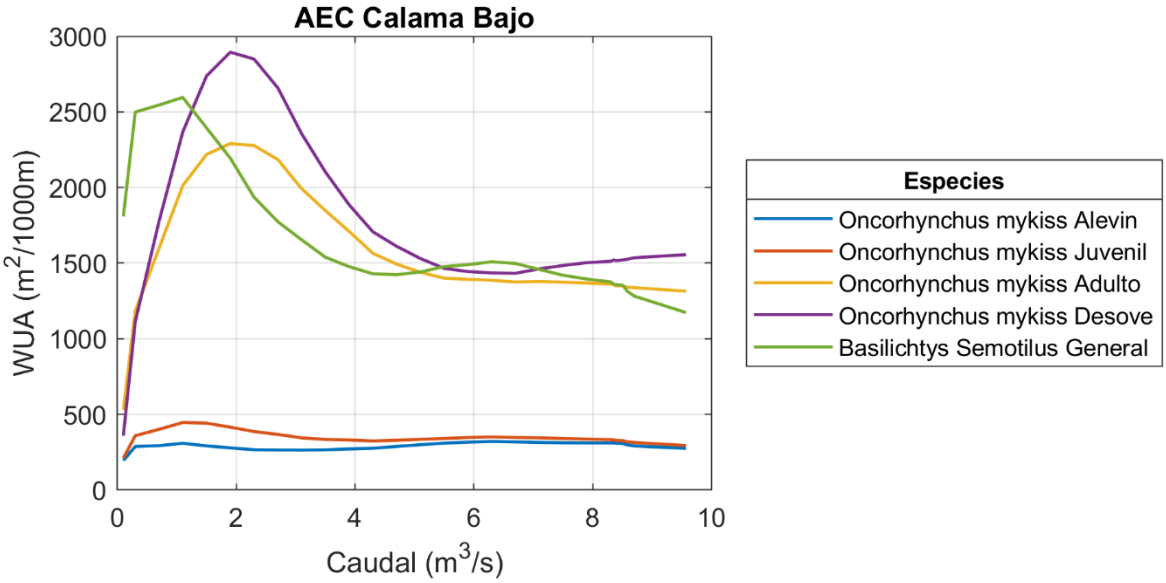


Figura 4.119: Curva de hábitat ponderado útil (WUA) para la Oncorhynchus mykiss en sus diferentes estadíos de vida y Basilichtys Semolitus simulado según las condiciones hidráulicas del AEC Calama Bajo.

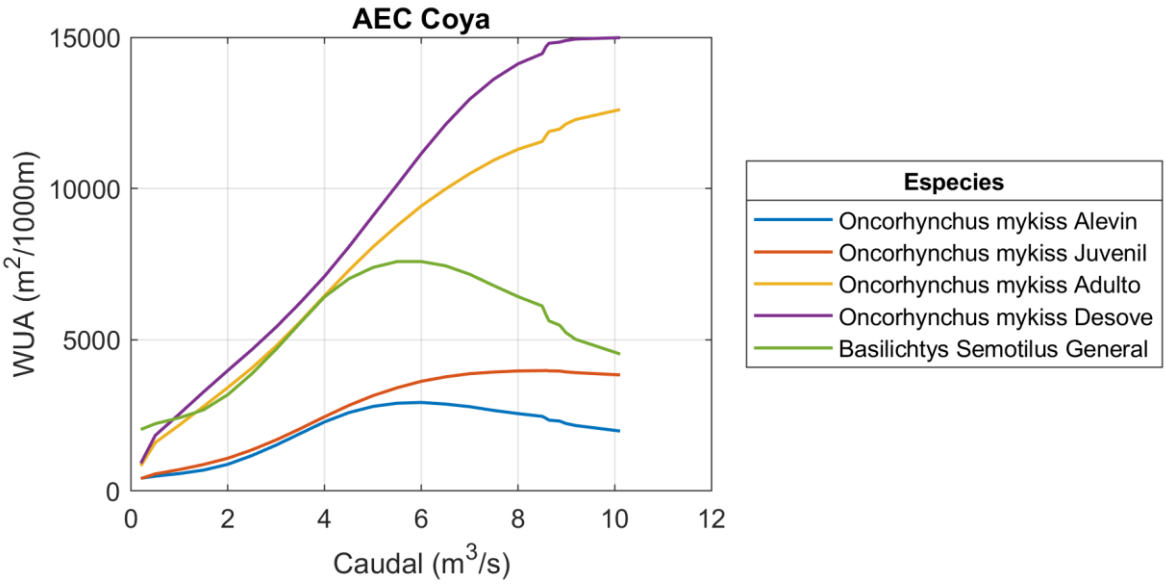


Figura 4.120: Curva de hábitat ponderado útil (WUA) para la Oncorhynchus mykiss en sus diferentes estadíos de vida y Basilichtys Semolitus simulado según las condiciones hidráulicas del AEC Coya.

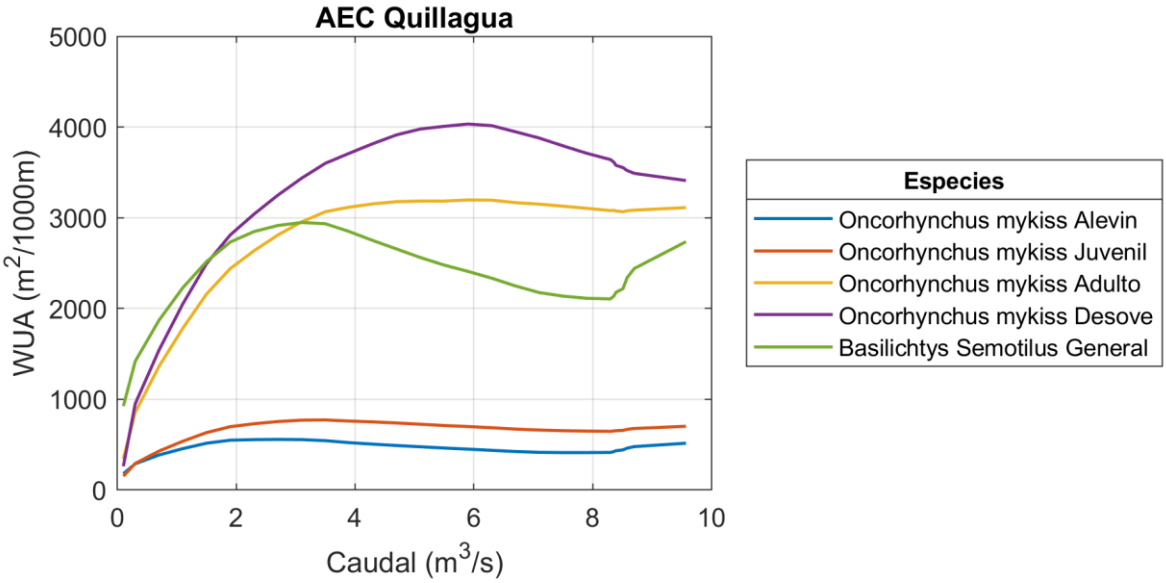


Figura 4.121: Curva de hábitat ponderado útil (WUA) para la Oncorhynchus mykiss en sus diferentes estadíos de vida y Basilichtys Semolitus simulado según las condiciones hidráulicas del AEC Quillagua.

Como se observa en las figuras anteriores, la relación entre caudal y el hábitat ponderado útil (WUA), varía según especie y ubicación, de modo que el óptimo, o el punto en el que se alcanza el mayor WUA, varía caso a caso.

4.4.5.2.2 Servicios ecosistémicos sin curvas de idoneidad

Estos parámetros hidráulicos, en este caso profundidad y velocidad del flujo en el cauce, pueden ser ingresados al modelo hidráulico en los distintos tramos e iterativamente puede determinarse el caudal crítico asociado a cada servicio ecosistémico.

Como fue mencionado anteriormente, podrán existir servicios ecosistémicos en los cuales no existe una preferencia explícita que permita la elaboración de curvas de idoneidad, como en el caso de la biota que habita el río. En estos casos se deberá reconocer los requerimientos mínimos de la actividad o servicios, respecto de las condiciones hidráulicas del río para su realización o desarrollo, como lo son el caudal, la altura de escurrimiento (profundidad), la velocidad, el ancho del cauce, entre otras. A modo de referencia, en la Tabla 4.65 se muestran algunas limitaciones hidráulicas aplicadas a algunas actividades antrópicas que se desarrollan entorno a los ríos, y cuyos valores pueden ser usados como referencia.

Tabla 4.65: Variables hidráulicas y rango crítico para la realización de las actividades antrópicas in situ (Fuente: DGA-CEA, 2008).

Actividades Antrópicas	Valores críticos (mínimos y máximos)		Bibliografía
	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	
Kayak	P_{min}: 0,1-0,2[A]	$V_{máx}$: 4,5[D]	[A]: Gordon et al. (2004) [B]: Rood y Tymensen (2001) [C]: Rood et al. (2003) [D]: Mosley (1983)
Canoa	P_{min}: 0,6[B,C]	$V_{máx}$: 4,5[D]	
Rafting	P_{min}: 0,2[D]	$V_{máx}$: 4,5[D]	
Remar/vadear	$P_{máx}$: 1.2[D]	$V_{máx}$: 1.8[D]	
Pesca por vadeo	$P_{máx}$: 1.2[D]	$V_{máx}$: 1.8[D]	
Nado	P_{min}: 0.8[D]	$V_{máx}$: 1.0[D]	
Buceo	P_{min}: 0.3[D]	$V_{máx}$: 2.0[D]	
Pesca (bote)	P_{min}: 0.3[D]	$V_{máx}$: 3.0[D]	
Bote (sin motor)	P_{min}: 0.5[D]	$V_{máx}$: 1.5[D]	
Bote a vela	P_{min}: 0.8[D]	$V_{máx}$: 0.5[D]	
Botes a motor (bajo poder)	P_{min}: 0.6[D]	$V_{máx}$: 3.0[D]	
Botes a motor (alto poder)	P_{min}: 1.5[D]	$V_{máx}$: 4.5[D]	
Lancha (jetboating)	P_{min}: 0.1[D]	$V_{máx}$: 4.5[D]	

Así, los parámetros hidráulicos de profundidad y velocidad del flujo en el cauce pueden ser ingresados al modelo hidráulico en los distintos tramos e iterativamente puede determinarse el caudal crítico asociado a cada servicio ecosistémico.

4.4.5.3 *Evaluación de la condición del hábitat potencial*

Para la modelación de hábitat se consideran las especies de fauna íctica *Oncorhynchus mykiss* en sus diferentes estadíos de vida, y el *Basilichtys Semolitus*. En las AEC de Palpana y Calina, se consideró solamente la especie *O. Mykiss* en el cálculo de la componente ecológica, no se consideró *B. Semotilus*, pues no estaba documentado en la bibliografía ni fue visto en terreno. En la AEC de Ayquina no se consideraron especies de ictiofauna pues no había antecedentes de especies en registros bibliográficos ni avistamientos en terreno. En las AEC de Lasana, Chiu Chiu, Calama alto, Calama bajo y Quillagua se consideró el *B. Semotilus*, pues estaba documentado en la bibliografía. Además, se consideró el *B. Semotilus* en la AEC de Calama medio, ya que, al haber registros tanto en Calama alto como bajo, por cercanía, la probabilidad de que esté o haya estado es alta. En la AEC de Coya se consideró el *B. Semotilus*, pues en terreno se registró la presencia de alevines en las cercanías, además de estar documentado en bibliografía reciente. En la Tabla 4.66 se presentan los caudales óptimos según especie, en m^3/s, para cada una de las AEC.

Tabla 4.66: Caudales óptimos en m3/s según especie y área de evaluación.

Caudal (m3/s)	Oncorhynchus mykiss				Basilichtys Semolitus
AEC	Alevin	Juvenil	Adulto	Desove	General
Palpana	0,2	0,3	0,6	0,55	0,15
Calina	0,8	1,4	1,45	1,4	0,9
Ayquina	1,3	1,65	3,1	2,75	1,4
Lasana	5,8	1,1	1,65	1,15	0,6
Chiu Chiu	1,45	4,95	6,1	5,9	3
Calama Alto	0,8	2,4	5,3	4,4	1,05
Calama Medio	4,8	4,75	4,7	5,6	3,05
Calama Bajo	0,3	0,85	1,8	1,75	0,3
Coya	4,95	6,55	8,9	7,9	4,7
Quillagua	2,3	2,3	3,4	4,25	2,45

Se determina un valor mínimo de 70% de habitabilidad como requisito para la componente ecológica del caudal ambiental, considerando que ante un régimen natural de caudales, gran parte de las AEC evaluadas presentan una habitabilidad superior al 70% de la habitabilidad óptima según las especies correspondientes. Este valor indica la habitabilidad base que ofrece el río en una condición media. Estos resultados de habitabilidad bajo un escenario natural, se presenta en la sección 4.5.2 del presente informe.

Luego, de las funciones suavizadas de WUA vs Q normalizadas por el mayor valor de WUA (Figura 4.122 a la Figura 4.131), se obtuvieron los mínimos caudales que aseguran un 70% de la habitabilidad óptima de las especies, adjuntos en la Tabla 4.67.

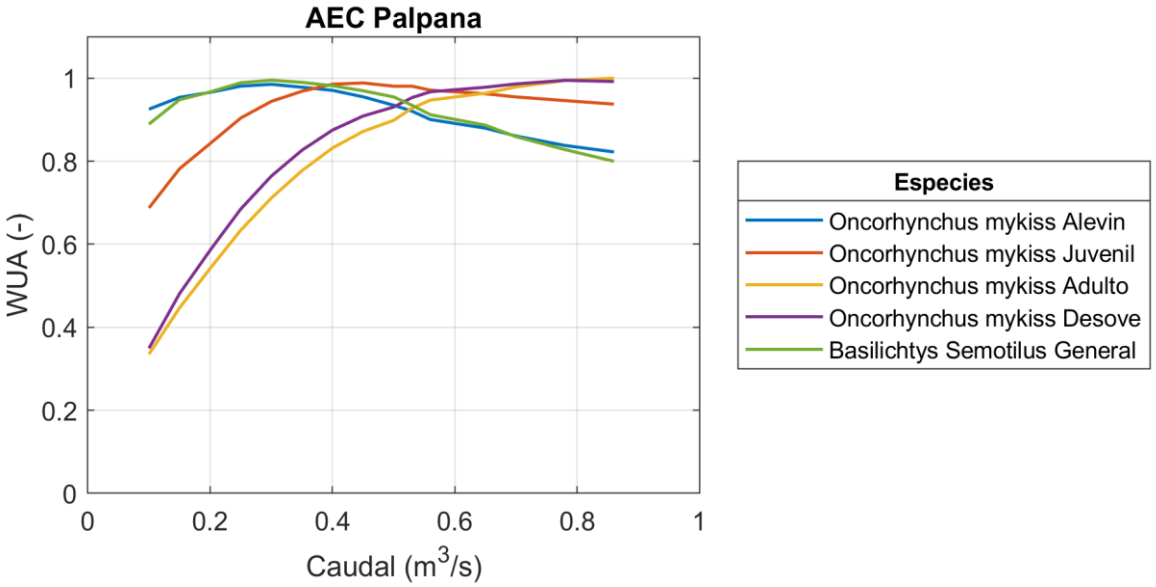


Figura 4.122:Curvas suavizadas de hábitat ponderado (WUA) normalizado por su máximo valor, para las especies Oncorhynchus mykiss en sus diferentes estados de vida y Basilichtys Semotilus en el AEC Palpana.

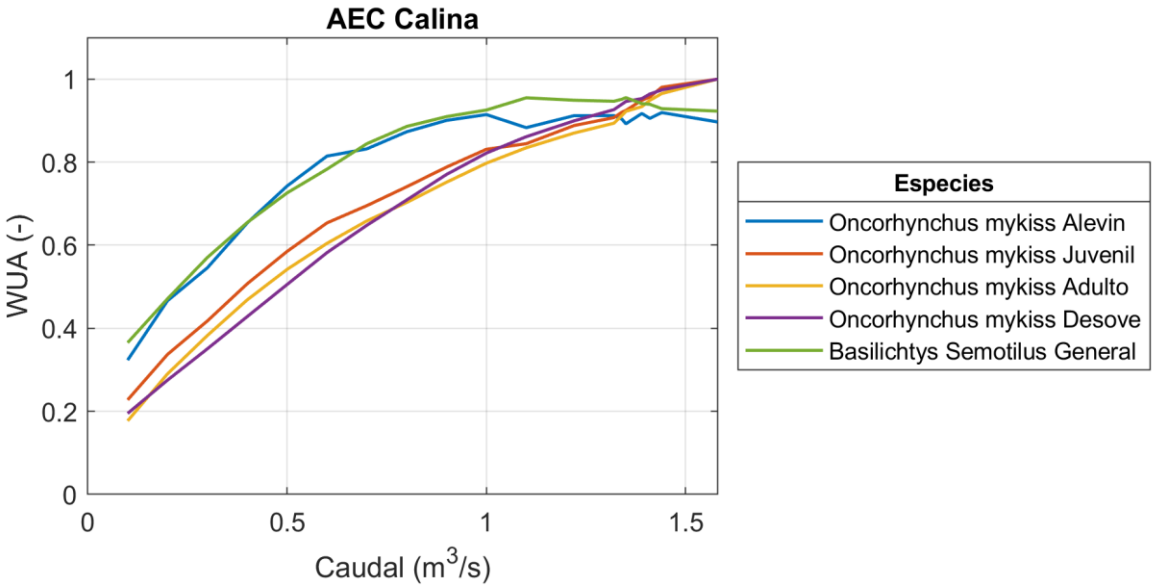


Figura 4.123: Curvas suavizadas de hábitat ponderado (WUA) normalizado por su máximo valor, para las especies Oncorhynchus mykiss en sus diferentes estados de vida y Basilichtys Semotilus en el AEC Calina.

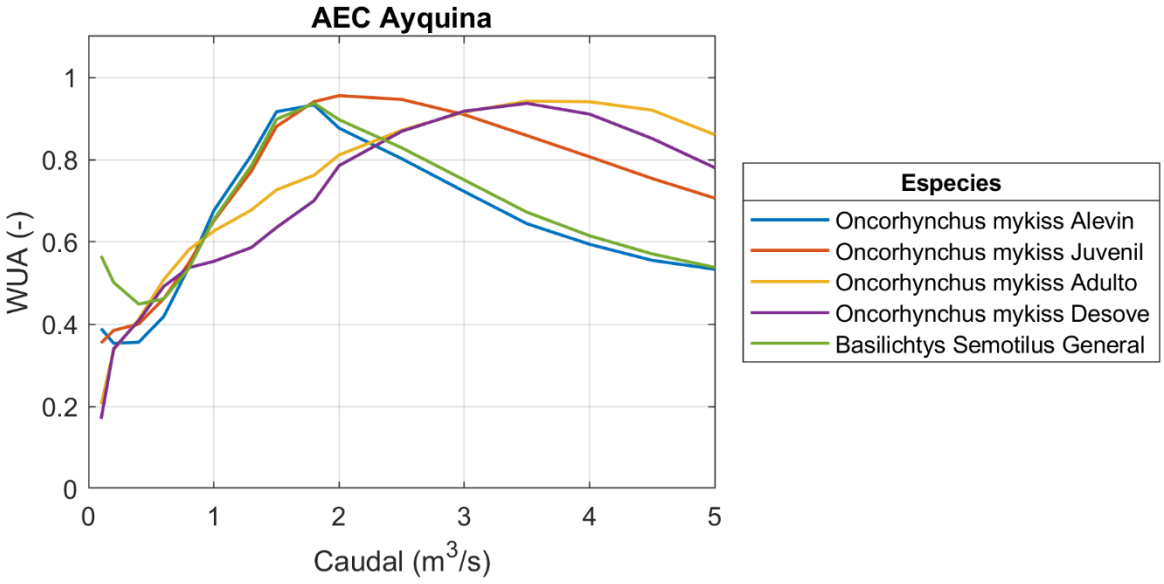


Figura 4.124: Curvas suavizadas de hábitat ponderado (WUA) normalizado por su máximo valor, para las especies Oncorhynchus mykiss en sus diferentes estados de vida y Basilichtys Semotilus en el AEC Ayquina

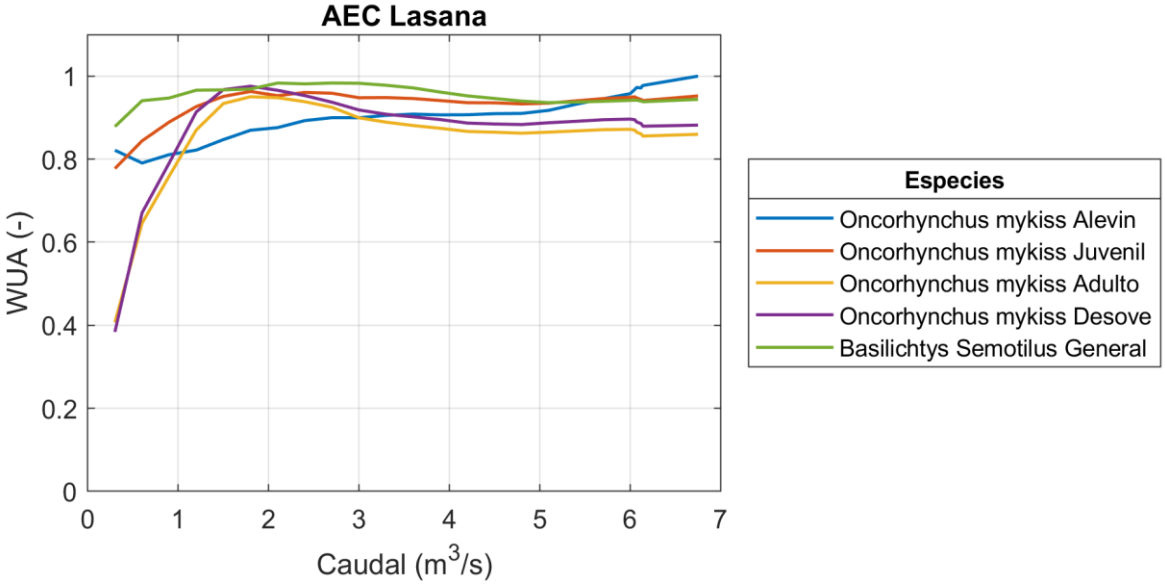


Figura 4.125: Curvas suavizadas de hábitat ponderado (WUA) normalizado por su máximo valor, para las especies Oncorhynchus mykiss en sus diferentes estados de vida y Basilichtys Semotilus en el AEC Lasana.

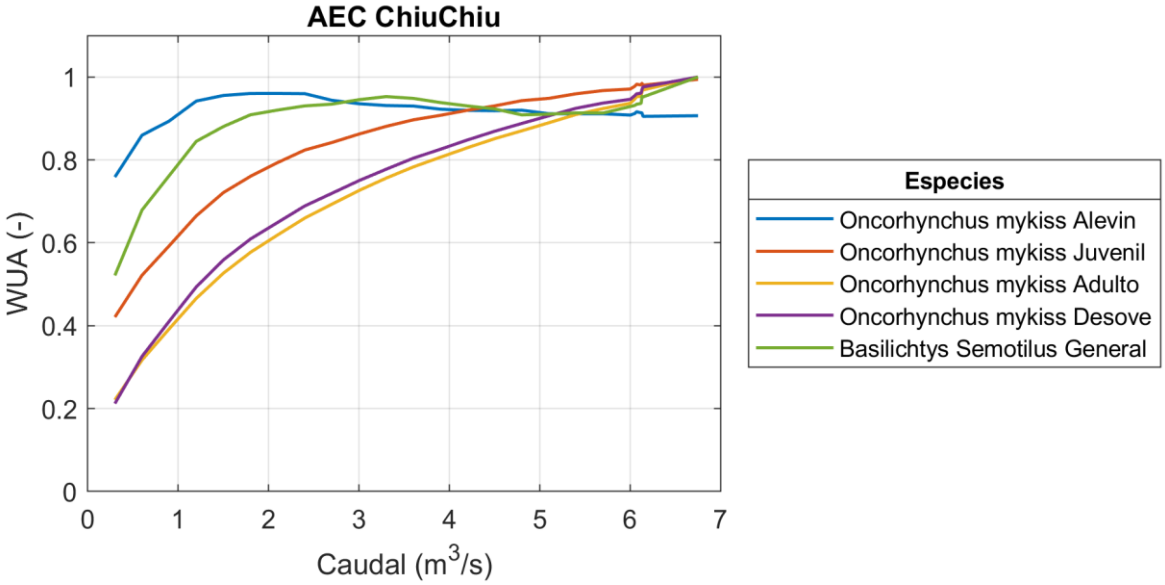


Figura 4.126: Curvas suavizadas de hábitat ponderado (WUA) normalizado por su máximo valor, para las especies Oncorhynchus mykiss en sus diferentes estados de vida y Basilichtys Semotilus en el AEC ChiuChiu

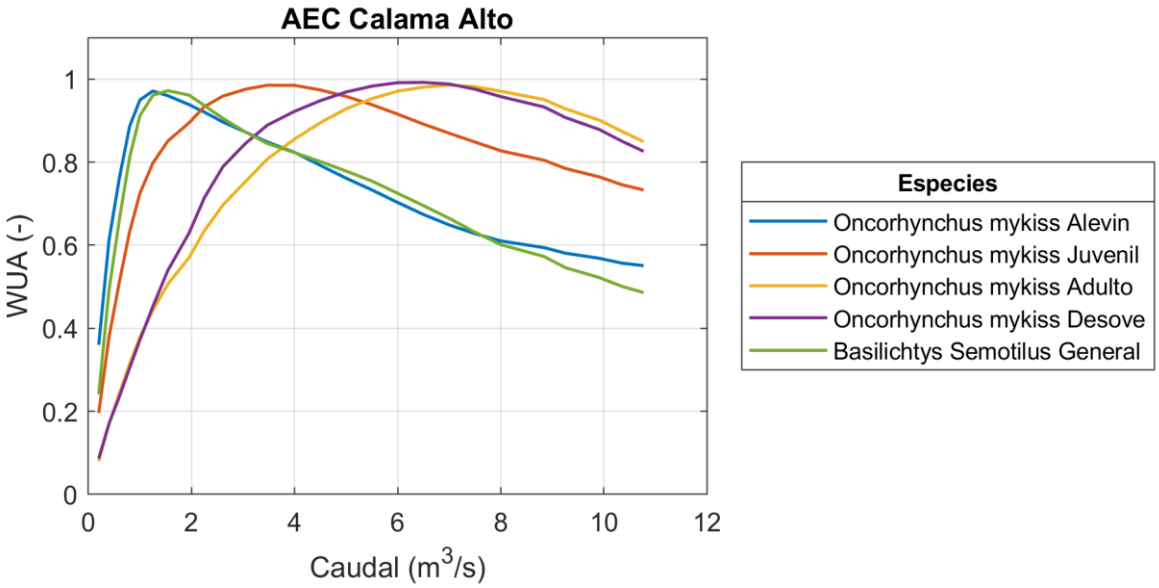


Figura 4.127: Curvas suavizadas de hábitat ponderado (WUA) normalizado por su máximo valor, para las especies Oncorhynchus mykiss en sus diferentes estados de vida y Basilichtys Semotilus en el AEC Calama Alto.

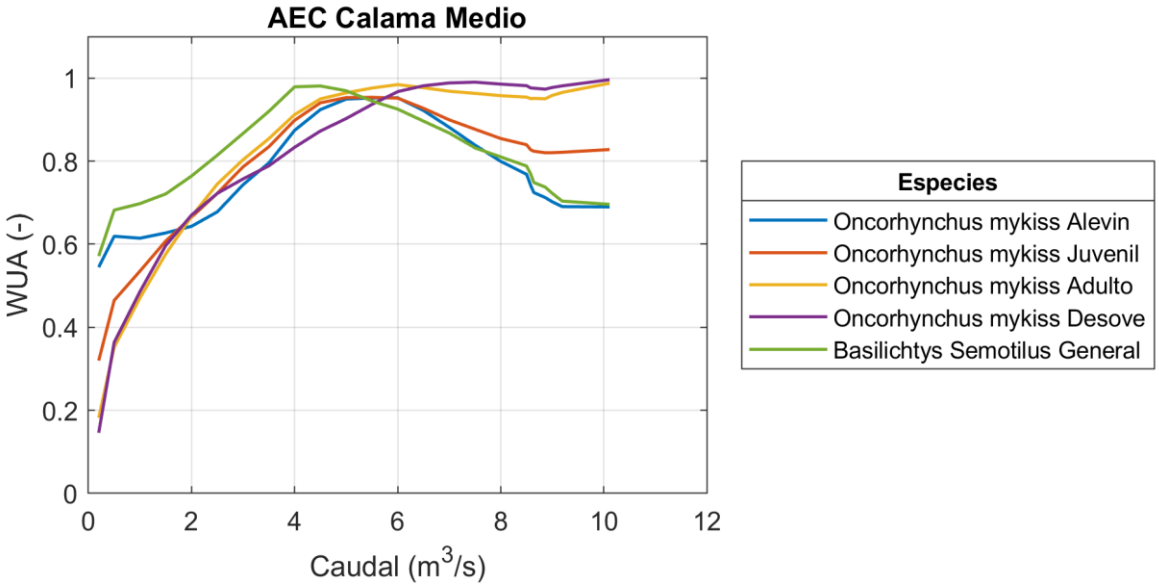


Figura 4.128: Curvas suavizadas de hábitat ponderado (WUA) normalizado por su máximo valor, para las especies Oncorhynchus mykiss en sus diferentes estados de vida y Basilichtys Semotilus en el AEC Calama Medio.

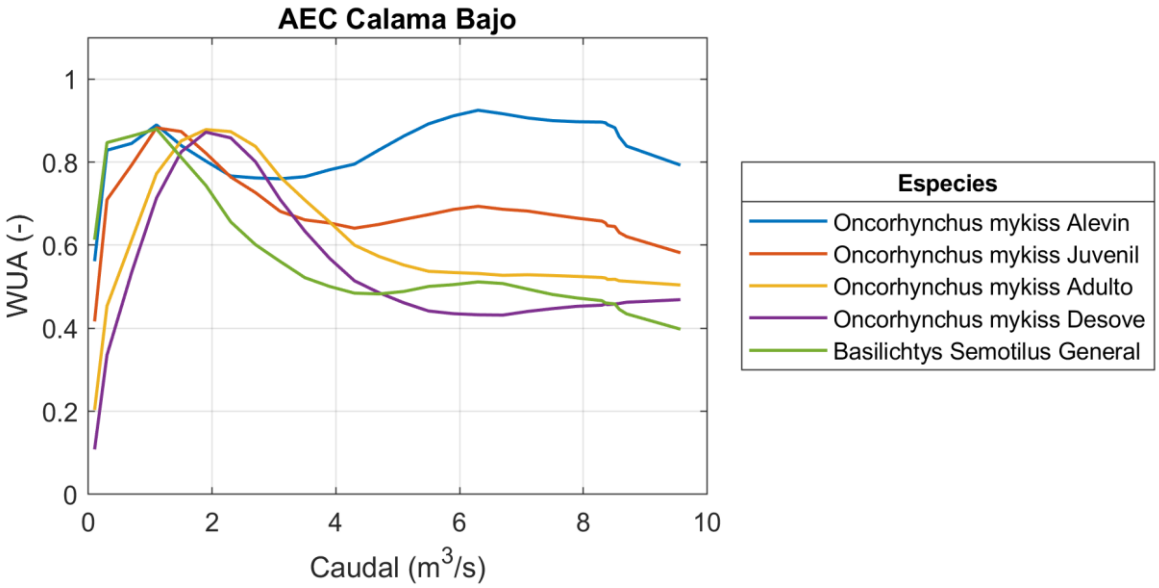


Figura 4.129: Curvas suavizadas de hábitat ponderado (WUA) normalizado por su máximo valor, para las especies Oncorhynchus mykiss en sus diferentes estados de vida y Basilichtys Semotilus en el AEC Calama Bajo.

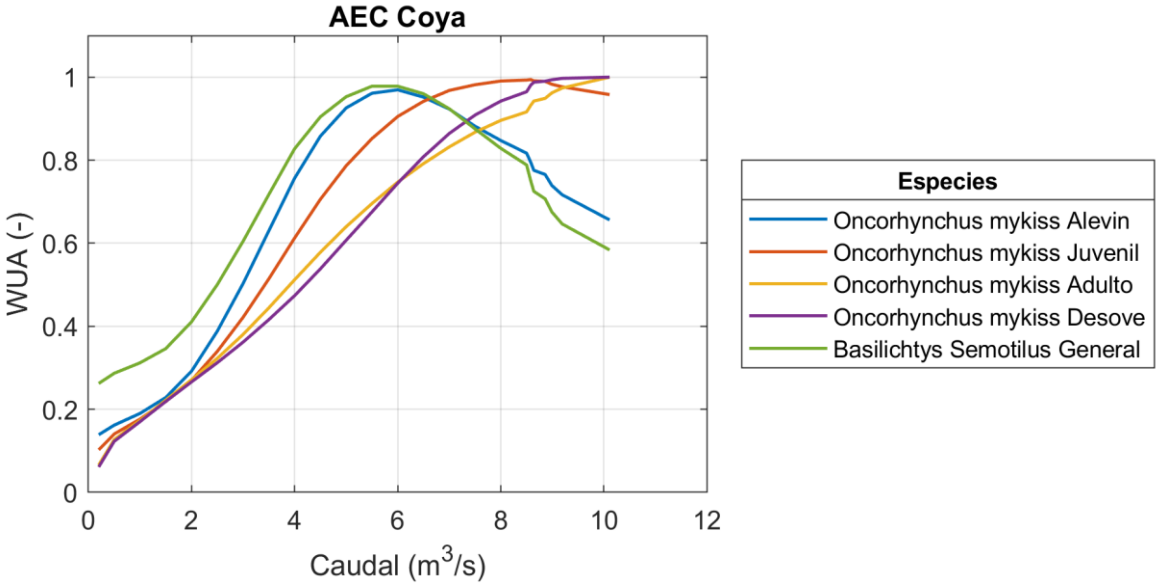


Figura 4.130: Curvas suavizadas de hábitat ponderado (WUA) normalizado por su máximo valor, para las especies Oncorhynchus mykiss en sus diferentes estados de vida y Basilichtys Semotilus en el AEC Coya.

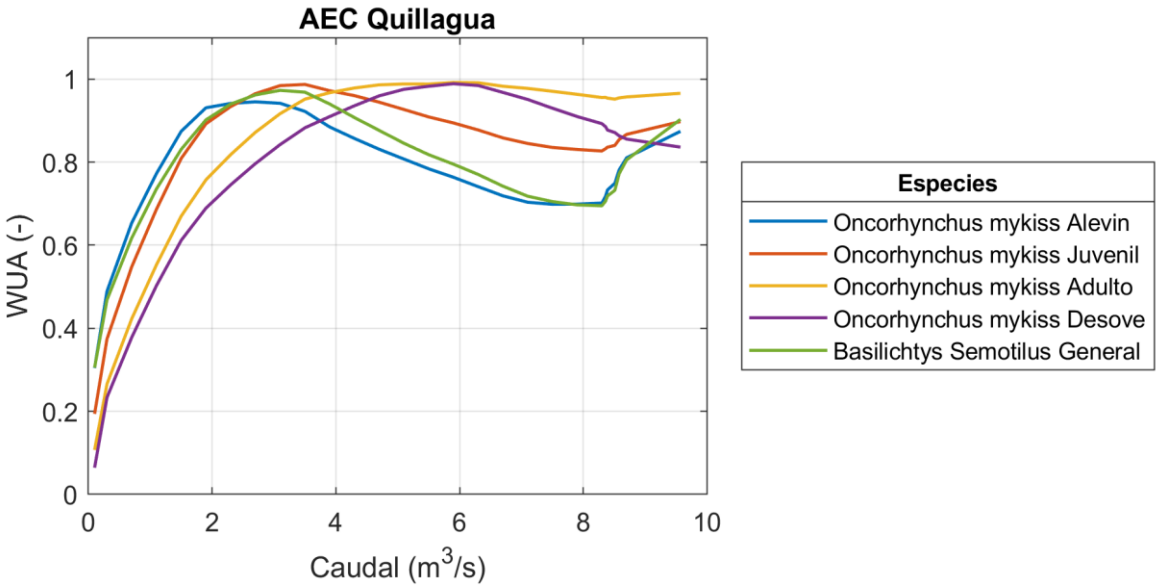


Figura 4.131: Curvas suavizadas de hábitat ponderado (WUA) normalizado por su máximo valor, para las especies Oncorhynchus mykiss en sus diferentes estados de vida y Basilichtys Semotilus en el AEC Quillagua.

Tabla 4.67: Caudales en m3/s que aseguran un hábitat ponderado del 70% para las distintas especies en estudio

AEC	Oncorhynchus mykiss					Basylichthys Semolitus
	Alevin	Juvenil	Adulto	Desove	General	General
Palpana	0,15	0,15	0,3	0,25	0,3	0,15
Calina	0,4	0,65	0,8	0,75	0,8	0,45
Ayquina	1	1,1	1,5	1,9	1,9	1,1
Lasana	0,35	0,35	0,65	0,6	0,65	0,35
ChiuChiu	0,35	1,4	2,8	2,55	2,8	0,6
Calama Alto	0,5	0,9	2,65	2,15	2,65	0,6
Calama Medio	2,9	2,65	2,4	2,55	2,9	0,45
Calama Bajo	0,2	0,3	0,8	0,95	0,95	0,15
Coya	3,7	4,45	5,5	5,65	5,65	0,8
Quillagua	0,7	0,95	1,55	2	2	0,85

En la Tabla 4.67 se presenta el caudal que asegura el 70% de la habitabilidad óptima según especie y AEC, resultante de la modelación de hábitat en Phabsim. Sin embargo, al ser un valor único no cuenta con una disgregación mensual que permita establecer requerimientos a lo largo del año, razón por la cual, se utiliza la estacionalidad del caudal natural para imponer la estacionalidad del caudal ecológico. Para esto, se genera un factor mensual calculado como la razón entre el caudal natural mensual y el mínimo caudal mensual para un AEC. Este factor se multiplica por el caudal mínimo que asegura un 70%, cuyo resultado

se presenta en la Tabla 4.68 para el *Oncorhynchus mykiss*, y en la Tabla 4.69 para el *Basilichthys Semotilus*.

Tabla 4.68: Caudal ecológico mensual en m3/s para especie Oncorhynchus mykiss según AEC.

AEC	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Palpana	0,33	0,34	0,36	0,37	0,37	0,38	0,36	0,33	0,30	0,33	0,37	0,34
Calina	0,85	0,86	0,85	0,86	0,86	0,83	0,83	0,82	0,80	0,87	0,91	0,92
Ayquina	1,90	1,91	1,91	1,91	1,91	1,93	1,93	1,91	1,92	1,99	2,10	1,94
Lasana	0,67	0,66	0,66	0,66	0,66	0,65	0,66	0,65	0,65	0,68	0,69	0,70
ChiuChiu	2,91	2,85	2,85	2,84	2,83	2,80	2,84	2,84	2,89	3,01	3,05	3,03
Calama Alto	2,65	2,66	2,68	2,77	2,74	2,73	2,70	2,65	2,67	2,86	3,30	2,72
Calama Medio	2,94	2,95	2,98	3,02	2,98	2,92	2,90	2,90	2,94	3,16	3,53	3,08
Calama Bajo	0,98	1,00	1,01	1,00	0,99	0,95	0,95	0,97	0,98	1,06	1,13	1,05
Coya	5,67	5,76	5,77	6,01	5,92	5,79	5,65	5,66	5,70	6,03	6,71	6,07
Quillagua	2,00	2,10	2,36	2,51	2,41	2,26	2,10	2,03	2,06	2,17	2,21	2,08

Tabla 4.69: Caudal ecológico mensual en m3/s para especie Basilichthys Semotilus según AEC.

AEC	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	1.10	1.11	1.11	1.11	1.11	1.12	1.12	1.11	1.11	1.15	1.21	1.12
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

(*) Para el caso particular del área de Coya, la habitabilidad del *B. Semotilus* resultó muy baja incluso en condiciones "naturales". Sin embargo, en el EIA de Lomas Bayas se reporta su presencia en esta zona. Por ello se decidió bajar la restricción del 70% en esta zona para replicar las condiciones de habitabilidad natural que ofrece el río. Debido a esto, se considera un 30% de la habitabilidad de la especie. Al contrastar el caudal que permite una habitabilidad del 70% con el caudal natural para la zona, se infiere que es poco probable encontrarlo de manera regular a lo largo del tramo definido por la AEC. Por otro lado, los antecedentes de avistamientos de las campañas CEA se tienen antes del área de la AEC y antes de la confluencia de los ríos Loa y San Salvador, por lo tanto con condiciones de caudal diferente. Esta zona del río Loa, aguas arriba de la AEC de Coya, está cubierta por la componente ecológica de Calama bajo, donde se considera la habitabilidad del 70% para el *B. Semotilus*.

4.4.5.4 *Definición del criterio para el caudal ambiental respecto de la condición "natural"*

De acuerdo a lo establecido en la guía para la determinación del caudal ambiental, la priorización de los requerimientos debe suplirse según el orden establecido en la Figura 4.132, en donde se establece que el primer uso a satisfacer corresponde al requerimiento social, el cual usualmente, y para el caso de este estudio en particular, corresponde a las extracciones para su uso en agua potable.

Figura 4.132: Priorización de requerimientos según uso.

El detalle de los caudales extraídos según uso para la determinación del caudal ambiental se presenta a continuación.

4.4.5.4.1 Requerimientos sociales

Estos dan cuenta de las necesidades más básicas para el desarrollo y mantención de las comunidades de la región. De las extracciones de agua superficial a lo largo del río, se identifican como requerimientos sociales las extracciones de agua para consumo, o agua potable. De este modo, los requerimientos sociales, según su ubicación y caudal de extracción, se presentan en la Tabla 4.70:

Tabla 4.70: Caudales de extracción para suplir requerimientos sociales en AEC's.

AEC	Extracción	Caudal (m^3/s)	Uso	Categoría
Palpana	ESSAN Lequena	0.55	Potable	Social
Palpana	ESSAN Quinchamale	0.30	Potable	Social
Calama Medio	Puente Negro	0.15	Potable	Social

En la Tabla 4.28 se muestra una extracción para agua potable extra a las presentadas en la Tabla 4.70, sin embargo esta no es considerada en el cálculo del caudal ambiental debido a que su extracción se realiza aguas arriba del AEC Ayquina, por lo cual no es un requerimiento a suplir.

4.4.5.4.2 Requerimientos ecológicos

Estos buscan mantener la condición del sistema, y con ello, mantener la ecología y biodiversidad de éste. Esto último, no solamente permite sostener a la biota presente, sino

la existencia de otros servicios, como los son los de tipo recreacional, de pesca, atracción turística y turismo, entre otros.

Tanto el *Oncorhynchus mykiss* como el *Basylichthys Microleptidus* fueron parte de la simulación de hábitat en todas las secciones. Sin embargo, para la determinación de un caudal ecológico por AEC, se utilizaron únicamente las especies que han sido avistadas según bibliografía, o en experiencias de terreno. A pesar de esto, los requerimientos ecológicos de la simulación dan cuenta de la probabilidad de avistamiento de una especie en un determinado punto del río, siendo posible que inclusive en un régimen natural de caudales, una especie no presente valores óptimos de habitabilidad, por lo cual es esperable no encontrarla.

De este modo, los caudales ecológicos utilizados en la determinación del caudal ambiental se detallan en la Tabla 4.71:

Tabla 4.71: Caudal ecológico en m3/s utilizado en la determinación de caudal ambiental según AEC.

AEC	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	1.10	1.11	1.11	1.11	1.11	1.12	1.12	1.11	1.11	1.15	1.21	1.12
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

4.4.5.4.3 Requerimientos relevantes para el desarrollo Estratégicos

Las otras dos categorías corresponden a aquellas asociadas a servicios ecosistémicos derivados (segundo orden), los que en general, utilizan recursos no fundamentales para la mantención del sistema. De entre ellas, se realiza una diferenciación de los servicios en dos categorías, dadas por "**estratégicos**" y "**no estratégicos**". Esta separación se debe a la necesidad de priorizar, junto con considerar que en el caso de río Loa, gran parte del desarrollo de la Región depende de sus recursos.

4.4.5.4.3.1 Requerimientos estratéticos

Tabla 4.72: Caudales de extracción superficial para suplir demandas industriales según AEC.

AEC	Extracción	Caudal (m^3/s)	Uso	Categoría
Calama Bajo	Soquimic Pedro de Valdivia	0.095	Industria	Desarrollo(Estratégico)
Calama Bajo	Soquimic Coya Sur	0.090	Industria	Desarrollo(Estratégico)
Coya	Soquimic Maria Elena	0.063	Industria	Desarrollo(Estratégico)
Quillagua	SQM Quebrada Amarga	0.060	Industria	Desarrollo(Estratégico)

De igual modo, otro tipo de extracción considerada en la categoría de desarrollo corresponde a la extracción para riego. Para la determinación del caudal de riego según AEC, se utilizan todos aquellos canales que se ubiquen entre inicios de AEC, de modo que el caudal inicial sea capaz de suplir todos los requerimientos de riego aguas debajo de esta. A partir de lo anterior, se define en la Tabla 4.73 los canales cuyo caudal se extrae en este tramo según AEC:

Tabla 4.73: Canales de riego y AEC asociada.

AEC	Canal	Nombre Canal
Calina	CA-001	Canal Buen Retiro
Calina	CA-002	Canal San Antonio
Lasana	CA-003	Canal Los Ramirez
Lasana	CA-004	Canal Quichire
Lasana	CA-005	Canal Los Perales
Lasana	CA-006	Canal Pona
Lasana	CA-007	Canal Grande
ChiuChiu	CA-008	Canal La Banda
ChiuChiu	CA-009	Canal El Pueblo
Ayquina	CA-012	Canal Ayquina
Calama Alto	CA-018	Canal Yalquincha 2
Calama Alto	CA-019	Canal Yalquincha 1
Calama Alto	CA-020	Canal Tronco
Calama Medio	CA-021	Canal Unificado Banda Radic Topater
Calama Medio	CA-022	Canal Lay Lay
Calama Medio	CA-023	Canal Nuñez
Calama Bajo	CA-024	Canal Chunchuri Bajo
Calama Bajo	CA-025	Canal La Prensa
Calama Bajo	CA-026	Canal Dupont
Coya	CA-028	Canal 1
Coya	CA-029	Canal 2

Los canales presentados en la Tabla 4.73 varían la magnitud de su extracción según la estación del año, de modo que para determinar los requerimientos de riego se requiere estimar el valor de la extracción mensual. Para esto, se utiliza el promedio mensual entre 1990 y 2018 de las demandas brutas por zona de riego, presentadas en la Figura 4.57 y los valores de eficiencia, percolación y flujo redirigido al río presentados en la Tabla 4.31. A partir de estos, en la Tabla 4.74 se presentan las demandas netas mensuales por riego por AEC:

Tabla 4.74: Caudal en m3/s para extracciones superficiales de riego según AEC.

AEC	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Palpana	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Calina	0.09	0.09	0.09	0.10	0.11	0.14	0.15	0.15	0.12	0.12	0.09	0.09
Ayquina	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lasana	0.30	0.28	0.28	0.34	0.40	0.51	0.57	0.56	0.42	0.39	0.31	0.29
ChiuChiu	0.16	0.15	0.15	0.21	0.28	0.37	0.43	0.41	0.26	0.24	0.17	0.15
Calama Alto	0.33	0.35	0.45	0.52	0.67	0.77	1.11	1.23	1.12	0.77	0.59	0.42
Calama Medio	0.25	0.27	0.34	0.40	0.51	0.58	0.84	0.93	0.84	0.58	0.45	0.32
Calama Bajo	0.18	0.19	0.25	0.29	0.37	0.42	0.59	0.66	0.59	0.41	0.32	0.23
Coya	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Quillagua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

En la Tabla 4.74 se observa que tanto las AEC de Palpana como Quillagua presentan demanda nula (0), lo cual se debe a que no existen extracciones para este fin entre las mencionadas AECs y las inmediatamente siguientes aguas abajo de ellas.

4.4.5.4.3.2 Requerimientos No Estratégicos

Entre los requerimientos no estratégicos que se presentan a lo largo del río Loa, se observan servicios culturales y de turismo, levantados en la sección 5.1.4, cuyo enfoque se aborda como consecuencia de la belleza escénica que presenta el río ante niveles mínimos de caudal.

La belleza escénica se consideró que existe si se suple la componente ecológica del caudal ambiental (Qamb) y si se evita deterioro del lugar por actividades antrópicas, razón por la cual se incorpora programa de conservación de belleza escénica en cartera de proyectos.

Para suplir los requerimientos de las actividades antrópicas recreativas observadas, es necesario contar con condiciones hidráulicas de velocidad o profundidad en ciertas secciones del río, lo cual se traduce a caudal a partir de la modelación hidráulica desarrollada en la sección 4.4.5.1. En caso de existir dos actividades antrópicas en un mismo AEC, como puede ser el nado o el buceo, se utiliza aquella menos restrictiva. El resumen de los requerimientos no estratégicos se presenta en la Tabla 4.75:

Tabla 4.75: Requerimientos hidráulicos y de caudal para realización de actividades antrópicas según AEC.

Nombre AEC	Actividad antrópica en AEC o aguas abajo de ésta	Restricción hidráulica	Restricción de caudal según condiciones medias del modelo hidráulico
Palpana	Turismo	-	-
Calina	Turismo	-	-
Ayquina	Turismo, Recreación (Baño)	Pmin: 0.3 m; Vmáx: 2.0 m/s	Q > 0,17 m3/s -
Lasana	Turismo	-	-
Chiu Chiu	Turismo	-	-
Calama alto	Turismo, Camping, Recreación (Baño)	Pmin: 0.3 m; Vmáx: 2.0 m/s	Q > 0,13 m3/s
Calama medio	Turismo, Recreación (Baño, kayak, canoa)	Pmin: 0.3 m; Vmáx: 2.0 m/s	Q > 0,39 m3/s
Calama bajo	Turismo, Camping, Recreación (Baño)	Pmin: 0.3 m; Vmáx: 2.0 m/s	Q > 0.42 m3/s
Coya	Turismo, Picnic, Recreación (Baño)	Pmin: 0.3 m; Vmáx: 2.0 m/s	Q > 0.32m3/s
Quillagua	Turismo, Picnic	-	-

En calama medio se encuentra el “Parque el Loa”, en donde se desarrollan actividades recreativas con kayak y canoa. Para esta ubicación no se consideró en el calculo del caudal ambiental las restricciones hidráulicas mencionadas en la Tabla 4.75, pues existe un muro que genera un embalsamiento de las aguas, el cual permite generar las condiciones para el desarrollo de las actividades antrópicas anteriormente descritas. Luego, para la AEC Calama Medio se considera únicamente las restricciones asociadas a las actividades de baño.

Figura 4.133: Recreación en Parque el Loa, Calama. (Fotografía: Miguel Fuentes, Fuente: flickr)

4.4.5.5 *Estimación del régimen de caudal ambiental.*

Al definir el caudal ambiental, se debe tener en cuenta los requerimientos:

- *Los requerimientos sociales son específicos de cada tramo, y podrán ser enterados de forma completa por el caudal proveniente desde el tramo aguas arriba, o por una combinación de ese con algún aporte local. En el primero de los casos, la componente Social del tramo aguas arriba deberá contener completamente los requerimientos de los ubicados aguas abajo. En el segundo de los casos, una buena práctica es asumir una proporcionalidad de la entrega del recurso, con lo que el tramo aguas arriba se asumirá como proveedor (la componente Social deberá contener) de una parte del requerimiento, dada por la proporción entre el caudal medio del tramo aguas arriba y el del aporte intermedio. Así, nuevamente desde aguas arriba se deberá asegurar parte del requerimiento Social de aguas abajo.*
- *Los requerimientos ecológicos, en general, corresponden a una necesidad de caudal en el río, es decir, una cantidad de agua pasante que permita ciertas condiciones de la hidráulica (no consuntivo). Por lo mismo, esta cantidad es tramo específico, y no generaría extracción/reducciones del caudal en el tramo evaluado. Así, el análisis podrá considerar que los requerimientos de consumo de agua existentes (de tipo social o productivos) pueden suplir este requerimiento en un tramo aguas arriba, siempre y cuando se asegure el completo traspaso de esta cantidad hacia aguas abajo.*
- *Los requerimientos para el desarrollo (servicios relevantes para el desarrollo) corresponderán a requerimientos (principalmente) de tipo consuntivos, por lo que ellos podrán ser tratados de igual forma que los Sociales. Cabe señalar que estos caudales también podrán ser contabilizados para suplir los requerimientos no consuntivos, como lo son el Ecológico, pero siempre y cuando la condición de caudal disponible sea la suficiente para completar los 3 requerimientos. Así, cuando la disponibilidad sea reducida, estos requerimientos podrán no ser provistos, caso en el cual no podrán cumplir con este otro propósito.*
- *Los requerimientos para los usuarios (servicios relevantes para usuarios), corresponderán a necesidades de una condición del río, siendo no consuntivos. Similar los requerimientos ecológicos, a lo largo del río ellos podrán ser suplidos por los caudales pasantes y que están asociados a requerimientos ubicados aguas abajo o a los no consuntivos propios del tramo, de forma similar al requerimiento Ecológico. Así, tan solo en los casos en que éste sea superior a la suma de los otros requerimientos (en el fin del tramo), se deberá considerar un caudal extra para el tramo. Cabe recordar que este requerimiento, en general, no impondrá la condición dominante en el tramo, pudiéndose contar con caudales incluso superiores al de este requerimiento e incluso impidiéndolo (condiciones especiales y poco usual).*

El caudal ambiental correspondiente a cada área de estudio es aquel que debe cumplirse al inicio del tramo definido, caudal con el cual se pretende suplir los requerimientos sociales, ecológicos, de desarrollo y de usuarios hacia agua debajo de esta, hasta el inicio de la siguiente área de estudio.

El detalle de los criterios utilizados para la determinación del caudal ambiental en cada una de las áreas de estudio se presenta a continuación:

- **Palpana**

Al ubicarse en la zona alta de la cuenca del Loa, no existen extracciones aguas arriba de la sección definida como AEC, de modo que el caudal actual coincide con el natural, como se muestra en la Figura 4.134. Aguas debajo de esta, se encuentran las extracciones de agua potable de ESSAN, las cuales poseen un derecho otorgado acumulado de 0.85 m^3/s, sin embargo, como es posible notar, el caudal natural con probabilidad de excedencia del 50% es menor a este valor, razón por la cual se límita mensualmente al caudal que provenga del río. Lo anterior se debe a que incluso naturalmente, en una condición media, el río no es capaz de suplir el requerimiento. Ahora bien, los requerimientos ecológicos y de usuario se encuentran aguas arriba de la extracción de agua potable, de modo que el flujo de este caudal permite suplir estos requerimientos.

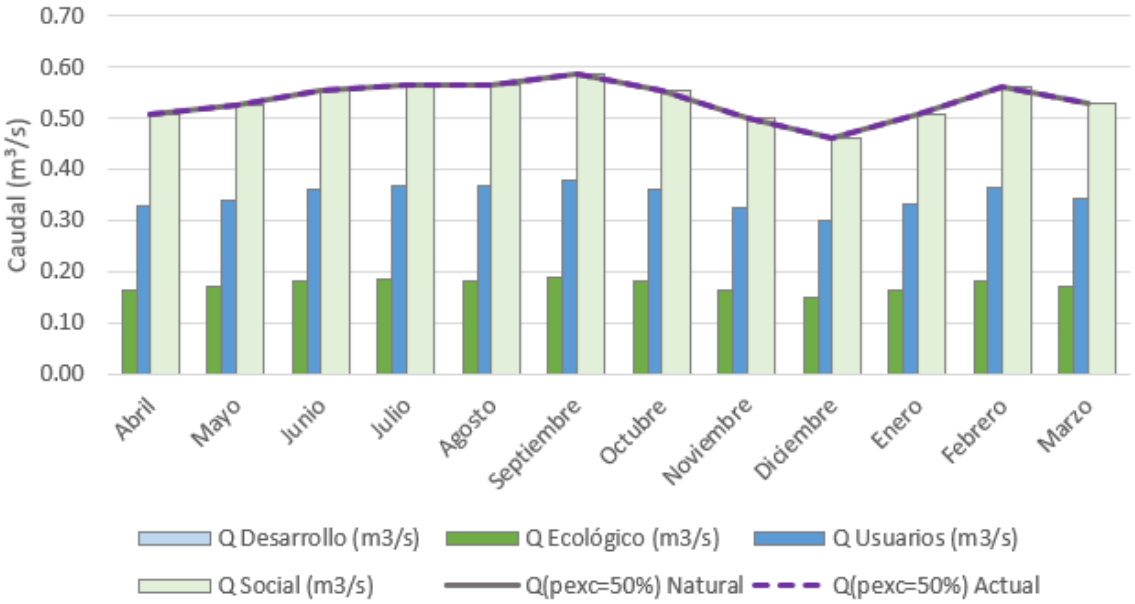


Figura 4.134: Requerimientos de caudal superficial según tipo, caudal actual y natural para AEC Palpana.

Tabla 4.76: Requerimientos de caudal superficial según tipos para AEC Palpana.

Categoría	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Q Social (m^3/s)	0.51	0.52	0.55	0.57	0.56	0.59	0.56	0.50	0.46	0.51	0.56	0.53
Q Ecológico (m^3/s)	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.19	0.18	0.16	0.15	0.17	0.18	0.17
Q Desarrollo (m^3/s)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q Usuarios (m^3/s)	0.33	0.34	0.36	0.37	0.37	0.38	0.36	0.33	0.30	0.33	0.37	0.34
Q ambiental (m^3/s)	**0.51**	**0.52**	**0.55**	**0.57**	**0.56**	**0.59**	**0.56**	**0.50**	**0.46**	**0.51**	**0.56**	**0.53**

NOTA: El caudal ambiental total, no necesariamente corresponde a la suma de sus componentes, ya que los requerimientos no consuntivos pueden suplirse unos a otros total o parcialmente.

- **Calina**

En la Figura 4.135 se presentan los requerimientos según uso para el AEC de Calina. Para este caso particular, al incorporar extracciones aguas arriba, el caudal natural es superior por aproximadamente 0.9 m^3/s al caudal actual. Dentro de los requerimientos a suplir en el AEC se encuentra el requerimiento ecológico, de desarrollo y por usuario, pero como se observa en la figura, al imponer el requerimiento de usuarios, este suple los requerimientos acumulados del caudal ecológico y el caudal de desarrollo, siendo levemente inferior a la oferta de caudal actual entre abril y diciembre.

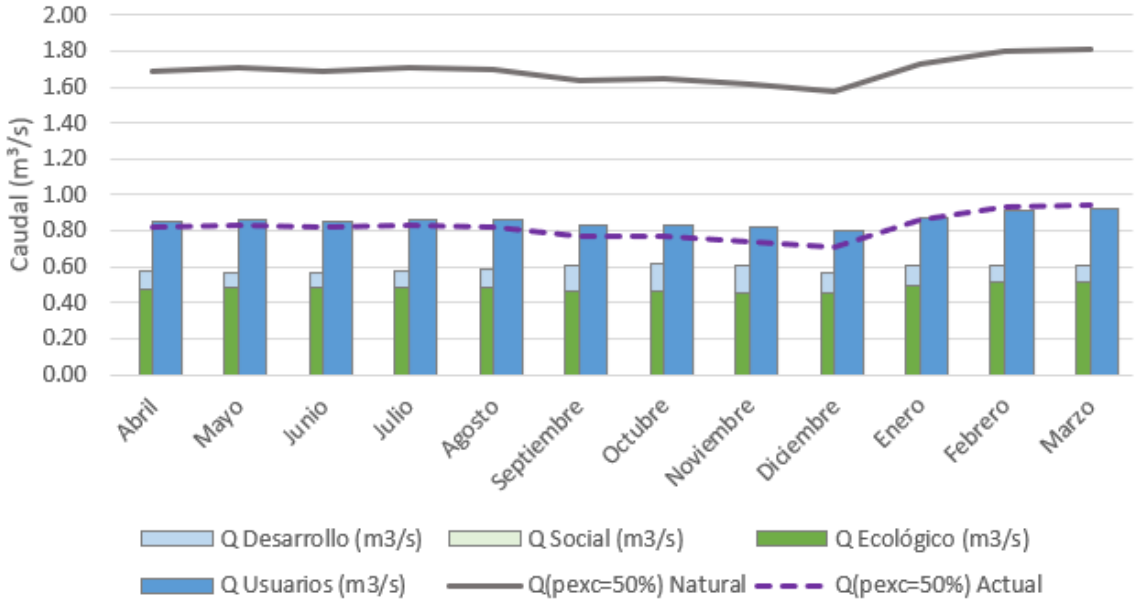


Figura 4.135: Requerimientos de caudal superficial según tipo, caudal actual y natural para AEC Calina.

Tabla 4.77: Requerimientos de caudal superficial según tipos para AEC Calina.

Categoría	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Q Social (m^3/s)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q Ecológico (m^3/s)	0.48	0.49	0.48	0.49	0.48	0.47	0.47	0.46	0.45	0.49	0.51	0.52
Q Desarrollo (m^3/s)	0.09	0.09	0.09	0.10	0.11	0.14	0.15	0.15	0.12	0.12	0.09	0.09
Q Usuarios (m^3/s)	0.85	0.86	0.85	0.86	0.86	0.83	0.83	0.82	0.80	0.87	0.91	0.92
Q ambiental (m^3/s)	**0.85**	**0.86**	**0.85**	**0.86**	**0.86**	**0.83**	**0.83**	**0.82**	**0.80**	**0.87**	**0.91**	**0.92**

NOTA: El caudal ambiental total, no necesariamente corresponde a la suma de sus componentes, ya que los requerimientos no consuntivos pueden suplirse unos a otros total o parcialmente.

- **Ayquina**

En la Figura 4.136 se presentan los requerimientos utilizados en la determinación del caudal ambiental en el área de estudio Ayquina. En esta se muestra un caudal natural superior al caudal actual en aproximadamente 1.75 m^3/s, lo anterior debido a que aguas arriba del AEC, se ubican diferentes industrias que extraen aguas superficiales directamente del río Salado o de sus afluentes, con lo cual el caudal en la localidad se ve disminuido de manera importante. Dentro de las extracciones, se encuentran extracciones para riego, de uso industrial, y de abastecimiento de agua potable. Debido a que históricamente no se han evidenciado las especies evaluadas en el presente estudio, para la determinación del caudal ambiental se utiliza únicamente el caudal de usuario, el cual se define a partir de la belleza escénica y los diferentes usos que los habitantes de la localidad dan al río en esta zona. Este, se ve suplido durante gran parte del año según la estadística del caudal anual, siendo deficiente únicamente los meses de octubre y noviembre.

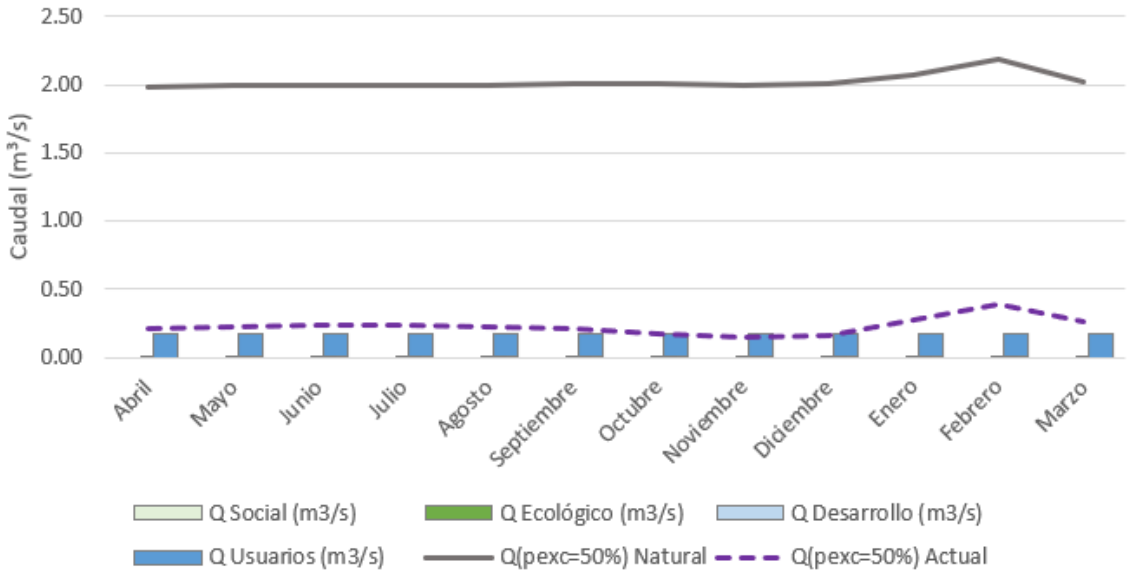


Figura 4.136: Requerimientos de caudal superficial según tipo, caudal actual y natural para AEC Ayquina.

Tabla 4.78: Requerimientos de caudal superficial según tipos para AEC Ayquina.

Categoría	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Q Social (m^3/s)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q Ecológico (m^3/s)												
Q Desarrollo (m^3/s)	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q Usuarios (m^3/s)	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
Q ambiental (m^3/s)	**0.17**	**0.17**	**0.17**	**0.17**	**0.17**	**0.17**	**0.17**	**0.17**	**0.17**	**0.17**	**0.17**	**0.17**

NOTA: El caudal ambiental total, no necesariamente corresponde a la suma de sus componentes, ya que los requerimientos no consuntivos pueden suplirse unos a otros total o parcialmente.

- **Lasana**

Para la determinación del caudal ambiental del área de estudio Lasana, se tiene que gran parte de las extracciones correspondientes al caudal de desarrollo se realizan dentro del tramo definido para el AEC, por lo cual, para suplir el caudal ecológico definido según la simulación de hábitat para este sector, el caudal ambiental debe considerar la suma mensual de ambos caudales, como se presenta en la Figura 4.137. Se observa que, ante la estadística de caudales actuales, ambos requerimientos se suplen al 100% durante todo el año.

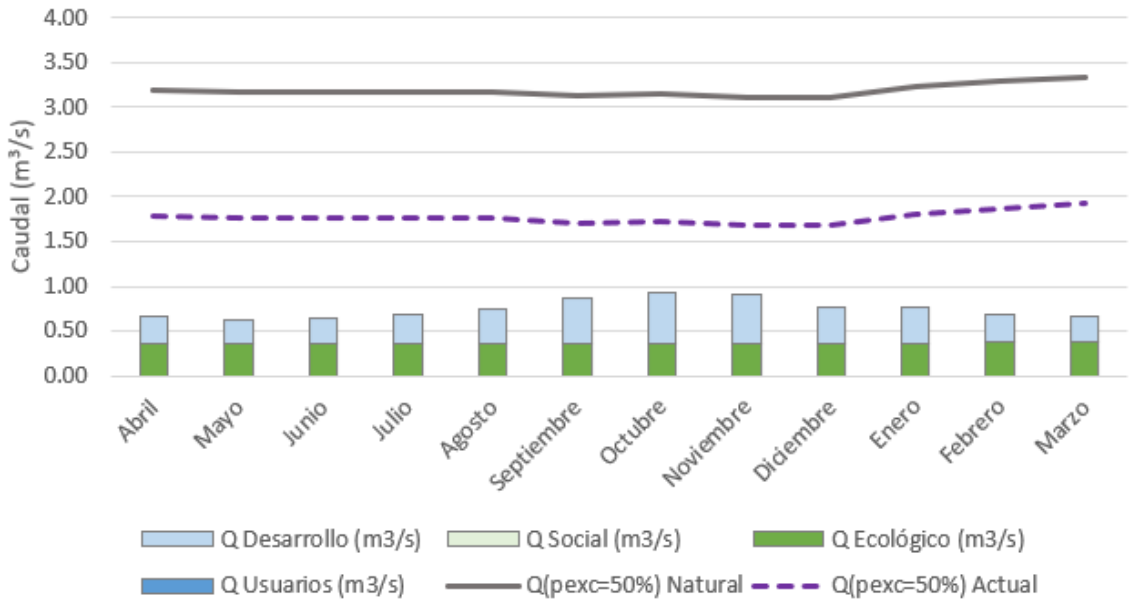


Figura 4.137: Requerimientos de caudal superficial según tipo, caudal actual y natural para AEC Lasana.

Tabla 4.79: Requerimientos de caudal superficial según tipos para AEC Lasana.

Categoría	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Q Social (m^3/s)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q Ecológico (m^3/s)	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.35	0.35	0.35	0.35	0.36	0.37	0.38
Q Desarrollo (m^3/s)	0.30	0.28	0.28	0.34	0.40	0.51	0.57	0.56	0.42	0.39	0.31	0.29
Q Usuarios (m^3/s)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ambiental (m^3/s)	**0.66**	**0.63**	**0.64**	**0.69**	**0.75**	**0.86**	**0.92**	**0.91**	**0.77**	**0.76**	**0.68**	**0.67**

NOTA: El caudal ambiental total, no necesariamente corresponde a la suma de sus componentes, ya que los requerimientos no consuntivos pueden suplirse unos a otros total o parcialmente.

- **Chiu Chiu**

En la Figura 4.138 se presentan los caudales considerados en la determinación del caudal ambiental para el área de estudio de ChiuChiu. En esta, se muestra que el caudal natural es superior al caudal actual en aproximadamente 1.5 m^3/s, diferencia que radica principalmente en la reincorporación de caudales industriales extraídos del río San Pedro. Dentro de los requerimientos utilizados en la determinación del caudal ambiental, se tiene el caudal ecológico, y el caudal de desarrollo, el cual corresponde principalmente a demandas superficiales de riego dentro del tramo definido por el AEC, razón por la cual el caudal ambiental queda definido como la suma mensual acumulada de estos.

Se observa que los requerimientos antes mencionados son suplidos actualmente por el caudal actual con probabilidad de excendencia del 50%, disminuyendo su disponibilidad entre los meses de octubre y noviembre.

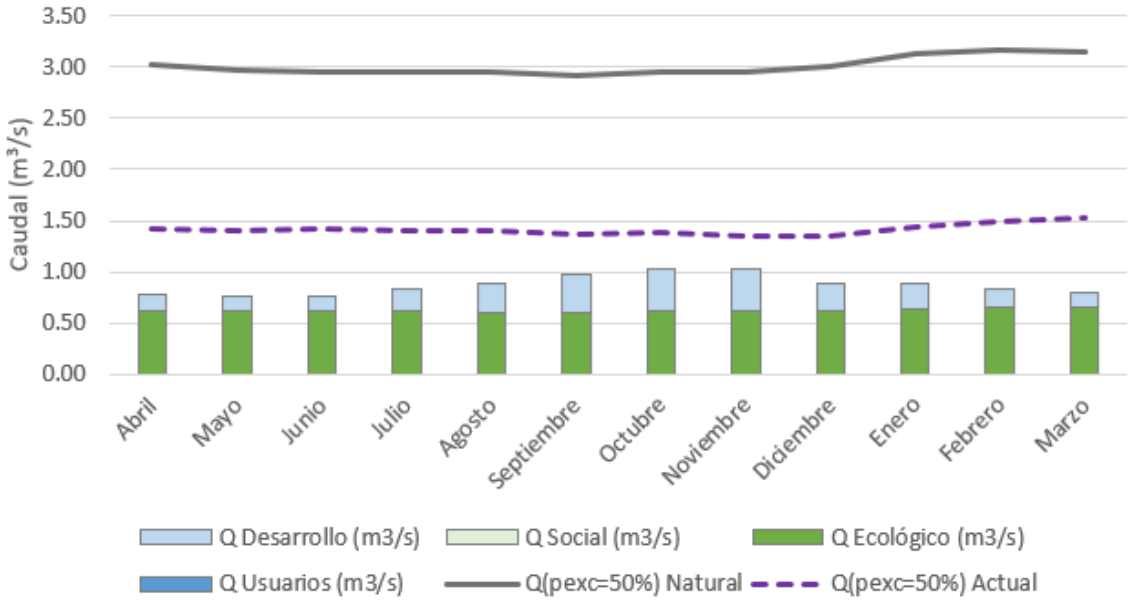


Figura 4.138: Requerimientos de caudal superficial según tipo, caudal actual y natural para AEC Chiu Chiu.

Tabla 4.80: Requerimientos de caudal superficial según tipos para AEC Chiu Chiu.

Categoría	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Q Social (m^3/s)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q Ecológico (m^3/s)	0.62	0.61	0.61	0.61	0.61	0.60	0.61	0.61	0.62	0.64	0.65	0.65
Q Desarrollo (m^3/s)	0.16	0.15	0.15	0.21	0.28	0.37	0.43	0.41	0.26	0.24	0.17	0.15
Q Usuarios (m^3/s)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ambiental (m^3/s)	**0.78**	**0.76**	**0.76**	**0.82**	**0.88**	**0.97**	**1.04**	**1.02**	**0.88**	**0.88**	**0.83**	**0.80**

NOTA: El caudal ambiental total, no necesariamente corresponde a la suma de sus componentes, ya que los requerimientos no consuntivos pueden suplirse unos a otros total o parcialmente.

- **Calama Alto**

En la Figura 4.139 se presentan los requerimientos definidos para el AEC de Calama Alto, donde se encuentra el caudal ecológico, caudales de desarrollo y usuario. En esta, se observa que la diferencia entre el caudal natural y actual se acrecenta con respecto a AEC's ubicadas aguas arriba de esta, debido a que esta incorpora la restitución de todas las extracciones anteriores, alcanzando una diferencia de hasta 3.5 m^3/s.

Dentro de los requerimientos identificados, se tiene que el caudal por usuario se suple al considerar el resto de los requerimientos, por lo cual no se clasifica como un caudal restrictivo. Sin embargo, el caudal ambiental queda definido como la suma acumulada del caudal de desarrollo y el caudal ecológico, cuyo peak se presenta en el periodo de menor disponibilidad hídrica (octubre-diciembre). A partir de lo anterior, se tiene que el caudal actual con probabilidad de excedencia del 50% es capaz de suplir los requerimientos ambientales durante gran parte del año, sin embargo, existe un déficit para los meses entre octubre y diciembre.

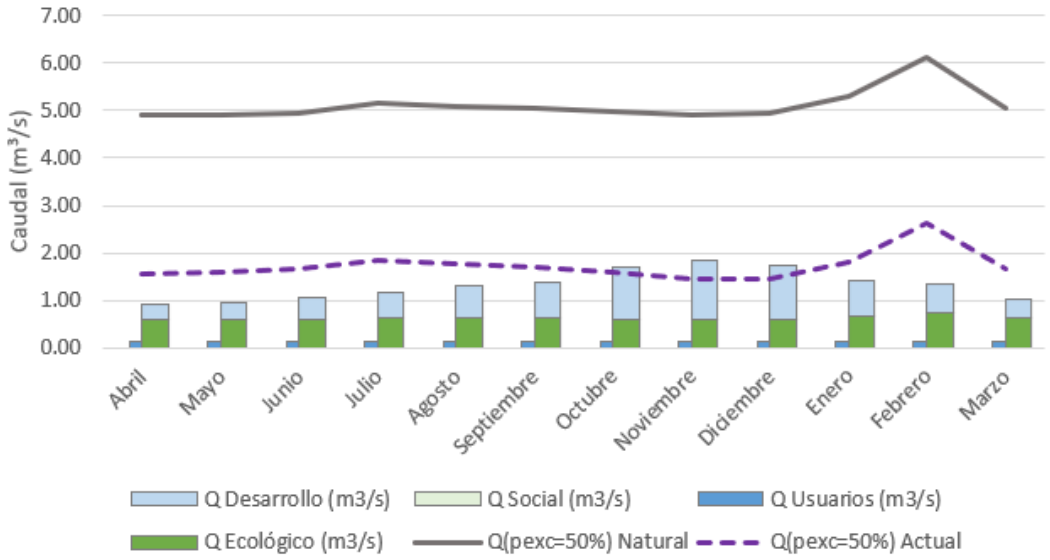


Figura 4.139: Requerimientos de caudal superficial según tipo, caudal actual y natural para AEC Calama Alto.

Tabla 4.81: Requerimientos de caudal superficial según tipos para AEC Calama alto.

Categoría	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Q Social (m^3/s)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q Ecológico (m^3/s)	0.60	0.60	0.61	0.63	0.62	0.62	0.61	0.60	0.61	0.65	0.75	0.62
Q Desarrollo (m^3/s)	0.33	0.35	0.45	0.52	0.67	0.77	1.11	1.23	1.12	0.77	0.59	0.42
Q Usuarios (m^3/s)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
Q ambiental (m^3/s)	**0.93**	**0.95**	**1.05**	**1.15**	**1.29**	**1.39**	**1.72**	**1.83**	**1.72**	**1.42**	**1.34**	**1.03**

NOTA: El caudal ambiental total, no necesariamente corresponde a la suma de sus componentes, ya que los requerimientos no consuntivos pueden suplirse unos a otros total o parcialmente.

- **Calama Medio**

Dentro de los requerimientos identificados para el área de Calama Medio, presentados en la Figura 4.140, se tienen requerimientos sociales, ecológicos, de desarrollo y de usuario. El caudal social, corresponde a una extracción de agua potable con derechos de agua por 0.15 m^3/s ubicada al inicio del AEC, mientras que las extracciones de caudal de desarrollo se encuentran emplazadas a lo largo del tramo definido por el AEC.
Debido a la existencia de usos consuntivos, el caudal ambiental queda definido como el valor acumulado del caudal de riego, social y de desarrollo, no incluyendo el caudal de usuario, el cual se ve suplido al permitir el flujo del caudal ambiental antes mencionado.

De este modo, el caudal ambiental se ve suplido entre enero y septiembre, presentando un déficit para los meses de menor disponibilidad (octubre-diciembre), donde el caudal de desarrollo se ve limitado por el caudal actual con probabilidad de excedencia del 50%.

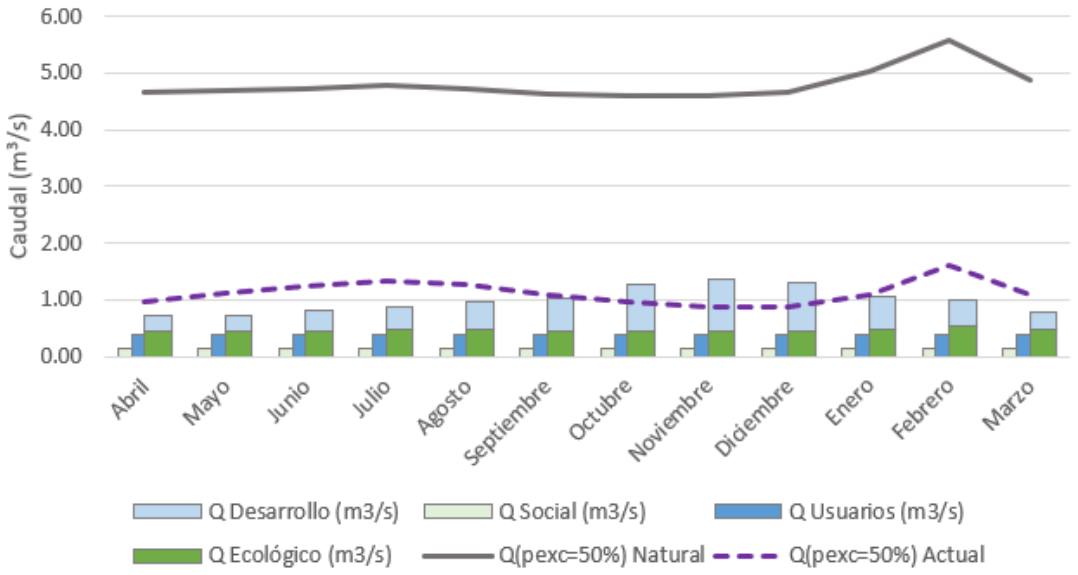


Figura 4.140: Requerimientos de caudal superficial según tipo, caudal actual y natural para AEC Calama Medio.

Tabla 4.82: Requerimientos de caudal superficial según tipos para AEC Calama medio.

Categoría	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Q Social (m^3/s)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Q Ecológico (m^3/s)	0.46	0.46	0.46	0.47	0.46	0.45	0.45	0.45	0.46	0.49	0.55	0.48
Q Desarrollo (m^3/s)	0.25	0.27	0.34	0.40	0.51	0.58	0.84	0.93	0.84	0.58	0.45	0.32
Q Usuarios (m^3/s)	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
Q ambiental (m^3/s)	**0.71**	**0.73**	**0.81**	**0.87**	**0.98**	**1.04**	**1.29**	**1.38**	**1.30**	**1.07**	**1.00**	**0.80**

NOTA: El caudal ambiental total, no necesariamente corresponde a la suma de sus componentes, ya que los requerimientos no consuntivos pueden suplirse unos a otros total o parcialmente.

- **Calama Bajo**

En la Figura 4.141 se presentan los caudales actuales y naturales, y los requerimientos según tipo de uso para el área de Calama Bajo. En este se observa que el caudal natural se ve muy deprimido debido al valor acumulado de extracciones desarrolladas aguas arriba de esta, con lo cual su valor disminuye en cerca de 4 m^3/s para alcanzar el valor observado actualmente.
Aguas abajo del inicio del AEC, se desarrollan diversas actividades productivas, dentro de las que se identifican extracciones para su uso en riego o en industria, las cuales alcanzan su mayor valor en los meses próximos a noviembre, siendo muy superior al caudal definido como ecológico. Dado que el valor acumulado entre el caudal ecológico y el caudal de desarrollo es superior al caudal de usuario, este se suple al permitir el flujo de este caudal, no siendo restrictivo para la definición del caudal ambiental, sin embargo, se observa que a pesar de lo anterior, debido a las presiones en el río, no es posible satisfacer este valor acumulado durante todos los meses del año, presentándose un déficit entre septiembre y abril, encontrándose un "excedente" únicamente en los meses entre mayo y agosto.

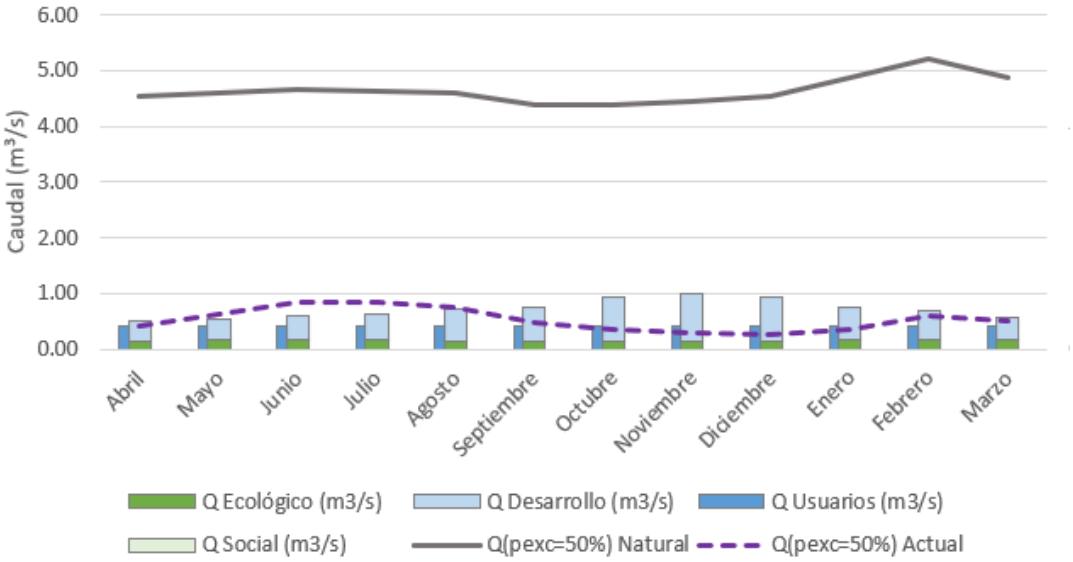


Figura 4.141: Requerimientos de caudal superficial según tipo, caudal actual y natural para AEC Calama Bajo.

Tabla 4.83: Requerimientos de caudal superficial según tipos para AEC Calama bajo.

Categoría	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Q Social (m^3/s)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q Ecológico (m^3/s)	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.16	0.17	0.18	0.17
Q Desarrollo (m^3/s)	0.37	0.38	0.43	0.47	0.55	0.60	0.78	0.84	0.78	0.60	0.51	0.41
Q Usuarios (m^3/s)	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
Q ambiental (m^3/s)	**0.52**	**0.54**	**0.59**	**0.63**	**0.71**	**0.75**	**0.93**	**0.99**	**0.93**	**0.76**	**0.68**	**0.58**

NOTA: El caudal ambiental total, no necesariamente corresponde a la suma de sus componentes, ya que los requerimientos no consuntivos pueden suplirse unos a otros total o parcialmente.

- **Coya**

Para el caso particular del AEC Coya, presentado en la Figura 4.142, el caudal ecológico se define de forma tal que provea de una habitabilidad del 30%, esto debido a que una habitabilidad del 70% como para el resto de los casos, determina un caudal ecológico superior al caudal natural, de manera que no es esperable encontrar esta especie en el tramo definido por el AEC. Sin embargo, en terreno, se observó la especie en el sector de río San Salvador antes de la junta con el río Loa, de modo que la habitabilidad del 30% representa la posibilidad de avistamiento de la especie, pero se espera que actualmente esta no habite continuamente en esta.

Dentro de los requerimientos, existe una fracción de demandas superficiales industriales que se desarrollan dentro del tramo definido por el AEC, las cuales se suman a las demandas ecológicas en una columna apilada, como se muestra en la Figura 4.142. Este caudal acumulado suple los requerimientos de usuario, de modo que este no es restrictivo en la definición del caudal ambiental.

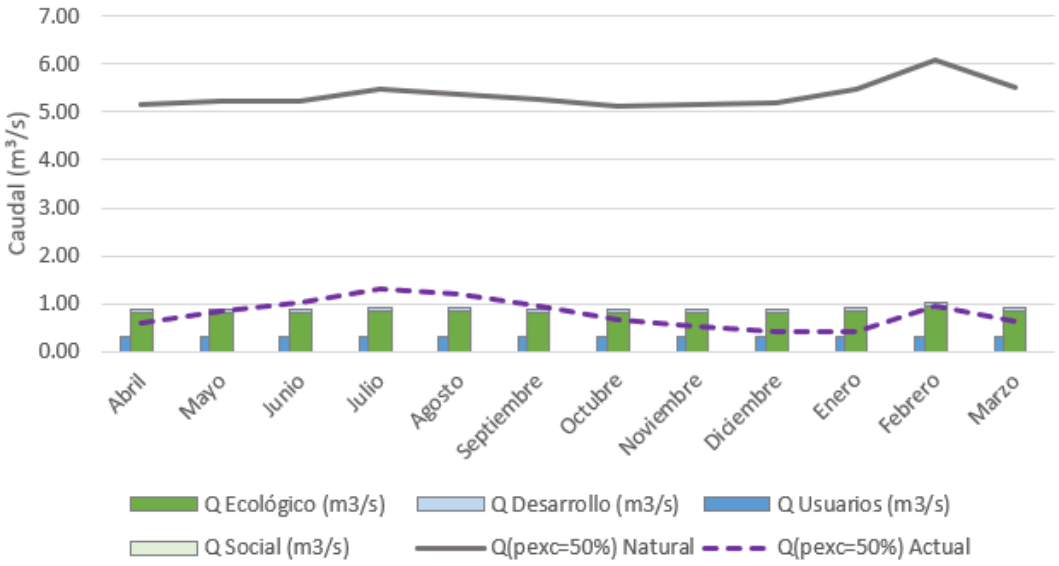


Figura 4.142: Requerimientos de caudal superficial según tipo, caudal actual y natural para AEC Coya.

Tabla 4.84: Requerimientos de caudal superficial según tipos para AEC Coya.

Categoría	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Q Social (m^3/s)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q Ecológico (m^3/s)	0.80	0.81	0.82	0.85	0.84	0.82	0.80	0.80	0.81	0.85	0.95	0.86
Q Desarrollo (m^3/s)	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Q Usuarios (m^3/s)	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
Q ambiental (m^3/s)	**0.87**	**0.88**	**0.89**	**0.92**	**0.91**	**0.89**	**0.87**	**0.87**	**0.88**	**0.92**	**1.02**	**0.93**

NOTA: El caudal ambiental total, no necesariamente corresponde a la suma de sus componentes, ya que los requerimientos no consuntivos pueden suplirse unos a otros total o parcialmente.

- **Quillagua**

Finalmente, en la Figura 4.143 se presentan los requerimientos definidos para el AEC de Quillagua. En esta, se observa únicamente un caudal ecológico, definido según la modelación de hábitat antes desarrollada, y la cual es suplida por el caudal actual únicamente entre los meses de junio y septiembre, encontrándose en déficit para el resto del año.

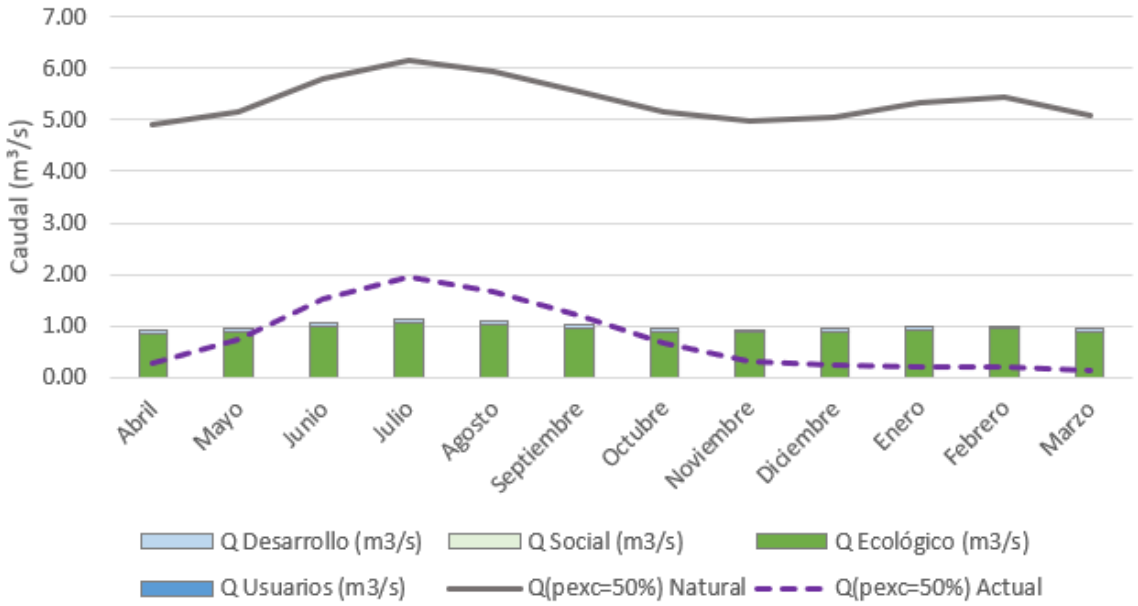


Figura 4.143: Requerimientos de caudal superficial según tipo, caudal actual y natural para AEC Quillagua.

Tabla 4.85: Requerimientos de caudal superficial según tipos para AEC Quillagua.

Categoría	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
Q Social (m^3/s)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q Ecológico (m^3/s)	0.85	0.89	1.00	1.07	1.03	0.96	0.89	0.86	0.88	0.92	0.94	0.88
Q Desarrollo (m^3/s)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Q Usuarios (m^3/s)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ambiental (m^3/s)	**0.91**	**0.95**	**1.06**	**1.13**	**1.09**	**1.02**	**0.95**	**0.92**	**0.94**	**0.98**	**1.00**	**0.94**

NOTA: El caudal ambiental total, no necesariamente corresponde a la suma de sus componentes, ya que los requerimientos no consuntivos pueden suplirse unos a otros total o parcialmente.

A partir de los desarrollos anteriores, en la Tabla 4.86 se presenta el cuadro resumen de caudales ambientales a nivel mensual para cada una de las áreas de estudio.

Tabla 4.86: Caudal ambiental mensual en m3/s según AEC.

AEC	Caudal ambiental total en m^3/s por Área de Evaluación de la Condición (AEC)											
	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Palpana	0.51	0.52	0.55	0.57	0.56	0.59	0.56	0.50	0.46	0.51	0.56	0.53
Calina	0.85	0.86	0.85	0.86	0.86	0.83	0.83	0.82	0.80	0.87	0.91	0.92
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
Lasana	0.66	0.63	0.64	0.69	0.75	0.86	0.92	0.91	0.77	0.76	0.68	0.67
ChiuChiu	0.78	0.76	0.76	0.82	0.88	0.97	1.04	1.02	0.88	0.88	0.83	0.80
Calama Alto	0.93	0.95	1.05	1.15	1.29	1.39	1.72	1.83	1.72	1.42	1.34	1.03
Calama Medio	0.71	0.73	0.81	0.87	0.98	1.04	1.29	1.38	1.30	1.07	1.00	0.80
Calama Bajo	0.52	0.54	0.59	0.63	0.71	0.75	0.93	0.99	0.93	0.76	0.68	0.58
Coya	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
Quillagua	0.91	0.95	1.06	1.13	1.09	1.02	0.95	0.92	0.94	0.98	1.00	0.94

4.5 Evaluación del caudal ambiental

A continuación, se desarrollan y entregan antecedentes respecto de las etapas requeridas para la evaluación del caudal ambiental, lo cual es posible tras la definición y estimación de éste.

Figura 4.144. Pasos asociados a la determinación del caudal ambiental (Fuente: Elaboración propia).

4.5.1 Etapa 6: Configuración actual del sistema y definición de escenarios futuros de la disponibilidad de agua para la evaluación.

La configuración hidrológica actual del sistema se definió en la Etapa 1, en donde a partir de la información recopilada de estaciones fluviométricas se estimó el caudal actual para cada una de las áreas de estudio, cuyo resultado se presenta en la Tabla 4.58: Caudal actual mensual en m3/s con probabilidad de excedencia del 50% según punto de interés.

Para le definición de la configuración actual del sistema, se asume que las extracciones se realizarán en los mismos periodos que se utilizan actualmente, manteniendo las mismas condiciones de captación y caudales de extracción a los referidos anteriormente.

Los escenarios futuros se construyen a partir de los resultados de la simulación en WEAP presentada en el capítulo 4.3, en donde se obtiene una serie de caudales a nivel mensual para el período 1989 – 2060, esto para los dos modelos de *downscalling* utilizados (Miroc y Csiro). Dado que la información resultante de la simulación se presenta a nivel mensual, no es posible desarrollar un análisis de frecuencia como el que se desarrolla para el caudal actual, puesto que, al considerar un intervalo de 10 años, la cantidad de datos mensuales es insuficiente para ajustar a una distribución de probabilidad, razón por la cual se hace uso de promedios mensuales por intervalos de 10 años, siendo estos 2020-2030, 2030-2040, 2040-2050 y 2050-2060.

Las curvas de variación estacional para el escenario futuro, por área de estudio, y según intervalo de tiempo, se presentan a continuación en las Figura 4.145 a Figura 4.154.

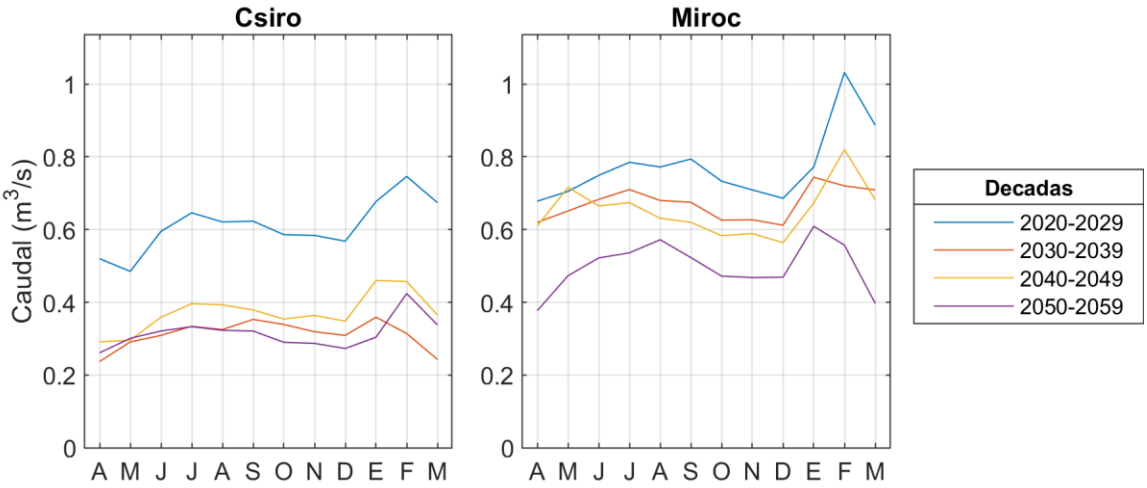


Figura 4.145: Caudales para escenarios futuros a partir de resultados de simulación en WEAP para según *downscalling* Csiro y Miroc para AEC Palpana.

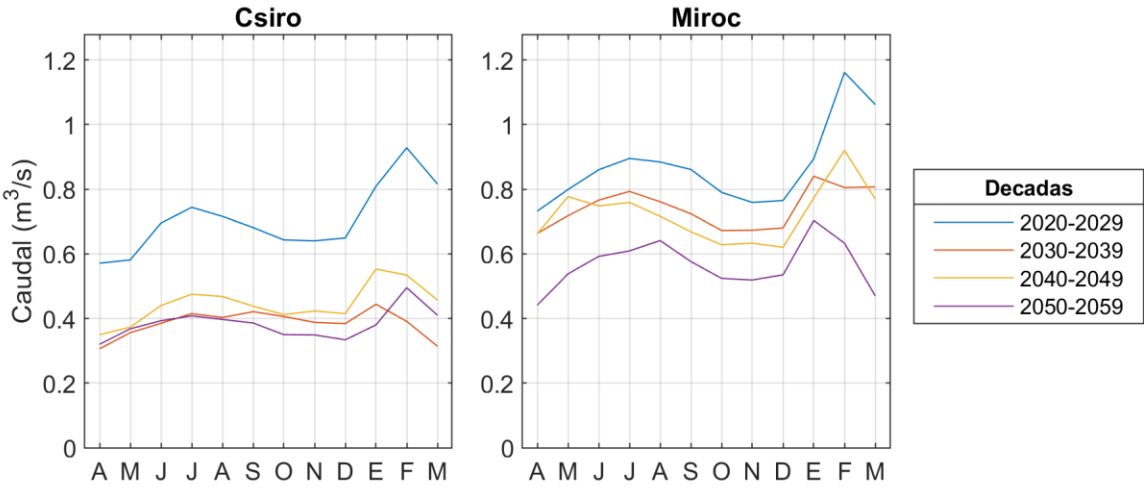


Figura 4.146: Caudales para escenarios futuros a partir de resultados de simulación en WEAP para según downscalling Csiro y Miroc para AEC Calina.

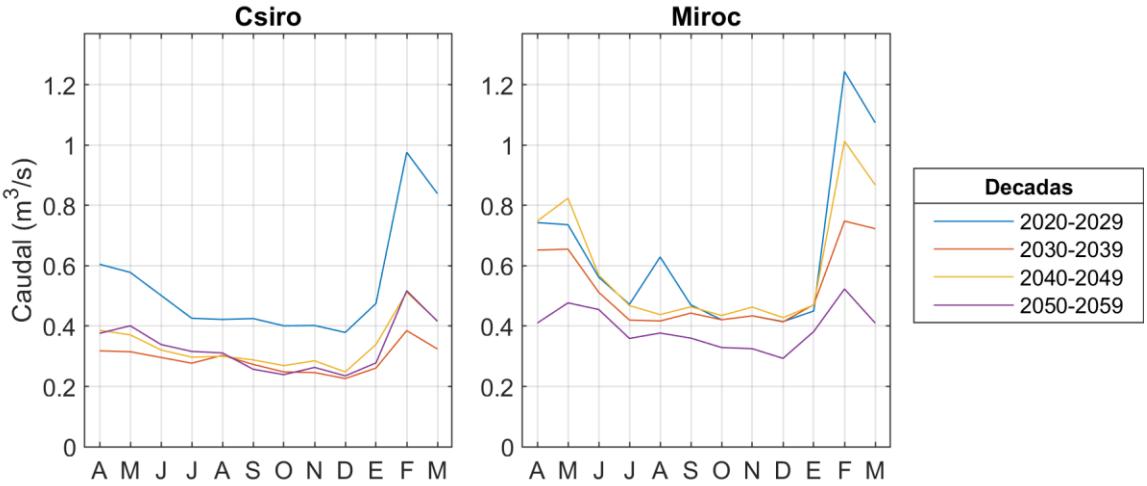


Figura 4.147: Caudales para escenarios futuros a partir de resultados de simulación en WEAP para según downscalling Csiro y Miroc para AEC Ayquina.

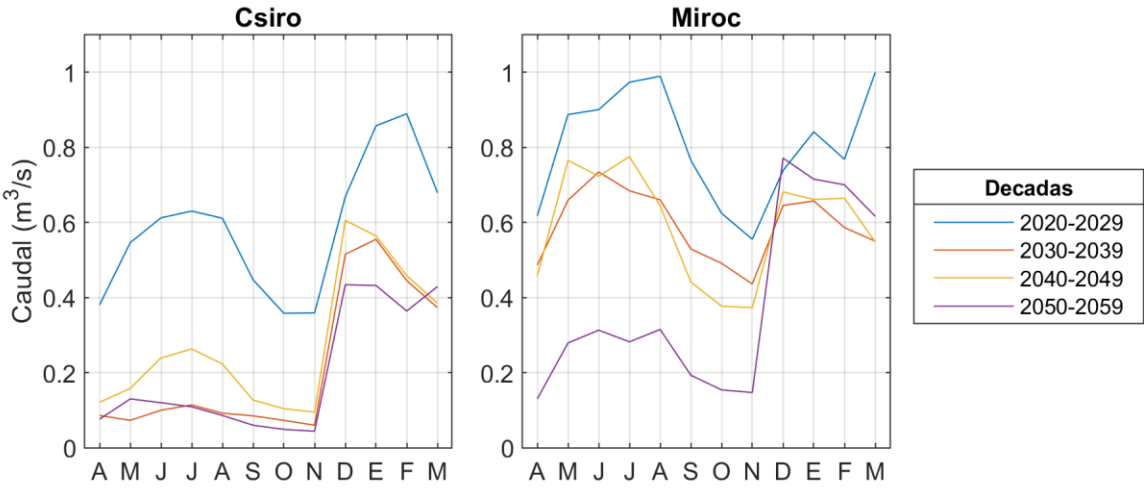


Figura 4.148: Caudales para escenarios futuros a partir de resultados de simulación en WEAP para según downscalling Csiro y Miroc para AEC Lasana.

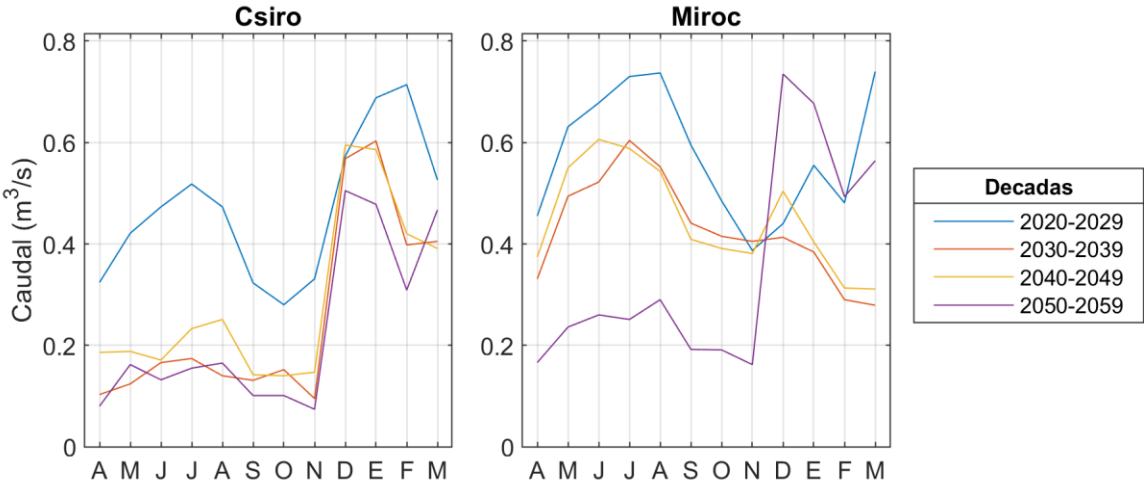


Figura 4.149: Caudales para escenarios futuros a partir de resultados de simulación en WEAP para según downscalling Csiro y Miroc para AEC ChiuChiu.

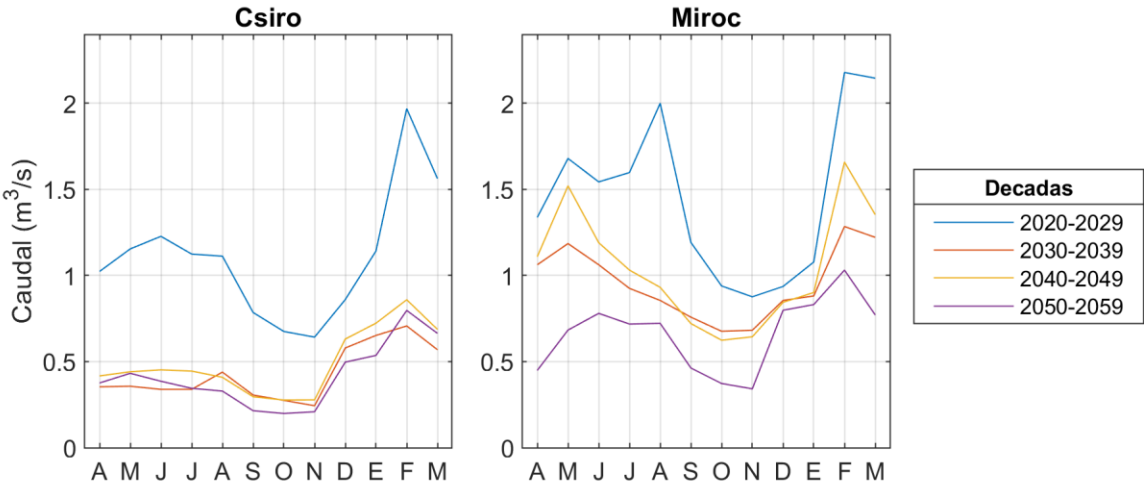


Figura 4.150: Caudales para escenarios futuros a partir de resultados de simulación en WEAP para según downscalling Csiro y Miroc para AEC Calama Alto.

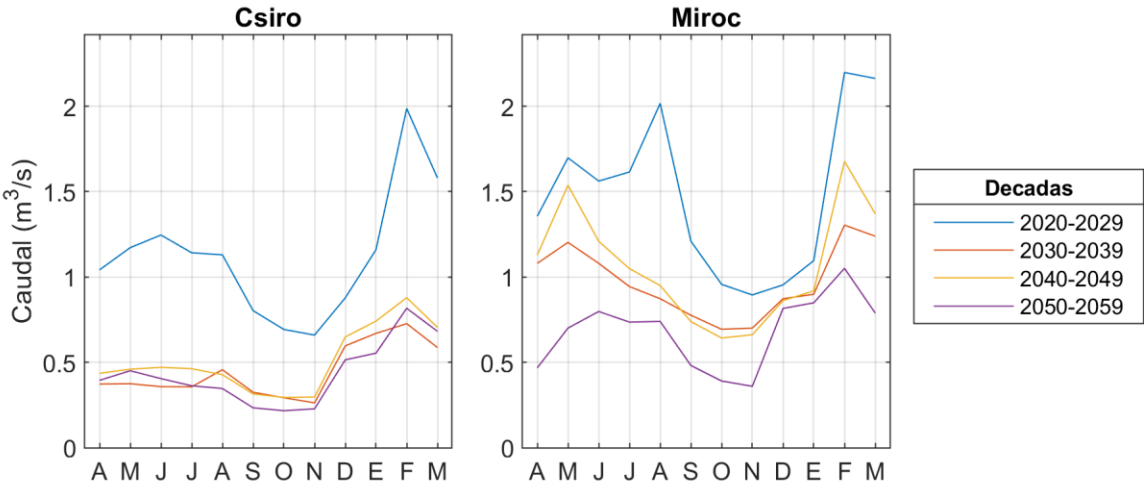


Figura 4.151: Caudales para escenarios futuros a partir de resultados de simulación en WEAP para según downscalling Csiro y Miroc para AEC Calama Medio.

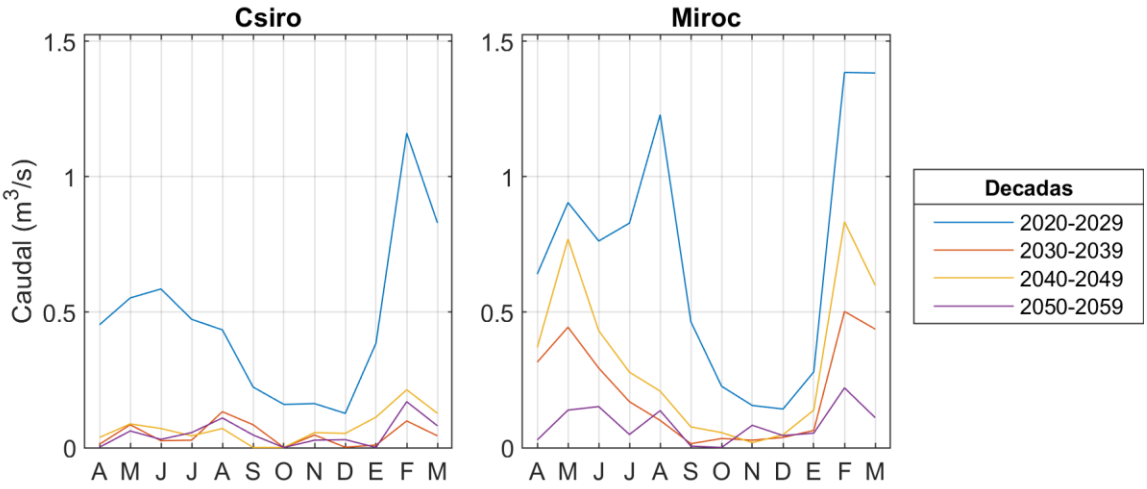


Figura 4.152: Caudales para escenarios futuros a partir de resultados de simulación en WEAP para según downscalling Csiro y Miroc para AEC Calama Bajo.

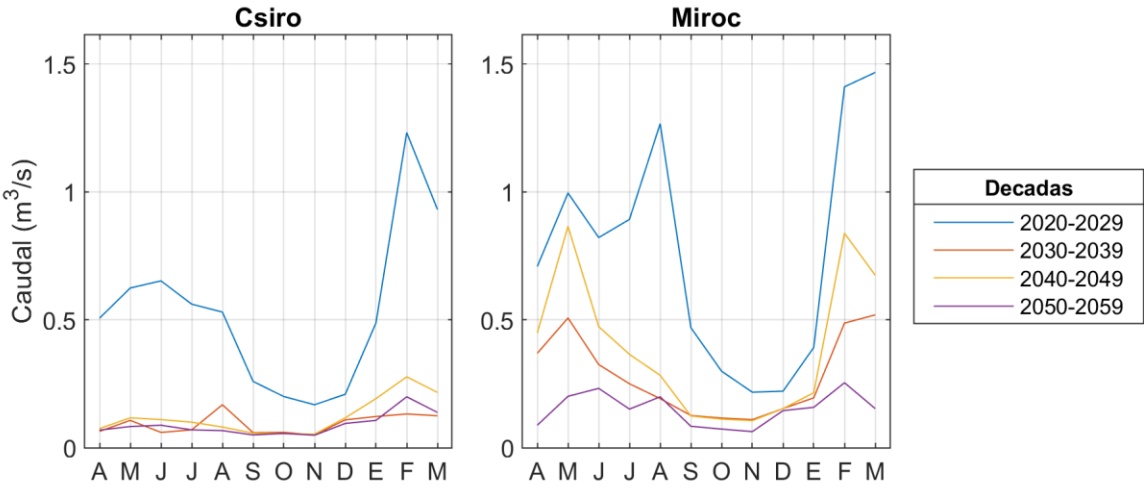


Figura 4.153: Caudales para escenarios futuros a partir de resultados de simulación en WEAP para según downscalling Csiro y Miroc para AEC Coya.

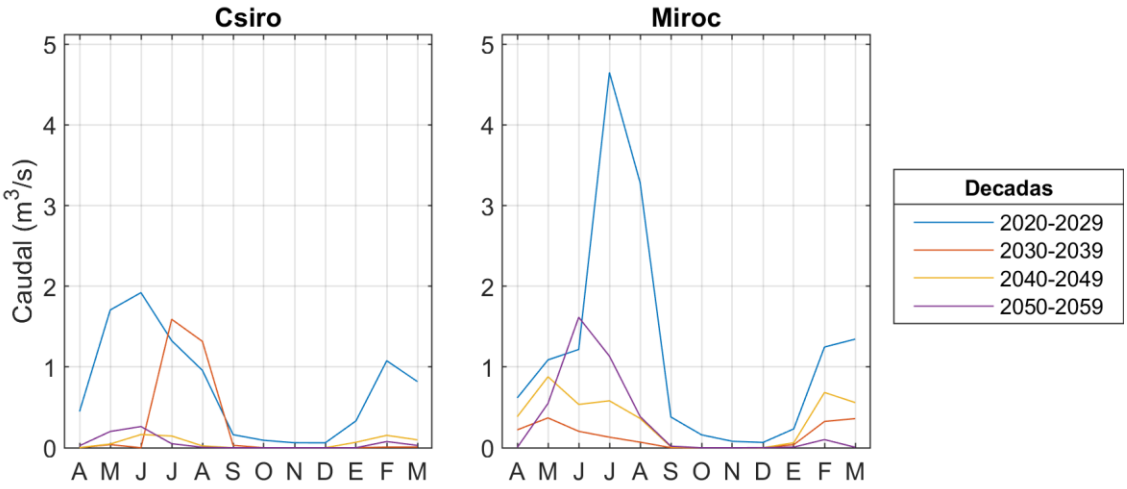


Figura 4.154: Caudales para escenarios futuros a partir de resultados de simulación en WEAP para según downscalling Csiro y Miroc para AEC Quillagua.

Como se mencionó en el capítulo 4.3, los caudales resultantes de la simulación corresponden a los caudales considerando las extracciones de agua superficial aguas arriba de cada estación fluviométrica, por lo cual corresponden a los caudales futuros que ingresan a cada una de las áreas de estudio.

De estos, si bien se observa cierta irregularidad en la tendencia, presentando en algunos casos desfase entre las épocas de mayor disponibilidad, se tiene que en general los caudales del futuro próximo, correspondiente a la década de 2020-2029 son superiores a los caudales del resto de los escenarios, con lo cual se estima que en un futuro, la disponibilidad de caudal pasante se verá severamente disminuída, afectando principalmente al ecosistema que actualmente habita en los diferentes sectores del Loa.

4.5.2 Etapa 7: Evaluación de la condición actual y futura, considerando escenarios futuros de disponibilidad de agua. Comparación mediante valoración de la presencia de la biota y del desarrollo de los servicios ecosistémicos de escenarios respecto del caudal ambiental definido.

La modelación de hábitat presentada en el acápite 4.4.5.3 nos permite evaluar un caudal y determinar el porcentaje de habitabilidad respecto al óptimo de este para las especies a considerar, de modo que es posible determinar los diferentes estados en los que se encuentra esta en diferentes escenarios. La condición natural, construida a partir de la hidrología histórica y el catastro de extracciones superficiales, se presentó en la etapa 2, en donde en la Tabla 4.60 se muestra el caudal natural con probabilidad de excedencia de 50%, correspondiente a una condición natural "media", esta se evalúa según las curvas de habitabilidad antes mencionadas, obteniendo como resultado las habitabilidades presentadas en la Tabla 4.87. En esta, se observa que, ante un régimen natural de caudales, gran parte de las AEC evaluadas presentan una habitabilidad superior al 70% de la habitabilidad óptima, siendo únicamente Calama Bajo el que no cumple esta condición, con una habitabilidad promedio del 48%, lo cual se explica principalmente por la convexidad que presenta su curva caudal vs WUA (Figura 4.129), en donde para el caso del Basilycthis Semotilus, se observa que esta decrece con el caudal luego de alcanzar el máximo.

Tabla 4.87: Habitabilidad % mensual según AEC al evaluar caudal natural con probabilidad de excedencia del 50%.

AEC	Habitabilidad (%) mensual para caudal natural con pexc=50%											
	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Palpana	95	94	93	92	92	91	93	95	97	95	93	94
Calina	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	91	91
Ayquina*												
Lasana	99	99	99	99	99	99	99	99	99	98	98	98
ChiuChiu	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	96	96
Calama Alto	79	79	78	77	78	78	78	79	78	77	72	78
Calama Medio	97	98	98	98	98	97	97	97	97	98	95	98
Calama Bajo	48	48	48	48	48	47	47	47	48	47	48	48
Coya	99	99	99	100	100	99	99	99	99	100	99	100
Quillagua	84	83	80	78	79	82	83	84	84	83	83	84

* En la AEC de Ayquina no se consideraron especies de ictiofauna pues no había antecedentes de especies en registros bibliográficos ni avistamientos en terreno.

Ahora bien, al evaluar el caudal ambiental definido en el acápite 4.4.5.5, cuya habitabilidad resultante se presenta en la Tabla 4.88, se tiene que la habitabilidad se reduce con respecto al caudal natural, y que a su vez esta diferencia aumenta hacia aguas abajo debido a la diferencia de caudal entre el caudal natural y el caudal ambiental definido. A pesar de lo anterior, al reducir el caudal pasante, la habitabilidad de la especie en Calama Bajo

aumenta, de un 48% a un 95% promedio, cumpliendo con el requerimiento mínimo de 70% de habitabilidad.

En cambio, la habitabilidad en Coya se reduce a un 30%, debido a que como se comentó anteriormente, esta se definió en este rango debido a la baja probabilidad de presencia de esta especie en este tramo.

Tabla 4.88: Habitabilidad % mensual según AEC al evaluar caudal ambiental.

AEC	Habitabilidad (%) mensual para caudal ambiental											
	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Palpana	95	94	93	92	92	91	93	95	97	95	93	94
Calina	91	92	91	92	91	89	89	87	85	93	96	97
Ayquina*												
Lasana	97	97	97	97	97	98	98	98	97	97	97	97
ChiuChiu	77	76	76	78	80	82	83	83	80	80	78	77
Calama Alto	92	93	96	97	99	100	99	99	99	100	99	95
Calama Medio	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
Calama Bajo	96	96	95	94	93	94	96	97	96	94	93	95
Coya	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	31	30
Quillagua	73	75	79	81	80	78	75	74	74	76	77	74

* En la AEC de Ayquina no se consideraron especies de ictiofauna pues no había antecedentes de especies en registros bibliográficos ni avistamientos en terreno.

Ahora bien, al observar la habitabilidad mensual evaluada para el caudal actual con probabilidad de excedencia, presentada en la Tabla 4.89, se tiene que el AEC de Quillagua reduce drásticamente su habitabilidad con respecto al escenario natural y ambiental, de modo que solo cumple con el requerimiento del 70% para los meses entre junio y septiembre, alcanzando una habitabilidad mínima de 34% en marzo, lo cual se puede observar de manera gráfica en la Figura 4.143, en donde destaca la diferencia entre el requerimiento ecológico y el caudal actual.

Tabla 4.89: Habitabilidad % mensual según AEC al evaluar caudal actual con probabilidad de excedencia del 50%.

AEC	Habitabilidad (%) mensual para caudal actual con pexc=50%											
	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Palpana	95	94	93	92	92	91	93	95	97	95	93	94
Calina	87	89	87	89	88	85	85	84	84	92	97	98
Ayquina*												
Lasana	97	98	98	98	98	98	98	98	98	97	97	97
ChiuChiu	89	89	89	89	89	89	89	89	89	90	90	91
Calama Alto	100	100	99	99	99	99	100	100	100	99	89	99
Calama Medio	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	73	74
Calama Bajo	98	94	95	95	94	97	99	97	93	99	94	96
Coya	29	30	31	32	31	30	30	29	28	28	30	30
Quillagua	44	65	87	90	88	82	62	45	42	37	39	34

* En la AEC de Ayquina no se consideraron especies de ictiofauna pues no había antecedentes de especies en registros bibliográficos ni avistamientos en terreno.

Al comparar la habitabilidad mensual evaluada con el caudal actual, con la habitabilidad mensual resultante de los caudales futuros para el modelo CSIRO, presentadas en la Tabla 4.90, es necesario desarrollar una comparación por AEC debido a la cantidad de información presentada. Para el caso particular de palpana, el escenario futuro cumple los requerimientos ambientales establecidos, manteniendo la condición actual.

Calina: Según se observa, para el futuro próximo (2020-2030) se siguen supliendo el requisito del 70% de habitabilidad, con un promedio de 83%, similar al obtenido para el escenario actual donde se alcanza una habitabilidad promedio del 88%. Sin embargo, la habitabilidad disminuye al considerar diferentes horizontes de evaluación, siendo el período 2050-2060 el que logra mayor incumplimiento del requisito del 70%, con una habitabilidad promedio del 64%.

Lasana: La habitabilidad promedio actual alcanza un 97%, sin embargo, al evaluar los caudales futuros para esta AEC, se tiene que con el tiempo la habitabilidad disminuye progresivamente, inicialmente con un 94% para el futuro próximo, hasta un 85% para el período 2050-2060. Sin embargo, considerando el promedio de los datos, se tiene que tanto para la condición actual y futura se cumple el requisito del 70%.

ChiuChiu: Mientras la habitabilidad actual promedio alcanza un valor de 89%, esta disminuye a 62% para el futuro próximo, encontrándose únicamente 2 meses en los cuales se supera el umbral del 70%, presentándose incluso meses por debajo al 60%. Esta situación se acrecenta al considerar un mayor horizonte de evaluación, presentando promedios anuales de habitabilidad del 49, 51 y 47% para los periodos de 2030-2040, 2040-2050 y 2050-2060.

Calama Alto: Para este caso, la habitabilidad actual alcanza un valor promedio anual de 98%, manteniéndose relativamente constante, pero con una disminución hasta 89% para el mes de febrero. Mientras que la habitabilidad del futuro próximo alcanza un valor de 93%, disminuyendo en 5 puntos porcentuales respecto al actual, pero manteniéndose aún por sobre el 70% de habitabilidad requerida. Ahora bien, al considerar los diferentes escenarios futuros, se tiene que la habitabilidad se ve reducida de forma importante, principalmente en los meses de septiembre, octubre y noviembre, donde se alcanzan habitabilidades por debajo del 40%, siendo el período más desfavorable el de 2050-2060 con un 50% de habitabilidad anual promedio.

Calama Medio: De igual modo, los escenarios futuros se traducen en una reducción total del hábitat disponible, reduciéndose desde 74% para el escenario actual, hasta un 67% para el escenario 2050-2060.

Calama Bajo: Si bien para este caso en particular, el escenario del futuro próximo alcanza una habitabilidad promedio del 89%, presentando únicamente un mes por debajo de los 70%, se tiene que el escenario futuro disminuye su habitabilidad de manera importante, alcanzando habitabilidades del 51, 56 y 51% para los escenarios 2030-2040, 2040-2050 y 2050-2060 respectivamente, alcanzando una disminución de hasta 44% con respecto a la habitabilidad actual.

Coya: Dado que la habitabilidad de la especie se definió en función del 30% del hábitat total, coincidente con el caudal actual, se tiene que la condición futura se mantiene dentro del mismo rango establecido, observándose un mínimo promedio de 25% para la década de 2050-2060.

Quillagua: De igual manera que se observó para el escenario actual, en el escenario futuro los meses más críticos corresponden a los meses entre septiembre y abril, donde el requerimiento ecológico supera ampliamente a la disponibilidad hídrica. La habitabilidad promedio tiende a disminuir con el tiempo, con 59% para el futuro próximo y alcanzando un 27% para la década 2050-2060, ambas por debajo del requisito ambiental del 70% de habitabilidad.

Tabla 4.90: Habitabilidad (%) mensual resultante de evaluación de caudal futuro a partir del modelo Csiro.

AEC	Escenario	Habitabilidad (%) mensual según escenario para caudales Csiro												
		Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Prom
Palpana	2020-2030	94	96	91	89	90	90	91	91	92	87	84	87	90
	2030-2040	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100
	2040-2050	100	100	100	99	99	99	100	100	100	97	97	100	99
	2050-2060	99	100	100	100	100	100	100	100	99	100	98	100	100
Calina	2020-2030	79	79	83	84	84	83	81	81	81	86	97	87	84
	2030-2040	57	62	64	67	66	68	66	64	64	71	65	58	64
	2040-2050	61	63	71	75	74	70	67	68	67	79	79	73	71

AEC	Escenario	Habitabilidad (%) mensual según escenario para caudales Csiro												
		Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Prom
	2050-2060	58	63	65	66	65	64	61	61	60	64	78	67	64
Ayquina*	2020-2030													
	2030-2040													
	2040-2050													
	2050-2060													
Lasana	2020-2030	90	95	96	97	96	92	89	90	97	98	98	97	95
	2030-2040	82	81	82	83	82	82	81	81	94	95	92	90	85
	2040-2050	83	84	86	87	86	83	82	82	96	95	92	90	87
	2050-2060	82	83	83	82	82	81	81	81	92	92	90	91	85
ChiuChiu	2020-2030	54	60	63	66	63	54	51	54	70	74	75	67	63
	2030-2040	39	41	43	44	42	41	43	39	69	72	58	59	49
	2040-2050	45	45	44	48	49	42	42	42	71	71	60	58	51
	2050-2060	38	43	41	43	43	39	39	38	65	64	53	63	47
Calama Alto	2020-2030	95	97	99	97	97	88	79	77	90	97	98	100	93
	2030-2040	44	44	42	42	54	38	34	30	71	78	82	70	52
	2040-2050	52	55	56	55	51	36	34	34	76	83	90	80	59
	2050-2060	47	54	48	43	41	26	24	25	61	66	88	79	50
Calama Medio	2020-2030	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	71	73	74
	2030-2040	67	67	66	66	71	64	62	61	74	74	74	74	68
	2040-2050	70	71	72	71	69	63	62	62	74	74	74	74	70
	2050-2060	68	71	68	66	65	59	58	59	73	73	74	74	67
Calama Bajo	2020-2030	97	95	95	97	98	85	73	73	67	98	95	95	89
	2030-2040	44	58	47	47	68	58	42	51	42	44	61	50	51
	2040-2050	49	59	56	50	56	42	42	53	52	64	83	67	56
	2050-2060	42	54	48	53	63	51	42	47	48	42	75	58	52
Coya	2020-2030	29	30	30	29	29	27	26	26	26	29	32	30	29
	2030-2040	25	25	25	25	26	25	25	25	25	25	26	25	25
	2040-2050	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	27	26	25
	2050-2060	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	25
Quillagua	2020-2030	52	88	90	85	75	35	30	28	28	47	80	69	59
	2030-2040	23	26	23	88	84	25	23	23	23	23	24	24	34
	2040-2050	23	26	35	34	25	23	23	23	23	28	35	30	27
	2050-2060	25	38	43	27	23	23	23	23	23	23	29	25	27

* En la AEC de Ayquina no se consideraron especies de ictiofauna pues no había antecedentes de especies en registros bibliográficos ni avistamientos en terreno.

A partir de lo detallado anteriormente, se tiene que la tendencia general implica una reducción progresiva del hábitat disponible a medida que se evalúan escenarios futuros más

distantes. Sin embargo, esta tendencia a la reducción se ve acrecentada hacia aguas abajo, donde las presiones sobre el sistema aguas arriba de un AEC se traducen en una menor disponibilidad hídrica en el tramo, generando un ambiente poco óptimo para el desarrollo de las especies.

Ahora bien, como se presentó en las Figura 4.145 a Figura 4.154, los caudales futuros resultantes de la modelación en WEAP muestran que el caudal disponible según el modelo Miroc es superior al caudal disponible según el modelo Csiro, por lo cual existe mayor disponibilidad hídrica para satisfacer el requerimiento ecológico de cada AEC, de modo que como se observa en la Tabla 4.91, el número de escenarios y AEC en donde no se cumple la condición de 70% se ve reducida de manera importante, presentando deficit's de hábitat únicamente en las AEC's de Chiu Chiu, Calama Bajo, Coya y Quillagua.

Tabla 4.91: Habitabilidad (%) mensual resultante de evaluación de caudal futuro a partir del modelo Miroc.

AEC	Escenario	Habitabilidad (%) mensual según escenario para caudales Miroc												
		Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Prom
Palpana	2020-2030	87	86	84	82	83	82	85	86	87	83	75	79	83
	2030-2040	90	88	87	86	87	87	90	90	90	84	85	86	88
	2040-2050	90	85	88	87	89	90	92	91	92	87	81	87	88
	2050-2060	99	96	94	94	92	94	96	97	96	90	93	99	95
Calina	2020-2030	84	85	92	95	94	92	85	85	85	95	91	94	90
	2030-2040	82	84	85	85	85	84	82	82	83	90	86	86	85
	2040-2050	82	85	84	85	84	82	80	80	80	85	97	85	84
	2050-2060	71	79	79	79	81	79	79	79	79	84	80	75	79
Ayquina*	2020-2030													
	2030-2040													
	2040-2050													
	2050-2060													
Lasana	2020-2030	96	98	98	96	96	97	96	95	97	98	97	96	97
	2030-2040	93	97	97	97	97	94	93	92	97	97	96	95	95
	2040-2050	92	97	97	97	97	92	90	90	97	97	97	95	95
	2050-2060	83	87	88	87	88	85	84	84	97	97	97	96	89
ChiuChiu	2020-2030	62	72	74	75	75	71	64	58	61	69	64	75	68
	2030-2040	54	65	66	72	68	61	60	59	59	58	51	51	60
	2040-2050	57	68	72	71	68	59	58	57	65	59	53	53	62
	2050-2060	43	48	50	49	51	45	45	43	75	74	65	69	55
Calama Alto	2020-2030	99	99	100	100	97	98	93	91	93	96	95	96	96
	2030-2040	96	98	96	92	90	86	79	80	90	91	99	99	91
	2040-2050	97	100	98	95	93	83	76	77	90	92	99	99	92
	2050-2060	56	80	87	83	83	57	46	42	89	90	95	87	75

AEC	Escenario	Habitabilidad (%) mensual según escenario para caudales Miroc												
		Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Prom
Calama Medio	2020-2030	74	72	73	73	70	74	74	74	74	74	70	70	73
	2030-2040	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
	2040-2050	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	73	74	74
	2050-2060	72	74	74	74	74	72	67	66	74	74	74	74	72
Calama Bajo	2020-2030	94	96	94	95	92	97	86	72	70	96	85	85	89
	2030-2040	100	97	99	75	61	45	49	47	49	54	96	98	73
	2040-2050	99	94	98	96	82	57	53	46	51	69	95	95	78
	2050-2060	48	69	71	51	68	43	42	58	51	52	85	63	58
Coya	2020-2030	30	31	30	30	32	29	27	26	26	28	32	33	30
	2030-2040	28	29	27	27	26	25	25	25	26	26	29	29	27
	2040-2050	29	30	29	28	27	25	25	25	26	26	30	30	28
	2050-2060	25	26	27	26	26	25	25	25	26	26	27	26	26
Quillagua	2020-2030	61	80	83	86	99	49	35	29	28	41	83	85	63
	2030-2040	40	49	38	33	28	23	23	23	23	26	47	48	33
	2040-2050	50	72	57	59	48	24	23	23	23	28	64	58	44
	2050-2060	23	57	88	81	50	24	23	23	23	24	31	23	39

* En la AEC de Ayquina no se consideraron especies de ictiofauna pues no había antecedentes de especies en registros bibliográficos ni avistamientos en terreno.

4.5.3 Etapa 8: Optimización y mejora en el uso del recurso según la priorización de los servicios ecosistémicos, realizada en base al criterio y objetivo establecido por parte de usuarios y actores relevantes.

En el acápite 4.4.5.5 se comparó gráficamente el requerimiento ambiental con la oferta hídrica actual para cada una de las áreas de estudio de la condición, en donde para ciertas AEC se determinó que la oferta actual era capaz de suplir las demandas de agua superficial aguas debajo de estas, mientras que para el resto, la oferta era insuficiente total o parcialmente.

Para determinar la oferta hídrica futura, se comparan los requerimientos ambientales con los caudales futuros resultantes de la modelación en WEAP ante diferentes escenarios de cambio climático, con objeto de determinar si será o no posible suplir los requerimientos del caudal ambiental, de modo que ante la existencia de un déficit, sea posible el planteamiento de oportunidades de optimización que permitan redistribuir el recurso, y con ello, buscar el óptimo global del sistema, incorporando las componentes sociales, ecológicas, de desarrollo y de usuario.

A continuación, se presenta el análisis de la oferta hídrica futura con los requerimientos ambientales por AEC:

- **Palpana:**

Como se observa en la Figura 4.155, cuando se consideran los caudales resultantes del modelo CSIRO, se tiene que para las décadas futuras de 2030-2040, 2040-2050 y 2050-2060, el caudal es insuficiente para suplir el caudal de uso social correspondiente a la extracción de agua potable, situación que empeora progresivamente con el tiempo. Ahora bien, al considerar el caudal resultante del modelo MIROC, se tiene que la disponibilidad futura es próxima a la disponibilidad actual, de modo que únicamente para la década 2050-2060, el caudal no es capaz de suplir la demanda para uso social. En esta AEC, para ambos modelos se estaría supliendo el requerimiento ecológico del caudal ambiental, considerando todos los escenarios futuros.

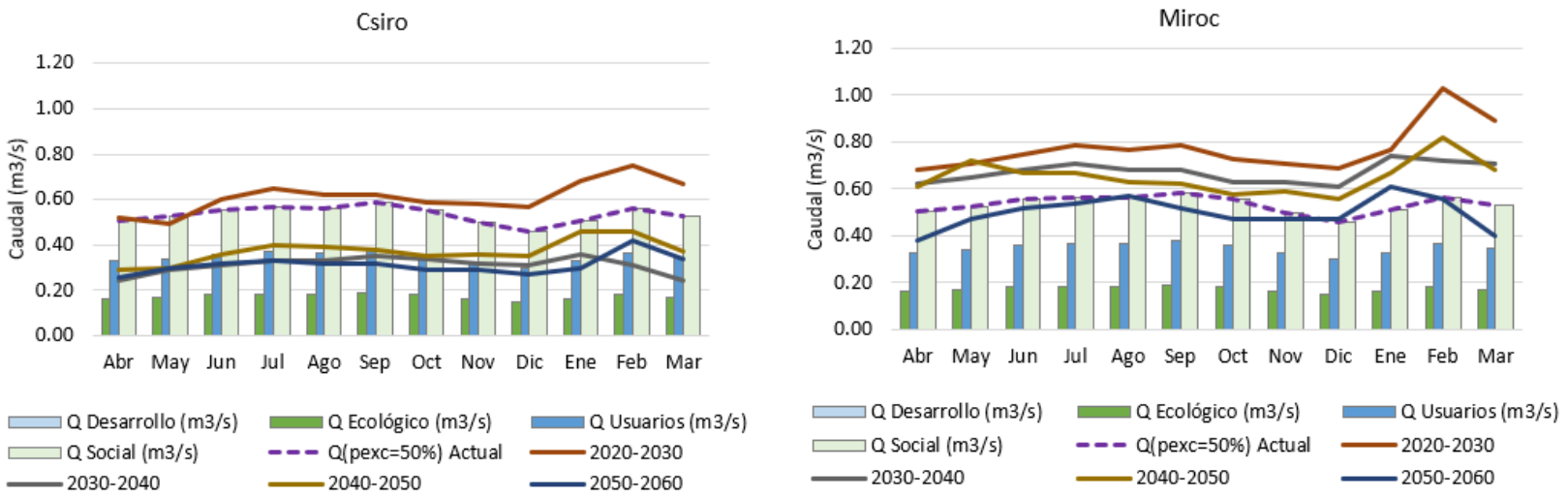


Figura 4.155: Requerimientos según uso y disponibilidad hídrica futuro según resultados de modelación para AEC Palpana.

- **Calina:**

Para el caso particular de Calina, su caudal ambiental se define a partir del requisito establecido por el caudal de usuario, el cual actualmente se satisface parcialmente con el caudal actual. Sin embargo, como se presenta en la Figura 4.156, tanto para los caudales resultantes del modelo CSIRO y MIROC, se tiene que no es posible suplir este requerimiento de caudal para cada una de las décadas presentadas, situación que empeora al analizar futuros más lejanos, como la década 2050-2060, en donde se suple alrededor del 50% del caudal de usuario para el modelo CSIRO y un 60% para el modelo MIROC. En esta AEC, según el modelo CSIRO para el periodo 2020-2030 se estaría supliendo la componente ecológica, sin embargo, para proyecciones futuras no se estaría supliendo. En cuanto al modelo MIROC, sus proyecciones muestran que se suple la componente ecológica excepto para el periodo 2050-2060.

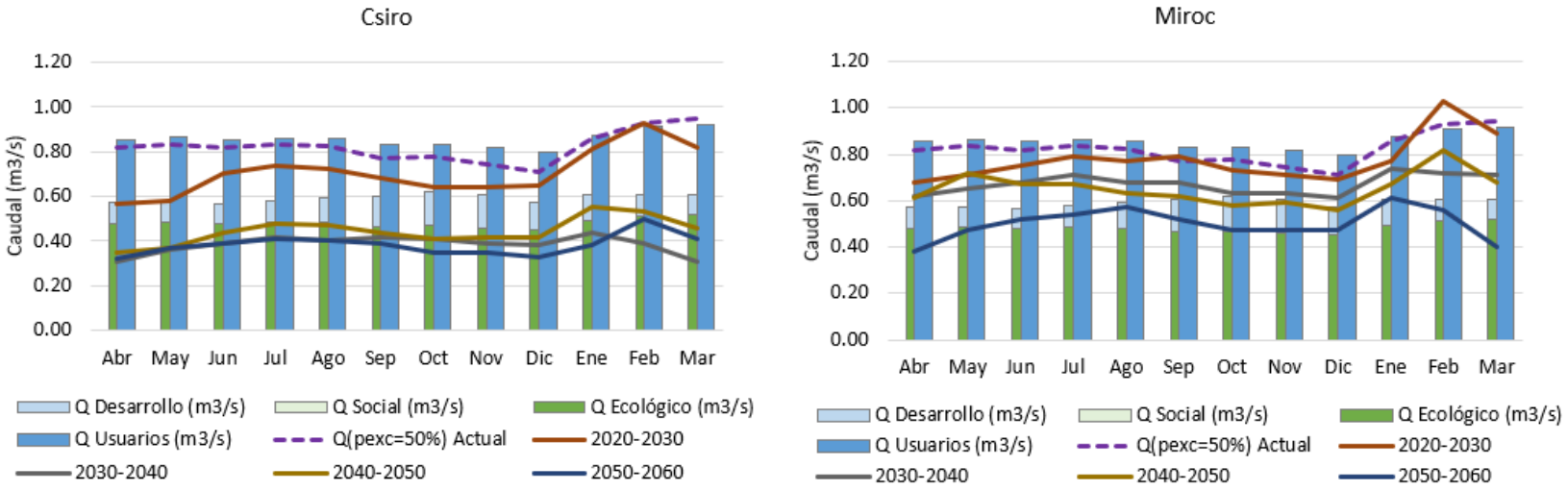


Figura 4.156: Requerimientos según uso y disponibilidad hídrica futuro según resultados de modelación para AEC Calina.

- **Ayquina:**

A diferencia de la tendencia anterior, según se observa en la Figura 4.157, los caudales futuros en ambos modelos superan al caudal actual con probabilidad de excedencia del 50%, de manera que para ambos casos, y para cada escenario, es posible suplir el caudal ambiental definido por el requerimiento de usuario. Cabe destacar que en esta AEC no existe componente ecológica del caudal ambiental, ya que no se tiene registros de especies de fauna íctica.

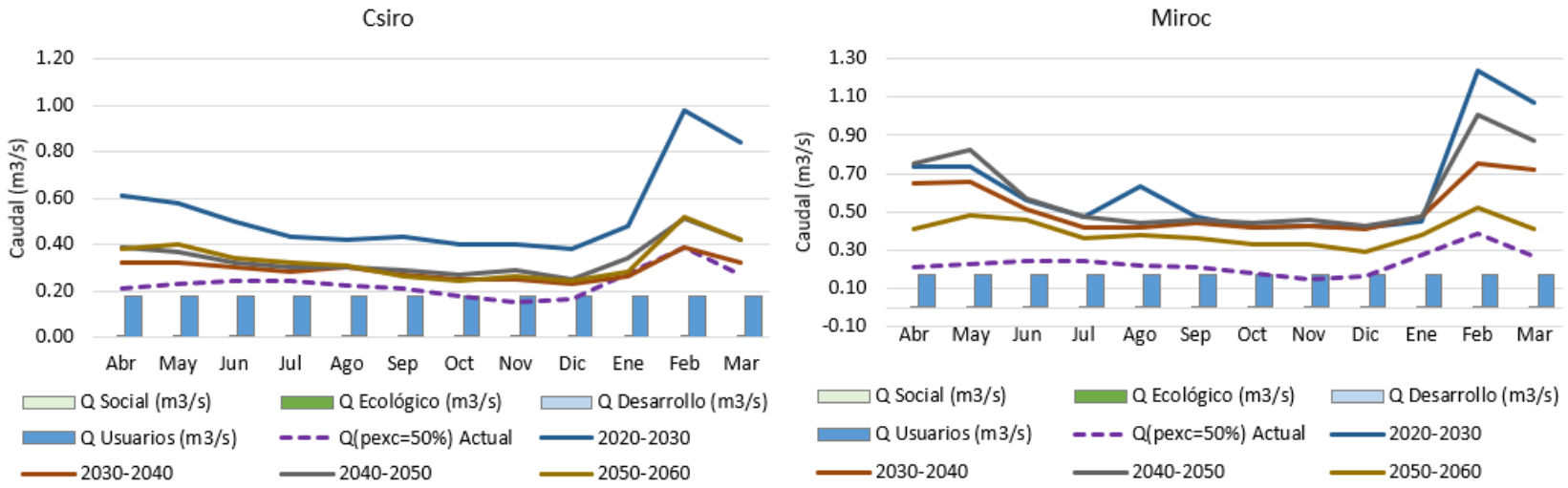


Figura 4.157: Requerimientos según uso y disponibilidad hídrica futuro según resultados de modelación para AEC Ayquina.

- **Lasana:**

Según se observa en la Figura 4.158, los caudales de ambos modelos son muy inferiores al caudal actual de probabilidad de excedencia del 50%, de modo que si bien en el escenario actual era posible suplir el caudal ambiental, esto ya no es posible en un escenario futuro. En particular, el caudal se ve severamente disminuido entre los meses de abril y noviembre para el modelo CSIRO, en donde la oferta no es capaz de suplir el caudal ecológico del AEC, reduciendo ampliamente su habitabilidad, lo cual implica a su vez la imposibilidad de realizar extracciones para suplir el caudal de desarrollo de las demandas de riego que existen aguas debajo de estas. Nuevamente se observa que la disponibilidad total disminuye al evaluar décadas más lejanas, con lo cual se espera que, ante el manejo actual de la cuenca, las presiones totales del sistema impliquen una reducción importante del hábitat en el tramo definido por la AEC. En esta AEC, según el modelo CSIRO para el periodo 2020-2030 se estaría supliendo la componente ecológica, sin embargo, para proyecciones futuras no se estaría supliendo. En cuanto al modelo MIROC, sus proyecciones muestran que se suple la componente ecológica excepto para el periodo 2050-2060.

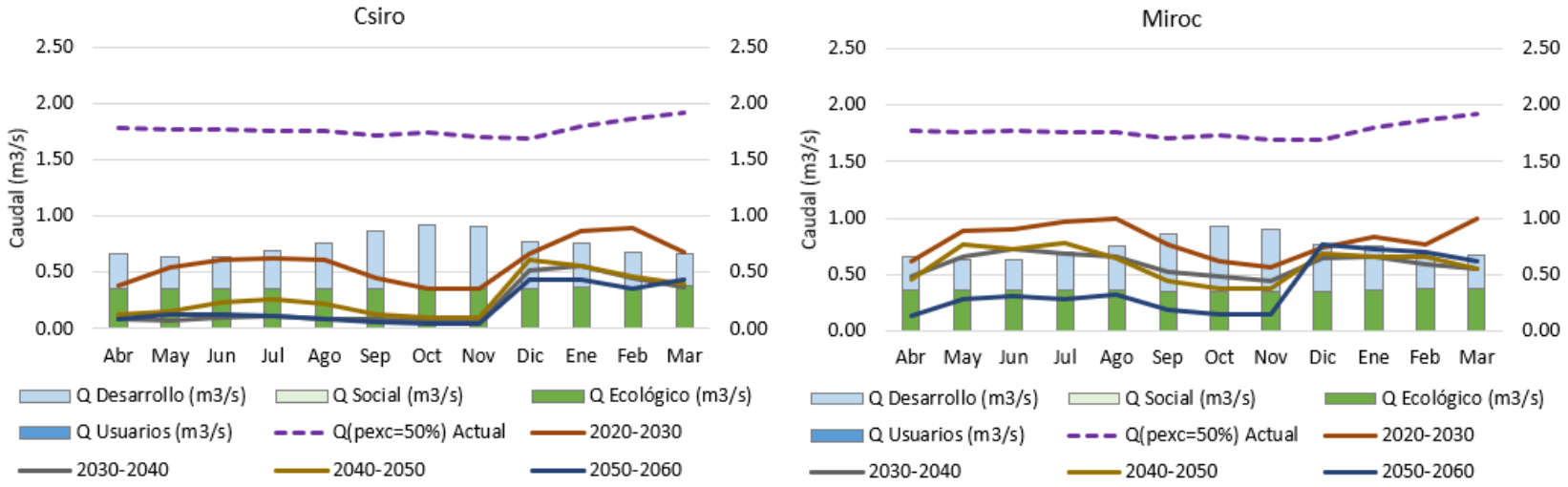


Figura 4.158: Requerimientos según uso y disponibilidad hídrica futuro según resultados de modelación para AEC Lasana.

- **ChiuChiu:**

Para el tramo definido por el AEC ChiuChiu, cuyos caudales futuros se presentan en la Figura 4.159, se tiene que la oferta futura del modelo CSIRO es insuficiente para satisfacer el requisito ecológico, disminuyendo la habitabilidad de manera importante, según lo presentado en la Tabla 4.90. Junto con esto, debido a la priorización del recurso, el caudal de desarrollo puede suplirse parcialmente únicamente en el mes de febrero para el escenario de 2020-2030, siendo descartado para el resto de los escenarios. Al considerar los caudales resultantes del modelo MIROC, el caudal disponible para el requerimiento ecológico, y por tanto la habitabilidad, aumentan con respecto al resultante del modelo CSIRO, pero incluso así, es insuficiente y sólo logra suplirlo parcialmente. Según el modelo CSIRO para ningún periodo futuro se estaría supliendo la componente ecológica, en cuanto al modelo MIROC, sus proyecciones muestran que se suple la componente ecológica solo algunos meses de los periodos 2020-2030 y 2050-2060.

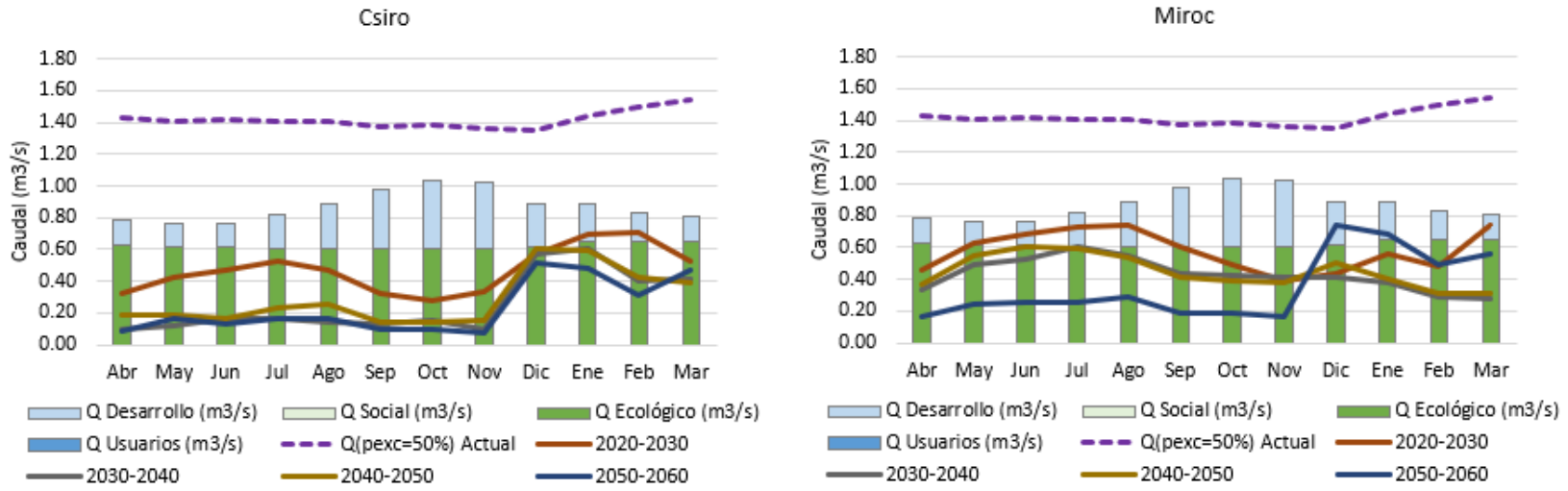


Figura 4.159: Requerimientos según uso y disponibilidad hídrica futuro según resultados de modelación para AEC ChiuChiu.

- **Calama Alto:**

El caudal actual con probabilidad de excedencia del 50% permite suplir los requerimientos ambientales gran parte del año, a excepción de los meses de octubre, noviembre y diciembre, donde el requerimiento para desarrollo se ve limitado parcialmente. Al considerar la disponibilidad hídrica del recurso para el futuro próximo, como se observa en la Figura 4.160, se tiene que el caudal de desarrollo se ve limitado entre agosto y enero, tanto para el caudal resultante del modelo csiro, como del modelo MIROC. Ahora bien, al considerar otras décadas de evaluación, se observa que para el modelo CSIRO, el caudal futuro no es capaz de suplir el requerimiento ecológico establecido para la zona, disminuyendo el hábitat disponible en ésta. Sin embargo, al considerar los resultados del modelo MIROC, se tiene que esta no se suple únicamente entre los meses de septiembre y noviembre para la década de 2050-2060, dando espacio para el desarrollo parcial de actividades relacionadas con el caudal de desarrollo. En esta AEC, según el modelo CSIRO para el periodo 2020-2030 se estaría supliendo la componente ecológica, sin embargo, para proyecciones futuras no se estaría supliendo. En cuanto al modelo MIROC, sus proyecciones muestran que se suple la componente ecológica excepto para el periodo 2050-2060.

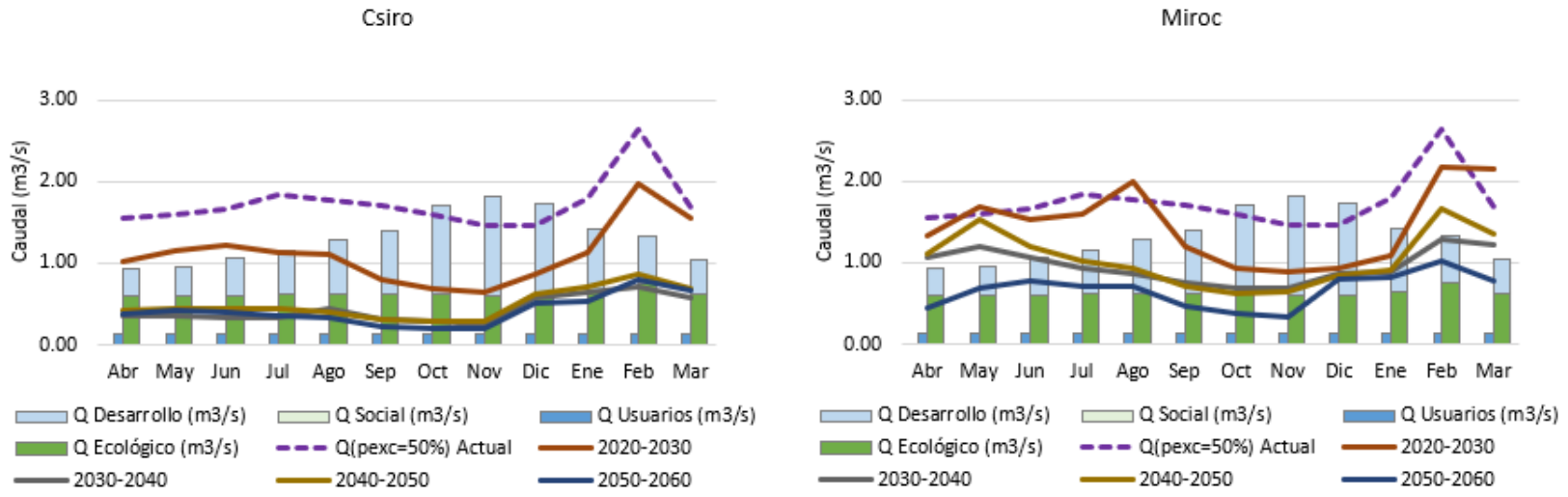


Figura 4.160: Requerimientos según uso y disponibilidad hídrica futuro según resultados de modelación para AEC Calama Alto.

- **Calama Medio:**

Para la evaluación de oferta futura de Calama Medio, presentada en la Figura 4.161 se tiene una situación similar a la observada para Calama bajo, una cobertura parcial en el futuro próximo, y un déficit que aumenta progresivamente con el tiempo. Sin embargo, tanto para los caudales resultantes del modelo CSIRO como MIROC, se logra suplir gran parte del caudal ecológico, observándose incluso diferencias que pueden ser utilizadas para la realización de actividades asociadas al caudal de desarrollo. Según el modelo CSIRO para el periodo 2020-2030 se estaría supliendo la componente ecológica, sin embargo, para proyecciones futuras no se estaría supliendo todos los mese. En cuanto al modelo MIROC, sus proyecciones muestran que se suple la componente ecológica excepto para el periodo 2050-2060, en que se observa algunos meses de déficit.

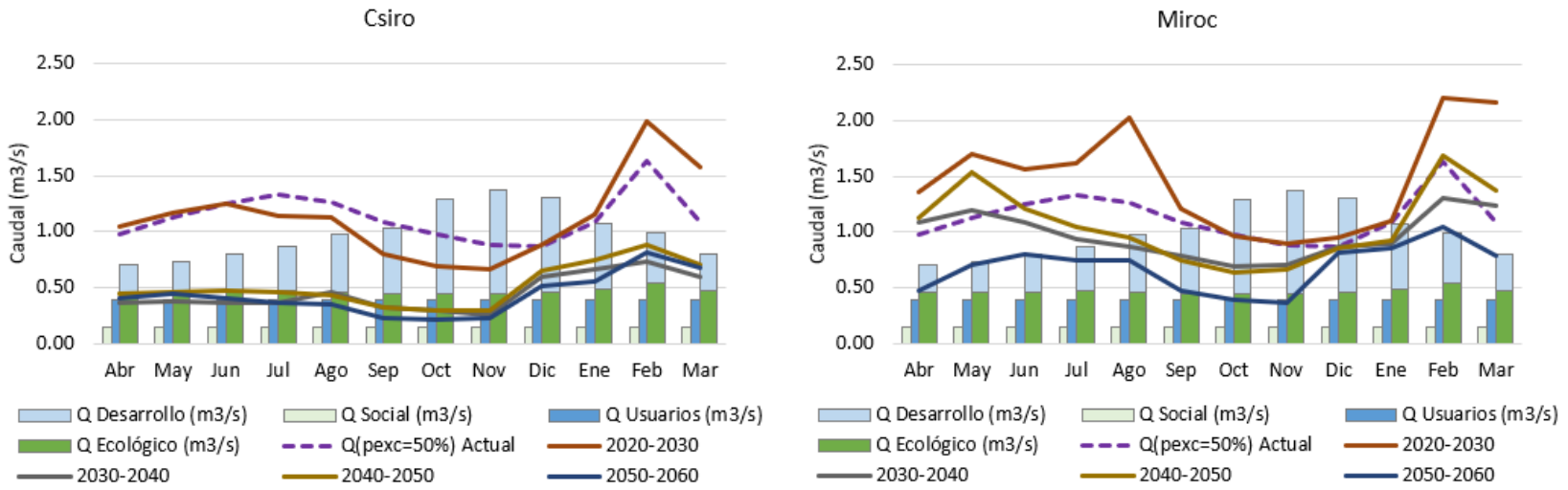


Figura 4.161: Requerimientos según uso y disponibilidad hídrica futuro según resultados de modelación para AEC Calama Medio.

- **Calama Bajo:**

En el área de estudio de Calama Bajo es posible identificar caudales de desarrollo de diferente uso, como lo son el riego o el uso en industria, donde estos últimos se desarrollan aguas abajo del tramo definido por el AEC, pero que deben ser suplidos igualmente por el caudal pasante por esta AEC. Al considerar el caudal actual, se observa que el caudal de desarrollo se ve limitado en gran parte durante los meses entre septiembre y febrero, reduciéndose hasta un 10% del valor total, esta condición de déficit se mantiene al considerar escenarios futuros de caudal, en donde para el caso particular de CSIRO, sólo existe disponibilidad en el futuro próximo.

Al evaluar la cobertura del caudal ecológico en un escenario futuro, se tiene que para los caudales resultantes del modelo CSIRO la cobertura de esta es parcial o nula para los escenarios más lejanos, con lo cual se espera que la habitabilidad resultante disminuya de manera importante con respecto a la habitabilidad actual. Al considerar los caudales resultantes del modelo MIROC, si bien se observa que existe cobertura total para ciertos meses, esta es parcial para otros, por lo cual la probabilidad de avistamiento de especies debiese variar según época del año. Por lo tanto, para ambos modelos solo se supliría totalmente el caudal ecológico el periodo 2020-2030.

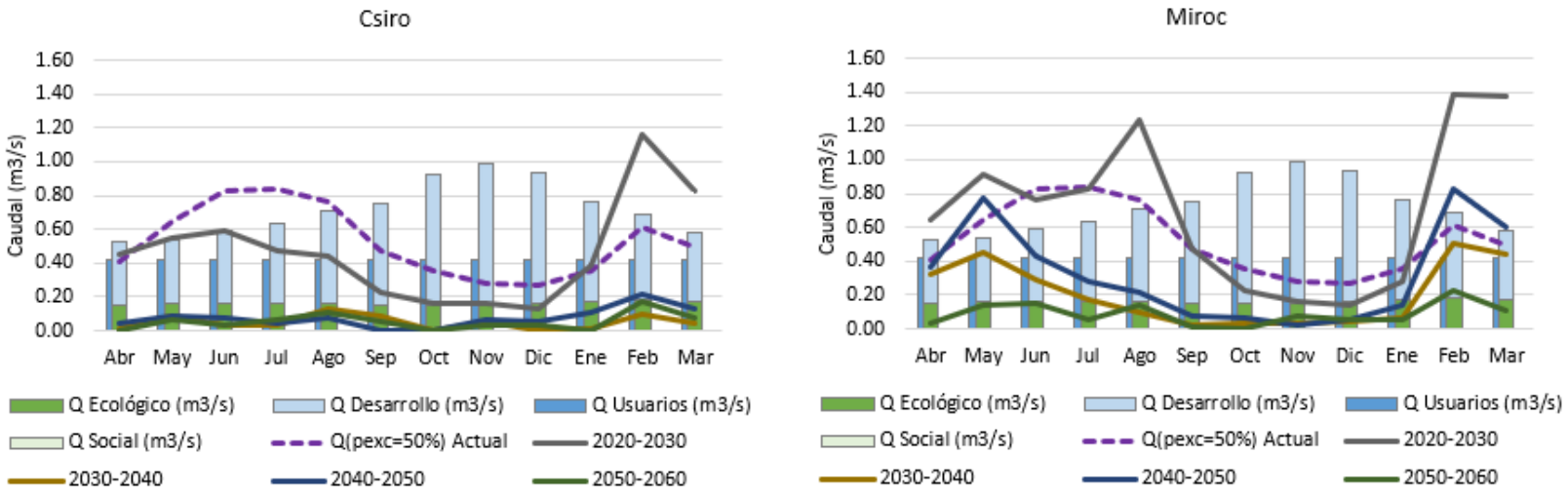


Figura 4.162: Requerimientos según uso y disponibilidad hídrica futuro según resultados de modelación para AEC Calama Bajo.

- **Coya:**

La evaluación de la oferta hídrica futura para el AEC Coya, presentada en la Figura 4.163, muestra una imposibilidad de suplir el caudal ecológico y de usuario mensual al considerar los caudales del modelo CSIRO, con ciertas excepciones para el futuro próximo, donde es posible desarrollar todas las actividades que requieren de una extracción de caudal para usos consuntivos. Tanto para los caudales de los modelos CSIRO y MIROC, se evidencia una reducción importante en la oferta respecto al caudal actual, lo cual indica que las presiones actuales que se ejercen sobre el sistema, aguas arriba del AEC, imposibilitarían en un futuro el desarrollo de diferentes actividades que hacen uso del recurso hídrico para su ejecución. La componente ecológica en particular, no logra ser suplida en la actualidad ni en las proyecciones futuras de ambos modelos.

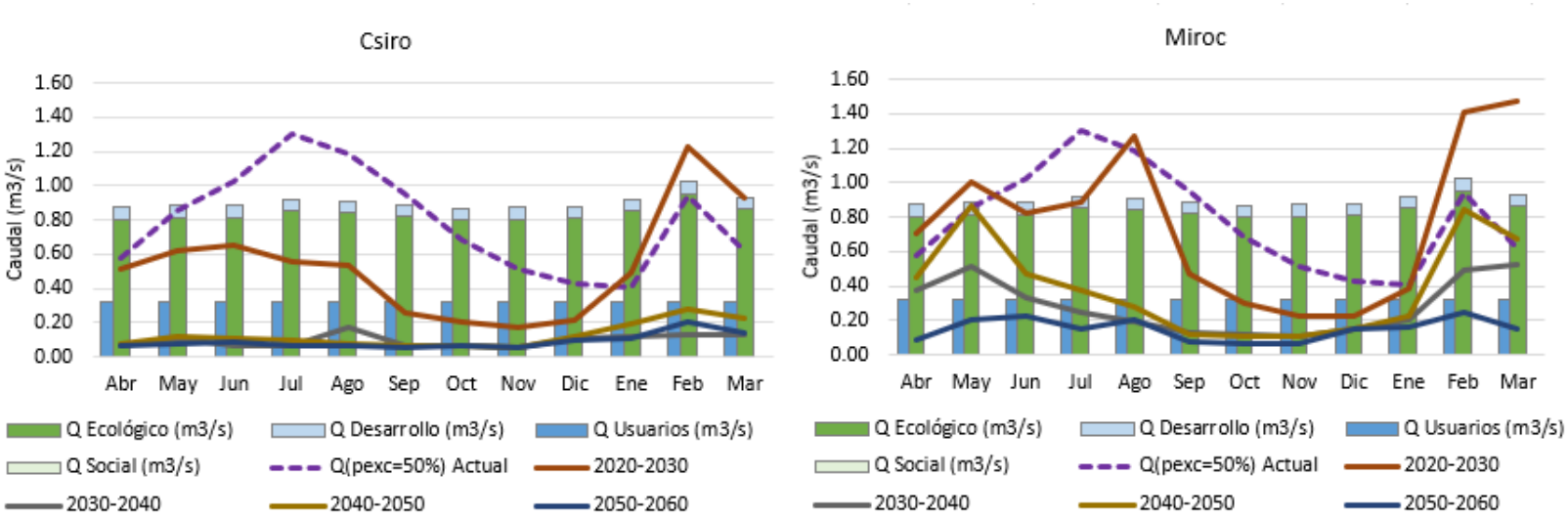


Figura 4.163: Requerimientos según uso y disponibilidad hídrica futuro según resultados de modelación para AEC Coya.

- **Quillagua:**

Finalmente, para el AEC de Quillagua, cuyos requerimientos y caudales futuros se presentan en la Figura 4.164, se tiene que al igual que en el caso actual, la cobertura del caudal ecológica es parcial durante el año, donde los meses más afectados corresponden a los meses entre septiembre y mayo. Como se observa para ambos modelos, la cobertura para los meses entre octubre y enero es casi nula, generando valores de habitabilidad del orden del 20 al 30% según lo presentado en las Tabla 4.90 y Tabla 4.91. La componente ecológica en particular, no logra ser suplida en la actualidad ni en las proyecciones futuras de ambos modelos.

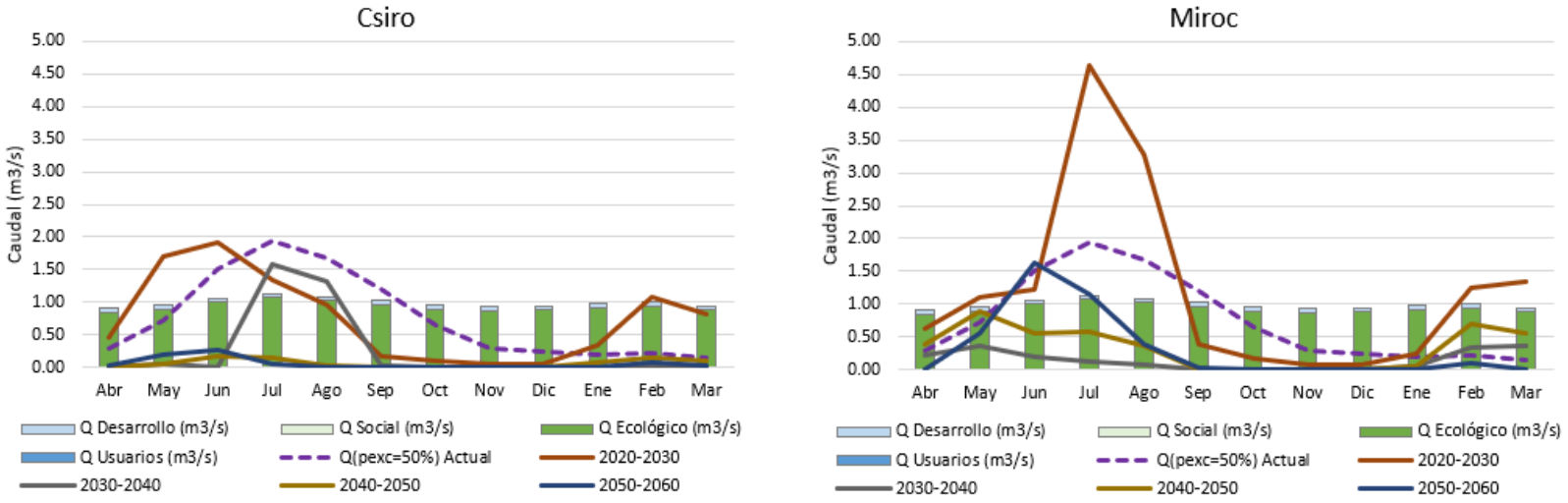


Figura 4.164: Requerimientos según uso y disponibilidad hídrica futuro según resultados de modelación para AEC Quillagua.

Tabla 4.92: Valores de caudal según escenario natural, actual y proyección medeo CSIRO

AEC	Periodo	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
01_Palpana	Natural	0.51	0.52	0.55	0.57	0.56	0.59	0.56	0.50	0.46	0.51	0.56	0.53
	Actual	0.51	0.52	0.55	0.57	0.56	0.59	0.56	0.50	0.46	0.51	0.56	0.53
	2020-2030	0.52	0.49	0.60	0.65	0.62	0.62	0.59	0.58	0.57	0.68	0.75	0.67
	2030-2040	0.24	0.29	0.31	0.33	0.33	0.35	0.34	0.32	0.31	0.36	0.31	0.24
	2040-2050	0.29	0.30	0.36	0.40	0.39	0.38	0.35	0.36	0.35	0.46	0.46	0.37
	2050-2060	0.26	0.30	0.32	0.33	0.32	0.32	0.29	0.29	0.27	0.30	0.42	0.34
02_Calina	Natural	1.69	1.70	1.69	1.70	1.69	1.64	1.64	1.61	1.58	1.73	1.80	1.81
	Actual	0.82	0.84	0.82	0.84	0.82	0.77	0.77	0.74	0.71	0.86	0.93	0.94
	2020-2030	0.57	0.58	0.70	0.74	0.72	0.68	0.64	0.64	0.65	0.81	0.93	0.82
	2030-2040	0.31	0.36	0.39	0.42	0.40	0.42	0.41	0.39	0.38	0.44	0.39	0.31
	2040-2050	0.35	0.37	0.44	0.48	0.47	0.44	0.41	0.42	0.42	0.55	0.53	0.46
	2050-2060	0.32	0.37	0.39	0.41	0.40	0.39	0.35	0.35	0.33	0.38	0.50	0.41
03_Ayquina	Natural	1.98	1.99	2.00	2.00	1.99	2.01	2.01	2.00	2.01	2.08	2.19	2.02
	Actual	0.21	0.23	0.24	0.24	0.22	0.21	0.18	0.15	0.17	0.27	0.39	0.27
	2020-2030	0.61	0.58	0.50	0.43	0.42	0.43	0.40	0.40	0.38	0.48	0.98	0.84
	2030-2040	0.32	0.32	0.30	0.28	0.30	0.27	0.25	0.25	0.23	0.26	0.39	0.32
	2040-2050	0.39	0.37	0.32	0.30	0.30	0.29	0.27	0.29	0.25	0.34	0.51	0.42
	2050-2060	0.38	0.40	0.34	0.32	0.31	0.26	0.24	0.26	0.24	0.28	0.52	0.42
04_Lasana	Natural	3.20	3.17	3.18	3.17	3.17	3.12	3.15	3.11	3.12	3.23	3.30	3.34
	Actual	1.78	1.76	1.77	1.76	1.76	1.71	1.73	1.69	1.69	1.80	1.86	1.92
	2020-2030	0.38	0.55	0.61	0.63	0.61	0.45	0.36	0.36	0.67	0.86	0.89	0.68
	2030-2040	0.09	0.07	0.10	0.11	0.09	0.09	0.07	0.06	0.52	0.56	0.45	0.37
	2040-2050	0.12	0.16	0.24	0.26	0.22	0.13	0.10	0.10	0.61	0.56	0.46	0.39
	2050-2060	0.08	0.13	0.12	0.11	0.09	0.06	0.05	0.04	0.43	0.43	0.36	0.43
05_Chiu_Chiu	Natural	3.02	2.96	2.96	2.96	2.95	2.91	2.96	2.95	3.01	3.13	3.17	3.15
	Actual	1.43	1.41	1.42	1.41	1.41	1.37	1.39	1.36	1.35	1.44	1.49	1.54
	2020-2030	0.32	0.42	0.47	0.52	0.47	0.32	0.28	0.33	0.57	0.69	0.71	0.53
	2030-2040	0.10	0.12	0.17	0.17	0.14	0.13	0.15	0.10	0.57	0.60	0.40	0.41
	2040-2050	0.19	0.19	0.17	0.23	0.25	0.14	0.14	0.15	0.60	0.59	0.42	0.39
	2050-2060	0.08	0.16	0.13	0.16	0.17	0.10	0.10	0.07	0.51	0.48	0.31	0.47
06_Calama_Alto	Natural	4.92	4.92	4.96	5.14	5.08	5.05	5.00	4.91	4.96	5.30	6.12	5.04
	Actual	1.55	1.60	1.66	1.83	1.76	1.71	1.59	1.47	1.46	1.80	2.64	1.68
	2020-2030	1.02	1.15	1.23	1.12	1.11	0.79	0.68	0.64	0.86	1.14	1.97	1.56
	2030-2040	0.35	0.36	0.34	0.34	0.44	0.31	0.28	0.24	0.58	0.65	0.71	0.57
	2040-2050	0.42	0.44	0.45	0.45	0.41	0.30	0.28	0.28	0.63	0.72	0.86	0.69
	2050-2060	0.38	0.43	0.39	0.35	0.33	0.22	0.20	0.21	0.50	0.54	0.80	0.66
07_Calama_Medio	Natural	4.66	4.69	4.73	4.79	4.74	4.63	4.60	4.60	4.68	5.02	5.60	4.89
	Actual	0.98	1.12	1.24	1.33	1.26	1.09	0.97	0.88	0.86	1.08	1.63	1.09

	2020-2030	1.04	1.17	1.25	1.14	1.13	0.80	0.69	0.66	0.88	1.16	1.99	1.58
	2030-2040	0.37	0.38	0.36	0.36	0.46	0.33	0.29	0.26	0.60	0.67	0.73	0.59
	2040-2050	0.44	0.46	0.47	0.46	0.43	0.32	0.30	0.30	0.65	0.74	0.88	0.71
	2050-2060	0.40	0.45	0.41	0.36	0.35	0.23	0.22	0.23	0.52	0.55	0.82	0.68
08_Calama_Bajo	Natural	4.55	4.62	4.68	4.64	4.59	4.39	4.39	4.47	4.56	4.88	5.20	4.87
	Actual	0.41	0.64	0.83	0.83	0.76	0.47	0.35	0.28	0.27	0.36	0.61	0.50
	2020-2030	0.45	0.55	0.59	0.47	0.44	0.22	0.16	0.16	0.13	0.39	1.16	0.83
	2030-2040	0.01	0.09	0.03	0.03	0.13	0.09	0.00	0.05	0.00	0.01	0.10	0.04
	2040-2050	0.04	0.09	0.07	0.04	0.07	0.00	0.00	0.06	0.05	0.11	0.21	0.13
	2050-2060	0.00	0.06	0.03	0.06	0.11	0.05	0.00	0.03	0.03	0.00	0.17	0.08
09_Coya	Natural	5.15	5.23	5.24	5.47	5.39	5.26	5.14	5.15	5.19	5.49	6.10	5.52
	Actual	0.58	0.86	1.03	1.30	1.18	0.95	0.68	0.51	0.43	0.41	0.93	0.62
	2020-2030	0.51	0.62	0.65	0.56	0.53	0.26	0.20	0.17	0.21	0.49	1.23	0.93
	2030-2040	0.06	0.11	0.06	0.07	0.17	0.06	0.06	0.05	0.11	0.12	0.13	0.13
	2040-2050	0.08	0.12	0.11	0.10	0.08	0.06	0.06	0.05	0.12	0.19	0.28	0.22
	2050-2060	0.07	0.08	0.09	0.07	0.07	0.05	0.06	0.05	0.10	0.11	0.20	0.14
10_Quillagua	Natural	4.92	5.16	5.80	6.17	5.94	5.57	5.17	4.99	5.07	5.33	5.44	5.10
	Actual	0.28	0.73	1.52	1.94	1.67	1.19	0.66	0.30	0.25	0.19	0.22	0.15
	2020-2030	0.45	1.71	1.92	1.33	0.96	0.16	0.09	0.06	0.06	0.33	1.08	0.82
	2030-2040	0.00	0.04	0.00	1.59	1.32	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
	2040-2050	0.00	0.05	0.16	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.15	0.10
	2050-2060	0.03	0.20	0.26	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.03

Tabla 4.93: Valores de caudal según escenario natural, actual y proyección medeo MIROC

AEC	Periodo	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
01_Palpana	Natural	0.51	0.52	0.55	0.57	0.56	0.59	0.56	0.50	0.46	0.51	0.56	0.53
	Actual	0.51	0.52	0.55	0.57	0.56	0.59	0.56	0.50	0.46	0.51	0.56	0.53
	2020-2030	0.68	0.71	0.75	0.79	0.77	0.79	0.73	0.71	0.69	0.77	1.03	0.89
	2030-2040	0.62	0.65	0.68	0.71	0.68	0.68	0.63	0.63	0.61	0.74	0.72	0.71
	2040-2050	0.61	0.72	0.67	0.67	0.63	0.62	0.58	0.59	0.56	0.67	0.82	0.68
	2050-2060	0.38	0.47	0.52	0.54	0.57	0.52	0.47	0.47	0.47	0.61	0.56	0.40
02_Calina	Natural	1.69	1.70	1.69	1.70	1.69	1.64	1.64	1.61	1.58	1.73	1.80	1.81
	Actual	0.82	0.84	0.82	0.84	0.82	0.77	0.77	0.74	0.71	0.86	0.93	0.94
	2020-2030	0.73	0.80	0.86	0.90	0.88	0.86	0.79	0.76	0.77	0.89	1.16	1.06
	2030-2040	0.66	0.72	0.77	0.79	0.76	0.72	0.67	0.67	0.68	0.84	0.81	0.81
	2040-2050	0.66	0.78	0.75	0.76	0.72	0.67	0.63	0.63	0.62	0.77	0.92	0.77
	2050-2060	0.44	0.54	0.59	0.61	0.64	0.58	0.52	0.52	0.54	0.70	0.63	0.47
03_Ayquina	Natural	1.98	1.99	2.00	2.00	1.99	2.01	2.01	2.00	2.01	2.08	2.19	2.02
	Actual	0.21	0.23	0.24	0.24	0.22	0.21	0.18	0.15	0.17	0.27	0.39	0.27
	2020-2030	0.74	0.74	0.56	0.47	0.63	0.47	0.42	0.43	0.42	0.45	1.24	1.07
	2030-2040	0.65	0.66	0.51	0.42	0.42	0.44	0.42	0.43	0.41	0.47	0.75	0.72
	2040-2050	0.75	0.82	0.57	0.47	0.44	0.46	0.44	0.46	0.43	0.47	1.01	0.87
	2050-2060	0.41	0.48	0.46	0.36	0.38	0.36	0.33	0.33	0.29	0.38	0.52	0.41
04_Lasana	Natural	3.20	3.17	3.18	3.17	3.17	3.12	3.15	3.11	3.12	3.23	3.30	3.34
	Actual	1.78	1.76	1.77	1.76	1.76	1.71	1.73	1.69	1.69	1.80	1.86	1.92
	2020-2030	0.62	0.89	0.90	0.97	0.99	0.77	0.62	0.56	0.74	0.84	0.77	1.00
	2030-2040	0.49	0.66	0.73	0.68	0.66	0.53	0.49	0.44	0.65	0.66	0.59	0.55
	2040-2050	0.46	0.77	0.72	0.78	0.64	0.44	0.38	0.37	0.68	0.66	0.66	0.55
	2050-2060	0.13	0.28	0.31	0.28	0.32	0.19	0.15	0.15	0.77	0.72	0.70	0.62
05_Chiu_Chiu	Natural	3.02	2.96	2.96	2.96	2.95	2.91	2.96	2.95	3.01	3.13	3.17	3.15
	Actual	1.43	1.41	1.42	1.41	1.41	1.37	1.39	1.36	1.35	1.44	1.49	1.54
	2020-2030	0.46	0.63	0.68	0.73	0.74	0.60	0.49	0.39	0.44	0.56	0.48	0.74
	2030-2040	0.33	0.49	0.52	0.60	0.55	0.44	0.42	0.41	0.41	0.38	0.29	0.28
	2040-2050	0.37	0.55	0.61	0.59	0.54	0.41	0.39	0.38	0.50	0.40	0.31	0.31
	2050-2060	0.17	0.24	0.26	0.25	0.29	0.19	0.19	0.16	0.74	0.68	0.49	0.56
06_Calama_Alto	Natural	4.92	4.92	4.96	5.14	5.08	5.05	5.00	4.91	4.96	5.30	6.12	5.04
	Actual	1.55	1.60	1.66	1.83	1.76	1.71	1.59	1.47	1.46	1.80	2.64	1.68
	2020-2030	1.34	1.68	1.54	1.60	2.00	1.19	0.94	0.88	0.94	1.08	2.18	2.15
	2030-2040	1.06	1.19	1.06	0.93	0.86	0.76	0.68	0.68	0.86	0.88	1.28	1.22
	2040-2050	1.11	1.52	1.19	1.03	0.93	0.72	0.62	0.64	0.84	0.90	1.66	1.35
	2050-2060	0.45	0.68	0.78	0.72	0.72	0.46	0.37	0.34	0.80	0.83	1.03	0.77
07_Calama_Medio	Natural	4.66	4.69	4.73	4.79	4.74	4.63	4.60	4.60	4.68	5.02	5.60	4.89
	Actual	0.98	1.12	1.24	1.33	1.26	1.09	0.97	0.88	0.86	1.08	1.63	1.09

	2020-2030	1.36	1.70	1.56	1.62	2.02	1.21	0.96	0.90	0.95	1.10	2.20	2.16
	2030-2040	1.08	1.20	1.08	0.94	0.87	0.78	0.69	0.70	0.87	0.90	1.30	1.24
	2040-2050	1.13	1.54	1.21	1.05	0.95	0.74	0.64	0.66	0.86	0.92	1.68	1.37
	2050-2060	0.47	0.70	0.80	0.74	0.74	0.48	0.39	0.36	0.82	0.85	1.05	0.79
08_Calama_Bajo	Natural	4.55	4.62	4.68	4.64	4.59	4.39	4.39	4.47	4.56	4.88	5.20	4.87
	Actual	0.41	0.64	0.83	0.83	0.76	0.47	0.35	0.28	0.27	0.36	0.61	0.50
	2020-2030	0.64	0.91	0.76	0.83	1.23	0.47	0.23	0.16	0.14	0.28	1.39	1.38
	2030-2040	0.32	0.45	0.29	0.17	0.10	0.02	0.03	0.03	0.04	0.06	0.50	0.44
	2040-2050	0.37	0.77	0.43	0.28	0.21	0.08	0.06	0.02	0.05	0.14	0.83	0.60
	2050-2060	0.03	0.14	0.15	0.05	0.14	0.01	0.00	0.08	0.05	0.05	0.22	0.11
09_Coya	Natural	5.15	5.23	5.24	5.47	5.39	5.26	5.14	5.15	5.19	5.49	6.10	5.52
	Actual	0.58	0.86	1.03	1.30	1.18	0.95	0.68	0.51	0.43	0.41	0.93	0.62
	2020-2030	0.71	1.00	0.82	0.89	1.27	0.47	0.30	0.22	0.22	0.39	1.41	1.47
	2030-2040	0.37	0.51	0.33	0.25	0.19	0.13	0.12	0.11	0.15	0.20	0.49	0.52
	2040-2050	0.45	0.87	0.47	0.37	0.28	0.12	0.11	0.11	0.15	0.22	0.84	0.67
	2050-2060	0.09	0.20	0.23	0.15	0.20	0.08	0.07	0.06	0.15	0.16	0.25	0.15
10_Quillagua	Natural	4.92	5.16	5.80	6.17	5.94	5.57	5.17	4.99	5.07	5.33	5.44	5.10
	Actual	0.28	0.73	1.52	1.94	1.67	1.19	0.66	0.30	0.25	0.19	0.22	0.15
	2020-2030	0.62	1.09	1.22	4.65	3.28	0.38	0.16	0.08	0.07	0.23	1.25	1.35
	2030-2040	0.22	0.37	0.20	0.13	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.33	0.36
	2040-2050	0.39	0.88	0.54	0.58	0.36	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06	0.69	0.56
	2050-2060	0.00	0.55	1.62	1.14	0.39	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.10	0.01

Ahora bien, en el acápite 4.4.5.5, se utilizaron los requerimientos mensuales según uso en la determinación del caudal ambiental, y este se contrastó con la disponibilidad hídrica actual y natural del sistema en los diferentes tramos definidos por las AEC's, y en donde en aquellos casos donde el caudal actual no es capaz de suplir los requerimientos del caudal ambiental, se suplen primero los caudales con mayor prioridad, como lo son el requerimiento social y el ecológico. Sin embargo, lo anterior no sucede actualmente, dado que la gestión del recurso prioriza la utilización del caudal de desarrollo, el cual, al ser consuntivo disminuye de forma importante el caudal pasante en cada una de las secciones del río, con lo cual se reduce caudal disponible para el ecosistema, disminuyendo la habitabilidad del mismo.

De igual modo, al contrastar los requerimientos según uso con la disponibilidad futura del recurso, presentadas en las Figura 4.155 a Figura 4.164, se observa que esta oferta se reduce de manera importante, alcanzando valores incluso inferiores a los obtenidos actualmente, de modo que en aquellos AEC donde el caudal actual era insuficiente para satisfacer los requerimientos establecidos por el caudal ambiental, la situación se verá empeorada aún más producto de los efectos del cambio climático en la zona. Es por lo

anterior, que la gestión de los recursos debe optimizarse, tanto en la implementación de proyectos.

De este modo, si la tendencia en el manejo de los recursos de la cuenca es la priorización de la extracción consuntiva de derechos, incluso en los casos donde el caudal pasante al inicio de un AEC sea superior al caudal ecológico, la habitabilidad en este puede ser inferior al 70%, afectando directamente a la fauna y vegetación presente en el río.

5 DESARROLLO OE-3

5.1 Selección de los servicios ecosistémicos

5.1.1 Servicios ambientales: Marco definitorio

Los servicios ambientales son aquellos que brindan los ecosistemas y que inciden directamente en la protección y mejoramiento del ambiente.

En el presente siglo, la iniciativa conocida como Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MA), promovida por la ONU, se ha convertido en el principal referente sobre el tema. El objetivo principal de introducir el concepto de SE es básicamente el de incluir las preocupaciones ecológicas en términos económicos, el de enfatizar la dependencia de la sociedad en los ecosistemas naturales, además de impulsar el interés público en la conservación de la biodiversidad. La definición de servicios ecosistémicos propuesta por (Millenium Ecosystem Assessment, 2003), se presentan a continuación en orden cronológico:

- Las condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales, y las especies que lo constituyen, sustentan y satisfacen a la vida humana (Daily, 1997).
- Los bienes (como alimentos) y servicios (como asimilación de residuos) de los ecosistemas, que representan los beneficios que la población humana obtiene, directa o indirectamente, de las funciones de los ecosistemas (Costanza R, 1997).
- Funciones del ecosistema: capacidad de los procesos y componentes naturales para proporcionar bienes y servicios que satisfacen las necesidades humanas, directa o indirectamente (De Groot R. W., 2002)
- Los beneficios que la población obtiene de los ecosistemas (Millenium Ecosystem Assessment, 2003).
- Aquellas funciones o procesos ecológicos que directa o indirectamente contribuyen al bienestar humano o tienen un potencial para hacerlo en el futuro (U.S. Environmental Protection Agency, 2004).
- Son componentes de la naturaleza, disfrutados, consumidos o directamente usados para producir bienestar humano (Boyd J, 2007).
- Son los aspectos de los ecosistemas utilizados (activa o pasivamente) para producir bienestar humano (Fisher B, Defning and classifying ecosystem services for decision making , 2009).

Las anteriores incluyen a las definiciones más ampliamente usadas en la literatura especializada y aunque existe coincidencia en los aspectos generales, hay diferencias importantes entre ellas. Así, aunque contemporáneos, (Daily, 1997) y (Costanza R, 1997),

ofrecen planteamientos distintos. Mientras que el primero señala procesos y condiciones, es decir, una serie de fases consecutivas y propiedades del ambiente cuyas interacciones son el sostén de la vida humana, el segundo grupo de investigadores separa a los servicios en bienes, principalmente alimentos (objetos físicos, tangibles) y servicios (procesos intangibles) que benefician directamente al ser humano. Posteriormente, (De Groot R. W., 2002) incluyen al subconjunto de funciones del ecosistema, sus relaciones y su capacidad para producir bienestar, directa o indirectamente a la humanidad, resaltando así el carácter antropocéntrico del enunciado, mencionando que una vez que las funciones de un ecosistema son definidas, la naturaleza y la magnitud de su valor para las sociedades humanas pueden ser analizadas y evaluadas a través de los bienes y servicios proporcionados por cualquier ecosistema.

Es evidente que esta disciplina está en un proceso de consolidación, siendo objeto de una discusión que intenta cimentar el proceso de valoración de la naturaleza como un medio para generar conciencia sobre la importancia de los fenómenos ecológicos que benefician a la humanidad. Está claro entonces que se requiere de una mínima comprensión de la estructura y de los procesos ecológicos que permiten el buen funcionamiento de los ecosistemas y que finalmente proveen los servicios a las poblaciones humanas, siendo necesario un marco teórico que permita reconocer, ubicar, medir, modelar y mapear los servicios ecosistémicos, relacionando sus cambios con los posibles efectos sobre el bienestar humano (Fisher B, Defning and classifying ecosystem services for decision making , 2009). Por lo anterior, el proceso de evaluación de los SE debe sustentarse en una clara definición y considerando que no existe un concepto unificador, toda iniciativa en ese sentido debe identificar claramente cuáles son los componentes, aspectos o procesos que prioriza para entender en su contexto la clasificación de los servicios.

En el caso específico del agua, desde el punto de vista económico, debieran ser considerados como externalidades positivas de actividades, tales como la protección y el mantenimiento de áreas naturales (H. Rosa, 2004.). Desde el punto de vista económico cuando se refiere a la multifuncionalidad de un recurso se utiliza el marco teórico del valor económico total (VET), que hace referencias a los usos del recurso hídrico y al valor de uso indirecto, el que se refiere a las funciones y servicios ambientales (Mejías, 2002).

Se presenta en la Figura 5.1 los tipos del uso del agua tanto consuntivo como no consuntivo y en la Tabla 5.1 los Servicios Ecosistémicos de Agua Dulce. Simbolizado con “X” negras se aprecian los Servicios ecosistémicos potenciales de desarrollarse en agua dulce, mientras que las “X” en verde corresponden a los aplicables a la cuenca del río Loa.

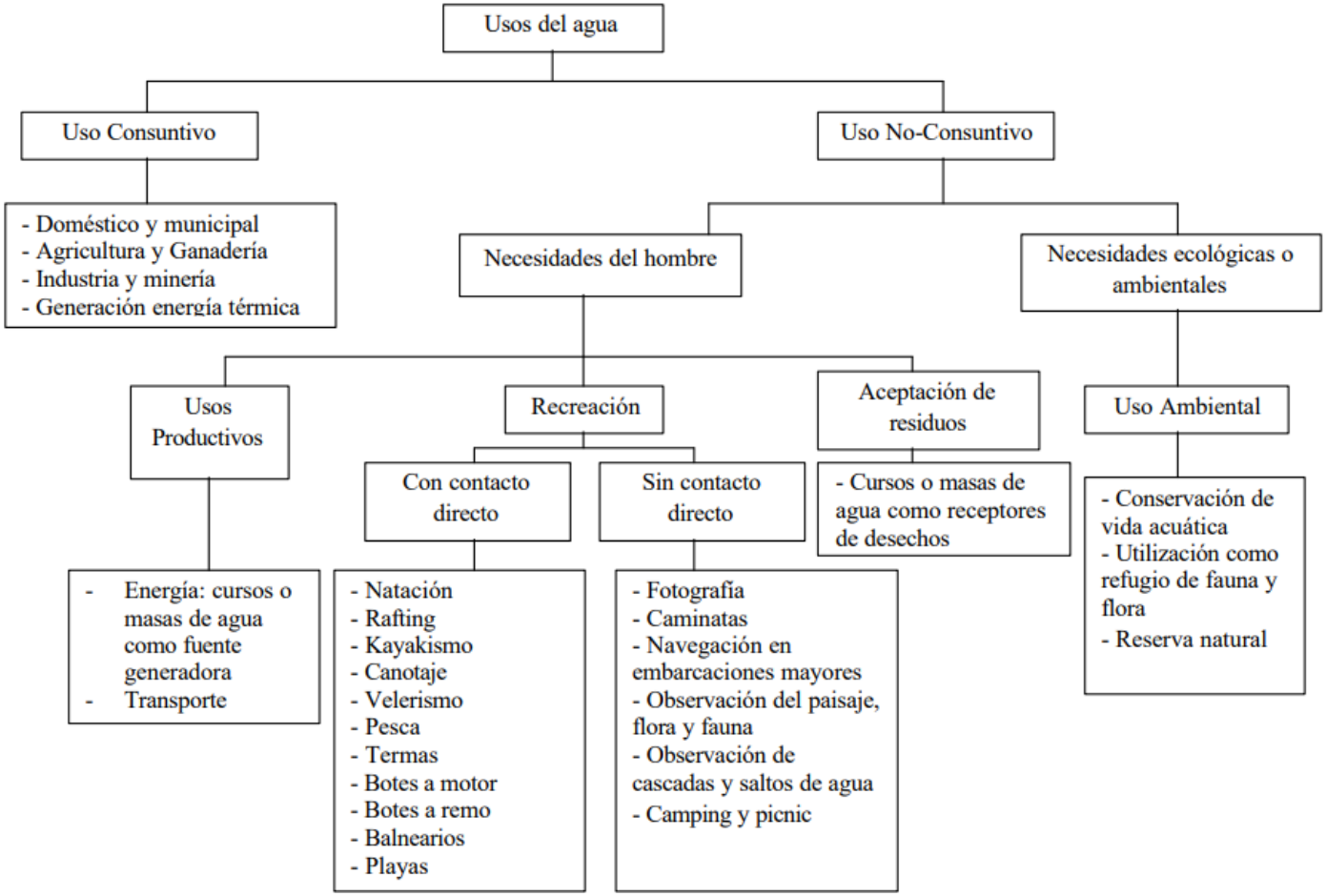


Figura 5.1. Tipos de usos del agua.

Fuente: (US Government), (Valls, 1980) y (Ministry of Supply and Services,, 1993)

Tabla 5.1. Los Servicios Ecosistémicos de Agua Dulce.

	Tierras agrícolas	Pantanos de turba	Deltas	Estuarios	Bosques	Humedales	Amorti-guamiento/ Riparias	Lagos/ Ríos	Hielos perennes/ Nieves	Aguas Urbanas	Acuíferos
Esenciales											
Abastecimiento de agua		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Alimentación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Materias primas	X	X	X	X	X	X	X	X			
Recursos medicinales	X	X	X	X	X	X	X	X			
Regulación											
Clima y gases atmosféricos	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Riesgos naturales		X	X		X	X	X	X		X	X
Erosión del suelo	X		X		X	X	X	X	X	X	
Regulación del agua	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Control biológico					X	X		X			
Calidad del agua y procesamiento de residuos	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X
Formación de suelos	X	X	X	X	X	X		X			
Aprovisionamiento											
Ciclo de nutrientes	X	X	X	X	X	X	X	X		X	
Hábitat y biodiversidad	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Producción primaria	X	X	X	X	X	X	X	X		X	
Polinización	X		X		X	X	X				
Culturales											
Estéticos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Recreación y turismo		X	X	X	X	X	X	X		X	
Educación y ciencia	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Espirituales y religiosos	X		X	X	X	X	X	X	X		

Fuente: (Russell A. Mittermeier, 2019)

Desde otra perspectiva, el método denominado Matriz Batelle-Columbus[1] que plantea una lista de verificación con escalas de ponderación relativa a la descripción de los factores ambientales, con relación al impacto de proyectos relacionados con el recurso hídrico, establece los siguientes componentes:

- Ecología
  - Especies y poblaciones terrestres
  - hábitat y comunidades
  - Ecosistemas
- Contaminación ambiental
  - Contaminación del agua
  - Contaminación atmosférica
  - Contaminación del suelo
  - Contaminación por ruido
- Aspectos estéticos
  - Suelo
  - Aire
  - Agua
  - Biota
  - Objetos artesanales
  - Composición
- Aspectos de interés humano
  - Valores educacionales y científicos
  - Valores artísticos
  - Culturas
  - Sensaciones
  - Estilos de vida

Al clasificar estos usos desde la perspectiva del Valor Económico Total (VET), es posible esquematizar su ubicación en términos de valor de uso (directo o indirecto) y no uso (de opción o de existencia). El resultado de este ejercicio se presenta en la siguiente Figura 5.2.

[1] Método de Batelle-Columbus: fue desarrollada en 1972, por los Laboratorios del Battelle y Columbus, de EE. UU., a pedido de la EPA (Environmental Protection Agency) para la evaluación de los proyectos de los impactos provocados sobre los recursos hídricos.

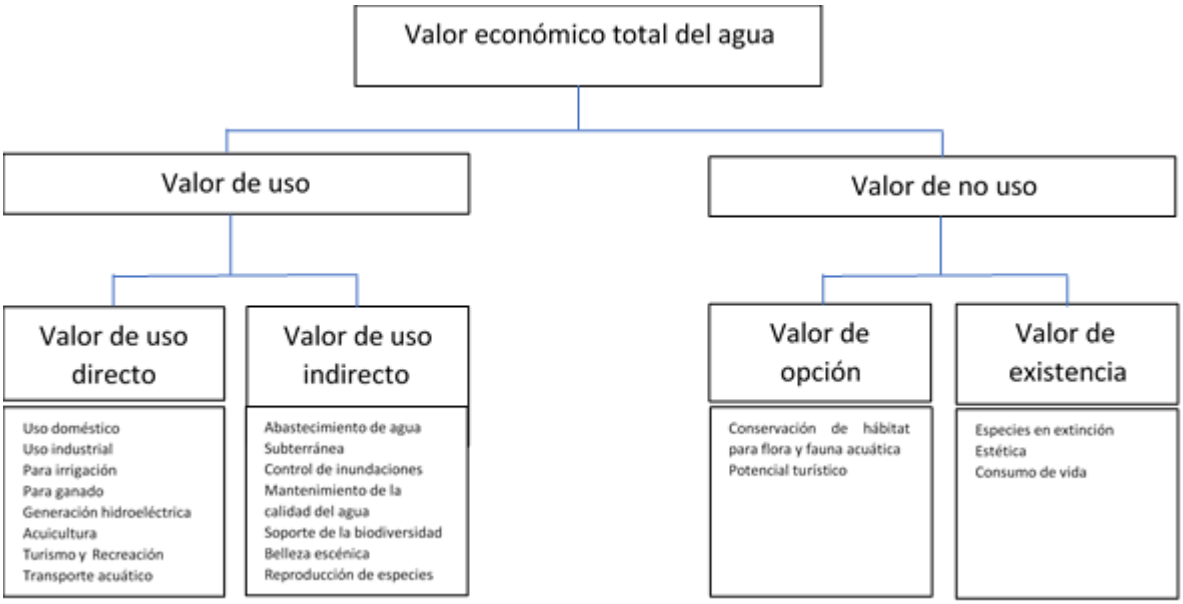


Figura 5.2. Componentes de valor económico total del agua (Castro, 1998)

5.1.2 Aproximacion conceptual descriptiva de los servicios ambientales de la cuenca del río Loa

Aproximación conceptual

De acuerdo a la revisión de antecedentes teóricos, es posible plantear como definición conceptual de los servicios ambientales del agua, a aquellos que brindan los ecosistemas: protección de la biodiversidad y conservación de los hábitats acuáticos, mantención de la calidad del agua, belleza escénica o paisajismo y el turismo asociado. Esta aproximación conceptual es similar a lo definido como usos del agua para fines ambientales por la Política Nacional de Recursos Hídricos, los cuales son proporcionados por un caudal mínimo ecológico. Al respecto, se plantea que:

- Cuando se habla de "usos" o "servicios del agua", implica la libre voluntad de ejercerlo por el hombre. Por lo tanto, los valores de usos indirectos o de opción del agua, implican necesariamente un beneficio. (lo que es concordante con que la valoración económica implica la valoración de los servicios del recurso, más que su valor intrínseco).

Usos y servicios del agua en la cuenca

En particular, en cuanto a la revisión de usos y servicios del agua que existen en la Cuenca del Río Loa, es posible advertir a lo menos la presencia de los siguientes:

- Usos directos
  - Agua para riego agrícola y consumo animal (ganadería)
  - Uso doméstico (agua potable)
  - Uso industrial
  - Uso minero
  - Generación de energía hidroeléctrica
- Usos indirectos o servicios ambientales
  - Conservación de la vida acuática (biodiversidad)
  - Utilización como refugio de fauna y flora
  - Reserva natural (abastecimiento de aguas subterráneas)
  - Recepción y purificación de desechos
  - Recreación por contacto directo (natación, playas y otros)
  - Turismo por contacto indirecto (fotografía, caminatas, camping y picnic, lugares de observación)
  - Paisajismo (contemplación estética)
  - Navegación comercial (turismo) y recreativa (pesca)

Balance del uso del agua en la Cuenca del Río Loa

Con relación a la definición de usos consuntivos y no consuntivos del recurso hídrico en la Cuenca, se ha estimado sus demandas brutas y netas, lo que se presenta la Tabla 5.2.

Tabla 5.2. Balance oferta-demanda hídrica en cuenca Río Loa.

Ítem	Caudal (m^3/s)
Oferta	4,8
Demanda Agrícola	0,51
Demanda Agua Potable	1,09
Demanda Minera	2,76
Evaporación Cuerpos de Agua	1,59
Caudal en Desembocadura	0,29
Reúsos de Agua	Desconocido
Reúsos en Riego	Desconocido
Reúsos en Minería	Desconocido

Fuente: (Arrau Ingeniería E.I.R.L., 2012)

Lo registrado en la Tabla 5.2, demuestra que la oferta hídrica del río satisface en el margen la demanda regional, concentrando esta última, en lo que respecta al uso antrópico en la actividad minera y el consumo de agua potable.

Descripción de algunos servicios ambientales observados en la Cuenca del Loa

Es posible describir algunos servicios ambientales observables en la Cuenca del Río Loa, los cuales son clasificables genéricamente como: de provisión; de regulación/mantención y culturales. A continuación, se presenta esta descripción:

A. Servicios de provisión

a) Recolección de recursos hidrobiológicos asociados al cuerpo fluvial: En la parte baja de la cuenca, se ha documentado la presencia del Camarón de río del Norte de Chile, Cryphiops caementarius, el cual históricamente ha sido un recurso hidrobiológico fundamental, principalmente en la zona de la desembocadura y la localidad de Quillagüa. Sin embargo, actualmente no se ha detectado su presencia. Los habitantes de la región declaran que, previo al desarrollo de grandes proyectos asociados el río Loa, esta especie representaba un pilar en lo económico y nutricional para su subsistencia, observándose actualmente una disminución de su disponibilidad cercana al 50%, lo cual se puede atribuir a al efecto negativo que han generado derrames accidentales de faenas mineras.

Otra especie de importancia comercial presente en el río es la Trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss) especie norteamericana introducida. Hasta el momento no existe un estudio que precise el estado del pez la Trucha del río Loa y según lo establecido por Ley, está prohibida su comercialización.

b) *Producción agrícola y ganadera: Desde épocas precolombinas asentamientos humanos se han emplazado en zonas aledañas al río, estableciendo un desarrollo cultural fuertemente ligado a la agricultura. Las zonas más relevantes para este uso, son los diversos oasis presentes a lo largo del río, Lasana, Chiu Chiu, Calama, Quillagüa. Este uso ha sido significativamente afectado por el gradual deterioro del estado ambiental de las aguas, debido a prácticamente la ausencia de agua para satisfacer las demandas de los cultivos en épocas estivales y a la disminución de la calidad de agua para riego producto de la menor dilución de sales y elementos contaminantes. En la actualidad la agricultura de la cuenca produce principalmente alfalfa que se utiliza para la producción pecuaria, hortalizas y maíz, que son cultivos con relativa resistencia al Arsénico y el Boro. Gran parte de esta actividad está asociada a la agricultura de subsistencia. En tanto producción pecuaria se asocia principalmente a sectores en que el agua fluye naturalmente, como es el caso de vegas y bofedales asociados a los oasis.*

c) *Agua potable y saneamiento: Las aguas del río Loa, en particular aquellas provenientes del sector alto de la cuenca, dan sustento a las grandes ciudades de la Región, como es el caso de Calama y Antofagasta. Para el caso de agua potable la principal extracción se realiza en las captaciones de Linzor, Toconce, Hojalar, Lequena, Quinchimale y Puente negro. Las captaciones se establecen en la parte alta de la cuenca, precisamente porque la calidad de agua de esta zona es la mejor, ya que es cercana al nacimiento de los cuerpos fluviales los cuales están sometidos a menores presiones de contaminación. Sin embargo, la población de las grandes ciudades no valora el recurso lo suficiente como para hacer un uso doméstico eficiente y sustentable, debido principalmente a que la mayor parte de los habitantes de estos grandes asentamientos urbanos desconoce la presión que generan estas extracciones de agua sobre el ecosistema fluvial y no poseen una identificación con el territorio que los motiven a conocer el estado ambiental de las aguas, producto de un desarrollo de estos centros urbanos industrializados que favorecen el crecimiento económico el cual no asegura la mantención de la salud de los ecosistemas aledaños (Misetic, 2017).*

B. *Servicios de regulación y mantención*

a) *Corredor biológico único en la Región: El río Loa se caracteriza por ser el más extenso a nivel nacional y el único cuerpo fluvial de la Región que desemboca en el mar. Esta condición genera un corredor biológico único, donde sus aguas conectan la Cordillera de los Andes con el Océano Pacífico*

b) *Retención de contaminantes por parte de cobertura vegetal tolerante: Las especies vegetales que se encuentran aledañas a las zonas de escorrentías; particularmente en las zonas bajas del río, presentan altos niveles de tolerancia a la salinidad y más importante aún, cumplen un rol biológico de control de diversos elementos contaminantes cómo el Arsénico, a través de procesos de fitoestabilización, fitoextracción o inclusive, la sorción directa de este elemento por parte de la materia orgánica presente bajo las coberturas vegetales.*

c) *Altos niveles de endemismo: Dado que la cuenca del río Loa se encuentra emplazada en el desierto más árido del mundo, cabría esperar que presentara una diversidad ecológica extremadamente pobre, y a la vez con un alto grado de endemismo de los taxa, producto de la heterogeneidad geomorfológica y climática que caracteriza a la cuenca. Aun así, es posible identificar un número considerable de fauna, principalmente aves y mamíferos.*

C. *Servicios culturales*

a) *Usos recreativos de las aguas: Según los registros del Servicio Nacional de Turismo en relación a los atractivos turísticos de la Región de Antofagasta, se señalan sectores que son utilizados como balneario por los habitantes y visitantes, destacando los ubicados en las comunas de Calama y María Elena correspondientes a los sitios naturales Ojos de Opache y sector cascadas y Balneario Coya Sur, respectivamente. Otra actividad recreativa que tiene lugar en las riberas del río es la pesca deportiva, principalmente de la Trucha arcoíris.*

b) *Interacciones físicas y espirituales: Existe una estrecha relación de los pueblos originarios y el río. Un factor común que tienen las etnias indígenas presentes en la cuenca, principalmente Aymaras, Atacameños y quechuas es su visión del río como un ente viviente, que es capaz de proveer una serie de grandes beneficios para estas comunidades (Gleisner 2014). Algunos de los ritos que se celebran en torno a las aguas, es la limpieza de canales, la cual se hace en familia o en comunidad y tiene por objetivo limpiar de obstáculos los canales de manera que el agua fluya sin problemas y llegue a las zonas de regadío sin desbordarse o encharcarse. Sin embargo, las constantes presiones sobre las aguas, que producen la disminución en cantidad y en calidad del recurso, han afectado directamente a estas costumbres, observándose que muchos comuneros han optado por vender sus derechos de aprovechamiento de aguas y han migrado desde la zona.*

5.1.3 Marco objetivo: La clasificación CICES

La Clasificación Internacional Común de los Servicios de los Ecosistemas (CICES) se desarrolló a partir del trabajo sobre la contabilidad ambiental realizado por la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA). Apoya la revisión del Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica (SCAE), que actualmente dirige la División de Estadística de las Naciones Unidas (UNSD) y acaba de publicarse su versión CICES v5.1. Esta actualiza, mejora y completa la estructura y alcance de la anterior v4.3 de 2013, sobre la base de la experiencia adquirida por la comunidad de usuarios.

Es una clasificación internacional desarrollada al reconocerse que, si se elaboraban métodos de contabilidad de ecosistemas y se realizaban comparaciones, era necesaria cierta estandarización en la forma en que se describen los servicios de los ecosistemas. De este modo, se consideró que la normalización era especialmente importante cuando había que establecer un vínculo con la contabilidad económica.

La primera versión totalmente operativa: CICES (v4.3) se publicó en 2013. Desde entonces, a través de la experiencia adquirida por la comunidad de usuarios, su estructura y alcance han sido revisados y el resultado ha sido la elaboración de una versión completamente revisada (v5.1).

La propuesta original de interés en CICES ha crecido y actualmente es incuestionable que, además, de la necesidad de estandarización en el contexto de la contabilidad ambiental, el trabajo de mapeo y valoración de los servicios ecosistémicos y las evaluaciones de los ecosistemas en general se beneficiarían de enfoques más sistemáticos para nombrar y describir los servicios de los ecosistemas.

El marco conceptual de SS. EE. que se propone está basado en lo reportado por (Boyd J, 2007) y se resume en el diagrama de la Figura 5.3 conocido como la “Cascada de los Servicios Ecosistémicos” (CSE).

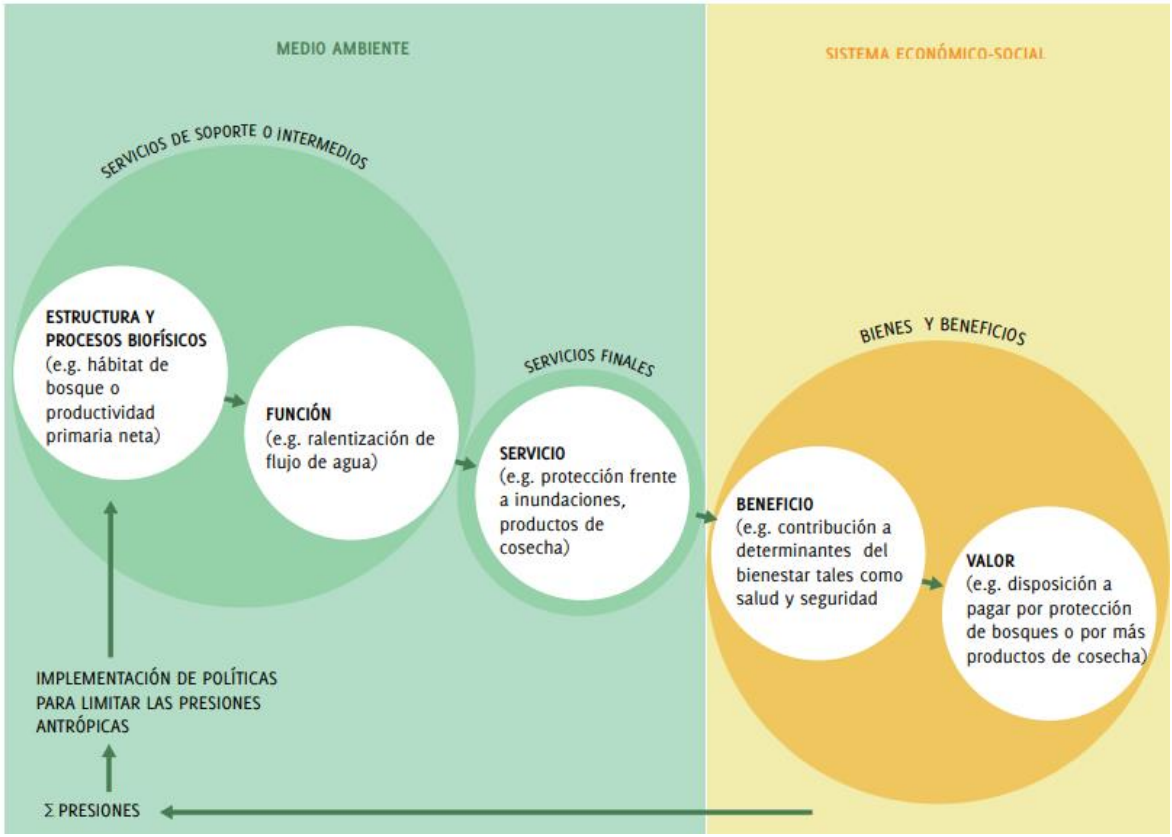


Figura 5.3. Marco conceptual: La Cascada de los Servicios Ecosistémicos (CSE).

Fuente: (Haines-Young R. a., 2012)

La Cascada de los Servicios Ecosistémicos (CSE) conecta lógica y sucintamente las estructuras y procesos ecosistémicos con los elementos que afectan el bienestar humano a través de una especie de "cadena de producción". De esta manera, la CSE demuestra que se requiere de estructuras funcionales ecosistémicas para la generación de servicios ecosistémicos y de los consiguientes beneficios asociados a ellos (Potschin, 2011). En otras palabras, la CSE revela que para obtener un flujo continuo de SS. EE. se requiere proteger y conservar los ecosistemas y la biodiversidad que les dan sustento.

5.1.4 Servicios Ecosistémicos Recopilados en Taller realizado junto a actores locales

De modo de lograr incorporar el conocimiento de actores locales en relación con los servicios ecosistemicos asociados a la cuenca del río Loa, se realizó un taller de trabajo el día 4 de marzo de 2019 en Calama. El objetivo de este taller fue acercar los conceptos de caudal ambiental y servicios ecosistémicos a la audiencia, para posteriormente consultar sobre su conocimiento respecto del tema y poder hacer un registro de ellas. Durante la jornada de la mañana en la Gobernación Provincial de El Loa, se trabajó con representantes de las empresas que realizan sus actividades asociadas a la extracción de agua del río y durante la tarde, en las dependencias de la Municipalidad de Calama se realizó el mismo trabajo esta vez con representantes de servicios públicos, organizaciones urbanas de Calama, asociación de agricultores y algunos miembros de comunidades indígenas. En esta ocasión se utilizaron ploteos de sectores cercanos a Calama con un nivel de detalle, para que los asistentes lograran identificar ciertas zonas y demarcarlas.

A continuación, en las Figura 5.4 a Figura 5.6, se presentan los servicios ecosistémicos localizados en dicho taller.

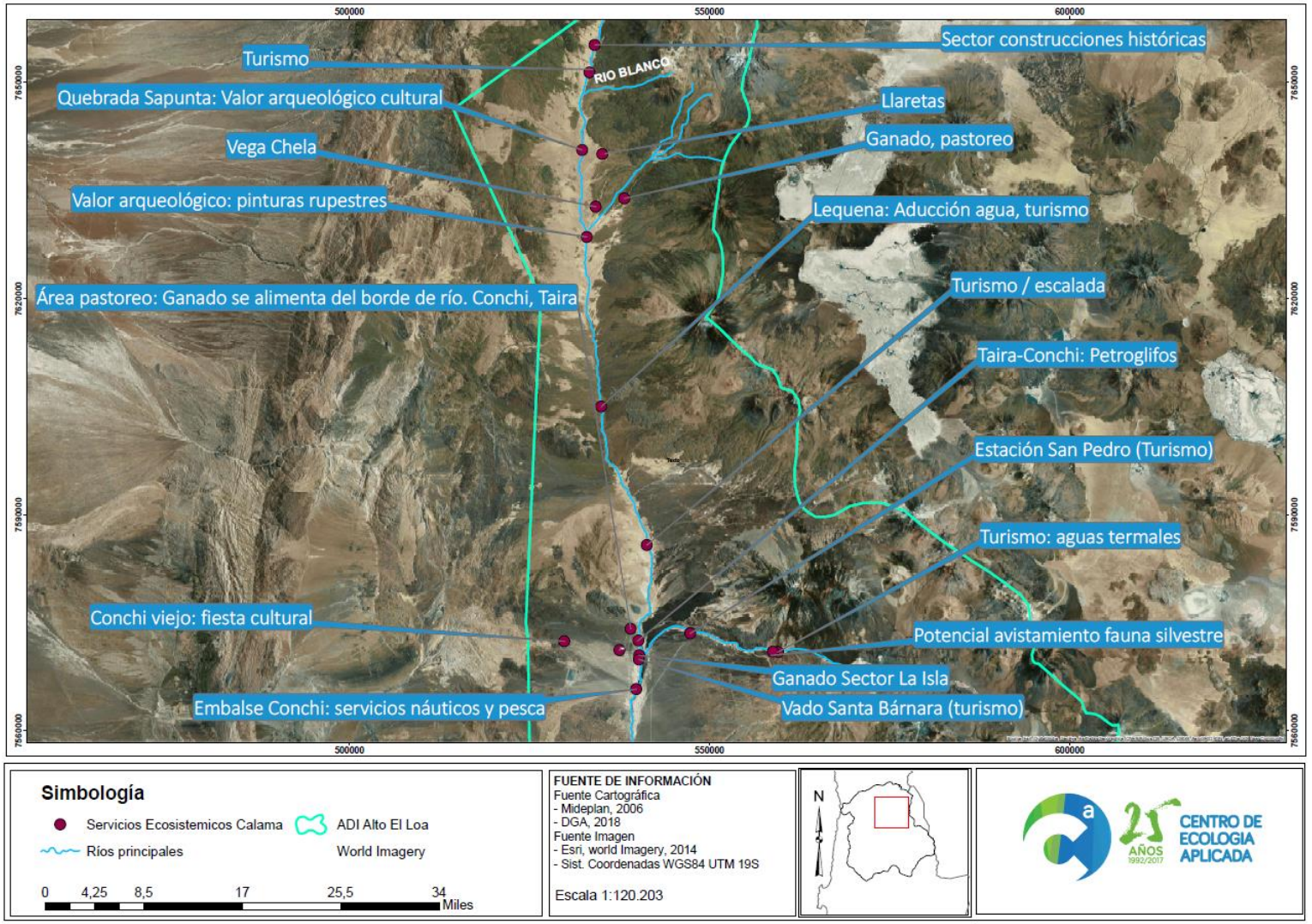


Figura 5.4. Servicios ecosistémicos levantados en Taller participativo junto a actores locales. Cuenca alta río Loa.

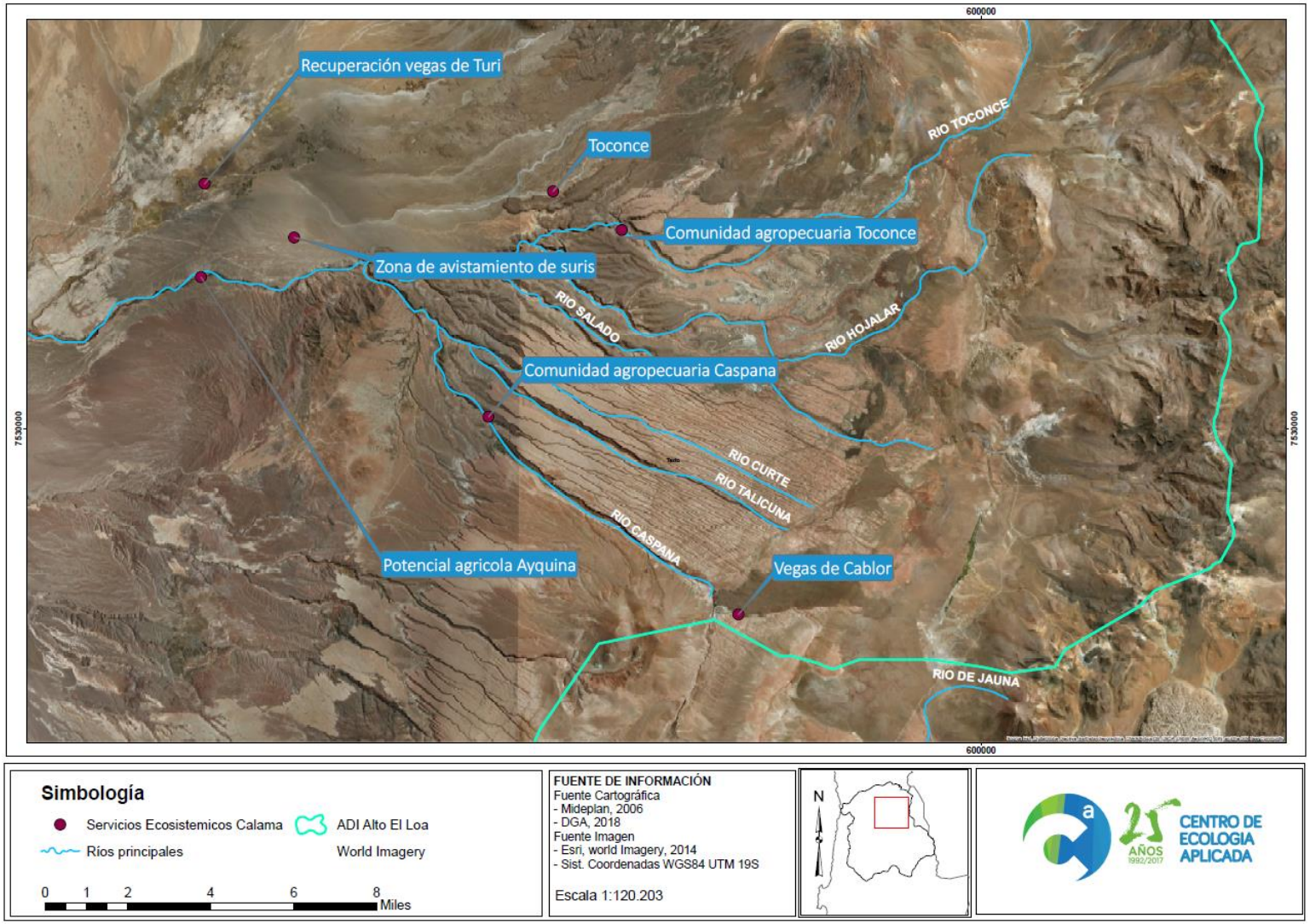


Figura 5.5. Servicios ecosistémicos levantados en Taller participativo junto a actores locales. Cuenca río Salado.

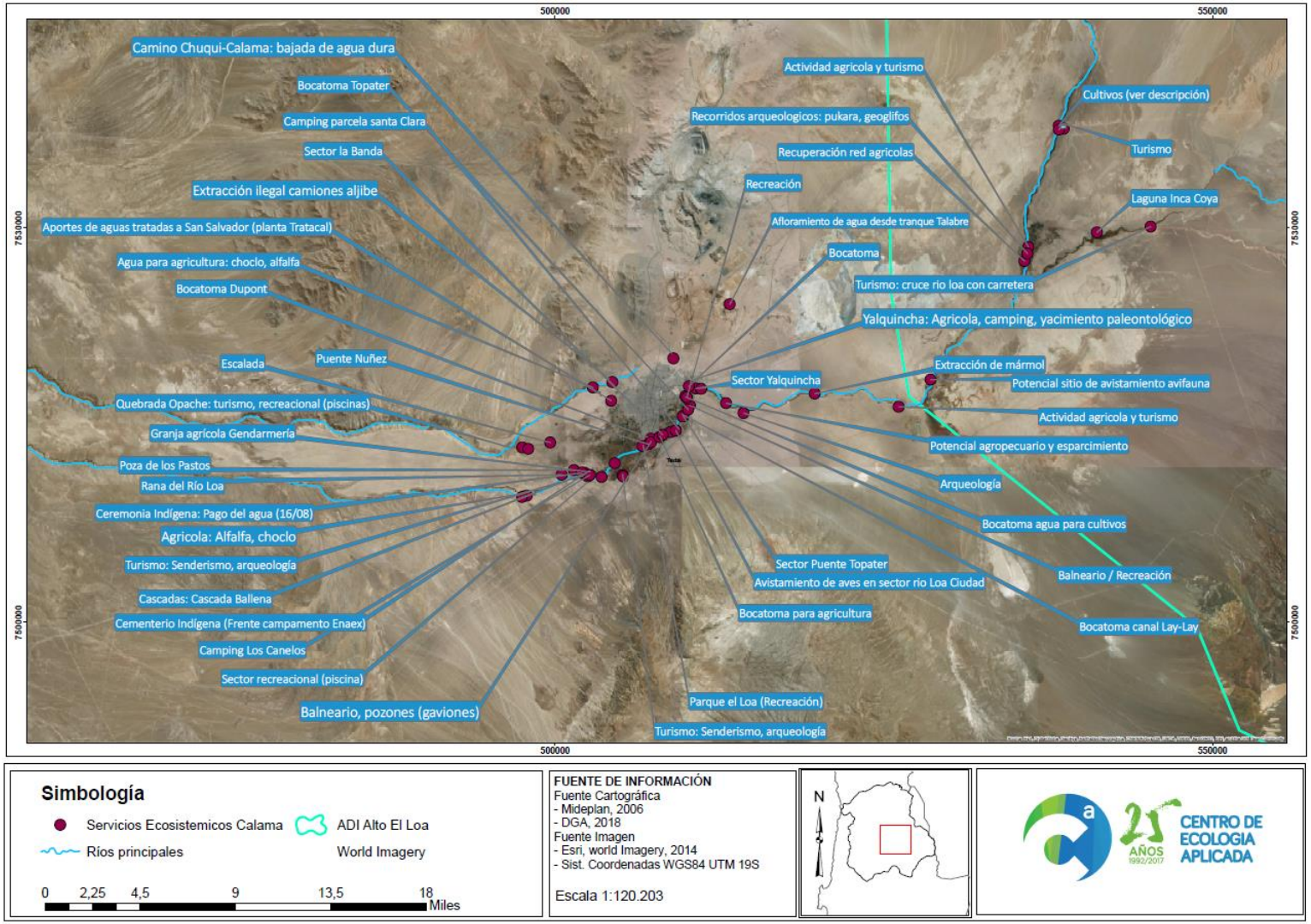


Figura 5.6. Servicios ecosistémicos levantados en Taller participativo junto a actores locales. Cuenca alta río Loa.

5.1.5 Selección experta de servicios ambientales de la cuenca del río loa de acuerdo a la clasificación CICES.

Atendiendo a la última clasificación CICES v 5.1 (Haines-Young R. a., 2017), los autores expertos de este informe, plantean la siguiente selección de servicios ambientales de la Cuenca del río Loa.

Se destacan en la Tabla 5.3, los ítems seleccionados. En verde se señalan los servicios que se consideran evidentes, donde se hace la diferencia de los ríos y esteros con los humedales.

Según el Convenio de Ramsar[2], "Un humedal es una zona de la superficie terrestre que está temporal o permanentemente inundada, regulada por factores climáticos y en constante interrelación con los seres vivos que la habitan". Si bien los ríos y esteros pueden ser considerados como humedales según esta definición, en los humedales no se presenta necesariamente un flujo de agua superficial, por lo que los servicios ecosistémicos brindados pueden diferir.

[2] https://www.ramsar.org/

Tabla 5.3. Selección Servicios ambientales proporcionados por la cuenca del Río Loa.

		Cod.	Clase CICES v 5.1	Ríos y Esteros	Humedales
1	APROVISIONAMIENTO	1.1.1.1	Plantas terrestres cultivadas (incluyendo hongos, algas) cultivadas con fines nutricionales		
2		1.1.1.2	Fibras y otros materiales de plantas cultivadas, hongos, algas y bacterias para uso directo o procesamiento		
3		1.1.1.3	Plantas cultivadas (incluyendo hongos, algas) cultivadas como fuente de energía		
4		1.1.2.1	Plantas cultivadas con fines nutricionales por acuicultura in situ.		
5		1.1.2.2	Plantas cultivadas con fines materiales por acuicultura in situ (excluyendo materiales genéticos)		
6		1.1.2.3	Plantas cultivadas como fuente de energía por la acuicultura in situ.		
7		1.1.3.1	Animales criados para proporcionar nutrición.		
8		1.1.3.2	Fibras y otros materiales de animales criados para uso directo o procesamiento (excepto materiales genéticos)		
9		1.1.3.3	Animales criados para proporcionar energía (incluyendo mecánica)		
10		1.1.4.1	Animales criados por acuicultura in situ con fines nutricionales.		
11		1.1.4.2	Animales criados por acuicultura in situ con fines materiales (excepto materiales genéticos)		
12		1.1.4.3	Animales criados por la acuicultura in situ como fuente de energía.		
13		4.2.1.1	Agua de superficie para beber.		
14		4.2.1.2	Aguas superficiales utilizadas como material (no para bebida)		
15		4.2.1.3	Agua superficial de agua dulce utilizada como fuente de energía.		
16		4.2.1.4	Agua costera y marina utilizada como fuente de energía.		
17		4.2.2.1	Agua subterránea para beber		
18		4.2.2.2	Agua subterránea utilizada como material (no para bebida)		
19		4.2.2.3	Agua subterránea utilizada como fuente de energía.		
20		4.2.X.X	Otro		

		Cod.	Clase CICES v 5.1	Ríos y Esteros	Humedales
21		2.1.1.1	Bio-remediación por microorganismos, algas, plantas y animales.		
22		2.1.1.2	Filtración / secuestro / almacenamiento / acumulación por microorganismos, algas, plantas y animales.		
23		2.1.2.1	Reducción de olores		
24		2.1.2.2	Atenuación del ruido		
25		2.1.2.3	Proyección visual		
26		2.2.1.1	Control de las tasas de erosión.		
27		2.2.1.2	Amortiguamiento y atenuación del movimiento de masas.		
28	SERVICIOS DE MANTENCIÓN O REGULACIÓN	2.2.1.3	Ciclo hidrológico y regulación del flujo de agua (incluido el control de inundaciones)		
29		2.2.1.4	Protección contra tormentas		
30		2.2.1.5	Protección contra incendios		
31		2.2.2.1	Polinización (o dispersión de 'gameto' en un contexto marino)		
32		2.2.2.2	Dispersión de semillas		
33		2.2.2.3	Mantención de poblaciones y hábitats de viveros (incluida la protección de la reserva genética)		
34		2.2.3.1	Control de plagas (incluyendo especies invasivas)		
35		2.2.3.2	Control de Enfermedades		
36		2.2.4.1	Procesos climáticos y su efecto en la calidad del suelo.		
37		2.2.4.2	Procesos de descomposición y fijación y su efecto en la calidad del suelo.		
38		2.2.5.1	Regulación de la condición química de las aguas dulces por procesos vivos.		
39		2.2.5.2	Regulación de la condición química de las aguas saladas por procesos vivos.		
40		2.2.6.1	Regulación de la composición química de la atmósfera.		
41		2.2.6.2	Regulación de la temperatura y la humedad, incluyendo ventilación y transpiración.		
42		2.3.X.X	Otro		

		Cod.	Clase CICES v 5.1	Ríos y Esteros	Humedales
43	SERVICIOS CULTURALES	3.1.1.1	Características de los sistemas vivos que permiten actividades que promueven la salud, la recuperación o el disfrute a través de interacciones activas o inmersivas.		
44		3.1.1.2	Características de los sistemas vivos que permiten actividades que promueven la salud, la recuperación o el disfrute a través de interacciones pasivas u observacionales.		
45		3.1.2.1	Características de los sistemas vivos que permiten la investigación científica o la creación de conocimientos ecológicos tradicionales.		
46		3.1.2.2	Características de los sistemas vivos que posibilitan la educación y la formación.		
47		3.1.2.3	Características de los sistemas vivos que son acumulativos en términos de cultura o patrimonio.		
48		3.1.2.4	Características de los sistemas vivos que posibilitan experiencias estéticas.		
49		3.2.1.1	Elementos de los sistemas vivos que tienen un significado simbólico.		
50		3.2.1.2	Elementos de los sistemas vivos que tienen un significado sagrado o religioso.		
51		3.2.1.3	Elementos de los sistemas vivos utilizados para el entretenimiento o la representación.		
52		3.2.2.1	Características o características de los sistemas vivos que tienen un valor de existencia.		
53		3.2.2.2	Características o características de los sistemas vivos que tienen un valor de legado.		
54		3.3.X.X	Otro		

		Cod.	Clase CICES v 5.1	Ríos y Esteros	Humedales
55	PROVISIONAMIENTO ABIÓTICO	4.2.1.1	Agua de superficie para bebida.		
56		4.2.1.2	Aguas superficiales utilizadas como material (no bebida)		
57		4.2.1.3	Agua superficial de agua dulce utilizada como fuente de energía.		
58		4.2.1.4	Agua costera y marina utilizada como fuente de energía.		
59		4.2.2.1	Agua subterránea para bebida		
60		4.2.2.2	Agua subterránea utilizada como material (no bebida)		
61		4.2.2.3	Agua subterránea utilizada como fuente de energía.		
62		4.2.X.X	Otro		
63		4.3.1.1	Sustancias minerales utilizadas para la nutrición.		
64		4.3.1.2	Sustancias minerales utilizadas para fines materiales.		
65		4.3.1.3	Sustancias minerales utilizadas como fuente de energía.		
66		4.3.2.1	Sustancias no minerales o propiedades del ecosistema utilizadas para la nutrición.		
67		4.3.2.2	Sustancias no minerales utilizadas para materiales.		
68		4.3.2.3	Energía eólica		
69		4.3.2.4	Energía solar		
70		4.3.2.5	Geotermia		
71		4.3.2.6	Otro		
72	REGULACIÓN Y MANTENCIÓN ABIÓTICA	5.1.1.1	Dilución por los ecosistemas marinos y de agua dulce.		
73		5.1.1.2	Dilución por la atmósfera.		
74		5.1.1.3	Mediación por otros medios químicos o físicos (por ejemplo, mediante filtración, secuestro, almacenamiento o acumulación)		
75		5.1.2.1	Mediación de molestias por estructuras o procesos abióticos.		
76		5.2.1.1	Flujos de masa		
77		5.2.1.2	Flujos de líquidos		
78		5.2.1.3	Flujos gaseosos		
79		5.2.2.1	Mantenimiento y regulación por procesos químicos y físicos naturales inorgánicos.		
80		5.3.X.X	Otro		
81	Cultural (Abiotico)	6.1.1.1	Características naturales, abióticas de la naturaleza que permiten interacciones físicas y experienciales activas o pasivas.		
82		6.1.2.1	Características naturales, abióticas de la naturaleza que permiten interacciones intelectuales.		
83		6.2.1.1	Características naturales, abióticas de la naturaleza que permiten interacciones espirituales, simbólicas y otras.		
84		6.2.2.1	Características naturales, abióticas o características de la naturaleza que tienen un valor de existencia o legado		
85		6.3.X.X	Otro		

5.2 Valoración de servicios ecosistémicos y evaluación costo beneficio

A continuación, se entrega una estimación del valor económico de los Servicios Ecosistémicos que otorga el Río Loa.

La situación actual, marcada por una presión creciente sobre los recursos hídricos del Río, determina un marco de valorización respecto de sus Servicios, condicionado en un contexto de escasez. Si bien este contexto puede inscribirse con propiedad en el campo de acción de la economía y/o la gestión, la naturaleza intangible de muchos de los Servicios Ecosistémicos definidos como tales, dificulta obtener de valores precisos.

Existe un gran volumen de producción científica relacionada con técnicas y métodos de valorización de estos Servicios, sin embargo, aunque algunos exhiben un alto grado de sofisticación, es claro que sus resultados frente a una misma realidad muestran amplios niveles de dispersión, lo que genera la necesidad de ofrecer un valor medio dentro de un rango de valores.

En este Informe, se adopta una postura pragmática, más que teórica. El fin último que se persigue es construir respuestas a partir de lo que se dispone. Existe una multitud de trabajos relativos al estado hídrico del Río, en términos de su uso y la presión que ejercen diversas actividades y sectores sobre el agua de la cuenca; a partir de ellos y ponderando sus niveles de uso con los valores del agua sometida a un proceso de desalación, como recurso sustituto más probable, se valorizan los Servicios Ecosistémicos de aprovisionamiento presumiendo su costo de reemplazo.

En lo referente a los Servicios de Regulación y Mantención, se reconoce que la intangibilidad de sus diversas partidas impide una valorización directa o indirecta sobre la base de valores de Stock Ambiental[3] y Precios Locales[4], por tanto, se recurre a una estimación basada en valores estándares para ecosistemas fluviales, derivados de estudios globales.

Finalmente, en el caso de los Servicios Culturales se simplifica la metodología del costo de viaje y se atribuye una ponderación, basada en información estadística nacional, al valor global de los viajes realizados, hacia la zona de Alto El Loa[5] y San Pedro de Atacama, como

[3] Cuantificación de volúmenes de recursos naturales involucrados en una valoración.
[4] Precio de los recursos involucrados.
[5] Descripción. La ruta patrimonial Alto El Loa incluye un Valle verde lleno de vida, donde el río riega huertas con cultivos de zanahorias, maíz y alfalfa, los animales pastan. La cultura atacameña de Chiu Chiu con una iglesia considerada Monumento Histórico nacional. El observatorio de arqueoastronomía Paniri Caur. La

los sitios de interés cultural y recreativo de la Región y que se vinculan parcialmente con el espacio de influencia del Río Loa.

Los resultados obtenidos se sistematizan, permitiendo determinar un Valor Medio[6], así como un rango probable, respecto de la cuantía económica anual actual y perpetua de los Servicios Ecosistémicos del Río Loa.

5.2.1 Sistema de clasificación

En términos generales, los Servicios Ecosistémicos (Boyd J., 2007) que consideran el marco amplio que define su portafolio, son susceptibles de ser clasificados de acuerdo a diferentes sistemas. En la Tabla 5.4 se presenta una comparación entre los sistemas de clasificación CICES (CICES 5.1, 2018) y TEEB (TEEB, The Economics of Ecosystems and Biodiversity, 2010).

Para efectos del ejercicio de valoración a que refiere este informe, se ha adoptado la Clasificación Internacional Común de los Servicios de los Ecosistemas (CICES 5.1), la cual los clasifica en tres grupos: Aprovisionamiento; Mantención y Regulación y Servicios Culturales.

zona típica de Ayquina, la fiesta de la Virgen de Guadalupe recibe a más de 10.000 personas. En Caspana, el verde de las terrazas que contrasta con las casas de piedra rosada, barro y techos de paja. La iglesia del siglo XVII y el Museo Etnográfico. En Lasana los campos de flores se mezclan con las rocas del desierto, y la cocina regional se funde con la artesanía. Se degusta llamo, patasca (caldo hecho con mote) y conejo, además de algunos dulces tradicionales. https://chile.travel/donde-ir/norte-desierto-atacama/alto-el-loa

[6] Valor promedio.

Tabla 5.4. Comparación entre las clasificaciones de SS.EE. de CICES y TEEB.

Sección CICES	División CICES	Categoría TEEB			
Aprovisionamiento	Nutrición	Alimentos			
	Abastecimiento de agua	Agua			
	Materiales	Materias primas	Recursos genéticos	Recursos medicinales	Recursos ornamentales
	Energía				
Regulación y Mantención	Regulación del entorno biofísico	Purificación del aire	Tratamientos de agua residuales (purificación de aguas)		
	Regulación del flujo	Prevención de disturbios o moderación	Regulación de los flujos de agua	Prevención de la erosión	
	Regulación del ambiente físico - químicas	Regulación del Clima (incluye secuestro de carbono)	Mantener fertilidad del suelo		
	Reglamento del entorno biótico	protección del patrimonio genético		Polinización	Control Biológico
Cultural	Simbólico	Información para el desarrollo cognitivo			
	Intelectual y vivencial	Información estética	Inspiración para la cultura, arte y diseño	Experiencia espiritual	Zona turística

Fuente: (TEEB, The Economics of Ecosystems and Biodiversity, 2010); (CICES 5.1, 2018)

5.2.2 Generalidades del Rio Loa

La cuenca hidrográfica del Río Loa, con una extensión de 33.081 km², se ubica en la II Región de Antofagasta, en la zona norte de Chile (Figura 5.7). El Río Loa nace a los pies del volcán Miño y posee una dirección sur en su primer tramo hasta aproximadamente la localidad de Chiu-Chiu, donde comienza a doblar en dirección oeste hasta la junta con el Río San Salvador. En este punto, el Río Loa toma una dirección norte hasta el poblado de Quillagua, donde continúa hacia el oeste para finalmente desembocar en el Océano Pacífico.

En la cuenca se presentan tres tipos climáticos: Estepa de altura en la parte más alta (3.500 m.s.n.m.) y oriental de la cuenca; Subtipo climático desértico interior en la parte intermedia de la cuenca y el Desértico costero con nublados abundantes en el plano occidental.

Los aportes de agua al Río Loa son generados por decenas de vertientes a lo largo de su trayecto, en su zona alta, mientras que sus afluentes principales corresponden a los ríos San Pedro, Salado y San Salvador junto a la Quebrada Amarga.

A pesar de su gran longitud y área de influencia, los recursos hídricos de la cuenca del Río Loa son escasos, debido a las condiciones desérticas y el escaso nivel de precipitación de la zona.

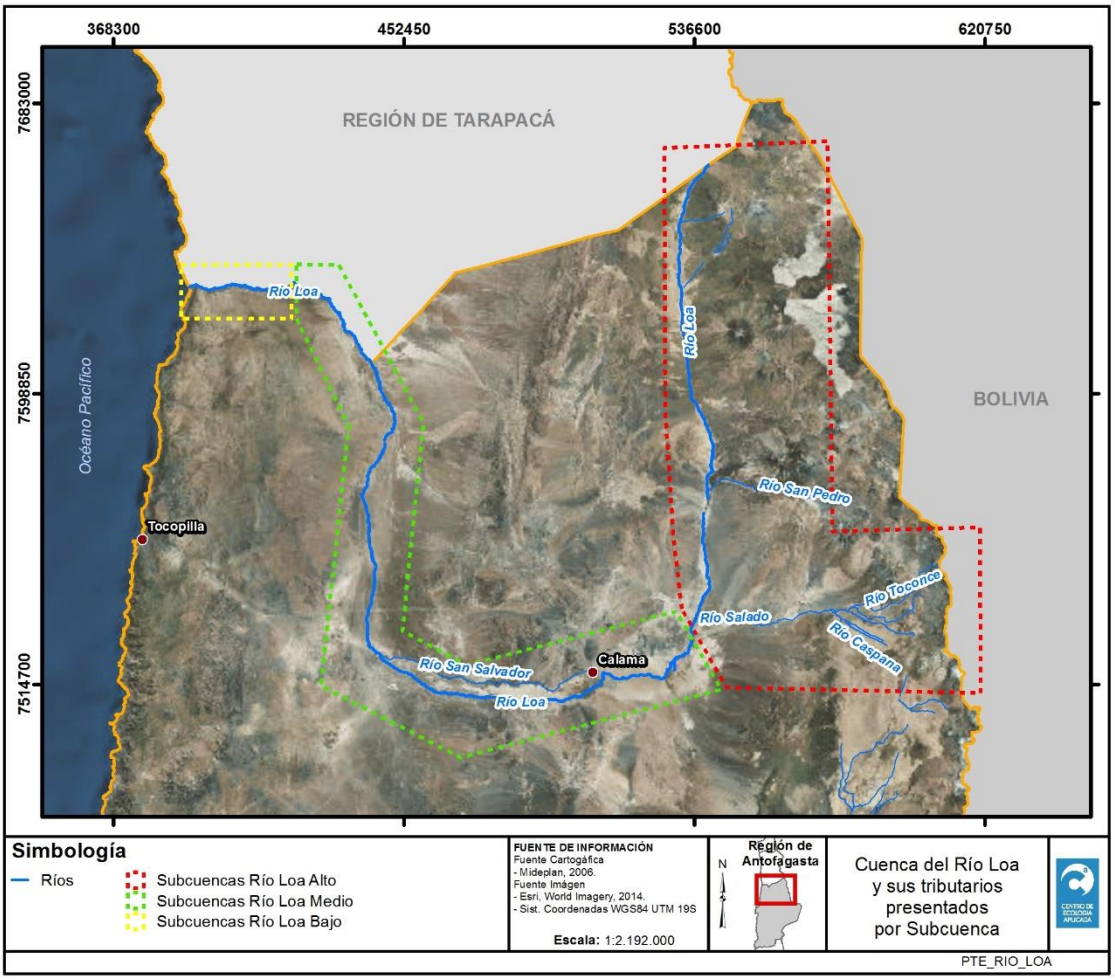


Figura 5.7. Mapa representativo de la cuenca del Río Loa.

5.2.2.1 Balance Hídrico del Río

Los derechos de aguas del Río Loa están registrados en el sitio web de la Dirección General de Aguas (DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA), MOP, 2019). La información disponible para cada derecho otorgado consiste en datos asociados al expediente: Código, fecha de resolución, solicitante, unidad de resolución, otros; ubicación del derecho (comuna, provincia, cuenca, fuente, coordenadas, etc.), caudales (mensuales y anuales), tipo de derecho (naturaleza, tipo y ejercicio) y descripción.

En cuanto al ejercicio de los derechos, éste se clasifica en cinco categorías: Permanente y Continuo, Permanente y Discontinuo, Eventual y Continuo, Eventual y Discontinuo, y Permanente y Alternado.

5.2.2.2 Demandas Hídricas por Uso

Existen estudios previos relativos a estimaciones respecto del uso del agua del Río Loa (Arrau Ingeniería E.I.R.L. MOP, 2012), los cuales ofrecen un balance entre la oferta y demanda hídrica en la cuenca del Río Loa. Con relación a la definición de usos consuntivos y no consuntivos del agua del Río, como se observa en la Tabla 5.5, el uso minero es el más importante.

Tabla 5.5. Balance oferta-demanda hídrica en cuenca Río Loa.

Ítem	Caudal (m^3/s)
Oferta	4,80
Demanda Agrícola	0,51
Demanda Agua Potable	1,09
Demanda Minera	2,76
Evaporación Cuerpos de Agua	1,59
Caudal en Desembocadura	0,29
Reúsos de Agua	Desconocido
Reúsos en Riego	Desconocido
Reúsos en Minería	Desconocido

Fuente: (Arrau Ingeniería E.I.R.L. MOP, 2012)

Este balance fue realizado el año 2012, sin embargo, se considera que estos datos son relevantes y se encuentran vigentes, como contribución al ejercicio de valorización que da cumplimiento de los objetivos que este informe plantea.

5.2.3 Valoración de Servicios de Aprovisionamiento

Según las naciones Unidas (FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2019) el agua, alimentos, madera y otros bienes son algunos de los beneficios materiales que las personas obtienen de los ecosistemas y que se conocen como "Servicios de abastecimiento" (aprovisionamiento). Muchos de los Servicios de abastecimiento se comercializan en los mercados. Sin embargo, en muchas regiones, los hogares rurales también dependen directamente de los Servicios de abastecimiento para su subsistencia. En este último caso, el valor de los Servicios puede ser mucho más importante del que reflejan los precios que alcanzan en los mercados locales.

La agricultura, la silvicultura y la pesca resultan afectadas por todos los tipos de Servicios Ecosistémicos y a su vez influyen en ellos.

5.2.3.1 Consolidación de Servicios previamente seleccionados

En la sección 5.1.5 del presente informe, se presentó la selección experta de los Servicios Ecosistémicos de Aprovisionamiento, que proporciona la cuenca del Río Loa a partir de la clasificación CICES versión 5.1 (CICES 5.1, 2018).

En la Tabla 5.6, a partir de lo seleccionado se plantea una consolidación de los Servicios Ecosistémicos en cinco ítems instrumentales para su posterior valoración: Uso productivo agrícola, Uso productivo pecuario, Agua potable, Agua uso industrial y Agua generación de energía.

Tabla 5.6. Consolidación de Servicios de Aprovisionamiento proporcionados por la cuenca del Río Loa.

		Code	Clase CICES v 5.1	Ríos y Esteros	Humedales	Ítem de consolidación
1	APROVISIONAMIENTO	1.1.1.1	Plantas terrestres cultivadas (incluyendo hongos, algas) cultivadas con fines nutricionales			Uso productivo agrícola
2		1.1.1.2	Fibras y otros materiales de plantas cultivadas, hongos, algas y bacterias para uso directo o procesamiento			
3		1.1.1.3	Plantas cultivadas (incluyendo hongos, algas) cultivadas como fuente de energía			
7		1.1.3.1	Animales criados para proporcionar nutrición.			Uso productivo pecuario
8		1.1.3.2	Fibras y otros materiales de animales criados para uso directo o procesamiento (excepto materiales genéticos)			
9		1.1.3.3	Animales criados para proporcionar energía (incluyendo mecánica)			
13		4.2.1.1	Agua de superficie para beber.			Agua potable
14		4.2.1.2	Aguas superficiales utilizadas como material (no para bebida)			Agua uso industrial
15		4.2.1.3	Agua superficial de agua dulce utilizada como fuente de energía.			Agua generación de energía
17		4.2.2.1	Agua subterránea para beber			Agua potable
18		4.2.2.2	Agua subterránea utilizada como material (no para bebida)			Agua uso industrial
19		4.2.2.3	Agua subterránea utilizada como fuente de energía.			Agua generación de energía

Fuente: Elaboración de los autores sobre la base de CICES versión 5.1 (CICES 5.1, 2018) y selección y consolidación experta.

5.2.3.2 Método de valoración

En este contexto, en lo referente a la valoración de los Servicios Ecosistémicos del Río Loa, la consolidación en los ítems señalados en el apartado anterior será abordada específicamente como sigue:

1 Uso productivo agrícola y pecuario. Para efectos de valoración en este caso se considerará el uso - consumo de agua de la actividad agrícola como un todo. Sobre el valor de esta demanda, se aplicará un "precio alternativo económico" respecto de su uso actual y de reemplazo.

2 Agua potable. Se considerarán los antecedentes estadísticos de precios modales del agua potable de la Región, registrado por las empresas sanitarias de la zona.

3 Agua uso industrial. El principal uso es por parte de las empresas mineras, por tanto se considerará las cifras de uso planteadas por la DGA, ponderándolas por el precio del agua desalada, que se estima como su mejor indicador alternativo de reemplazo, en condición de escasez, atendiendo a la condición en que se desarrolla la producción minera en la zona.

4 Agua generación de energía. Su valor por uso no consuntivo es marginal en la Región, por tanto no se considerará en el ejercicio.

5.2.3.2.1 Estimación de Valor

En las siguientes tablas se presenta las matrices base para el desarrollo del ejercicio de valoración de los Servicios Ecosistémicos de aprovisionamiento del Río Loa.

En la Tabla 5.7, se presentan los valores estimados del costo de reemplazo de los caudales de agua del Río, utilizada en diversas actividades sectoriales, sobre la base del balance hídrico lo planteado por Arrau registrado en este informe en la Tabla 5.5 (Arrau Ingeniería E.I.R.L. MOP, 2012). En el documento citado se considera un caudal promedio anual expresado en m^3/s, el cual se multiplica por un factor (60x60x24x365) para expresarlo en m^3/año. Para su valoración se consideran como precios de reemplazo, los informados por las desalinizadoras (CÁMARA DE DIPUTADOS, 2017).

Respecto de los precios planteados en la Tabla 5.7, se aplicará un marco de *probabilidades a priori* (Tabla 5.8), definidas por juicio experto, con el objeto de ejecutar un ejercicio de simulación para estimar el valor parcial por sector y global de los Servicios Ecosistémicos de aprovisionamiento del Río Loa.

Los antecedentes se procesan utilizando el software **@RISK**[7], presumiendo que los distintos niveles de precio se distribuyen con una *distribución discreta* estructurada a partir de las probabilidades a priori establecidas, originándose un output a partir de 10.000 iteraciones.

Como resultado del análisis de datos, se obtuvo una Valor Medio anual de 560,4 millones de dólares, el que se ubicó en un rango de confianza del 85% limitado por una Valor Mínimo de 353 millones de dólares y un Valor Máximo de 725 millones de dólares.

Respecto de la Varianza de estos resultados, la contribución al valor estimado proviene en los porcentajes que se indica, del uso consumo originado por las actividades demandantes de agua en la cuenca:

- 80,90 % por la Minería,
- 16,46 % por Agua Potable y
- 2,64 % por la Agricultura.

En la Figura 5.8 se presenta el gráfico de distribución de los valores de aprovisionamiento obtenido en el ejercicio de simulación, en tanto en la Figura 5.9 se entregan los valores estimados de uso de las diferentes actividades de uso o consumo, destacándose en este caso la Minería, como principal actividad.

A partir de los Valores Medios (Figura 5.9), los cuales corresponden a resultados anuales, es posible estimar además el Valor Perpetuo. Para estos efectos, se ha considerado una Tasa de Descuento del 6% (Ministerio de Desarrollo Social, 2019), obteniéndose un rango de 5.883 a 12.083 millones de dólares y una Media de 9.340 millones de dólares, por estos Servicios.

Es habitual que, en la valoración de activos ambientales, en los que no se reconoce un horizonte para su extinción se utilice el cálculo de su perpetuidad o valor perpetuo como forma de estimar el Valor Presente (Valor Actual Neto) de un flujo permanente anual de ingresos, costos o beneficios, suponiendo que este mantendrá su nivel en el tiempo. Aznar y Estruch (2015) plantean este enfoque en su libro “Valoración de Activos Ambientales: teoría y casos” (página 100).

[7] Software que permite realiza análisis de riesgo, utilizando la simulación para mostrar múltiples resultados posibles en un modelo de hoja de cálculo, y le indica qué probabilidad que se produzcan. Computa y controla matemática y objetivamente gran número de escenarios futuros posibles, y luego le indica las probabilidades y riesgos asociados con cada uno.

Existen casos, sobre todo en valoración agraria y como veremos también en valoración de activos ambientales, en que podemos aceptar la hipótesis de encontrarnos ante una renta o flujo de caja constante, o sea que tanto los ingresos como los gastos de esos bienes anuales suelen ser suficientemente iguales en los años como para considerarlos constantes y la situación actual es la que seguirá prevaleciendo en ese bien indefinidamente. En ese caso podemos utilizar la capitalización perpetua, reduciéndose el cálculo al cociente entre el flujo constante y la tasa considerada. (Aznar y Estruch, 2015)

$$V = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{FC}{(1+r)^i} = \frac{FC}{(1+r)} + \frac{FC}{(1+r)^2} + ... + \frac{FC}{(1+r)^i} + ... = \frac{\frac{FC}{(1+r)}}{1 - \frac{1}{(1+r)}} \approx \frac{FC}{r}$$

En el caso particular de esta valoración de servicios ecosistémicos del río Loa, se ha procedido -debido a este concepto- que el valor del stock anual de servicios del río (expresado en dólares de 2019), puede suponerse como un monto constante con prevalencia indefinida, por tanto, puede perpetuarse, utilizando como tasa (r) para la actualización a Valor Presente de este flujo infinito, la tasa social de descuento de la economía chilena en la actualidad (6%). Este valor de referencia es el que se utiliza en las evaluaciones sociales de proyectos en Chile, según la indicación del Ministerio de Desarrollo Social.

Tabla 5.7. Matriz de costo de remplazo de usos de agua para diferente usos o consumo, ponderados por precios probables.

Ítem	Caudal (m^3/s)	Caudal (m^3/año)	Precio (US$ / m^3)											
			1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
Oferta	**4,8**	**151.372.800**												
Demanda Agrícola	0,51	16.083.360	16.083.360	24.125.040	32.166.720	40.208.400	48.250.080	56.291.760	64.333.440	72.375.120	80.416.800	88.458.480	96.500.160	104.541.840
Demanda Agua Potable	1,09	34.374.240	34.374.240	51.561.360	68.748.480	85.935.600	103.122.720	120.309.840	137.496.960	154.684.080	171.871.200	189.058.320	206.245.440	223.432.560
Demanda Minera	2,76	87.039.360	87.039.360	130.559.040	174.078.720	217.598.400	261.118.080	304.637.760	348.157.440	391.677.120	435.196.800	478.716.480	522.236.160	565.755.840

Fuente: Elaboración propia, en base a estimación de Arrau (Arrau Ingeniería E.I.R.L. MOP, 2012).

Tabla 5.8. Matriz de probabilidades a priori, relativas a los precios del agua asignada a diferente usos o consumo.

Ítem	Caudal (m^3/s)	Caudal (m^3/año)	Probabilidad											
			1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
Demanda Agrícola			15,00%	15,00%	15,00%	15,00%	15,00%	6,25%	6,25%	5,00%	3,00%	1,50%	1,50%	1,50%
Demanda Agua Potable			15,00%	15,00%	15,00%	15,00%	15,00%	3,57%	3,57%	3,57%	3,57%	3,57%	3,57%	3,57%
Demanda Minera			1,50%	1,50%	3,00%	3,00%	3,00%	6,25%	8,00%	13,75%	15,00%	15,00%	15,00%	15,00%

Fuente: Elaboración propia, en base a opinión experta.

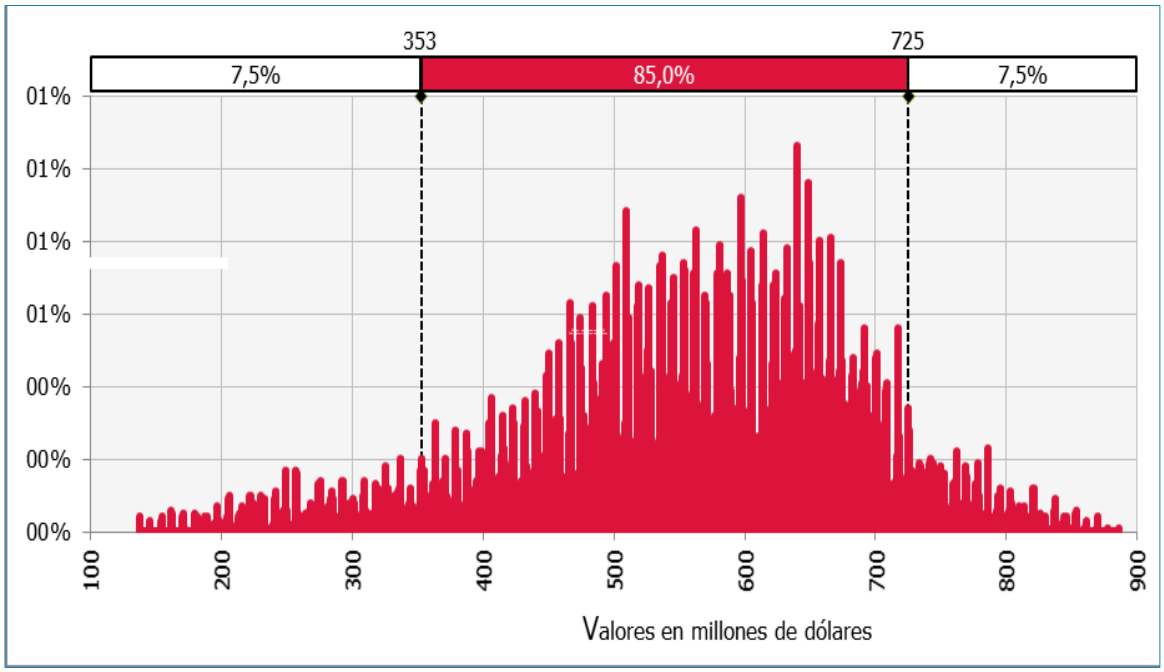


Figura 5.8. Distribución simulada de valores de Servicios de aprovisionamiento del Río Loa, con un 85% de seguridad, calculado con @RISK.

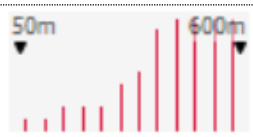
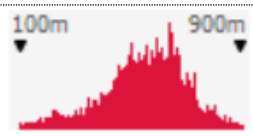
Nombre	Gráfico	Media	Perpetuo
Agricultura		42.037.880	700.631.333
Agua potable		94.532.600	1.575.543.333
Minería		423.881.700	7.064.870.000
Servicios de aprovisionamiento		560.452.200	9.340.870.000

Figura 5.9. Detalle de Valores Medios anuales y perpetuos de los Servicios de aprovisionamiento del Río Loa, en millones de dólares, calculado con @RISK.

5.2.4 Valoración de Servicios de Mantención y Regulación

Los Servicios de Regulación son aquellos que derivan de las funciones clave de los ecosistemas, que ayudan a reducir ciertos impactos locales y globales (por ejemplo, la Regulación del clima y del ciclo del agua, el control de la erosión del suelo, la polinización, otros).

El mantenimiento de la calidad del aire y del suelo, el control de las inundaciones y enfermedades o la polinización de cultivos son algunos de los "Servicios de Regulación" proporcionados por los ecosistemas. A menudo son invisibles y, por consiguiente, en la mayoría de los casos se dan por sentados. Cuando se ven dañados, las pérdidas resultantes pueden ser importantes y difíciles de recuperar (Fisher B, 2009) (De Groot & Wilson, 2002) (FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2019), (Millenium Ecosystem Assessment, 2003).

5.2.4.1 Selección de servicios

En la Sección 5.1, se realizó una preselección experta de los Servicios Ecosistémicos de Mantención o Regulación, que proporciona la cuenca del Río Loa a partir de la clasificación CICES (CICES 5.1, 2018).

En la Tabla 5.9, a partir de lo seleccionado se plantea una consolidación de los Servicios Ecosistémicos en los siguientes ítems instrumentales para su posterior valoración:

5.2.4.1.1 Clima local y calidad del aire

Los ecosistemas influyen en el clima local y la calidad del aire. Por ejemplo, los árboles proporcionan sombra mientras que los bosques influyen en las precipitaciones y en la disponibilidad de agua, tanto a escala local como regional. Los árboles y otras plantas desempeñan asimismo un importante papel en la Regulación de la calidad del aire mediante la eliminación de contaminantes de la atmósfera.

5.2.4.1.2 Secuestro y almacenamiento de carbono

Los ecosistemas regulan el clima mundial mediante el almacenamiento de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, cuando los árboles y plantas crecen, eliminan dióxido de carbono de la atmósfera y lo retienen eficazmente en sus tejidos.

5.2.4.1.3 Moderación de fenómenos extremos

Los ecosistemas y los organismos vivos crean amortiguadores contra las catástrofes naturales. Reducen los daños causados por inundaciones, tormentas, tsunamis, avalanchas, desprendimientos de tierras y sequías.

5.2.4.1.4 Tratamiento de aguas residuales / depuración de residuos y basuras.

Algunos ecosistemas como los humedales filtran efluentes, descomponen residuos mediante la actividad biológica de los microorganismos y eliminan agentes patógenos nocivos. Por tanto, a juicio experto, se supone que el Río Loa ofrece este servicio ecosistémico como depositario de residuos y basuras como otros ríos y que contribuye implícitamente a su descomposición y depuración en el mediano y largo plazo. El servicio de depuración de las aguas servidas tratadas de la ciudad de Calama constituye una prueba tangible de este servicio.

5.2.4.1.5 Prevención de la erosión y conservación de la fertilidad del suelo

La cubierta vegetal previene la erosión del suelo y garantiza la fertilidad del suelo mediante procesos biológicos naturales como la fijación del nitrógeno. La erosión del suelo es un factor clave en el proceso de degradación de la tierra, pérdida de fertilidad del suelo y desertificación, y contribuye a reducir la productividad de la pesca en los cursos inferiores de los Ríos.

5.2.4.1.6 Polinización

Los insectos y el viento polinizan las plantas y los árboles, lo cual es fundamental para el desarrollo de las frutas, hortalizas y semillas. La polinización animal es un servicio ecosistémico proporcionado principalmente por los insectos pero también por algunos pájaros y murciélagos. En los agroecosistemas, los polinizadores son vitales para la producción hortícola y de forraje, así como para la producción de semillas de numerosos cultivos de raíces y fibras.

5.2.4.1.7 Control biológico de plagas

Este concepto comprende las actividades de los depredadores y parásitos en los ecosistemas que sirven para controlar las poblaciones de posibles vectores de plagas y enfermedades.

Los Servicios relacionados con el control biológico y la regulación de enfermedades (Lozano, 2012) son otro valioso aporte de los ecosistemas. Dentro de los cultivos se presentan interacciones bióticas complejas, las cuales permiten que las diversas poblaciones, tanto de microrganismos como de microrganismos, se mantengan en niveles estables y desarrollen actividades de parasitismo, mutualismo, comensalismo y depredación, entre otros; ello dinamiza el flujo de energía y de nutrientes, la dispersión de semillas y la polinización. Algunos microrganismos desempeñan un papel importante como reguladores de poblaciones de otros organismos (generalmente, de otros artrópodos); este es el principio del control biológico de plagas. Estas interacciones bióticas son de gran relevancia para el bienestar humano; en particular, para la producción agropecuaria, pues a menudo se presentan ataques tanto de plagas como de enfermedades, causados por un desbalance o una reducción de la biodiversidad.

5.2.4.1.8 Regulación de los flujos de agua

La Regulación de los flujos de agua es un servicio clave proporcionado por la cobertura y la configuración del suelo, pero su dinámica es mal comprendida por la mayoría de los encargados de la formulación de políticas y las organizaciones dedicadas a la ordenación de tierras.

Tabla 5.9. Consolidación de Servicios de Regulación y Mantención proporcionados por la cuenca del Río Loa.

		Code	Clase CICES v 5.1	Ríos y Esteros	Humedales	Ítem de consolidación
21	SERVICIOS DE MANTENCIÓN O REGULACIÓN	2.1.1.1	Bio-remediación por microorganismos, algas, plantas y animales.			Depuración de residuos o basuras.
22		2.1.1.2	Filtración / secuestro / almacenamiento / acumulación por microorganismos, algas, plantas y animales.			Secuestro y almacenamiento de carbono
28		2.2.1.3	Ciclo hidrológico y Regulación del flujo de agua (incluido el control de inundaciones)			Moderación de fenómenos extremos
30		2.2.1.5	Protección contra incendios			Moderación de fenómenos extremos
32		2.2.2.2	Dispersión de semillas			Polinización
33		2.2.2.3	Mantención de poblaciones y hábitats de viveros (incluida la protección de la reserva genética)			Control biológico de plagas
36		2.2.4.1	Procesos climáticos y su efecto en la calidad del suelo.			Clima local y calidad del aire
37		2.2.4.2	Procesos de descomposición y fijación y su efecto en la calidad del suelo.			Prevención de la erosión y conservación de la fertilidad del suelo
38		2.2.5.1	Regulación de la condición química de las aguas dulces por procesos vivos.			Secuestro y almacenamiento de carbono
40		2.2.6.1	Regulación de la composición química de la atmósfera.			Clima local y calidad del aire
41		2.2.6.2	Regulación de la temperatura y la humedad, incluyendo ventilación y transpiración.			Clima local y calidad del aire

		Code	Clase CICES v 5.1	Ríos y Esteros	Humedales	Ítem de consolidación
72	REGULACIÓN Y MANTENCIÓN ABIÓTICA	5.1.1.1	Dilución por los ecosistemas marinos y de agua dulce.			Depuración de residuos o basuras
74		5.1.1.3	Mediación por otros medios químicos o físicos (por ejemplo, mediante filtración, secuestro, almacenamiento o acumulación)			Depuración de residuos o basuras
77		5.2.1.2	Flujos de líquidos			Regulación de los flujos de agua
79		5.2.2.1	Mantenimiento y Regulación por procesos químicos y físicos naturales inorgánicos.			Depuración de residuos o basuras

Fuente: Elaboración propia en base a CISES (CICES 5.1, 2018).

5.2.4.2 Método de valoración

Los Servicios de Regulación, como el control natural de plagas y el ciclo de los elementos nutritivos, suelen producirse en segundo plano, fuera de la percepción de las personas y, por lo tanto, ni se reconocen ni se valoran. En el caso del Río Loa esta situación se plantea de manera similar. Se advierte como muy complejo evaluar en particular cada uno de los ítems de consolidación. Por esta razón, en este Informe, en la valoración de este tipo de Servicios Ecosistémicos se recurre a las referencias proporcionadas por informantes calificados y a cifras aproximadas, derivadas de estudios internacionales relativos a este tipo de Servicios proporcionados por Ríos y/o cuencas hidrográficas, tales como el de (Costanza & Rudolf De Groot, 2014)

Los Servicios de Regulación y Mantención se vinculan directamente con la definición conceptual de lo que es un río (Honorio & Torres, 2000).

Un río se define como una corriente natural de agua de flujo continuo y constante, dotado de caudal y velocidad; en el contexto ambiental, se le considera como un flujo o sistema de vectores energéticos componente de un sistema mayor denominado el «Ciclo Hidrológico del Agua», que permite la continuidad de complejas interrelaciones funcionales entre las diversas formas de energía representadas por el flujo líquido (océano), flujo gaseoso (atmósfera), el paleo flujo (litósfera) y los seres vivos. Por tanto, este componente vectorial (el río), permite la interconexión energética funcional entre los tres estados de la materia y el cuarto estado plasmático representado por la energía del sol.

El «Ciclo Hidrológico del Agua» en su extremo superior está conectado a un macro sistema mayor conformado por los flujos procedentes del Sol y del cosmos que inyectan a la tierra diferentes formas de energía permitiendo transformar la energía plasmática y electromagnética en otras formas de energía como la cinética, potencial, calorífica, mecánica, fotoquímica etc.; que mediante la evaporación elevan hacia niveles superiores de la atmósfera a diferentes altitudes y latitudes, miles de millones de Km^3 de agua bajo el estado líquido y/o gaseoso; mientras que en su conexión inferior este Ciclo Hidrológico es complementado por el río, enlazando a este macrosistema superior con otro geosistema energético inferior procedente del interior de la tierra; del cual, también fluye energía térmica, plasmática y electromagnética, que durante su recorrido por la superficie terrestre retorna a los mares y océanos miles y millones de Km cúbicos de sedimentos y agua para equilibrar los materiales cedidos por el océano a la atmósfera, permitiendo así, la transformación gradual de la energía cinética en energía potencial almacenada en mares y océanos.

Al observar los ocho ítems de consolidación que se evidencian en la Tabla 5.9, adicionando el concepto global de biodiversidad, que se estima conveniente agregar, se totalizan nueve ítems; de los cuales cuatro de ellos: Clima local y calidad del aire, Regulación de flujos de agua, Biodiversidad y Depuración de residuos o basuras, fueron considerados relevantes por el equipo técnico para su valoración.

5.2.4.2.1 Estimación de Valor

Sin duda, la valoración de los Servicios Ecosistémicos de Regulación y Mantención del Río Loa es compleja. En lo general, los ejercicios rigurosos de valoración de este tipo de servicios en sistemas fluviales escasean en el ámbito de la literatura publicada vinculada a la valuación de Servicios Ecosistémicos. En la casuística del Río Loa concurren, además elementos particulares, que dificultan su análisis, entre otros: en primer lugar, la ubicación del Río en una zona de extrema aridez, con fuerte presión antrópica, derivada de la actividad minera en la zona y, por otra parte, la oscilación climática que influye sobre el caudal de Río por efecto del Invierno Altiplánico.

Se debe considerar, además, que la naturaleza de los ríos como sistemas de circulación lineal, vectorial, jerarquizado y estructurados para trasladar sedimentos y fluidos vitales a través de las Cuencas Hidrográficas y sus desembocaduras, determinan complejas reacciones dinámicas, mecánicas, energéticas, químicas y bioquímicas con el propósito de dar sustento en todo su recorrido a la vida en sus diferentes formas.

El Río es un vector energético parte integrante del Ciclo Hidrológico del Agua y recorre tan solo la superficie terrestre, interconectando al colector sólido superior (Glaciares) con el colector sólido inferior (Océanos) y en dicho recorrido cumple una misión suprema y especializada desplegando un trabajo selectivo como la erosión, ataque físico, químico, bioquímico, transporte, selección y sedimentación en las cuencas de deposición tales como conos aluviales, fluviales, deltas etc. La interrupción y la contaminación de los Ríos

puede modificar y alterar el flujo normal del Ciclo Hidrológico del Agua provocando serios trastornos en el clima de la tierra, en los procesos isostáticos y en la conservación de diversos ecosistemas.

Todo lo indicado, aplica en el caso del Río Loa, cuyo cauce recorre una distancia del orden de 440 km e influye y es influido por a lo menos tres sistemas climáticos: Estepa de altura; Subtipo climático Desértico interior y Desértico costero.

En concordancia con estas consideraciones, que permiten caracterizar al Río Loa como un sistema ecológico de alta complejidad y a partir de una revisión bibliográfica relativa a valoración de Servicios Ecosistémicos de Regulación y Mantención proporcionados por los sistemas fluviales en el mundo, en este trabajo se procede a valorar las partidas consolidadas de Servicios indicadas, atendiendo a valores referenciales. En esta decisión metodológica influye, fundamentalmente, el hecho que no se dispone de datos cuantitativos específicos relativos a niveles de Stock ni de flujo, por ejemplo, del bioma para evaluar biodiversidad, como tampoco de evaluaciones cuantitativas respecto al efecto climático del Río Loa en su entorno, y tampoco con relación al impacto de la variabilidad del cauce sobre el ecosistema natural y antrópico de la Región. Los estudios actuales de mayor confiabilidad al respecto corresponden fundamentalmente a dos autores y sus equipos: Robert Costanza y Rudolf S. de Groot. Estos autores han hecho referencia a valuaciones de Servicios ambientales en ecosistemas fluviales (Robert & De Groot R, 1997), (Costanza & Rudolf De Groot, 2014), (Russell A. & Tracy A. Farrell, 2019).

Particularmente, Costanza (Costanza & Rudolf De Groot, 2014) publica una actualización de su estudio global realizado en 1997 integrando sus valores a los calculados por De Groot (De Groot, y otros, 2014). En este trabajo, estima un valor unitario de 12.512 dólares/ha/año (cifras expresadas en dólares de 2007) para los Servicios de Ecosistémicos de Ríos. Un 64% de dicho valor correspondería a Servicios de Ciclo hidrológico y Regulación del flujo de agua (water regulation) en tanto un 7,8% se vincula a tratamientos de residuos (waste traitment). La deducción del valor prestado por estos dos Servicios permite derivar una valía aproximada respecto de dos de las partidas agrupadas en este estudio.

Si se considera la actualización a dólares del 2019 (ajustando por inflación, los valores de 2011, utilizando la Tasas Anuales del IPC de Estados Unidos del periodo 2012 – 2019, (Global Rates, 2019)) se puede emplear una cifra de 9.105 dólares/ha/año por Servicios de Ciclo hidrológico y Regulación del flujo de agua y 1.112 dólares/ha/año por Depuración de residuos o basuras. Estos valores corresponden a cifras unitarias por hectárea por año, por tanto para su escalamiento respecto del área del Río Loa se utilizó y calculó el concepto de área de influencia considerando la superficie ocupada por el cauce del Río y sus bandas aledañas, que en este caso en particular, son de extensión muy limitada y solo en algunas zonas, como por ejemplo en la localidad de Lasana, muestra una mayor amplitud.

Según los cálculos desarrollados por el equipo de CEA, el área de influencia del Río definida alcanza a 4.786 hectáreas[8], lo que implica que el valor anual relativo a las partidas indicadas se podría estimar, según se plantea a continuación:

1 El valor anual de Servicios de Ciclo hidrológico y Regulación del flujo de agua se podría estimar en 43,6 millones de dólares. En términos de valor perpetuo esto correspondería a 726,2 millones de dólares.

2 El valor anual de Servicios de Depuración de residuos o basuras alcanzaría a 5,3 millones de dólares, resultando el cálculo del valor perpetuo respectivo en 88,7 millones de dólares.

Por otra parte, se presume, de acuerdo con referencias de informante calificados de la zona y tras observación in situ, que el impacto del Río Loa, desde el punto de vista de los Servicios de Regulación climática es marginal, ya que la configuración geológica del cauce, el cual fluye a través de una cerrada caja, bloquea en gran parte del cauce dicho efecto. Por esta razón, en este estudio se plantea un valor nulo para este servicio ecosistémico en particular.

Existen antecedentes registrados relativos a un eventual efecto de la evaporación en diversas locaciones en el Río (CADE-IDEPE, 2004). Esto podría representar un efecto micro climático esporádico, respecto del cual no existen mediciones que permitan su dimensionamiento y valoración.

En las zonas de Oasis (por ejemplo: Calama, Qullagua y Lasana) se presume que la evaporación de parte del caudal del Río podría originar algunos efectos en la temperatura como en la humedad, pero la estimación del valor de los servicios ecosistémicos que estos representan es de muy compleja medición, no existiendo antecedentes disponibles en periodos suficientes para una inferencia estadística de su valor. En esta zona geográfica la demanda atmosférica es tan alta que no se espera cambios relativos en la humedad atmosférica o atenuación del régimen térmico debido al cauce del Río.

La evaluación de los Servicios vinculados con la conservación de la biodiversidad constituye un ejercicio de alta complejidad, ya que se desconoce cuantitativamente el Stock y flujo del bioma del área de influencia del Río. Por esta razón se acordó el despreciar este valor para los efectos prácticos del estudio.

[8] Estimada a partir del análisis de imágenes satelitales, considerando el área potencial de crecimiento de vegetación ripariana.

En síntesis, el valor estimado, en este informe, respecto de los Servicios Ecosistémicos de Regulación o Mantención del Río Loa, converge a 48,9 millones de dólares por año, lo que llevado a valor perpetuo corresponde a 814,9 millones de dólares.

Respecto de estos valores se puede estimar un rango de amplia variabilidad, considerando los parámetros de dispersión obtenidos por De Groot (De Groot, y otros, 2014), respecto de su valoración de servicios de mantención y regulación de diversos casos de sistemas fluviales. Respecto de sus valores medios estimados, para estas partidas, De Groot informa un Coeficiente de Variación (CV) de un 65%. Si se aplica este nivel de variabilidad, se obtiene un rango al 85% de Confianza para el Valor Anual estimado para el Río Loa, entre 3,2 a 95,0 millones de dólares, lo cual, en términos de valor perpetuo se sitúa entre 53,3 a 1.583,1 millones de dólares, sobre la base de la aplicación de una Tasa de Descuento del 6% (Ministerio de Desarrollo Social, 2019).

5.2.5 Valoración de Servicios Culturales

5.2.5.1 Consideraciones generales

Los Servicios Ecosistémicos culturales corresponden a Servicios no materiales que el hombre obtiene de los ecosistemas. Estos están muy ligados a los valores humanos, su identidad y su comportamiento (Figueroa, 2010).

De acuerdo con De Groot et al (De Groot & Wilson, 2002), la mayoría de las funciones y procesos Ecosistémicos asociados están interrelacionados, por lo que su uso sustentable debe tomar en cuenta las interacciones dinámicas entre funciones, valores y procesos, en adición a los criterios ecológicos y a los valores socioculturales. Estos valores socioculturales, siguiendo a De Groot (De Groot, y otros, 2014), se relacionan principalmente a las ya mencionadas funciones de información o culturales, las cuales proveen oportunidades para el enriquecimiento espiritual, el desarrollo cognitivo, el esparcimiento, la educación y la ciencia. Estas funciones de información se desglosan en cinco tipos: Estética, Recreación y turismo, Inspiración cultural y artística, Información espiritual e histórica, y finalmente, Información científica y educacional. Según Steward (Steward, 1955), el ambiente puede desalentar o fomentar el desarrollo cultural, planteando que la cultura es un instrumento de ajuste, un sistema de adaptación generado por sociedades bajo condiciones ambientales, espaciales, temporales e históricas particulares.

Al respecto, el Río Loa es el activo ambiental fundamental del desarrollo cultural de la Región de Antofagasta, ya que bajo su albergue se ha desarrollado prácticamente toda la historia de las culturas presentes en la zona, en especial la del pueblo Atacameño.

En este sentido, cabe destacar que las etnias locales -las que mantienen una presencia importante- observan una relación con el agua de índole ancestral, ya que han hecho uso de ella desde tiempos inmemoriales, en especial para el riego de sus cultivos, vinculando estas prácticas con el desarrollo de su cultura y, en convergencia con los elementos de la naturaleza de su entorno. En esta visión, sus manejos, han buscado proteger el recurso con una visión sustentable, lo que es coherente con la protección del ecosistema en dónde desarrollan sus vidas.

5.2.5.2 Selección de servicios

En la sección 5.1.5 del presente informe, se realizó una selección experta de los Servicios Ecosistémicos culturales propuestos por CICES (CICES 5.1, 2018) considerados relevantes en el caso del Río Loa, los cuales se presentan en la siguiente Tabla 5.10. Se consideró que todas las partidas propuestas constituyen objeto de valoración en este caso.

Tabla 5.10. Consolidación de Servicios Culturales proporcionados por la cuenca del Río Loa.

		Code	Clase CICES v 5.1	Ríos y Esteros
81	Cultural (Abiótico)	6.1.1.1	Características naturales, abióticas de la naturaleza que permiten interacciones físicas y experienciales activas o pasivas.	
82		6.1.2.1	Características naturales, abióticas de la naturaleza que permiten interacciones intelectuales.	
83		6.2.1.1	Características naturales, abióticas de la naturaleza que permiten interacciones espirituales, simbólicas y otras.	
84		6.2.2.1	Características naturales, abióticas o características de la naturaleza que tienen un valor de existencia o legado	

Fuente: Elaborado por el autor en base a CICES (CICES 5.1, 2018)

En este caso, atendiendo a lo antes indicado, se considera que todas las partidas propuestas constituyen objeto de valoración cuando se trata de abordar la valoración de los servicios culturales del Río Loa.

5.2.5.3 Método de valoración

Al respecto Small et al (2017) exponen críticamente que la valoración económica de servicios culturales ha progresado muy lentamente respecto de sus pares relativas a aprovisionamiento y regulación, no existiendo dentro del estado del arte una metodología que pueda con eficacia representar cuantitativamente lo que estos autores denominan “services that have no material benefits” (N.SMALL, M.MUNDAY, & DURANCE, 2017).

Sin embargo, la observación directa de la realidad del Río Loa permite determinar que los Servicios culturales pueden ser valorados utilizando el Método del Costo de Viaje (Freeman, 1993) o un símil de tal método. En concordancia de lo que proponen múltiples

autores respecto a este tipo de servicio, la adopción rigurosa de este método requiere del desarrollo de un modelo econométrico basado en una regresión entre el número de viajes desarrollados anualmente por visitantes versus el costo que cada uno de ellos asume para visitar la zona de interés y su nivel de ingresos. En este caso, la información disponible impide un desarrollo de esta naturaleza, por tanto, se puede buscar una aproximación, simplificando sus elementos a estimaciones de costo de viaje ponderadas por el volumen de viajantes a la zona de influencia del Río.

5.2.5.3.1 Estimación de valor

En lo que se refiere al objeto de este ejercicio, se percibe que la zona vinculada a la cuenca del Río, en particular la denominada Alto Loa, recibe un número importante de visitas del orden de 180.000 por año (INSUS, ingeniería Sustentable, 2018), los cuales en su mayoría pernoctan en Calama y en San Pedro de Atacama, desarrollando giras a sectores de interés arqueológico y cultural. Ahora bien, el Río en sí mismo no constituye objeto de interés principal, aun cuando su existencia implícitamente constituye la génesis de la existencia de gran parte de dichos sitios.

El ejercicio de valoración puede desarrollarse, por tanto, suponiendo que una fracción marginal del costo total de viajes y visitas que anualmente se desarrollan en la Región, corresponde al valor económico que se puede otorgar a los Servicios Ecosistémicos Culturales del Río.

Siendo casi imposible contar con un registro anualizado de los gastos que cada visitante a la zona efectúa, cruzado con su origen y su nivel de ingresos, se plantea la siguiente aproximación instrumental al Método del Costo de Viaje (Freeman, 1993). El Servicio Nacional de Turismo cuenta con registros relativos al valor promedio del gasto efectuado por visitante a la Región. Dicho valor puede ser ponderado por el número total de visitantes (turistas) lo cual permite estimar un monto global de ingresos regionales por este concepto, el cual es de: 73,89 millones de dólares. Los parámetros para estimar dicho valor, corresponde a:

- Número de visitantes anuales Calama: 148.200, Anuario de Turismo, 2017 (SERNATUR, MINISTERIO DE ECONOMÍA, FOMENTO Y TURISMO, 2019).
- Gasto promedio total por turista: 222,5 dólares (PPT-Plan-Nacional-3-de-Mayo-2019-1.pdf). (INE, Ministerio de Economía y Hacienda, 2019)

Respecto de dicha cifra se aplicó un porcentaje relativo al destino de los viajes turísticos; se consideró que el 5,0 % estaba relacionado con Visitas de Paisajes y/o Atractivos Naturales. Por tanto, es posible estimar el orden de magnitud de los ingresos turísticos relacionados con lugares naturales en 1,65 millones de dólares por año, lo que constituye una aproximación al valor de los Servicios Culturales asociados al Río Loa y sus zonas de influencia, tomando como base la información disponible en las estadísticas sectoriales, y

la recomendación de la SEREMIA de Medio Ambiente de la Región, al respecto. Al perpetuar la cifra promedio estimada, se alcanza un monto medio de 27,48 millones de dólares. Para efectos de resguardar la confiabilidad de tal estimación, se aplica un rango de fluctuación, considerándose un intervalo de +/- 10% respecto de los montos medios registrados.

5.2.6 Síntesis general

La integración de los resultados de los ejercicios de valoración ya expuestos pueden ser sintetizados esquemáticamente tal como se presenta en la Tabla 5.11.

Tabla 5.11. Síntesis de resultados de valorización de Servicios Ecosistémicos del Río Loa.

Servicio Ecosistémico	Valores en Millones de Dólares			
	Valor anual	Rango	Valor Perpetuo	Rango
Aprovisionamiento	561	353 – 725	9.341	5.883 - 12.083
Mantención y Regulación	49	3 - 95	815	53 - 1.583
Cultura	1,65	1,48 – 1,81	27,48	24,73 – 30,22
Total	**611,65**	**357,48 – 821,81**	**10.193**	**5.961 – 13.696**

Derivado de este ordenamiento, es posible señalar que el valor global anual de Servicios Ecosistémicos del río Loa alcanza a US$ 611,65 millones, en tanto, su valor perpetuo converge a un valor de US$ 10.194 millones. Ambos valores se instalan en los siguientes rangos probables de 357,48 a 821,81 millones dólares y de 5.961 a 13696 millones de dólares.

Estudios similares realizados en sistemas lóticos cercanos ofrecen resultados que no son concluyentes respecto del valor de los servicios ambientales de los diferentes ríos estudiados. Por ejemplo, Geldes (2003) al estudiar la Valoración Económica de los Servicios Ambientales del Agua en la Cuenca del Río Limarí, IV Región de Chile, concluye:

- La valoración de los servicios ambientales del agua no está ajena a controversia, ya que estos son dinámicos y no se conoce con certeza toda su extensión, especialmente en la Cuenca del río Limarí.

- La disponibilidad para pagar por los servicios ambientales del agua en la Cuenca del río Limarí estimada a Enero del 2002, por medio de valoración contingente, es de $3.166, para un tamaño de muestra de 102 jefes hogares.

Los valores obtenidos en el estudio de Geldes (2003) no convergen a un valor global de los servicios ecosistémicos del río Limarí. Estas conclusiones no permiten una comparación con los resultados de este respecto a este estudio, no son un referente.

En el caso del estudio de Huenchuleo & Alejandro de Kartzow (2018) titulado: "Valoración económica de servicios ecosistémicos en la cuenca del río Aconcagua, Chile" se plantea que:

Las preferencias de las comunidades rurales por mejoras en los servicios ecosistémicos de las cuencas hidrográficas, así como los factores que determinan la valoración de estos servicios no han sido lo suficientemente estudiados en los países en desarrollo.

En el mismo estudio en el capítulo de resultados se señala:

"En función de las estimaciones de la Disposición a Pagar (DAP) marginal, se puede señalar que los atributos de mayor importancia para los agricultores fueron la mejora en la disponibilidad de agua para riego (USD 3.93/mes/hogar), seguido de un mejoramiento de la protección de la calidad del agua (USD 3.24/mes/hogar). Menor importancia se asignó a una mejora en la capacidad de almacenaje de agua a través de embalses (USD 1.47/mes/hogar) y la condición de la flora y fauna del río (USD 1.42/mes/hogar). En este sentido, la DAP total por mejoras en la provisión de SE relacionados con la cuenca del río Aconcagua fluctuó entre USD 10.06/mes y USD 20.12/ mes por hogar. Considerando el tamaño de la muestra estudiada (n = 105), la DAP total de los hogares encuestados está entre USD 1 056 y USD 2 112. Finalmente, si se toma el número total de explotaciones agrícolas en la cuenca del río Aconcagua (n = 6 422), la DAP total alcanza valores entre USD 64 250 y USD 128 500."

Las cifras a las que alcanzan estos autores claramente subestiman lo que corresponde a la provisión de servicios ecosistémicos del caudal total del Río Aconcagua, mostrando ordenes de magnitud entre USD$ 64.250 y USD$ 128.500 por mes lo cual al anualizarlo corresponde a USD$ 700.071 y USD$ 1.542.000, estos valores no son comparables con este estudio ya que representan una imagen parcial, a diferencia de lo realizado en la valoración presentada. No cabe duda de que el uso activo de los servicios ecosistémicos del Río Aconcagua, atendiendo a su caudal, población y actividades económicas que se desarrollan en su entorno es muy superior al observado en la cuenca del río Loa.

Las conclusiones de los dos estudios referidos demuestran una clara divergencia con los resultados de este estudio y permiten observar además que las metodologías tradicionales de valoración son ineficaces para arribar a resultados realistas, respecto del valor total de los servicios ecosistémicos provistos por las cuencas o áreas totales de influencia del cauce de estos.

Con respecto a las cifras empleadas en el estudio y las referencias internacionales estas se encuentran contenidas en el acápite “5.2.4.2.1 Estimación de Valor“. En dichas referencias se advierte que los autores presentan sus resultados en rangos de amplia varianza lo que indica la complejidad de la valoración de los servicios ambientales en sistemas lóticos. Los autores citados son De Groot & otros (2014), los que hacen referencia integral, actualizada y global a otras valuaciones de Servicios ambientales en ecosistemas fluviales: (Robert & De Groot R, 1997), (Costanza & Rudolf De Groot, 2014), (Russell A. & Tracy A. Farrell, 2019).

5.2.7 Conclusiones

- En este Informe, se adopta una postura pragmática más que teórica respecto de la valoración de los servicios ecosistémicos del Río Loa, atendiendo a la naturaleza del sistema complejo que representa este particular ecosistema fluvial.

- Se consideró la valoración de tres tipos de Servicios: Aprovisionamiento, de Regulación y Mantención y Culturales; respecto de los cuales se consolida su portafolio, proveniente de la clasificación CICES 5.1, en partidas de servicios consideradas representativas y relevantes según juicio experto.

- Considerando como base la recopilación de información proveniente de múltiples trabajos relativos al estado hídrico del Río Loa -en términos de su uso y la presión que ejercen diversas actividades y sectores sobre el agua de la cuenca- se ponderó sus niveles de consumo con los valores del agua sometida a procesos de desalación -como recurso sustituto más probable- valorando los Servicios Ecosistémicos de Aprovisionamiento, según el costo de reemplazo del recurso hídrico utilizado para su atención. A partir de este cálculo, se obtiene una Valor Medio anual de 560,4 millones de dólares, el que se ubica en un rango entre 353 millones de dólares y 725 millones de dólares. En términos de Valor Perpetuo, presenta un rango entre 5.883 a 12.083 millones de dólares, con una Valor Medio de 9.340 millones de dólares.

- En lo referente a los Servicios de Regulación y Mantención, se reconoce que la intangibilidad de sus diversas partidas impide una valorización directa o indirecta sobre la base de valores de Stock Ambiental y Precios Locales, por tanto, se recurre a una estimación basada en valores estándares para ecosistemas fluviales, derivados de estudios globales. Se estima, en este contexto, que el Valor Medio de esta partida converge a 49,1 millones de dólares por año, lo que llevado a Valor Perpetuo corresponde a 818,4 millones de dólares. En términos de rango el valor anual se estima entre 3,2 a 95,0 millones de dólares, y en términos de Valor Perpetuo se sitúa entre 53,3 a 1.583,1 millones de dólares.

- En el caso de los Servicios Culturales se simplifica la metodología del costo de viaje y se atribuye una ponderación, basada en información estadística nacional, al valor

global de los viajes realizados a los sitios de interés cultural y recreativo de la Región, que se vinculan con el espacio de influencia del Río Loa. El valor de los Servicios Culturales asociados al Río Loa y sus zonas de influencia se estima en 1,65 millones de dólares por año, y su Valor Perpetuo corresponde a un valor medio de 27,48 millones de dólares, considerándose un intervalo de +/- 10% respecto a estos montos.

- Los resultados obtenidos se sistematizan, permitiendo determinar un Valor Medio y un rango probable, respecto de la cuantía económica anual actual y perpetua de los Servicios Ecosistémicos del Río Loa. A partir de estos cálculos, es posible señalar que el Valor Global Anual de Servicios Ecosistémicos del río Loa alcanza a 611,65 millones de dólares, en tanto, su Valor Perpetuo converge a un valor de 10.194 millones de dólares. Ambos valores se instalan en los rangos probables: 357,48 a 821,81 millones de dólares y 5.960 a 13.696 millones de dólares.

5.3 Evaluación macroeconómica

5.3.1 Valor económico del caudal ambiental

El valor medio de los servicios ambientales (US$ 4,04 por m3) se estimó como el cociente entre el Valor Anual Medio estimado de los servicios ecosistémicos del Río Loa, correspondientes a USD$ 611,65 millones y la oferta hídrica del río correspondiente a 4,8 m^3/s (Arrau, 2012)[9] en su equivalente anual (151.372.800 m^3 por año).

La oferta natural anual calculada en este estudio equivale a 175,6 millones de metros cúbicos, lo que representa el 116% del caudal hídrico obtenido por Arrau (2012). El valor de 175,6 millones de m^3 corresponde al valor del volumen anual considerando un flujo natural medio en la desembocadura (considerando toda la cuenca como aportante), dentro de un rango cuyo valor central probable es de 5,39 m^3/s, siendo su valor extremo máximo 5,57 m^3/s (+3%; margen de error estadístico). Considerando esta oferta hídrica, el valor económico del Caudal Ambiental anual puede ser estimado en 709,77 millones de dólares, en coherencia con el Valor Medio de los servicios ambientales del Río (US$ 4,04 por m^3), detallado en el párrafo anterior; en este valor se incluye los servicios de aprovisionamiento, de mantención o regulación y culturales.

En consecuencia, se advierte que el caudal ambiental estimado supera al caudal actual por tanto existe un diferencial hídrico negativo en el Río, lo que implica un menor valor global de los servicios ambientales que el río Loa idealmente debería proporcionar.

[9] Arrau, 2012: Diagnóstico Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta

En este contexto se deben desarrollar acciones que permitan reducir parte o la totalidad del déficit calculado; esto significaría liberar al Río de la presión de demanda actual relevante en la Región, ejercida por la actividad minera, agrícola y el uso-consumo humano de agua potable.

Este conjunto de acciones restituiría parte del Capital Social de Servicios con que el Río contribuye a la sociedad regional y nacional, debiendo la sociedad invertir recursos económicos en ello.

Para sustentar racionalmente la implementación de tal marco de acción, conviene evaluar sus respectivos flujos económicos de beneficios y costos sociales.

5.3.1.1 Marco de supuestos

Atendiendo a la complejidad de esta evaluación, es necesario plantear un escenario base delimitado por un marco de supuestos que permitan representar la *restitución parcial* del valor de los servicios ecosistémicos del Río, en términos de flujos de ingresos sociales, así como de inversiones y costos sociales, en un horizonte de largo plazo. Atendiendo a los antecedentes recabados se ha llegado a la convicción que una restitución total del caudal ambiental implicaría inversiones y cambios normativos, que dados sus montos y tiempos se observan como inviables.

En este sentido, al considerar el origen principal de la demanda hídrica del río Loa, se plantean tres dimensiones esenciales de acción, en términos de liberación parcial del uso del caudal del Río:

1° Reducción de la presión de demanda hídrica por parte de la actividad agrícola que se desarrolla en torno al río Loa, sobre la base de inversiones intraprediales en sistemas de riego tecnificado, para mejorar la eficiencia de riego de la situación actual la cual es deficiente. No se considera las inversiones extraprediales dada la complejidad de su cálculo.

2° Disminución de la presión de demanda hídrica de la actividad minera que se desarrolla en la cuenca del río Loa, sobre la base de uso de agua desalada para sus procesos.

3° Ajuste de la presión de demanda hídrica del caudal del Río, por efecto de consumo humano de agua potable, sobre la base de inversiones en desalación de agua de mar.

De acuerdo con el estudio de Arrau (2012), la minería, consumo humano y agricultura, demandan respectivamente un 57,5%, 22,7% y un 10,62% de la oferta hídrica actual del Río. De tal manera, para efectos de esta estimación, se supone que el caudal ambiental calculado se ve afectado en las mismas proporciones; con lo cual se plantea referencialmente que la actividad minera presionaría por el uso de 101 millones de

m^3/año, el consumo humano por 39,9 millones de m^3/año y la agricultura demandaría 18,6 millones de m^3/año.

En este sentido, en un escenario base promedio, para efectos de estimar un flujo de ingresos sociales por concepto de liberación parcial del caudal ambiental del río, se estima que, a través de las acciones esenciales indicadas, se podría reducir en términos de valores medios, en un 30% el uso agrícola, en un 27,5% el uso minero y en un 25% del uso-consumo humano. Respectivamente, esto representaría la restitución a la sociedad de los beneficios brindados por los servicios ecosistémicos del Río, debido al no uso de los siguientes caudales hídricos 5,6; 27,7 y 9,9 millones de m^3/año, en total 43,34 millones de m^3 por año. Esto representaría un ingreso social anual total de US$ 175,15 millones por año.

El costo social de esta restitución de caudal ambiental proviene de la valorización del marco de acción planteado:

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 ha, con una inversión por ha 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.

Para efectos de obtener el VAN social en este escenario base, se plantea su cálculo como VAN perpetuo, utilizando una tasa social de descuento del 6% (Ministerio de Desarrollo Social, 2019).

La aplicación de los supuestos planteados permite obtener el marco de resultados que se presenta en la Tabla 5.12.

Tabla 5.12. Evaluación beneficio costo de la implementación de plan de acción para la restitución parcial del caudal ambiental estimado del río Loa, Escenario base. Cifras en US$ de mayo de 2020.

Área de Actividad	Inversión	Costo anual	Ingreso anual	Flujo anual	$VAN_{6\%}$
Agricultura	9.100.000	0	22.623.882	22.623.882	556.497.056
Minería	76.097.340	124.989.881	112.232.200	(12.757.681)[1]	(395.039.362)
Consumo humano de agua potable	27.320.850	32.907.964	40.294.169	7.386.206	157.334.288
Totales	112.518.190	157.897.845	175.150.252	17.252.407	318.791.981

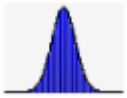
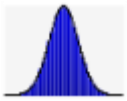
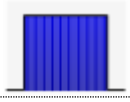
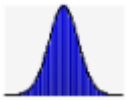
Nota. Valores negativos se expresan entre paréntesis.

Los resultados del escenario base de esta evaluación, muestran la viabilidad del marco de acción propuesto, estimándose la relación Beneficio/Costo en 1,078. Esta situación viable también se verifica también en los casos de las intervenciones en la agricultura y el consumo humano de agua potable, no así en el caso de la minería; esto último determinado por el alto costo de traslado del agua desalada desde el mar a las plantas mineras, así como por el monto de inversión que se requiere para su producción.

5.3.1.2 Análisis de sensibilidad

Atendiendo a la variabilidad implícita en las estimaciones técnicas del caudal ambiental y en el valor económico de los servicios ecosistémicos, se hace necesario sensibilizar los parámetros definitorios del Escenario Base ya presentado. Para este efecto, se considera un ejercicio de Simulación de Monte Carlo, utilizando como variables, distribuciones y parámetros de entrada los indicados en la siguiente tabla:

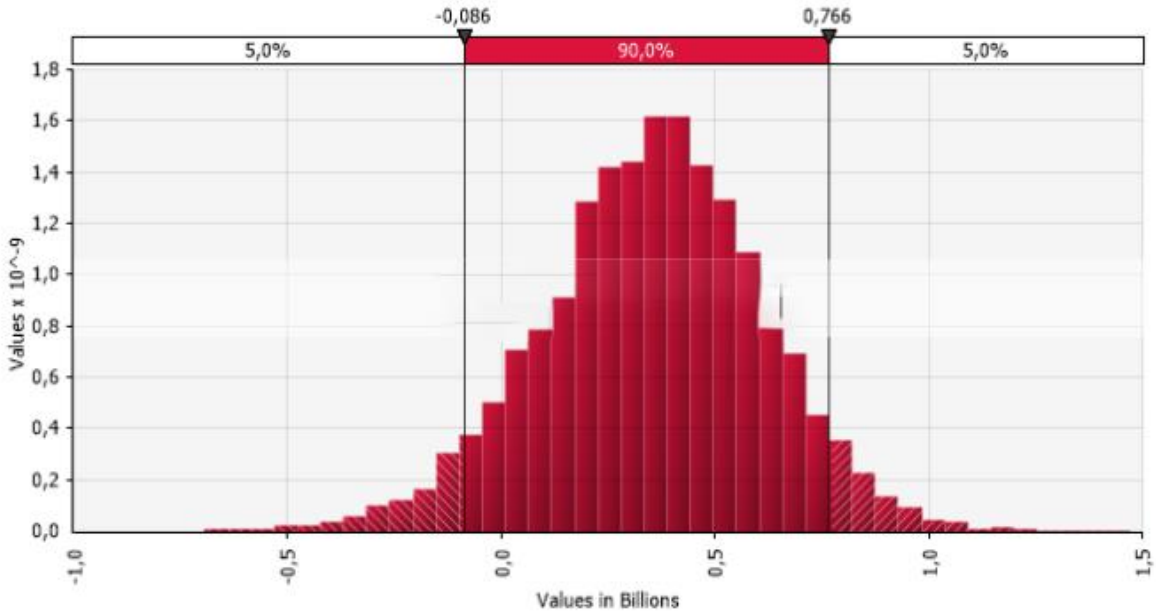
Tabla 5.13. Variables de sensibilización, distribuciones y parámetros por área de actividad.

Área de actividad	Variable de sensibilización	Gráfico distribución	Función de Distribución y Parámetros
Agricultura	Superficie (ha) /año		Triangular con VM de 3150; VE 3500 y VMX 3850 hectáreas.
	Inversión (US$/ha)		Triangular con VM de 2300; VE de 2600 y VMX de3300 Dólares.
	Mejora de eficiencia (%)		Triangular con VM de 25%; VE de 30% y VMX de 35%.
	Tasa de crecimiento (%)		Triangular con VM de 0%; VE de 2% y VMX de 3%
Minería	Precio agua desalada Dólares / m^3		Normal VM de 4,5 y Desviación Estándar de 0,3 Dólares.
	Impacto porcentual (%)		Uniforme con VM de 20% y VMX de35%.
	Tasa de crecimiento anual (%)		Normal VM de 2,0 % y Desviación Estándar de 0,2%
Uso/consumo humano Agua potable	Precio agua desalada Dólares/ m^3		Triangular con VM de 2,0; VE de 3,3 y VMX de 3,8 Dólares.
	Impacto porcentual (%)		Uniforme con VM de 20% y VMX de30%.
	Tasa de crecimiento (%)		Normal VM de 2,0 % y Desviación Estándar de 0,2%

Nota: **1.- Valor Mínimo (VM), 2.- Valor Esperado (VE), 3.- Valor Máximo (VMX)**

Los antecedentes indicados se procesan utilizando el complemento @RISK de EXCEL, software de simulación, obteniéndose resultados referentes a la variable de salida correspondiente al $VAN_{6\%}$, tras 10.000 iteraciones.

Se presenta, en los siguientes gráficos, dos outputs @RISK seleccionados, correspondientes al VAN descontado al 6%.



Variable de salida	Media	Desviación Estándar	5%	95%
$VAN_{6\%}$ Dólares	351.871.676	258.655.444	(85.525.484)	765.756.213

Figura 5.10. Distribución de sensibilización del $VAN_{6\%}$.

Respecto del $VAN_{6\%}$ el resultado de la simulación que se muestra en el Gráfico 1, revela que, tras 10.000 iteraciones, su monto converge a un valor central de US$ 351,8 millones, con una desviación estándar de US$ 258,6 millones. El 90% de los valores de este output se encuentran en el rango entre un $VAN_{6\%}$ negativo de US$85,5 millones y un $VAN_{6\%}$ positivo de 765,75. Lo registrado demuestra una alta probabilidad de Viabilidad Económica del marco de acción destinado a restituir parcialmente el caudal ambiental del río Loa.

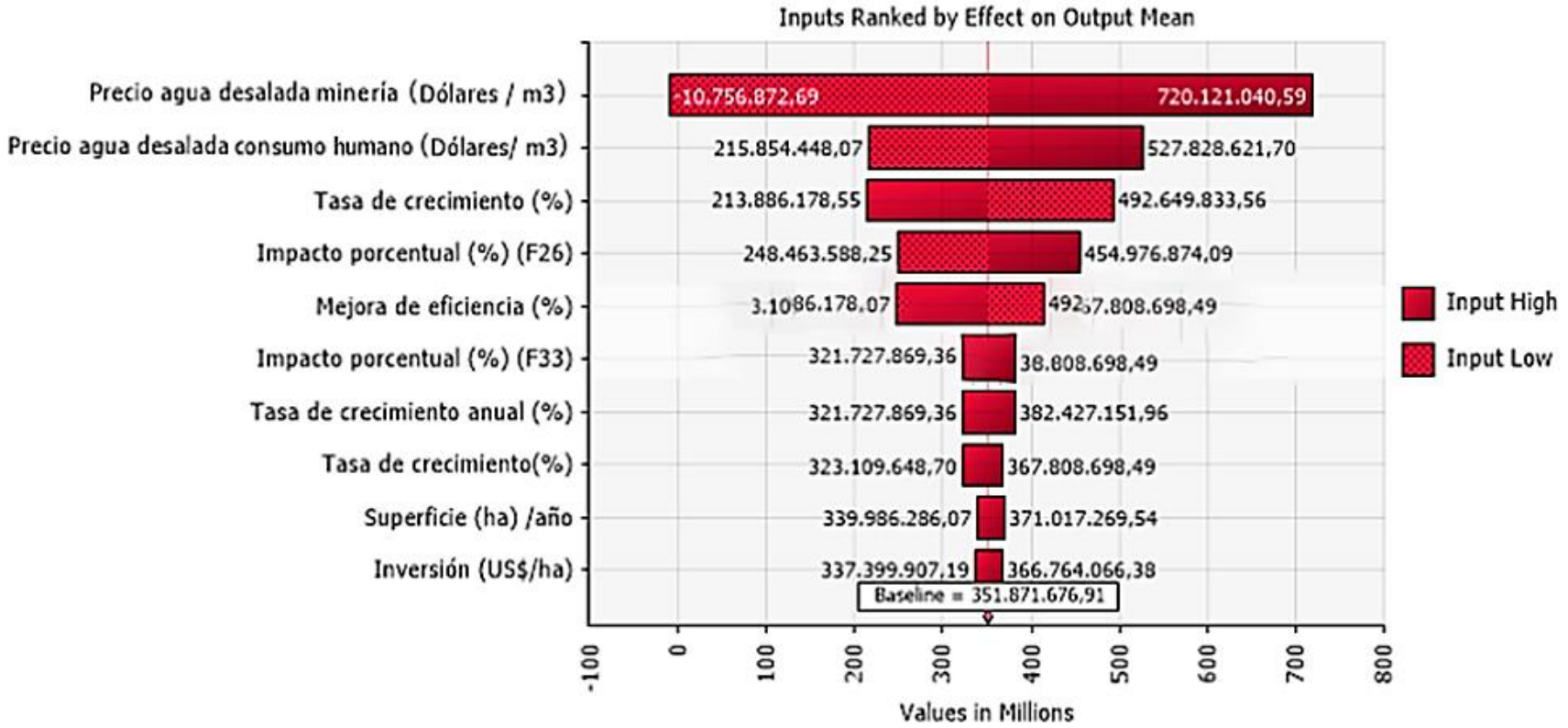


Figura 5.11. Gráfico de impacto de variables de sensibilización sobre el $VAN_{6\%}$

Nota respecto al Ranking de influencia de Variables de sensiblización en el VAN de la Figura 5.11:

1. Precio agua desalada mineria.
2. Precio agua desalada consumo humano.
3. Tasa de crecimiento del sector minero.
4. Impacto porcentual sobre el caudal ambiental del sector minero.
5. Mejora de eficiencia del agua de riego en la agricultura.
6. Impacto porcentual del agua consumo humano.
7. Tasa de crecimiento anual del agua consumo humano.
8. Tasa de crecimiento del sector nagrícola
9. Superficie de la agricultura, Cuenca del Rrío Loa.
10. Inversión del sector agrícola

El gráfico de impacto, por su parte, indica que las variables mas determinantes del patrón de distribución del $VAN_{6\%}$ en su sensibilización, corresponden a los precios del agua desalada para uso minero y como agua potable, siendo también altamente influyentes la tasa de crecimiento anual para el sector minero, el impacto porcentual de restitución del caudal ambiental, por parte del sector minero, así como la mejora en la eficiencia hídrica del uso agrícola.

5.3.1.3 Sugerencias

A partir de los resultados de esta evaluación se plantean las siguientes sugerencias para una valorización más detallada de las inversiones y costos asociadas a las acciones planteadas:

- Realización de estudios in situ de evaluación de inversiones en sistemas de regadío intrapredial en la Cuenca del Río Loa.
- Estudio normativo legal respecto del uso de agua naturales por parte de las mineras, sustituyéndolas por agua desalada.
- Creación de instrumentos e instituciones para una regulación activa de las operaciones de extracción de agua en el Rio.
- Estudio de optimización de costos de producción y transporte de agua desalada, en la Región.

5.3.1.4 Conclusiones

Los resultados alcanzados originan las siguientes conclusiones:

1. El Caudal Ambiental Anual calculado en este estudio equivale a 175,6 millones de metros cúbicos, lo que representa el 116% del caudal hídrico del Río; el valor económico de este Caudal Ambiental anual puede ser estimado en 709,7 millones de dólares.
2. Existe un déficit de agua en el Río, lo que redunda en un menor valor económico de los servicios ambientales respecto a una situación ideal.
3. Se debe desarrollar acciones que permitan reducir parte o la totalidad del déficit calculado.
4. Se plantea la reducción de la presión de demanda hídrica por parte de la actividad agrícola que se desarrolla en torno al río Loa, sobre la base de inversiones intraprediales en sistemas de riego.
5. Se plantea la disminución de la presión de demanda hídrica de la actividad minera que se desarrolla en la cuenca del río Loa, sobre la base de uso de agua desalada.
6. Se plantea ajuste de la presión de demanda hídrica del caudal del Río, por efecto de consumo humano de agua potable.
7. Un escenario base que considera la restitución parcial a la sociedad de los beneficios brindados por los servicios ecosistémicos del Río, debido al no uso del agua por parte de la agricultura, la minería y consumo humano en relación con los siguientes caudales hídricos: 5,6; 27,7 y 9,9 millones de m3/año representaría un ingreso social anual total de US$ 175,15 millones por año.
8. La evaluación del marco de acción en el escenario base demuestra su viabilidad, estimándose la relación Beneficio/Costo en 1,078, correspondiente a un $VAN_{6\%}$ positivo de 315 millones de dólares
9. La evaluación económica sensibilizada, revela que el $VAN_{6\%}$ converge a un valor central de US$351,8 millones, con una desviación estándar de US$ 258,6 millones.
10. Las variables críticas del patrón de distribución del $VAN_{6\%}$ en su sensibilización, son los precios del agua desalada para uso minero y como agua potable, la tasa de crecimiento anual para el sector minero, el impacto porcentual de restitución del caudal ambiental, por parte del sector minero, así como la mejora en la eficiencia hídrica del uso agrícola.

5.3.2 Estimacion de efectos macroeconómicos de la recuperación parcial del caudal ambiental del río Loa.

El monto de costos e inversiones sociales que estima la evaluación Costo Beneficio de las acciones destinadas a la reposición parcial del caudal del Río Loa converge a un valor equivalente anual de largo plazo de US$ 240 millones. El sacrificio económico de este volumen de recursos deriva en un potencial impacto en los equilibrios macroeconómicos de la Región, el cual se estudia en este apartado, presumiendo su expresión en términos de un mayor Gasto público a ser transferido a la sociedad, para efectos del rescate parcial del caudal ambiental del Río y de sus servicios ecosistémicos asociados.

5.3.2.1 Marco teórico: modelo macroeconómico de Mundell-Fleming, con tipo de cambio flexible.

El Modelo de Mundell–Fleming, permite describir adecuadamente a la economía chilena, por cuanto en una de sus variantes, se refiere a una economía pequeña, con tipo de cambio flexible y perfecta movilidad de los flujos de capitales, esto implica que cualquier desequilibrio o shock que impacten en la economía genera un tipo de ajuste (automático o inducido) que se logra cuando la tasa de interés nacional es igual a la tasa de interés internacional (relevante para los inversionistas)

Por otra parte, se concibe que en el modelo de formación de precios, la oferta agregada corresponde a una de corto plazo, en la cual existe margen para la expansión de la actividad económica, por cuanto no se ha alcanzado una situación de pleno empleo de la fuerza de trabajo o población económicamente activa. En consecuencia, todo desplazamiento de la demanda agregada (expansión o contracción) tendrá efectos sobre la actividad económica y sobre el nivel General de Precios (P).

El modelo se ilustra en la siguiente figura:

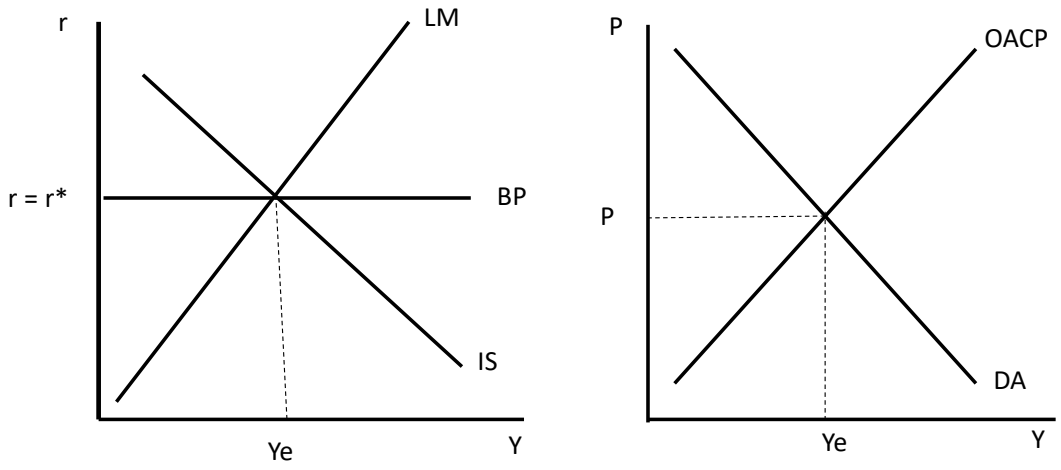


Figura 5.12. Modelo Mundell-Fleming con tipo de cambio flexible y perfecta movilidad de capitales.

Donde r, corresponde a la tasa de interés, nacional; r* a la tasa de interés internacional; Y, al PIB de la Economía; la curva LM, al equilibrio en el mercado monetario; la Curva IS, al equilibrio en el mercado de los bienes y servicios; P, al nivel general de precios de la economía; la curva OACP, corresponde a la Oferta Agregada de la economía para el corto plazo; y la curva de DA, de demanda agregada.

La Política fiscal expansiva se ilustra como un desplazamiento hacia la derecha de la curva IS y de la Demanda Agregada. En este caso, y como tendencia probable, se identifican un incremento en la actividad económica; un incremento en la tasa de interés; una ciada en el Tipo de Cambio y un incremento en el nivel de General de Precios.

5.3.2.2 Efectos multiplicadores del gasto público: visión general a nivel país

Teniendo como referencia el marco teórico elegido y adecuado para representar a la economía chilena, se identifican los siguientes multiplicadores cuya estimación se realizó considerando, datos preexistentes en estudios especializados o sobre la base de estimaciones con modelos econométricos *ad-hoc.*

a) Efecto del incremento en el Gasto Público sobre el PIB

Se estimaron dos modelos econométricos sobre la base de datos históricos de la economía chilena, considerando el periodo 1900 a 2017, cuyos resultados son:

Modelo 1. Efecto multiplicador del Gasto Público en valor absoluto

Los coeficientes del modelo son distintos de cero al 1 % de significancia y con un coeficiente de determinación ajustado de 81,3%.

Variable dependiente: PIB

Metodo de Mínimos Cuadrados

Date: 05/04/20 Time: 10:19

Muestra: 1900 2017

Included observations: 118

Variable	Coeficiente t	Error estandar	Estadístico t	Prob.
Constante	5.53E+17	1.05E+17	5.264401	0.0000
Gasto Público	3.164909	0.139786	22.64104	0.0000

R cuadrado	0.815468	Mean dependent var	1.82E+18
R- cuadrado ajustado	0.813877	S.D. dependent var	2.24E+18
S.E. of regression	9.65E+17	Akaike info criterion	85.67670
Sum squared resid	1.08E+38	Schwarz criterion	85.72366
Log likelihood	-5052.925	F-statistic	512.6168
Durbin-Watson stat	1.581657	Prob(F-statistic)	0.000000

Donde

R cuadrado = Coeficiente de determinación. Indica en el porcentaje en el cual el conjunto de variables independientes explica la variabilidad de la variable independiente.

R cuadrado ajustado = Coeficiente de determinación ajustado por la calidad de las variables independientes del modelo.

SE of regression= Desviación estándar de la Regresión.

Sum squared resid= Suma de los cuadrados de los errores

Log likelihood = Logaritmo de la función máximo verosímil, funcional a este método de estimación

Durbin –Watson= Estadístico para evaluar la presencia de autocorrelación en los errores del modelo.

Mean dependent var= Promedio de la variable dependiente

SD dependent var = Desviación estándar de la variable dependiente

Akaike info criterion= Indicador de bondad de ajuste cuando se emplea el método de estimación Máximo verosímil.

Schwarz criterion = Indicador de bondad de ajuste cuando se emplea el método de estimación máximo verosímil

F- Staistics = Estadístico F, para testear la hipótesis nula que todos los coeficientes del modelo son iguales a cero.

Prob (F statistics) = Probabilidad de cometer el error tipo I, al rechazar la hipótesis nula de que todos los coeficientes del modelo son iguales a cero.

Modelo 2. Elasticidad PIB respecto a la variación de 1% en el Gasto Público (Modelo doble log)

Dependent Variable: Log PIB
Method: Least Squares
Date: 05/04/20 Time: 10:17
Sample: 1900 2017
Included observations: 118

Variable	Coeficiente	Error estandar	Estadístico t	Prob.
C	16.54633	1.532787	10.79493	0.0000
Log Gasto Público	0.629715	0.038976	16.15642	0.0000

R-squared	0.692332	Mean dependent var	41.28605
Adjusted R-squared	0.689680	S.D. dependent var	1.333072
S.E. of regression	0.742606	Akaike info criterion	2.259502
Sum squared resid	63.96983	Schwarz criterion	2.306463
Log likelihood	-131.3106	F-statistic	261.0299
Durbin-Watson stat	1.933707	Prob(F-statistic)	0.000000

Los coeficientes son distintos de cero, al 1% de significancia y el coeficiente de determinación es de 68,9%.

La estimación de estos multiplicadores se realizó en Eviews 10.0, sobre la base de información del Banco Central y del texto La República en Cifras Chile 1810 – 2010, de Díaz, Lüders, y Wagner, Ediciones PUC.

b) Efecto del cambio en el PIB sobre la tasa de interés nacional

Dado que se ha tomado como referencia el modelo para una economía abierta con perfecta movilidad de capitales, la economía debiera presentar una tasa de interés alineada con la tasa de interés internacional.

c) Efecto del incremento en el Gasto Público sobre el tipo de cambio nominal

Se considera que la eventual entrada de divisas al país por efecto de la mayor tasa de interés nacional respecto a la internacional será absorbida por el Banco Central, mediante operaciones de compraventa de divisas, tal de cerrar la brecha de tasas. En este caso debiera corresponder a una política monetaria expansiva.

d) Efecto del incremento en el Gasto Público sobre el Nivel General de Precios

Dependiendo de la composición del Gasto Público, el que puede orientarse a consumo o inversión, habrá efectos sobre el nivel General de Precios. Si el Gasto tiende a incrementar la demanda agregada, puede generar una presión inflacionaria, en tanto que si se orienta a inversión en capital físico y humano, tiende a expandir la oferta agregada y no genera presión inflacionaria.

5.3.2.3 Efectos multiplicadores del gasto público a nivel regional

Para proyectar los efectos del Gasto Publico estimado, cuyo objetivo es la recuperación parcial de las capacidades agroecológicas y ambientales del Rio Loa, se procedió a ponderar, los efectos multiplicados estimados a nivel nacional, por la importancia relativa de la economía Regional en el total nacional.

El monto de costos e inversiones sociales que estima la evaluación Costo Beneficio de las acciones destinadas a la reposición parcial del caudal del Río Loa converge a un valor equivalente anual de largo plazo de US$ 240 millones. Este monto corresponde al valor anualizado perpetuo de la sumatoria de las inversiones y costos anuales para la reposición parcial del caudal ambiental estimado en el escenario base, se utilizó una tasa de descuento del 6%. Los resultados del escenario base de esta evaluación, muestran la viabilidad del marco de acción propuesto, estimándose la relación Beneficio/Costo en 1,078. (acápite 5.3.1.1) El costo utilizado para esta relación corresponde al valor anualizado perpetuo de la sumatoria de las inversiones (112,5 millones de dólares) y costos anuales (157,9 millones de dólares) para la reposición parcial del caudal ambiental estimado en el escenario base, se utilizó una tasa de descuento del 6% obteniéndose un aproximado de 240 millones de dólares.

El PIB de la Segunda Región de Antofagasta representa 0,1 del PIB nacional. En tanto, si se considera que el Presupuesto de la Nación para 2020 fue de US$ 74.000 millones, el desembolso permanente de US$ 240 Millones, como gasto Público para reposición de las capacidades del Río, representa un incremento de 0,003% del Gasto Publico, el cual se observa como una cifra muy poco significativa. Los efectos regionales se representan en el siguiente Cuadro.

Tabla 5.14. Efecto Regional del Gasto Público en reposición parcial del caudal ambiental del Río Loa.

	Nivel País	Impacto del Gasto de US$ 240 millones/año	Efecto Regional anual
Efecto Multiplicador absoluto del Gasto Público sobre PIB	3,16	758,4 a nivel del país	US$ 75,8 millones
Elasticidad PIB Gasto Público	0,62	0,003% respecto al Gasto Total	0,002% incremento del PIB Regional

Fuente: Estimaciones del equipo consultor.

El impacto de la medida de mitigación es poco significativo, dada las proporciones que representa.

5.3.2.4 Conclusiones

a) El Gasto Público destinado a la reposición de las capacidades ambientales del Río Loa, genera un efecto multiplicador anual en la Región de US$ 75,8 millones, en actividades principalmente de inversión.

b) Dada la baja significancia del Gasto de reposición respecto del total de Gasto Público total, y la magnitud del efecto multiplicador y de la elasticidad PIB a Gasto público, se estima que no habrá efectos significativos en el nivel ceneral de predios; empleo y tipo de cambio.

6 DESARROLLO OE-4

6.1 Actas de talleres de trabajo/actividades de difusión

Este objetivo se ha desarrollado de acuerdo con la programación definida en el plan de trabajo inicial. Al respecto, se mencionan las actividades de difusión a la comunidad y a las autoridades realizadas.

6.1.1 Reuniones

6.1.1.1 Reuniones de coordinación

Según las bases técnicas de licitación y el plan de trabajo, se ejecutaron cuatro reuniones de coordinación:

- **Primera reunión de coordinación e información con la contraparte técnica. Realizada el día 12/04/2018. Acta disponible en Anexos digitales:**
  Anexos Digitales/OE 4 Difusión y Cartera de Proyectos/01_Talleres_Reuniones/OE4_Difusión/Reuniones_de_coordinación/20180412_GOA002_MIN_Reunión_inicio_GORE_MMA_CEA

- **Segunda reunión de coordinación e información con la contraparte técnica para validación social y productiva de los servicios ecosistémicos. Realizada el día 31/07/2019. Acta disponible en Anexos digitales:**
  Anexos Digitales/OE 4 Difusión y Cartera de Proyectos/01_Talleres_Reuniones/OE4_Difusión/Reuniones_de_coordinación/20180731_GOA002_MIN_Reunión_cartera_de_proyectos_ MMA_CEA

- **Tercera reunión de coordinación e información con la contraparte técnica para validación social y productiva de los servicios ecosistémicos. Realizada el día 16/08/2019. Acta disponible en Anexos digitales:**
  Anexos Digitales/OE 4 Difusión y Cartera de Proyectos/01_Talleres_Reuniones/OE4_Difusión/Reuniones_de_coordinación/20180816_GOA002_MIN_Reunión_validación_ServEcosist_ MMA_CEA

- **Cuarta reunión de coordinación e información con la contraparte técnica para validación cálculo de caudal ambiental. Realizada el día 23/04/2020 mediante videoconferencia. Acta disponible en Anexos digitales:**
  Anexos Digitales/OE 4 Difusión y Cartera de Proyectos/01_Talleres_Reuniones/OE4_Difusión/Reuniones_de_coordinación/

6.1.1.2 Reuniones de presentación del estudio

Esta actividad se realizó de manera parcelada y con todos los actores de interés que fueron abordados debidamente con la contraparte técnica del estudio. El objetivo de estas reuniones fue dar a conocer el estudio y sus implicancias, además de conocer la percepción de la audiencia al respecto. Las reuniones se sucedieron de la siguiente forma:

- **Presentación del estudio a organizaciones urbanas de Calama. Realizada el día 06/06/2018. Acta disponible en Anexos digitales:**
  Anexos Digitales/OE 4 Difusión y Cartera de Proyectos/01_Talleres_Reuniones/OE4_Difusión/Reuniones_de_presentación/20180606_GOA002_MIN_Reunión_inicio_Comunidades_CEA

- **Presentación del estudio a servicios públicos. Realizada el día 06/06/2018. Acta disponible en Anexos digitales:**
  Anexos Digitales/OE 4 Difusión y Cartera de Proyectos/01_Talleres_Reuniones/OE4_Difusión/Reuniones_de_presentación/20180606_GOA002_MIN_Reunión_inicio_SSPP_CEA

- **Presentación del estudio a comunidades indígenas del Alto Loa. Realizada el día 03/07/2018. Acta disponible en Anexos digitales:**
  Anexos Digitales/OE 4 Difusión y Cartera de Proyectos/01_Talleres_Reuniones/OE4_Difusión/Reuniones_de_presentación/20180703_GOA002_MIN_Reunión_inicio_Comunidades_Alto_Loa_MMA_CEA

- **Presentación del estudio a Comunidad Aymara y Quillagüa. Realizada el día 17/08/2018. Acta disponible en Anexos digitales:**
  Anexos Digitales/OE 4 Difusión y Cartera de Proyectos/01_Talleres_Reuniones/OE4_Difusión/Reuniones_de_presentación/20180817_GOA002_MIN_Reunión_inicio_Comunidad_Aymara_Quillagüa_CEA

- **Presentación del estudio a empresas. Realizada el día 17/08/2018. Acta disponible en Anexos digitales:**
  Anexos Digitales/OE 4 Difusión y Cartera de Proyectos/01_Talleres_Reuniones/OE4_Difusión/Reuniones_de_presentación/20180817_GOA002_MIN_Reunión_inicio_EMPRESAS_CEA

- **Presentación del estudio a asociacones de agricultores de Calama. Realizada el día 12/09/2018. Acta disponible en Anexos digitales:**
  Anexos Digitales/OE 4 Difusión y Cartera de Proyectos/01_Talleres_Reuniones/OE4_Difusión/Reuniones_de_presentación/20180912_GOA002_MIN_Reunión_inicio_ASOC_AGRIC_CEA

6.1.1.3 Reuniones de difusión de avance

Esta actividad se realizó en dos jornadas de trabajo durante el día 13/12/2018. Durante la mañana se elaboró la presentación a empresas ligadas con el área de estudio en las dependencias de la Gobernación Provincial El Loa, mientras que durante la tarde se elaboró la presentación a servicios públicos, ASAC, organizaciones urbanas de Calama y comunidades indígenas asistentes.

- **Presentación de Informe de Avance N°1 a empresas. Realizada el día 13/12/2018. Acta disponible en Anexos digitales:**
  Anexos Digitales/OE 4 Difusión y Cartera de Proyectos/01_Talleres_Reuniones/ OE4_Difusión/Reuniones_de_difusión_de_avance/20181213_GOA002_MIN_Reunión_difusón_de_avance_EMPRESAS_CEA

- **Presentación de Informe de Avance N°1 a servicios públicos, organizaciones urbanas de Calama y comunidades indígenas. Realizada el día 13/12/2018. Acta disponible en Anexos digitales:**
  Anexos Digitales/OE 4 Difusión y Cartera de Proyectos/01_Talleres_Reuniones/ OE4_Difusión/Reuniones_de_difusión_de_avance/20181213_GOA002_MIN_Reunión_difusión_de_avance_SSPP_Comunidades_CEA

6.1.2 Charlas y Capacitaciones

A pedido de miembros de las distintas organizaciones, principalmente de Calama se han realizado charlas y capacitaciones que permiten a los participantes acercarse a los conceptos relacionados con los monitoreos del objeto de estudio. En ese contexto se han realizado dos jornadas de este tipo, la primera en el marco de la reunión para la presentación del estado de avance del estudio, ocasión en la que se presentaron algunos instrumentos de monitoreo relacionados con la medición de calidad de agua y caudales, además de la facilitación de los conceptos de caudal ambiental y variables estado. Mientras que la segunda charla en terreno tuvo lugar durante la ejecución de la segunda campaña de monitoreo del río, en ellas participaron integrantes de la Red de Mujeres El Loa.

6.1.2.1 Charlas en el uso de equipos y acercamiento de términos técnicos.

Esta actividad se realizó posterior a la presentación de los resultados del primer informe de avance del estudio el día 13 de diciembre de 2018, y tuvo por objetivo acercar los conceptos de caudal ambiental y variables estado. Posteriormente se mostraron algunas herramientas utilizadas en los motiroreos, el equipo multiparamétrico, el correntómetro y el cuadrante de flora. Al día siguiente en el Parque El Loa en Calama, se realizó una capacitación en terreno usando los equipos mencionados, el mismo ejercicio se realizó durante la tarde con la comunidad aimara de Quillagüa en las cercanías del pueblo del mismo nombre. Del mismo modo se realizó una jornada en terreno con asociadas de la Red

de Mujeres del Loa, participando de diversas actividades, como muestreo de agua, aforos, reconocimiento de flora y fauna.

Lista de asistentes se encuentran disponible en las siguientes rutas:

- Anexos Digitales/OE 4 Difusión y Cartera de Proyectos/01_Talleres_Reuniones/OE4_Difusión/Charlas_Capacitaciones/20181214_Multiparametro_Quillagüa

- Anexos Digitales/OE 4 Difusión y Cartera de Proyectos/01_Talleres_Reuniones/OE4_Difusión/Charlas_Capacitaciones/20181214_Multiparametro_Red_de_Mujeres_El_Loa

Figura 6.1 Capacitaciones en el uso de equipos de monitoreo durante la reunión de difusión del estado de avance en Hotel Diego de Almagro de Calama y capacitación in situ, Parque El Loa

Figura 6.2 Capacitaciones en el uso de equipos de monitoreo. Durante la segunda campaña de monitoreo. Calama.

6.1.2.2 Capacitación modelo WEAP

En las dependencias del Centro de Ecología Aplicada, el día 11 de diciembre de 2019, se realizó la capacitación para la programación del modelo hidrológico, la cual fue dirigida por Eduardo Rubio, quien desarrolló los siguientes temas.

Tabla 6.1. Programa capacitación WEAP.

	Temas Tratados
1	10:00 – 11:30: Iniciando WEAP – WEAP en 1 Hr.
2	11:30 – 12:15 Herramientas Básicas
3	12:15 – 13:00 Escenarios Primera Parte
4	14:00 – 15:00 Escenarios Segunda Parte
5	15:00 – 16:30 Demanda en WEAP
6	16:30 – 17:30 Datos, Resultados y Formato

Figura 6.3 Capacitación en el uso dl modelo WEAP.

El modelo WEAP corresponde a un software pagado, por lo tanto, según lo establecido en las bases del estudio, se entrega al final del estudio una licencia para su uso. Ésta se puede encontrar en:

- **Licencia WEAP:**
  Anexos Digitales/OE 2 Modelo Eco-Hidrológico Integrado y Caudal Ambiental/ 00_Modelo Hidrológico WEAP /Licencia WEAP

El acta de la capacitación se encuentra disponible en la siguiente ruta:

- **Capacitación para la programación del modelo hidrológico (WEAP). Realizada el día 11/12/2019. Acta disponible en Anexos digitales:**
  Anexos Digitales/OE 4 Difusión y Cartera de Proyectos/01_Talleres_Reuniones/ OE4_Difusión/Talleres_de_trabajo_participativo/20191211_GOA002_MIN_Capacitación_WEAP

6.1.2.3 Capacitación en la evaluación del caudal ambiental

Esta capacitación fue realizada el día 15 de mayo de 2020. Por motivos de contingencia, fue realizada mediante videoconferencia, debido a la pandemia del COVID-19 vivida a nivel mundial. La capacitación consideró un tiempo aproximado de 3 horas, en el cual se realizaron las siguientes actividades:

- Introducción y contextualización del estudio.
- Explicación de la metodología de la guía.
- Pausa 10 minutos
- Ejemplo de aplicación con los resultados del estudio.

- Instancia de consultas y discusión.

El acta de este taller y un video registrado del mismo, están disponibles en:

- **Capacitación para la evaluación del caudal ambiental:**
  Anexos Digitales/OE 4 Difusión y Cartera de Proyectos/ OE4_Charlas_Capacitaciones/20200515_Capacitación_Metodología_Qamb

De acuerdo con la programación definida en el plan de trabajo inicial, se realizaron cuatro talleres de participación.

6.1.2.4 Taller de servicios ecosistémicos

De modo de lograr incorporar el conocimiento de actores locales en relación con los servicios ecosistémicos asociados a la cuenca del río Loa, se realizó un taller de trabajo el día 4 de marzo de 2019 en Calama. El objetivo de este taller fue acercar los conceptos de caudal ambiental y servicios ecosistémicos a la audiencia, para posteriormente consultar sobre su conocimiento respecto del tema y poder hacer un registro de ellas.

Durante la jornada de la mañana en la Gobernación Provincial de El Loa, se trabajó con representantes de las empresas que realizan sus actividades asociadas a la extracción de agua del río y durante la tarde, en las dependencias de la Municipalidad de Calama se realizó el mismo trabajo esta vez con representantes de servicios públicos, organizaciones urbanas de Calama, asociación de agricultores y algunos miembros de comunidades indígenas. En esta ocasión se utilizaron ploteos de sectores cercanos a Calama con un nivel de detalle, para que los asistentes lograran identificar ciertas zonas y demarcarlas.

Ambas actas se encuentran disponibles en las siguientes rutas:

- **Taller de identificación de servicios ecosistémicos con servicios públicos, ASAC y organizaciones de Calama. Realizada el día 04/03/2019. Acta disponible en Anexos digitales:**
  Anexos Digitales/OE 4 Difusión y Cartera de Proyectos/01_Talleres_Reuniones/ OE4_Difusión/Talleres_de_trabajo_participativo/20190304_GOA002_MIN_Taller_ ServEcosist_SSPP_comunidades_CEA

- **Taller de servicios ecosistémicos con empresas. Realizada el día 04/03/2019. Acta disponible en Anexos digitales:**
  Anexos Digitales/OE 4 Difusión y Cartera de Proyectos/01_Talleres_Reuniones/ OE4_Difusión/Talleres_de_trabajo_participativo/20190304_GOA002_MIN_Taller_ ServEcosist_EMPRESAS_CEA

Figura 6.4 Taller Servicios ecosistémicos realizado el día 4 de marzo de 2019. Jornada de mañana en Gobernación Provincial de El Loa con representantes de empresas, jornada de tarde con organizaciones sociales, servicios públicos, agricultores, y representantes de comunidades indígenas.

6.1.2.5 Taller de expertos para la elaboración de la guía de caudal ambiental

Con fecha 25 de marzo de 2019, en un auditorio del Ministerio Medio Ambiente en Santiago, se desarrollo un taller de trabajo con la participación de dos expertos en temas relacionados a caudal ambiental. Estos expertos fueron:

- **Matías Peredo Parada**
  - Ingeniero Civil Hidráulico, Universidad de Chile.
  - Magister en Gestión y Planificación de Recursos Hídricos, Universidad Politécnica de Valencia.
  - Doctor en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia.
  - Especialidad en Ecohidráulica, modelación hidráulica, Unidades hidromorfológicas, caudal ecológico.
  - Principal colaborador en desarrollo de "Guía Metodológica para Determinar el Caudal Ambiental para Centrales Hidroeléctricas en el SEIA" (SEA, 2016).

- **Carlos Reiher Núñez**
  - Ingeniero Civil mención Hidráulica Sanitaria Ambiental, Universidad de Chile
  - Magíster en Ciencias de la Ingeniería mención Recursos y Medio Ambiente Hídrico, Universidad de Chile
  - Especialidad en modelación hidráulica, mecánica fluvial, hidrodinámica de ríos y reservorios, obras hidráulicas, transporte de sedimentos.

La primera parte de la reunión consideró una contextualización del estado de avance del estudio y lo principales objetivos de éste. Posteriormente se presentó la Guía Metodológica propuesta por el Centro de Ecología Aplicada, para determinar el caudal ambiental en el Río Loa. Del taller se logró contar con una discusión respecto de ella, surgiendo comentarios y recomendaciones que aportaron al desarrollo de la Guía. Para mayores detalles se puede acceder al acta elaborada durante la jornada.

Acta se encuentra disponible en la siguiente ruta:

- **Taller de expertos para la elaboración de la guía para el cálculo de caudales ambientales en la cuenca. Realizada el día 25/03/2019. Acta disponible en Anexos digitales:**
  Anexos Digitales/OE 4 Difusión y Cartera de Proyectos/01_Talleres_Reuniones/OE4_Difusión/Talleres_de_trabajo_participativo/20190325_GOA002_MIN_Taller_Exp_Guía_Caudal_Ambiental_CEA

Figura 6.5 Taller de expertos para la elaboración de la guía de caudal ambiental, realizado el pasado 25 de marzo de 2019 en las dependencias del Ministerio del Medio Ambiente.

6.1.2.6 Taller de escenarios de cambio climático

En las dependencias del Ministerio del Medio Ambiente en Santiago, el día 28 de noviembre de 2019, se realizó un taller sobre el cambio climático y selección de escenarios futuros para aplicar al estudio.

La primera parte del taller consideró una contextualización del estado de avance del estudio y los principales objetivos de este, posteriormente se realizó una revisión de los modelos de cambio climático, el contexto de cada uno de ellos y aspectos técnicos relevantes para el estudio. Para mayores detalles se puede acceder al acta elaborada durante la jornada.

Acta se encuentra disponible en la siguiente ruta:

- **Taller sobre escenarios de cambio climático. Realizada el día 28/11/2019. Acta disponible en Anexos digitales:**
  Anexos Digitales/OE 4 Difusión y Cartera de Proyectos/01_Talleres_Reuniones/OE4_Difusión/Talleres_de_trabajo_participativo/20191128_GOA002_MIN_Taller_Analisis_Escenarios_SSPP_CEA

Figura 6.6 Taller de sobre escenaios de cambio climático, realizado el 28 de noviembre de 2019 en las dependencias del Ministerio del Medio Ambiente.

6.1.2.7 Taller Final

Esta capacitación fue realizada el día 23 de junio de 2020. Por motivos de contingencia, fue realizada mediante videoconferencia, debido a la pandemia del COVID-19 vivida a nivel mundial. La capacitación consideró un tiempo aproximado de 2 horas, en el cual se realizaron las siguientes actividades:

- Introducción y contextualización del estudio.
- Presentación de participantes externos CEA en proyecto
- Presentación de contexto, objetivos, actividades y resultados del proyecto
- Instancia de consultas y discusión.

El acta de este taller está disponible en:

- **Capacitación para la evaluación del caudal ambiental:**
  Anexos Digitales/OE 4 Difusión y Cartera de Proyectos/ 01_Talleres_Reuniones/OE4_Taller_Final

6.2 Material de difusión

6.2.1 Vídeo Educativo

A través de Visual Productora se desarrolló un video educativo, el cual tuvo como objetivo presentar el valor ambiental del río Loa y las problemáticas asociadas, como también el desarrollo del diagnostico (talleres, reuniones, campañas de monitoreo, actividades con comunidades, enter otras).

El vídeo educativo tiene una duración de aproximadamente 8 minutos, y da cuenta del inicio, objetivos, metodología y resultados del estudio. El vídeo está en formato mp4 y se encuentra en la siguiente ruta,

- Anexos Digitales/OE 4 Difusión y Cartera de Proyectos/02_Material_de_Difusión/ /OE4_Video_educativo/

Asimismo, se generaron 200 copias en pendrive.

6.2.2 Tríptico

El equipo ejecutor elaboró un tríptico cuyo objetivo es acercar los términos de caudal ambiental y servicios ecosistémicos a personas que no hayan tenido la oportunidad de asistir a reuniones o capacitaciones. Se imprimieron 1000 ejemplares y para ser repartidos en distintas oportunidades, tales como jornadas de difusión.

El tríptico se encuentra en la siguiente ruta:

- Anexos Digitales/OE 4 Difusión y Cartera de Proyectos/02_Material_de_Difusión/ OE4_ Tríptico

Figura 6.7 Tríptico elaborado por el equipo ejecutor, para la difusión de los conceptos de caudal ambiental y servicios ecosistémicos.

6.2.3 Guía Caudal Ambiental

Para la estimación del caudal ambiental del río Loa se desarrolló una Guía Metodológica, para la cual se realizó un taller participativo con la asistencia de expertos y contraparte técnica del estudio, con el fin de realizar una validación final de la metodología a utilizar en la estimación del caudal ambiental del río Loa. Se imprimieron 200 ejemplares, los cuales fueron entregados a la contraparte técnica para su difusión.

La guía se encuentra en la siguiente ruta:

- Anexos Digitales/OE 4 Difusión y Cartera de Proyectos/02_Material_de_Difusión/ OE4_ Guía_caudal_ambiental

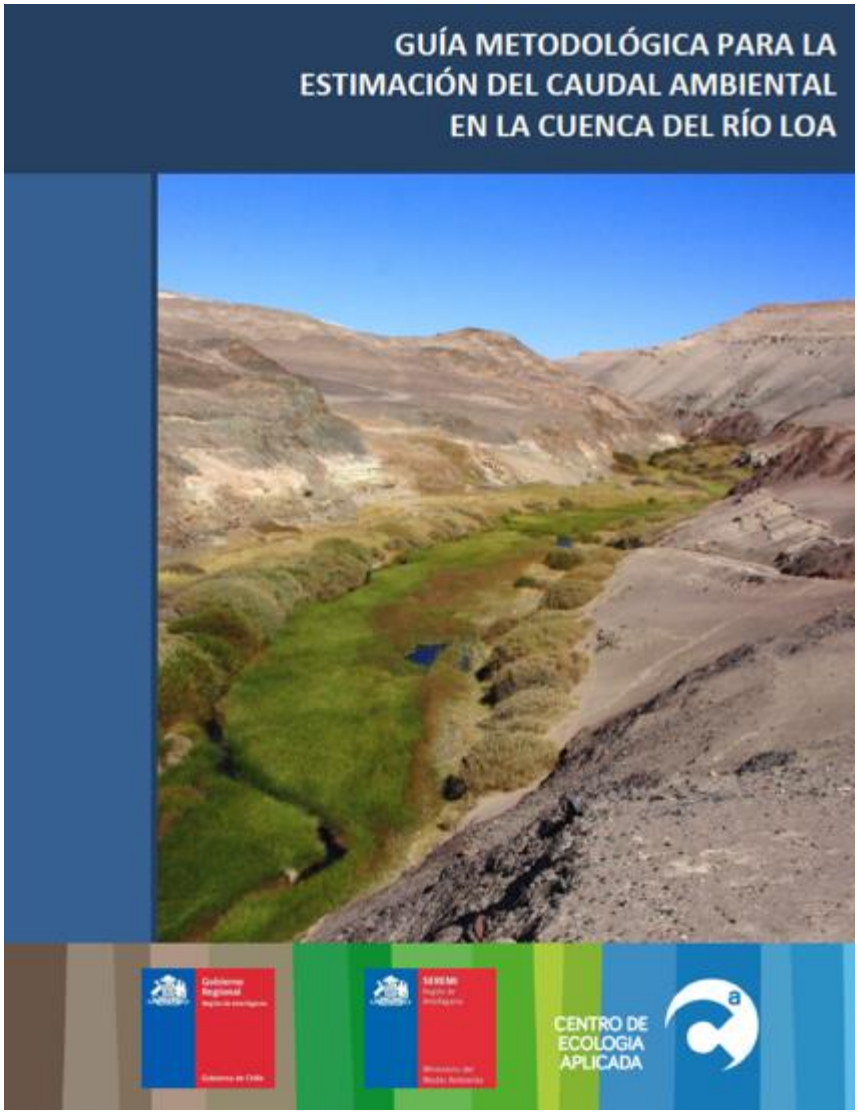
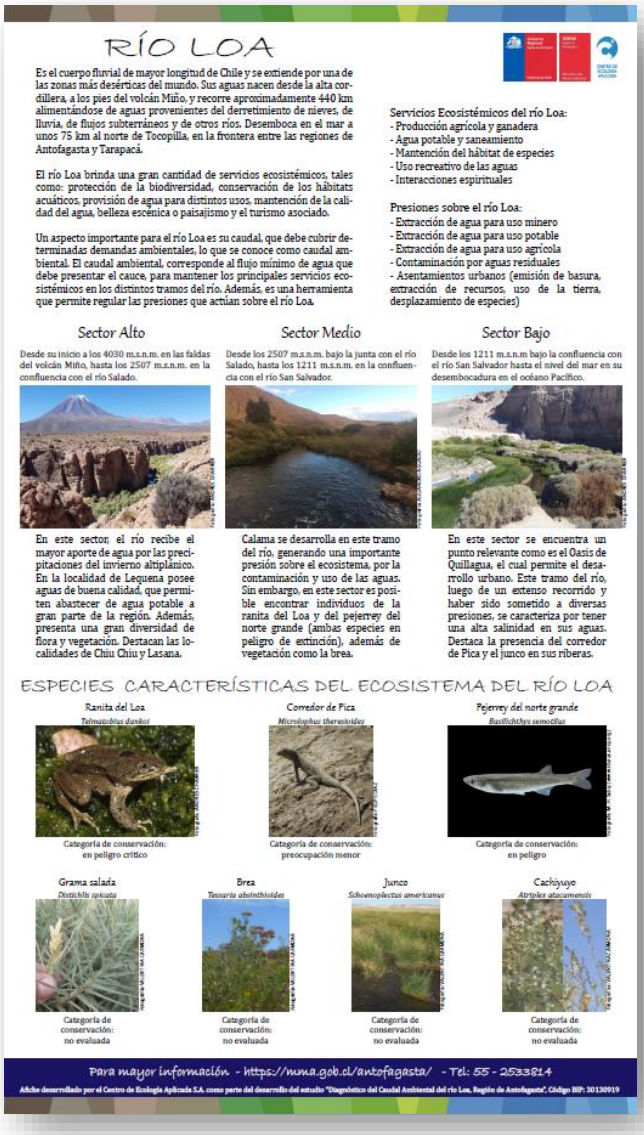


Figura 6.8 Guía Metodológica para la estimación de Caudal Ambiental elaborada por el equipo ejecutor.

6.2.4 Afiche

El afiche cumple la función de difundir los antecendentes generales del estudio. Actualmente este producto fue entregado para posteriormente ser distribuido por la SEREMI del Medio Ambiente en las distintas comunas de la región de Antofagasta. Se entregaron 1.000 ejemplares y el master en formato original.



El afiche se encuentra en la siguiente ruta:

- Anexos Digitales/OE 4 Difusión y Cartera de Proyectos/02_Material_de_Difusión/ OE4_Afiche

6.2.5 Publicación en medios loacales

El día 16 de enero de 2019 en el Mercurio de Antofagasta fue publicado un inserto que da cuenta de los principales resultados del primer informe de avance y además hace difusión de la actividad de capacitación que se realizó en el parque El Loa de Calama.

2 EL MERCURIO DE CALAMA | Miércoles 16 de enero de 2019

Tema del día

4 campañas
de monitoreo en terreno considera el estudio que es el primero de manera integral que permitirá obtener conclusiones más generales.

Presiones de caudal ambiental del Loa amenazan el ecosistema

PRIMEROS HALLAZGOS. *Avance de estudio evidenció la disminución gradual del caudal y el aumento de su salinidad, mermando la calidad de ésta para diferentes usos, como riego y consumo.*

Rodrigo Amparo S.

Para quienes viven en El Loa y a diario son testigos de lo que ocurre en la zona no les extrañaría evidenciar una disminución del caudal de sus aguas o reconocer algún grado de contaminación debido a diversos factores entre los que también está el trabajo minero que se realiza en la provincia. Camino a Chiu Chiu se observa el avance y crecimiento del tranque de relave que a simple vista, está llegando, en algunos lugares, a estar a pasos de la carretera que une Calama con el primer poblado del interior de Alto El Loa.

Para algunos es parte del fenómeno del cambio climático y para otros es la simple extracción del recurso hídrico que lo tienen con una baja disponibilidad del recurso, la cual genera la degradación de los sistemas acuáticos existentes en todo su trayecto desde el volcán Miño a su desembocadura en el mar. Lo cierto, real y concreto es que el río Loa y sus afluentes está declarado en agotamiento desde el 2000 por la Dirección General de Aguas a solicitud de la Comunidad Atacameña de San Francisco de Chiu Chiu.

DISMINUCIÓN DE CAUDAL

El río Loa es un ecosistema natural altamente presionado por las actividades humanas, cuyas principales consecuencias son la disminución gradual del caudal y el aumento de su salinidad, mermando la calidad de esta para los diversos usos, recreativos, riego, consumo animal y humano.

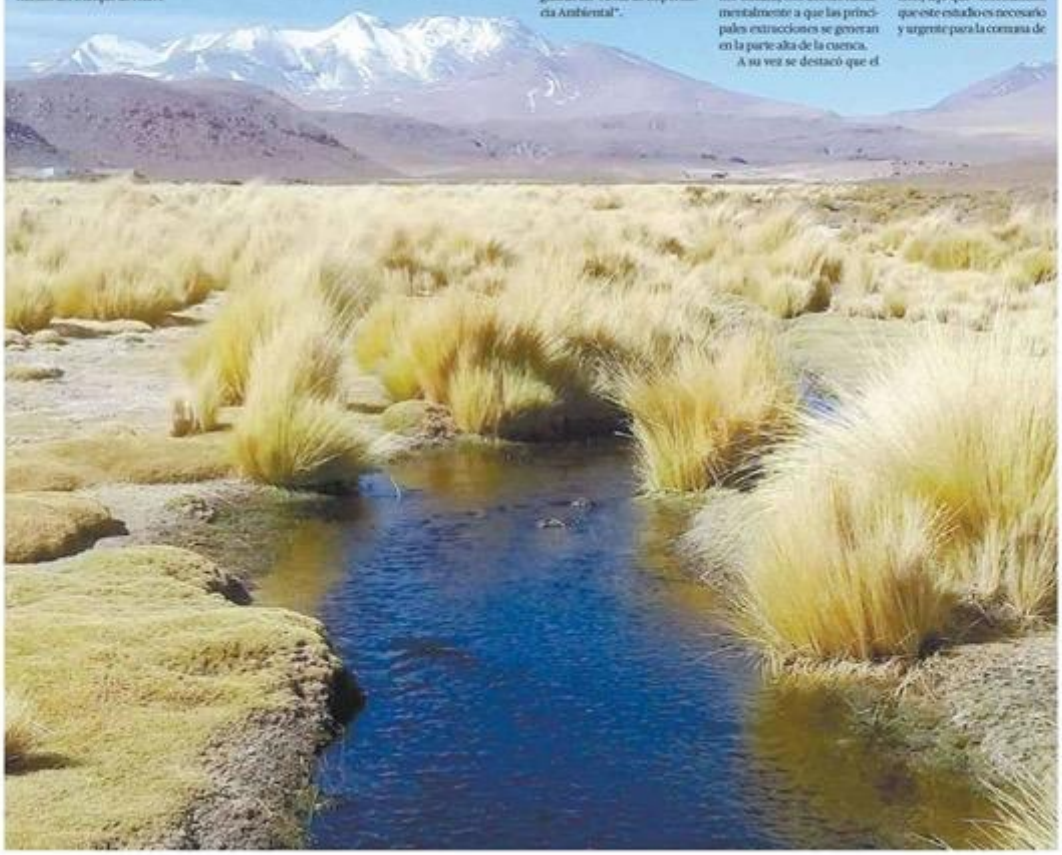
Este problema aqueja directamente a comunidades que viven del río, desde el Alto Loa hasta Quillagua, cercano a la desembocadura. Una situación que se hizo cargo la Secretaría Ministerial de Medio Ambiente de Antofagasta, que actualmente se encuentra implementando hasta el primer semestre de 2020, el estudio FNDR "Diagnóstico del Caudal Ambiental del río Loa, Región de Antofagasta" el cual, mediante un diagnóstico integral del estado ambiental del río busca generar un modelo de gestión que responda a las principales presiones y resguarde las "Áreas de Importancia Ambiental".

Durante el segundo semestre del año pasado se realizaron en Calama jornadas de difusión del estado de avance del estudio a los principales actores que se encuentran emplazados en el territorio gran cuenca del río Loa. Durante la exposición, el director del Centro de Ecología Aplicada (CEA) y ejecutor del estudio, doctor Manuel Contreras, presentó los primeros hallazgos, donde destacó que las principales presiones se generan en la parte media y baja de la cuenca que es donde ocurre una menor cantidad de agua y de menor calidad, esto debido fundamentalmente a que las principales extracciones se generan en la parte alta de la cuenca.

A su vez se destacó que el estudio considera la realización de cuatro campañas de monitoreo en terreno, valorización económica de beneficios que entrega el río, modelación de caudales ambientales, generación de una cartera de proyectos, valorización de servicios ecosistémicos y cálculo de índice de vulnerabilidad ecológica.

DESCONTAMINACIÓN

El vocero de la Federación Nacional de Pobladores, FENAPO, Sergio Chamorro, quien ha estado presente en estas instancias de participación, dijo que "entendemos que este estudio es necesario y urgente para la comuna de



2 **jornadas**
de difusión han sido las instancias de participación de las organizaciones en Calama, las cuales han podido conocer y aprender más del río Loa.

2020 **primer semestre**
durante los seis primeros del próximo año concluyen las mediciones y estudios del Centro de Ecología Aplicada (CEA) que trabajan en este estudio.

CEDIDA

EL RÍO LOA PRESENTA MENOS SALINIDAD EN SU ORIGEN QUE CERCA A LA DESEMBOCADURA, DONDE TAMBIÉN DISMINUYE SU CANTIDAD.

ACTIVIDAD EN TERRENO DE LAS PERSONAS PARTICIPANTES DE LAS JORNADAS EN EL PARQUE EL LOA.

Calama, pero tardío, porque no tenemos hoy. Esto se va cruzando con el plan de descontaminación, porque la única forma para poder descontaminar una comuna es proyectando sus áreas verdes, lo que fue el oasis de Calama".

El vocero de esta organización, continuó "sin embargo, para proyectar este oasis, entendemos que se requiere recuperar las aguas. Si no recuperamos el porcentaje de aguas que está siendo propiedad de Codelco, no vamos a poder levantar el oasis de la comuna y con ello perdemos hasta la vasta tradición".

Esto lo señaló el representante de los pobladores, porque dijo "se está perdiendo el choclo, ya lo dicen las comunidades de La Banda y Chunchurí, a consecuencia de lo que ocurre. Ahí tenemos un grave problema con la agricultura y ganadería que se da en la periferia de Calama y que apenas, está resistiendo con la autogestión de muchos campesinos. Por último, también, afecta al pueblo de Chiu Chiu y Lasana". concluyó Chamorro.

DIFUSIÓN

La Municipalidad de Calama cumplió un rol protagónico en la realización de las jornadas de difusión en la ciudad. Es así que el encargado de la Unidad de Medio Ambiente, Yery Luza, además de valorar el proyecto que consideró educativo contó que "pone en riesgo el ecosistema porque al bajar el flujo del agua del río, eso se nota en la misma biodiversidad que sostienen el río, porque cuando hay muy baja presión de la extracción del río se empiezan a dar otras condiciones de flora y eso afecta a ciertas cadenas tróficas y de animales presentes en determinados ecosistemas. Por lo tanto, afecta la biodiversidad de cada área en el tramo del río Loa, porque hay diferentes tipos de corredores biológicos, ya que nace en la cordillera y termina en el mar".

Por su parte, el seremi del Medio Ambiente, Rafael Castro, precisó que "se buscó generar capacidades locales en el uso de instrumentos de monitoreo ambiental del río Loa, de forma tal que las comunidades logren identificar las variables más relevantes como por ejemplo, de salinidad y puedan contribuir en el control ambiental de su territorio".

Agregó que la programación del estudio considera seguir con capacitaciones a las comunidades "además de vincularlas lo suficiente para generar una cartera de proyectos participativa, que haga frente a las principales dificultades que enfrenta el ecosistema y aseguren el bienestar de las personas que dependen de éste", puntualizó Castro.

Talleres teóricos y prácticos que desde la Coordinadora de la Defensa del río Loa se valoraron por su aporte en la enseñanza y aprendizaje del comportamiento del río en todo su recorrido y extensión. Fue así que la secretaria de la organización, Dalila Peña, expresó "me parece que está bien enfocado,

> "Esa es nuestra misión este año 2019, trabajar fuertemente en lo que es la calidad del agua del río Loa".
>
> **Yery Luza**
> Medioambiente Municipalidad

porque cuál es el objetivo de esto, establecer un modelo de gestión hídrica que no existe y que permita regular la extracción del agua y de alguna manera genere esa concientización de cuidar el río y cuidar el caudal".

DETERIORO AMBIENTAL

Los expertos a cargo del estudio indicaron que la reducción de caudal del río Loa se traduce automáticamente en un deterioro del estado ambiental del cuerpo fluvial.

Es así como parte de los hallazgos del primer informe de avance del estudio identifican que la falta de agua en época estival para las zonas bajas de la cuenca, en particular en el oasis de Quillagua, no responde a comportamientos estacionales de las precipitaciones, sino que responde más bien a la gestión que se realiza sobre los recursos hídricos de la cuenca con un criterio que no tiene relación con mantener un estado saludable del ecosistema fluvial.

Ahora queda que más personas puedan seguir aprovechando estas instancias de difusión que enseña de manera práctica y fácil el poder medir y observar el río. Para así, mostrarlo y educar a las generaciones futuras en la importancia de relacionarse y vincularse con el entorno que los rodea, en las que se ha de aprender a usar los recursos, pero de manera sostenible, para que quienes vengan tengan también la oportunidad de disfrutar del río más largo de Chile. CS

CEDIDA

LÍDERES SOCIALES DE LA REGIÓN CONGREGADOS EN SAN PEDRO.

Líderes sociales se reunieron en San Pedro de Atacama

INICIATIVA. *Se desarrolla desde el 2000 en la región de Antofagasta.*

Compartir experiencia, conocer proyectos sociales exitosos y reencantarse con el trabajo social, fueron los objetivos centrales del Encuentro Líderes en Acción realizado en San Pedro de Atacama.

Este encuentro congregó a diversos dirigentes y representantes de organizaciones sociales de la región. Jornada realizada en el marco del proceso de acompañamiento y vinculación del Concurso para Organizaciones Sociales de Fundación Minera Escondida que en su versión 2018, permitió la ejecución de 46 proyectos en comunas como Antofagasta, Calama, San Pedro de Atacama, Taltal y Tocopilla.

"Anualmente realizamos este taller de cierre que nos permite analizar de manera conjunta con los líderes sociales nuestro Concurso y sus diferentes etapas, como una forma efectiva de retroalimentación", indicó Jenny Zepeda, Líder de Programas de Fundación Minera Escondida.

Las organizaciones seleccionadas durante 2018, además de recibir un cofinanciamiento para la ejecución de sus proyectos sociales, fueron parte de un intenso proceso de acompañamiento, que consideró el desarrollo de diversos talleres enfocados a fortalecer el trabajo de las instituciones, como los módulos de Participación Social, Marketing Social y Gestión de Aprendizaje, instancia realizada en conjunto con la Corporación Simón de Cirene.

"Gracias a los talleres que nos entregan durante el proceso de ejecución de nuestros proyectos, nos hemos ido fortaleciendo como institución porque nos orientan y guían respecto a la forma de administrar nuestra organización. Orientaciones que van desde cómo llevar los registros de nuestros dineros hasta formular mejores proyectos. La Fundación, en estos cuatro años, ha sido un pilar importante en la creación de nuestro cuneder", indicó Mirta González, representante Voluntariado Carrete con Cristo de Calama.

Además de contribuir a generar nuevos líderes en la región, el Concursos para Organizaciones Sociales favorece la materialización de proyectos que son un aporte real en ámbitos como la inclusión, educación, medio ambiente, cultura y deporte, entre otros aspectos.

LÍDERES EN ACCIÓN

Durante la oportunidad, fueron reconocidos los líderes más destacados de la versión 2018 del Concurso para Organizaciones Sociales. El premio "Líder Emergente" fue para Andrés Torres de la Asociación Guardianes de la Bahía de Antofagasta. En tanto el premio "Líder Consagrado" fue para Lucila Carvajal del grupo de danza "Esperanza del Mañana" de la Escuela Diferencial F-33 de Calama.

El premio "Líder en Acción", recayó esta vez en tres representantes de organizaciones: Marlhens Torres, del Centro General de Padres y Apoderados de la Escuela Presidente Balmaceda D-48, Mirta González Fernández, del Voluntariado Carrete con Cristo y José Luis Gutiérrez, del Club Atlético Alemania, los tres pertenecientes a Calama.

Además, los representantes de las organizaciones sociales compartieron con líderes locales de la comuna de San Pedro de Atacama para conocer y compartir prácticas de desarrollo social, fue el caso del Cuerpo de Bomberos, Asociación Indígena Valle de la Luna y Comunidad Indígena de Talabre.

El concurso para organizaciones sociales se desarrolla desde el 2000. CS

Figura 6.9 Inserto publicado el 16 de enero en el Mercurio de Calama.

6.3 Cartera de Proyectos

Para la elaboración de la cartera de proyectos, se utilizará la metodología de árbol de problemas, utilizada por el Sistema Nacional de Inversiones para la presentación de programas, proyectos y estudios.

Para la determinación del árbol de problemas, se realizará un análisis de entorno utilizando una Matriz PESTAL y un análisis de actores.

6.3.1 Matriz PESTAL

6.3.1.1 Descripción

El éxito de un proyecto depende del grado de control que se ejerza sobre las variables del entorno que afectan su ejecución. De esta forma, el análisis de un conjunto de variables socioeconómicas, políticas, culturales, tecnológicas e institucionales ayuda a definir estrategias innovadoras que tomen en cuenta las potencialidades y restricciones de su acción.

La Matriz PESTAL, permite caracterizar el entorno donde se desarrollará el programa o el proyecto y definir el tipo de estrategia y comportamiento innovador de quienes lo ejecutarán. Además, sirve para la comprensión amplia del contexto donde se ejecutará el programa o proyecto permitiendo identificar factores, problemas o nudos críticos, que determinan su éxito o fracaso de una acción.

6.3.1.2 Contexto general

La Región de Antofagasta presenta una superficie regional aproximada de 500 kilómetros de longitud, y abarca un área de 126.049,1 kilómetros cuadrados, equivalentes al 16,7% del territorio nacional divididas en las provincias de Antofagasta, El Loa y Tocopilla. Según el Censo 2017[1], cuenta con una población de 607.534 habitantes (315.014 hombres y 292.520 mujeres). La principal actividad productiva de la región es la minería, aportando cerca del 50% del PIB regional. A la actividad minera le siguen en importancia para la región las actividades de construcción; con un aporte del 13%, duplicando la importancia relativa que este sector posee a nivel nacional, y los servicios financieros y empresariales; con un aporte a la actividad de la región del 12%[2].

La cuenca del río Loa, es un recurso esencial para la sustentabilidad de la región. La Cuenca del río Loa se ubica administrativamente en las regiones de Tarapacá y Antofagasta y cubre una superficie total de 33.570 km^2 con perímetro que alcanza una extensión de 874 km.

[1] www.censo2017.cl.
[2] Reportes estadísticos distritales 2017. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

Esta cuenca limita al norte con la Cuenca Pampa del Tamarugal; al sur, con Cuencas Quebrada Caracoles y Salar de Atacama; al oriente con Cuencas Fronterizas Michincha; y al poniente, con Cuencas Costeras Quebrada Caracoles.

El río Loa es el principal curso de agua que recorre el Desierto de Atacama y el único que desemboca en el mar. Su hoya abarca las comunas de Calama, María Elena y Tocopilla, siendo el poblado urbano más grande la ciudad de Calama. En las zonas altas de la cuenca se emplazan diversas localidades con presencia de comunidades indígenas, principalmente atacameñas, pertenecientes al Área de Desarrollo Indígena (ADI) Alto el Loa, mientras que en las cercanías de la desembocadura del río se encuentra el poblado de Quillagua.

En la cuenca del río Loa se desarrolla parte de la agricultura de la región, concentrando aproximadamente el 38% del total de superficie regada. En los últimos años (1975-2014) se ha observado un decaimiento de la superficie cultivada en más de un 50%[3]. Este escenario podría explicarse dado que en general las comunidades han tenido problemas con el abastecimiento y calidad del recurso hídrico para poder desarrollar la agricultura, debido a las extracciones mineras y a las condiciones naturales del territorio, que explican la presencia de ciertos analitos en el agua y cuya concentración se ve incrementada por dicha actividad minera. Además, muchos de los títulos de agua no han sido regularizados. En general la actividad agrícola se desarrolla para subsistencia en las comunidades o para vender productos en la ciudad de Calama.

El río Loa fue declarado agotado en el año 2000 para otorgamiento de nuevos derechos de aprovechamiento superficial, consuntivo y permanente. Con respecto al agua subterránea, sólo el sector hidrogeológico Salar de Llamara ha sido declarado área de restricción para otorgamiento de nuevos derechos, el año 2012.

En la zona alta de la cuenca, y en los afluentes del río Salado se encuentran las captaciones pertenecientes a Aguas Antofagasta, agua que es extraída para abastecer de agua potable a las ciudades de Calama, Antofagasta, Mejillones, Tocopilla, Sierra Gorda y Baquedano.

En esta cuenca se ubican también importantes faenas mineras, como Chuquicamata, Radomiro Tomic, Minera El Abra y SQM[4].

[3] Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta. 2016. Ministerio de Obras Públicas.
[4] Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021, Región de Antofagasta. 2012. Ministerio de Obras Públicas.

6.3.1.2.1 Sector Río Loa Alto

En esta zona se encuentran las localidades de Taira y San Pedro Estación. La comunidad de Taira se dedica principalmente a la ganadería para autoconsumo y la producción a pequeña escala de productos de la lana de los animales La localidad de San Pedro Estación, en tanto, vivía de la agricultura y la ganadería, y prácticamente la totalidad de sus habitantes emigraron gradualmente a Calama dada la escasez del agua y problemas de contaminación. En los últimos años se ha planteado una recuperación de la infraestructura y de hectáreas para uso agrícola, lo que está impulsando el regreso de sus antiguos pobladores.

Respecto al uso del agua, en la zona de las vegas protegidas, en las cercanías del afluente río Blanco, hay derechos de la Comunidad Quechua de Ollagüe, equivalentes a 13 L/s. En el río Loa hay solicitudes de regularización de derechos de agua de la Comunidad Indígena Atacameña de Taira y la Comunidad Atacameña de Conchi Viejo, y en el río San Pedro solicitud de regularización para un particular[5].

En la zona de nacimiento del río Loa se encuentra parte de la Reserva Nacional Alto del Loa (en proceso de obtención de Decreto Supremo), acuíferos y vegas protegidos. En el río San Pedro también hay acuíferos y vegas protegidos (Inacaliri, Ojo de San Pedro, Carcanal, entre otras).

En este tramo del río Loa se encuentran las captaciones de Aguas Antofagasta denominadas Lequena y Quinchamale, con un caudal total de 850 L/s otorgado.

En el sector del cauce del río Salado y sus afluentes, se ubican en tanto las localidades de Caspana, Toconce, Turi, Ayquina y Cupo, con una población de 381 personas, en su totalidad rural.

La principal actividad es la agricultura de subsistencia con una superficie cultivada es de 104 ha, de las cuales cerca del 70% es ocupada por alfalfa. Se cuenta además con una masa ganadera importante, por lo que un tema relevante es el aumento del forraje, asociada a las vegas y bofedales. Para las comunidades de Turi y Cupo, la ganadería ovina ocupa el primer lugar en la base económica[6].

[5] Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta. 2016. Ministerio de Obras Públicas.
[6] VII Censo agropecuario y forestal 2006-2007. Ministerio de Agricultura. Odepa.

En esta zona se ubican tres captaciones de Aguas Antofagasta, totalizando un caudal otorgado de 660 L/s, y un derecho antiguo de Codelco con un caudal de 400 L/s[7].

Ésta es una zona donde hay varios poblados, los cuales, en general, no tienen un abastecimiento de agua potable de buena calidad. Esta situación se contradice con el hecho de que en esta parte de la cuenca del río Loa hay varias extracciones de Aguas Antofagasta, la cual es usada para abastecer a otras ciudades de la región. Además se puede señalar la importancia que tiene para la comunidad la protección de las vegas, ya que son su fuente de recurso hídrico para desarrollar la agricultura y ganadería.

6.3.1.2.2 Sector Río Loa Medio

En este sector se ubican las localidades de Chiu-Chiu, Lasana y Calama, capital provincial, siendo esta última la ciudad con más población de la zona.

La principal actividad productiva en las zonas rurales es la agricultura, en particular en Lasana y Chiu-Chiu con 207 ha de zonas cultivadas de alfalfa y maíz para autoconsumo y hortalizas para venta en Calama. En Calama, en tanto, existen 464 ha de superficie cultivada, destacando la alfalfa y el maíz. En relación al pastoreo, los abrevaderos de los ganados están en zonas de vegas y bofedales. La producción ganadera es reducida, totalizando 1.264 cabezas de ganado entre Chiu-Chiu y Lasana[8].

Al norte de la ciudad de Calama se localizan las faenas mineras Codelco Chuquicamata, Codelco Norte, El Abra y Ministro Hales, por lo que la actividad económica de la ciudad se relaciona con la minería y los servicios.

Esta zona tiene dos acuíferos protegidos que alimentan vegas y bofedales, y es donde se emplazan las localidades. Además, en las vegas Yalquincha y Calama está el sitio prioritario para la biodiversidad Oasis de Calama, el mayor oasis de la región de Antofagasta.

Esta zona de la cuenca del río Loa se caracteriza por la presencia de las faenas mineras de Codelco, lo que ha influido en el estilo de vida de la ciudad de Calama. Esta situación no se refleja en las zonas rurales, especialmente en las localidades indígenas, las cuales mantienen su actividad agrícola de subsistencia, haciendo uso de sus derechos ancestrales, los cuales no todos están regularizados. Sí se puede señalar que en esta zona hay Comunidades de Aguas inscritas en la DGA, muchas de las cuales extraen aguas de bocatomas en la zona rural de Calama y en las localidades de Chiu-Chiu y Lasana.

[7] Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta. 2016. Ministerio de Obras Públicas.
[8] VII Censo agropecuario y forestal 2006-2007. Ministerio de Agricultura. Odepa.

6.3.1.2.3 Sector Río Loa Bajo

En esta zona de la cuenca del río Loa se localiza la comuna de María Elena, en donde se emplazan los centros poblados de María Elena y Quillagua.

La actividad agrícola de Quillagua ha ido disminuyendo en los últimos años. Al año 2007 la superficie de riego era de 8,8 ha, donde se cultivaba principalmente alfalfa, mientras que en el año 2014 esta superficie disminuyó a 1 ha. El principal inconveniente para el desarrollo de la agricultura es la falta de agua. A esta zona el río Loa llega con escaso caudal, dado que sus aguas son capturadas aguas arriba por las empresas mineras y sanitarias[9].

En relación a la protección ambiental, la zona del Oasis de Quillagua es un sitio prioritario de conservación de la biodiversidad.

6.3.1.3 Factores PESTAL

A partir de información secundaria y primaria, esta última recopilada a través de talleres realizados en el marco del estudio, se detallan los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales y legales que han sido identificados por su pertinencia con la problemática de la cuenca del río Loa.

6.3.1.3.1 Factores políticos

Como parte de su planificación territorial, la región cuenta con la **Estrategia Regional de Desarrollo 2009-2020[10]**, donde se definen las prioridades del territorio. Uno de sus lineamientos es el de "Región Sustentable" proponiendo como acción para ello "proteger el recurso hídrico a través de una eficiente administración, en concordancia con las condiciones regionales de extrema aridez y atendiendo a las presiones que se ejercen sobre su oferta limitada y poco conocida".

Asimismo, la **Estrategia Regional y Plan de Acción para la Conservación y Uso Sustentable de la Diversidad Biológica de la Región de Antofagasta (2002)[11]**, reconoce a cuenca del río Loa como uno de los tres ecosistemas de mayor importancia de la región, estableciendo como sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad la cuenca Alto Loa, el oasis de Quillagüa, el oasis de Calama y la desembocadura del río Loa.

En este contexto, el Gobierno Regional de Antofagasta ha mandatado la realización del presente estudio para contar con un diagnóstico actualizado sobre la calidad ambiental del

[9] Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta. 2016. Ministerio de Obras Públicas
[10] Gobierno Regional de Antofagasta.
[11] Comisión Nacional de Medio Ambiente.

río Loa. Por otra parte, no existen estudios previos de diagnóstico que contemple a toda la cuenca del río Loa.

Complementariamente, el Ministerio de Obras Públicas, a través de la Dirección General de Aguas, formula en 2016 en **Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta**[12]. Este es un instrumento de planificación indicativo cuyo propósito es contribuir a orientar las decisiones públicas y privadas, con el fin último de maximizar la función económica, social y ambiental del agua, en armonía con el medio ambiente y en condiciones de equilibrio que permita la sustentabilidad dentro de una visión de corto, mediano y largo plazo, dotando a los actores de las herramientas y capacidades para abordar los desafíos que esto impone.

A nivel comunal, en tanto, el Plan de Desarrollo Comunal[13] (Pladeco) de la comuna de Calama (actualmente en proceso de actualización) incluye el lineamiento estratégico "Medio Ambiente", el cual busca contribuir al desarrollo comunal consolidando un sistema de gestión ambiental que integre a múltiples actores y recursos de nivel local, regional y nacional en pos de mantener a la comuna libre de contaminantes ambientales. En este sentido, plantea dentro de sus objetivos "Promover la protección de los ecosistemas comunales frágiles y de la flora y fauna poco conocida y en peligro de extinción" y "Proteger el Recurso Hídrico atendiendo a la condición de extrema aridez de la Región y a las presiones que se ejercen sobre su oferta limitada".

6.3.1.3.2 Factores económicos

La principal actividad económica de la región es la minería y en menor medida el turismo y la actividad agropecuaria.

La minería, representa cerca del 66% de la actividad económica regional aportando a más de 58% del PIB minero del país. La región lidera la producción de cobre, molibdeno, apatita, carbonato de litio, nitratos, sulfato de sodio y yodo. Le siguen otras producciones metálicas, tales como la plata y oro. En el sector de la minería no metálica destaca el yodo, cloruro de potasio, nitratos y los carbonatos de calcio.

La región posee una alta especialización productiva en materias primas no elaboradas, principalmente minería de cobre y hierro, concentrando en estos productos el 89,0% de sus exportaciones, seguido por el resto de la minería (5,4%). La producción minera está

[12] Ministerio de Obras Públicas.
[13] Ilustre Municipalidad de Calama.

destinada a la exportación y es desarrollada por grandes empresas privadas y una estatal, con tecnología avanzada, que alcanza altos niveles de productividad.

En términos de turismo, en los alrededores de San Pedro de Atacama se encuentran distintos sitios de interés histórico y folclórico, como Toconao, Chiuchiu, Caspana y Toconce. San Pedro de Atacama es uno de los lugares de Chile que recibe más turistas, tanto nacionales como internacionales, por lo que cuenta con diversa infraestructura para responder al turismo de intereses especiales. En el sector Río Loa Alto una actividad que está tomando importancia entre las comunidades es el turismo sustentable ya que desde el año 2005, la comunidad de Toconce, en conjunto con la comunidad de Caspana, tiene la administración y gestión de los Geiser del Tatio.

La actividad agropecuaria, en tanto, si bien no es relevante a nivel regional, tiene una gran importancia para las comunidades de los valles y oasis del interior, para las cuales más que una actividad económica es una forma de vida y el establecimiento de una economía de subsistencia. Inversiones recientes buscan mejorar la infraestructura de riego y elevar el autoabastecimiento hortícola regional. Los principales rubros corresponden a alfalfa, maíz y hortalizas además de ganadería ovina, todo ello para autoconsumo. Asimismo, la calidad de suelos y la disponibilidad de agua son las principales limitantes para el desarrollo de esta actividad. En este sentido, cabe señalar que el abastecimiento de agua potable de las principales ciudades de la región (Calama, Antofagasta, Tocopilla y Mejillones) se realiza a partir del recurso hídrico del río Loa.

6.3.1.3.3 Factores sociales

En 2017 el índice de desarrollo humano (IDH) en Chile fue 0,843 puntos, ubicándose en el puesto 44 del ranking a nivel mundial. A nivel nacional, en tanto, la Región de Antofagasta se ubica en el tercer lugar con un IDH de 0,867 puntos al 2017[14].

La Región de Antofagasta cuenta con 2 Áreas de Desarrollo Indígena (ADI): Atacama La Grande y Alto El Loa. Esta última, abarca las comunas de Calama y Ollagüe, y fue promulgada por el Decreto 189 del 08 de octubre de 2003. Las características del territorio que dan origen a esta ADI, y que se estipulan en dicho decreto, corresponden a:

- Parte del territorio de la provincia del Loa, que comprende el área rural de la comuna de Calama y la comuna de Ollagüe, es una extensa zona andina que ancestralmente ha sido ocupada por el Pueblo Atacameño y Quechua, quienes han entregado un legado cultural y social invaluable a la zona y al país.
- Las comunidades atacameñas y quechuas que habitan la Cuenca del Río Loa, con una población cercana a las 1.210 personas, han mantenido el uso de sus tierras y aguas ancestrales, subsistiendo con la explotación equilibrada de los recursos naturales del altiplano.
- Las comunidades Atacameñas de Caspana, Conchi Viejo, Lasana, Ayquina-Turi, Cupo, Toconce, San Francisco de Chui Chui y las comunidades Quechuas conforman un espacio territorial de homogeneidad cultural y ecológica indiscutible de aproximadamente 12.716,28 kilómetros cuadrados.

De esta forma, el territorio cuenta con 62 asociaciones indígenas y 17 comunidades indígenas, con un total de 878 familias, cuya sustentabilidad económica y productiva depende directamente de la condición del río Loa. Al 2015, existen 463 explotaciones agrícolas con una superficie total de 1.313 ha.[15].

[14] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. http://desarrollohumano.cl/
[15] Agricultura Indígena Chilena. Análisis socioespacial de la agricultura según etnia. 2010. Programa Chile Indígena, Corporación Nacional de Desarrollo Indígena.

6.3.1.3.4 Factores tecnológicos

El territorio cuenta con variadas redes de estaciones de monitoreo, donde destacan[16]:

- Estaciones meteorológicas, de la Dirección General de Aguas (DGA), el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y minera El Abra, las que monitorean variables como precipitación, temperatura, humedad relativa y evapotranspiración.
- Estaciones para calidad de agua de la DGA y Codelco.
- Estaciones fluviométricas de la DGA y Codelco.
- Estaciones sedimentológicas de la DGA.
- Estaciones de monitoreo de niveles de pozos de la DGA.

6.3.1.3.5 Factores ambientales

El territorio enfrenta un deterioro multicausal de la calidad ambiental del río Loa. En la actualidad el río Loa es utilizado por distintos actores (poblados, comunidades indígenas, empresas mineras) como una de las principales fuentes de captación de agua para propósitos agropecuarios, urbanos y sanitarios.

Dentro de estos usos en la cuenca, la industria minera posee una gran predominancia, debido a que en este lugar se encuentran los mayores yacimientos de cobre del país, lo que ha llevado a un aumento del consumo de recurso hídrico para los distintos procesos que se requieren en las faenas. En este sentido, la demanda de la cuenca proveniente del sector minero bordea el 60% del total. Asimismo, las demandas de aguas subterráneas devienen principalmente del sector minero con un 80%, seguido por el sector sanitario y otros usos con un 20%[17].

De esta forma, se ha provocado una disminución de los recursos hídricos disponibles, traduciéndose en una problemática persistente entre las mineras y los usuarios agrícolas. En el caso de Calama, se ha visto disminuida el área agrícola producto de la pérdida de los suelos cultivables a raíz de la expansión de la ciudad sobre estos terrenos por el incremento de la población derivada del auge de la actividad minera. En el caso de Quillagua, el

[16] Informe de Avance "Diagnóstico del caudal ambiental del Río Loa, Región de Antofagasta".
[17] Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta. 2016. Ministerio de Obras Públicas.

problema se ha desencadenado por el desecamiento y contaminación de las aguas del río Loa. Si bien esta situación se atribuye a la actividad minera en diversos medios de comunicación, no existe información oficial de las causas de esta situación.

Así, el bajo caudal medio anual del río Loa sumado a la presión de uso por las actividades económicas, generan estrés sobre la biota lo que provoca pérdida de la biodiversidad. Complementariamente, el cambio climático está provocando un cambio en la distribución de las precipitaciones, las que si bien son escasas, son de mayor intensidad lo que permite una recarga de los acuíferos.

6.3.1.3.6 Factores legales

La normativa legal que tiene alcance en la Cuenca del río Loa corresponde a:

- Ley N° 19.175. Orgánica Constitucional sobre Gobierno y Administración Regional, que mandata a los GORES "fomentar y velar por la protección, conservación y mejoramiento del medio ambiente".
- Ley 20.017/2005 del Ministerio de Obras Públicas, que señala que "al constituir los derechos de aprovechamiento de aguas, la Dirección General de Aguas (DGA) velará por la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente, debiendo para ello establecer un caudal ecológico mínimo..."
- D.S. N° 90/2000 del MINSEGPRES que establece una "norma de emisión para la regulación de la contaminación asociada a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales".
- D.S. Nº 143/2008 del MINSEGPRES que establece normas de calidad primaria para las aguas continentales superficiales aptas para actividades de recreación con contacto directo.

Tabla 6.2. Matriz PESTAL - Cuenca del Río Loa.

Políticos	Económicos	Sociales	Tecnológicos	Ambientales	Legales
GORE Antofagasta encarga la realización del presente estudio para contar con un diagnóstico de la calidad ambiental del río Loa.	El PIB de la región, segundo más alto a nivel país, proviene principalmente de la actividad minera. En el territorio, la actividad agropecuaria también adquiere importancia aportando al 0,1% del PIB regional. Ambas actividades generan una alta presión de uso en la cuenca del río Loa. La normativa para la extracción del recurso hídrico no considera criterios ambientales.	El abastecimiento de agua potable de las principales ciudades de la región (Calama, Antofagasta, Tocopilla y Mejillones) se realiza a partir del recurso hídrico del río Loa.	El territorio cuenta con distintas estaciones para el monitoreo de variables meteorológicas, de calidad de agua, fluviométricas, sedimentológicas y de niveles de pozos.	Deterioro multicausal de la calidad ambiental del río Loa (documentado a través de diagnósticos).	Ley N° 19.175. Orgánica Constitucional sobre Gobierno y Administración Regional, que mandata a los GORES "fomentar y velar por la protección, conservación y mejoramiento del medio ambiente".
La Estrategia Regional de Desarrollo 2009-2020 de la Región de Antofagasta, tiene dentro de sus lineamientos el de "Región Sustentable" proponiendo como acción para ello "proteger el recurso hídrico a través de una eficiente administración, en concordancia con las condiciones regionales de extrema aridez y atendiendo a las presiones que se ejercen sobre su oferta limitada y poco conocida".		El territorio, cuenta con 62 asociaciones indígenas y 17 comunidades indígenas, con un total de 878 familias, cuya sustentabilidad económica y productiva depende directamente de la condición del río Loa. Al 2015, existen 463 explotaciones agrícolas con una superficie total de 1.313 ha.		El bajo caudal medio anual del río Loa sumado a la presión de uso por las actividades económicas, generan estrés sobre la biota lo que provoca pérdida de la biodiversidad.	Ley 20.017/2005 del Ministerio de Obras Públicas, que señala que "al constituir los derechos de aprovechamiento de aguas, la Dirección General de Aguas (DGA) velará por la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente, debiendo para ello establecer un caudal ecológico mínimo"
La Estrategia Regional y Plan de Acción para la Conservación y Uso Sustentable de la Diversidad Biológica de la Región de Antofagasta (2002), reconoce a cuenca del río Loa como uno de los tres ecosistemas de mayor importancia de la región, estableciendo como sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad la cuenca Alto Loa, el oasis de Quillagüa, el				El cambio climático está provocando un cambio en la distribución de las precipitaciones, las que si bien son escasas, son de mayor intensidad lo que permite una recarga de los acuíferos.	D.S. N° 90/2000 del MINSEGPRES que establece una "norma de emisión para la regulación de la contaminación asociada a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales".

Políticos	Económicos	Sociales	Tecnológicos	Ambientales	Legales
oasis de Calama y la desembocadura del río Loa.					
El "Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta, 2016" entrega lineamientos que buscan maximizar la función económica, social y ambiental del agua, en armonía con el medio ambiente.				Existencia de contaminación del cauce, debido a las actividades productivas desarrolladas en la cuenca.	D.S. Nº 143/2008 del MINSEGPRES que establece normas de calidad primaria para las aguas continentales superficiales aptas para actividades de recreación con contacto directo.
El Plan de Desarrollo Comunal (Pladeco) de la comuna de Calama incluye el lineamiento estratégico "Medio Ambiente".					

Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados de fuentes secundarias y talleres realizados en el marco del estudio.

6.3.2 Análisis de involucrados

6.3.2.1 Descripción

Se elabora una matriz de involucrados para identificar a aquellas personas y organizaciones interesadas en el éxito de la(s) propuestas que serán elaboradas como parte de la cartera; a aquellas que contribuyen o son afectadas por los objetivos de las mismas; y a quienes tienen un poder de influencia sobre los problemas a abordar.

Este análisis contribuye a identificar cuáles grupos y organizaciones están directa o indirectamente involucrados en un problema específico de desarrollo, así como para considerar los intereses, su potencial y limitaciones.

Además, permite definir cuáles grupos apoyarían una determinada estrategia para abordar el problema de desarrollo, así como los grupos que se opondrían a dicha estrategia.

6.3.2.2 Grupos de actores

A través de fuentes primarias y secundarios, se identifican 4 grandes grupos de involucrados: sector público, organizaciones usuarios de agua, organizaciones de la sociedad civil y empresas y usuarios privados. A través de distintos estudios y talleres realizados en el marco de este estudio, se pudo constatar que los problemas percibidos se relacionan principalmente con el deterioro progresivo de la cuenca y el ecosistema, la baja disponibilidad de agua y el bajo impacto de iniciativas estatales previas.

Asimismo, se constata el interés en generar acciones que reviertan las problemáticas detectadas pero con la participación de la mayor parte de involucrados. De esta forma, plantean la necesidad de desarrollar planes de gestión, generar sistemas de monitoreo públicos y generar competencias en la comunidad.

- **Servicios Públicos:**
    - Gobierno Regional de Antofagasta.
    - Intendencia Regional de Antofagasta.
    - Gobernaciones provinciales.
    - Ilustre Municipalidad de Calama.
    - Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública.
    - Corporación Nacional de Desarrollo indígena.
    - Dirección General de Aguas.
    - Dirección Regional de Planeamiento del MOP.
    - Super Intendencia de Servicios Sanitarios.
    - Corporación Nacional Forestal, Conaf.
    - Servicio Agrícola y Ganadero, SAG.
    - Instituto de Desarrollo Agropecuario, Indap.

- Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Servicio de Evaluación Ambiental.
- Secretaría Ministerial del Medio Ambiente.

- **Organizaciones de usuarios de aguas**
  - Juntas de Vigilancia.
  - Comunidades de agua.
  - Asociaciones de canalistas.
  - Comités de agua potable rural.

- **Organizaciones de la sociedad civil**
  - Organizaciones indígenas.
  - Organizaciones urbanas de Calama.

- **Empresas y usuarios privados**
  - Sector sanitario.
  - Sector minero.
  - Sector agrícola

Tabla 6.3 Matriz de involucrados

Grupos de actores	Intereses	Problemas percibidos	Recursos / mandatos	Interés en el proyecto
Sector público	Asegurar el desarrollo productivo, económico y social de la Región de Antofagasta y sus habitantes.	Deterioro del ecosistema. Contaminación de la Cuenca del río Loa. Alta presión de uso por parte de la actividad minera y agrícola.	Liderar el proceso de planificación regional articulando la inversión pública y financiando iniciativas de inversión para promover el desarrollo sustentable de la región de Antofagasta con equidad y eficiencia contribuyendo, con ello, a mejorar la calidad de vida de sus habitantes. Generación y fiscalización de normativas para la conservación del ecosistema.	Detener el deterioro del ecosistema, generando un plan de gestión que involucre a todos los actores que tienen incidencia en éste. Generar un sistema de monitoreo público de variables ambientales. Desarrollar capacidades para utilizar herramientas generadas en estudio "Diagnóstico del Caudal Ambiental del Río Loa". Involucrar activamente a los actores públicos y privados.
Organizaciones civiles	Sustentabilidad para el desarrollo de sus actividades económicas. Conservación de los recursos naturales de la región.	Deterioro de la cuenca del río Loa. Baja disponibilidad de agua para la actividad agropecuaria. Bajo o nulo impacto de los estudios realizados por el Estado, ya que éstos no se materializan en acciones concretas.	-	Generar herramientas para que las comunidades monitoreen la condición del río. Desarrollar competencias en la propia comunidad para que el uso de las herramientas sea de largo plazo. Implementar planes de mitigación.
Empresas privadas	Sustentabilidad para el desarrollo de sus actividades económicas.	Deterioro de la cuenca del río Loa.	Infraestructura instalada en el territorio para el desarrollo de actividades productivas. Infraestructura para el monitoreo de variables ambientales.	Generación de normas secundarias para aguas del río Loa.

Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados de fuentes secundarias y talleres realizados en el marco del estudio

6.3.3 Diagnóstico

6.3.3.1 Definición del problema

A través de la herramienta árbol de problema, se identificó que el problema central es la "***Vulnerabilidad socioambiental de la población dependiente de la Cuenca del río Loa***". El árbol de problema se entrega en la Figura 6.10, y se construyó en base a las fuentes de información indicadas en el punto 6.3.3.2.1.3.

Este problema es originado por un deterioro de la cuenca del río Loa, producido por tres líneas causales. La cuenca se enfrenta a una continua extracción del recurso hídrico debido al consumo humano, agrícola y minero. Estas actividades económicas, productivas, sociales y culturales que se realizan en el territorio, involucran una alta demanda que supera a la oferta disponible de la cuenca en distintas zonas y épocas, han causado una disminución del caudal del río situación que será potenciada por efecto del cambio climático. Adicionalmente, la descarga de elementos contaminantes y existencia de pasivos ambientales producto de la actividad antrópica, deterioran continuamente la calidad del agua. Finalmente, se identifica un deterioro en zonas de importancia ecológica generado en parte por la realización de actividades culturales y recreativas. Todos estos factores, han llevado a una pérdida de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos del río.

Complementariamente, y también como efecto del cambio climático, se ha generado una modificación en la frecuencia y volumen de las precipitaciones, las que son de menor ocurrencia, pero con mayor intensidad ocasionando crecidas del río de mayor magnitud. Sin embargo, a la fecha no se han implementado suficientes medidas de mitigación para estos eventos, lo cual afecta directamente a los poblados aledaños a la cuenca.

Finalmente, se observa una escasa integración y coordinación público privada para abordar estas causas de la problemática central, lo que ha impedido el diseño e implementación de soluciones integrales para la cuenca.

El efecto final de la problemática central, es una disminución de la sostenibilidad productiva, económica y social del territorio, afectando directamente la calidad de vida de sus habitantes. Sin embargo, a la fecha no se han implementado suficientes medidas de mitigación para estos eventos, lo cual afecta directamente a los poblados aledaños a la cuenca.

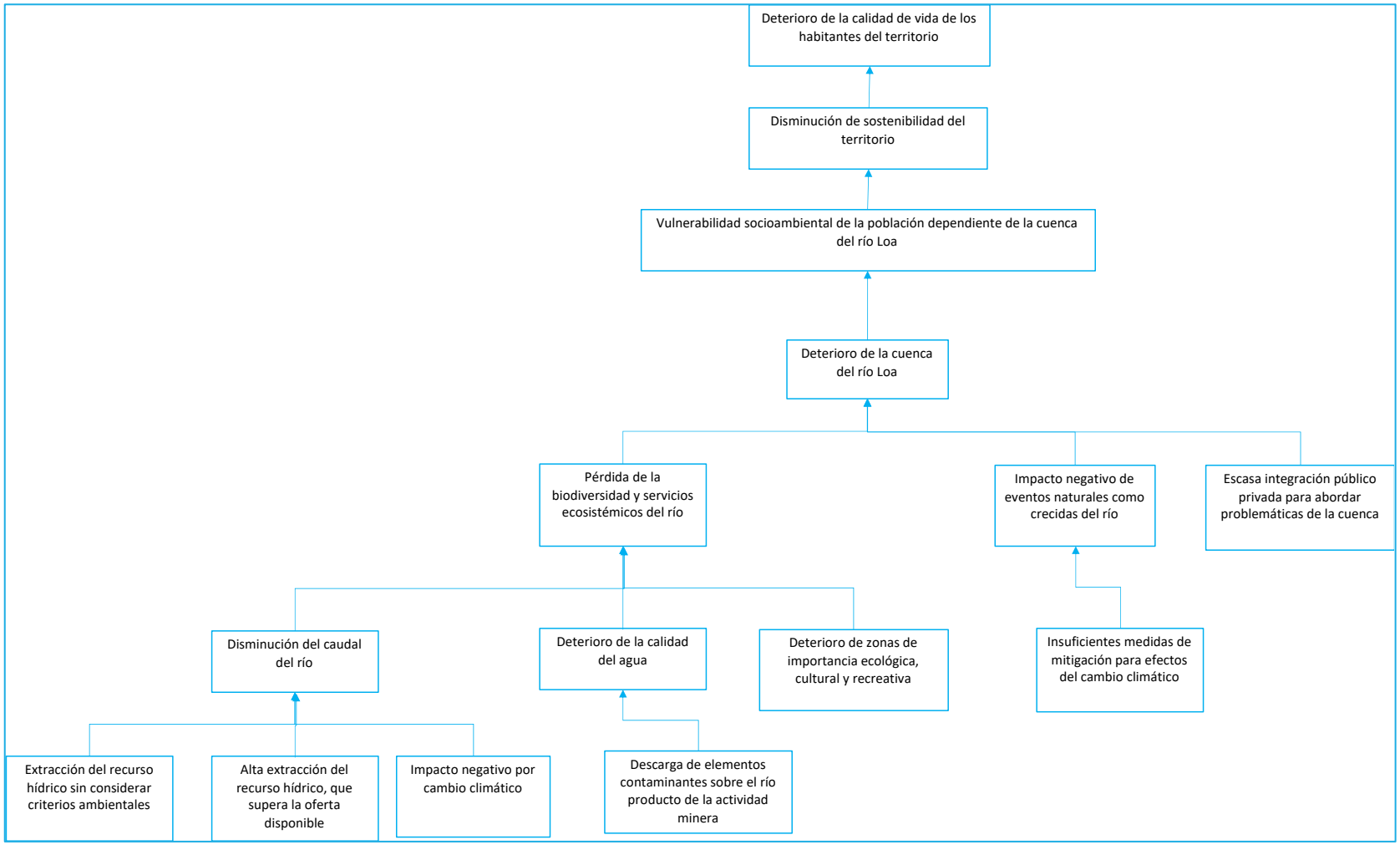


Figura 6.10 Árbol de problemas – Cuenca del río Loa

Fuente: Elaboración propia.

6.3.3.2 Diagnóstico de la necesidad del programa

6.3.3.2.1 Dimensión del problema

El problema que plantea esta propuesta "***Vulnerabilidad socioambiental de la población dependiente de la Cuenca del río Loa***", se encuentra directamente relacionado con el uso y estado actual de la cuenca del río Loa, siendo este recurso un factor estratégico para la sustentabilidad y sostenibilidad del territorio, factor que se incorpora de forma prioritaria en políticas públicas medioambientales a nivel internacional, nacional y regional.

6.3.3.2.1.1 Marco regional, nacional e internacional

I. Marco regional

i. Estrategia Regional de Desarrollo 2009-2020

Este programa se enmarca en el lineamiento 3 "Región Sustentable" de la Estrategia Regional de Desarrollo 2009-2020, donde se propone proteger el Medio Ambiente y sus recursos naturales, promoviendo la sustentabilidad del territorio.

A través de este lineamiento se reconoce las particularidades geográficas y sociales de la región, junto con establecer que existen presiones de las actividades económicas sobre los recursos naturales, especialmente sobre los recursos hídricos y biodiversidad. En particular este lineamiento plantea "*proteger el recurso hídrico a través de una eficiente administración, en concordancia con las condiciones regionales de extrema aridez y atendiendo a las presiones que se ejercen sobre su oferta limitada y poco conocida*", lo que concuerda a cabalidad con lo que se pretende abordar en este programa.

ii. Estrategia Regional y Plan de Acción para la Conservación y Uso Sustentable de la Diversidad Biológica de la Región de Antofagasta (2002).

Esta estrategia define dentro de sus necesidades de acción el "Fomento a la investigación, tanto en temas de la biodiversidad, como de los efectos de la acción humana sobre su desarrollo". Se hace también mención de la necesidad de "Elaborar un plan de educación regional sobre protección, conservación y potencialidad de los ecosistemas regionales, dirigido no sólo a estudiantes, sino también a los grupos que explotan los recursos naturales como actividad económica y a las autoridades encargadas de su fiscalización, con el fin de que la comunidad en su conjunto descubra el valor de la biodiversidad.

Respecto de esta estrategia, cabe señalar que si bien fue evaluada en 2015 no cuenta con una versión actualizada. Sin embargo, en 2017 se presenta la "**Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030",** de alcance país y cuyos objetivos estratégicos incluyen la promoción del uso sustentable de la biodiversidad para el bienestar humano; el desarrollo de la conciencia, la participación, la información y el conocimiento sobre la biodiversidad; el desarrollo de una institucionalidad acorde a los desafíos; la inserción de objetivos de

biodiversidad en políticas, planes y programas del sector público y privado; y la protección y restauración de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos.

iii. Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021, Región de Antofagasta

Este plan se enmarca en el desafío de planificar las intervenciones del Ministerio de Obras Públicas (MOP) para esta región, sobre la base de un nuevo proceso de planificación orientado a concordar con diversas entidades públicas y privadas de cada región del país, las principales iniciativas de inversión de infraestructura y gestión del recurso hídrico necesarias para la región, en conformidad con su visión de desarrollo de mediano y largo plazo. El objetivo de este plan es "*Contribuir eficaz y eficientemente al desarrollo sustentable de la Región de Antofagasta, mediante la satisfacción de la demanda de mediano plazo (2021) a través de la provisión de servicios de infraestructura y la gestión del Recurso Hídrico, aumentando su disponibilidad, mejorando la conectividad y accesibilidad regional e internacional, promoviendo plataformas de servicios logísticos y mejorando las condiciones de habitabilidad de los asentamientos humanos, con énfasis en la pertinencia e identidad cultural*. En particular, en el ámbito del recurso hídrico, este plan tiene como objetivo "Fortalecer la gestión, administración y fiscalización de los recursos hídricos por parte de la institucionalidad, asegurando el uso sustentable del recurso hídrico, potenciando y promoviendo su uso eficiente, a través de todas aquellas acciones e iniciativas que puedan relacionarse con la eficiencia hídrica".

iv. Plan de Desarrollo Comunal 2010-2017 (Pladeco) comuna de Calama

El Pladeco de la comuna de Calama (actualmente en proceso de actualización) incluye el lineamiento estratégico "Medio Ambiente", el cual busca contribuir al desarrollo comunal consolidando un sistema de gestión ambiental que integre a múltiples actores y recursos de nivel local, regional y nacional en pos de mantener a la comuna libre de contaminantes ambientales. En este sentido, plantea dentro de sus objetivos:

- Promover la protección de los ecosistemas comunales frágiles y de la flora y fauna poco conocida y en peligro de extinción.
- Proteger el Recurso Hídrico atendiendo a la condición de extrema aridez de la Región y a las presiones que se ejercen sobre su oferta limitada.

II. <u>Marco nacional</u>

i. Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030

Este instrumento tiene como misión "Impulsar la conservación de la biodiversidad del país, en todos sus niveles, en un marco de buena gobernanza territorial, que garantice el acceso justo y equitativo a los bienes y servicios ecosistémicos para las generaciones actuales y futuras, y fomente las capacidades del país para resguardar, restaurar y usar

sustentablemente este patrimonio y legado natural". Dentro de los objetivos y lineamientos estratégicos de este instrumento se encuentran:

- OEI. Promover el uso sustentable de la biodiversidad para el bienestar humano, reduciendo las amenazas sobre ecosistemas y especies.
  - Identificación, promoción y apoyo en la implementación de buenas prácticas productivas, conducentes a reducir el grado de amenaza de la contaminación sobre los ecosistemas naturales, incluyendo la reducción de sustancias químicas tóxicas sobre suelos y aguas.
  - Desarrollo de acciones para el uso eficiente del agua, el manejo apropiado y restauración de los suelos, en el marco del combate a la desertificación, disminuyendo la presión de uso del agua desde acuíferos agotados.
- OEII. Desarrollar la conciencia, la participación, la información y el conocimiento sobre la biodiversidad, como base del bienestar de la población.
  - Fomento de la importancia de la conservación de la biodiversidad, incrementando su valoración económica y no económica por parte de todos los sectores de la población, a través de los instrumentos de educación formal y no formal en todos sus niveles y la sensibilización a distintos organismos públicos y privados.
  - Difusión y transferencia de conocimientos e información a la ciudadanía, relativa a la biodiversidad y sus factores de amenaza, a través de distintas plataformas y mecanismos de difusión y acceso público.
  - Fortalecimiento de los mecanismos institucionales para la participación social en la toma de decisiones para la conservación y uso sustentable de la biodiversidad, especialmente en el nivel local.

ii. Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025

Este instrumento propone una hoja de ruta en materia de gestión de los recursos hídricos con miras al 2025. Dentro de sus ejes estratégicos se establecen:

- **Gestión eficiente y sustentable:**
  - **Establecer política que incentive la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH):** busca contar con un conocimiento profundo de la disponibilidad y calidad del agua, de las condiciones en que se aprovecha ésta y de los objetivos de cada cuenca, de modo de identificar las acciones y medidas deseables y viables para cada cuenca en particular, a través de instancias de coordinación y participación entre los actores involucrados.
  - **Protección de la calidad de los recursos hídricos:** a través de la implementación plena de los instrumentos para el control de la contaminación previstos en la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente, como las normas de calidad ambiental de las aguas y los planes de prevención y de descontaminación asociados. Asimismo, constituye un

objetivo prioritario prevenir la contaminación difusa de las aguas superficiales y subterráneas.

- **Protección de la cantidad de los recursos hídricos:** busca, entre otras acciones, aumentar la eficiencia en el uso del agua a través de acciones como incentivo a la inversión privada en tecnificación del riego; fomento a la inversión en obras medianas de riego que promuevan la gestión eficiente del recurso; y la fijación de los criterios para el establecimiento del caudal ecológico mínimo en el acto de constitución de nuevos derechos de aprovechamiento de agua.

- **Enfrentar la escasez:**
  - **Desalación:** Se promoverá el uso de agua desalada en aquellas regiones o zonas del país en que no exista suficiente disponibilidad del recurso proveniente de fuentes convencionales, y en que el desarrollo económico de las mismas haga viable la aplicación de este tipo de solución.
  - **Otras fuentes de agua no convencionales:** Se estudiarán y evaluarán fuentes no convencionales de agua, tales como la conducción de caudales de agua desde cuencas con disponibilidad del recurso hacia cuencas del país que presentan escasez por medio de ductos submarinos o terrestres y el bombardeo de nubes, entre otros. La implementación de éstas y otras medidas dependerá de las necesidades, los costos y su utilidad para paliar el déficit de agua, por lo que se dará prioridad a aquellas alternativas que respondan de mejor forma a las necesidades del país.

III. Marco internacional

i. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

A nivel mundial, el Programa de Desarrollo para las Naciones Unidas (PNUD), ha establecido los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Mundiales, los cuales son un llamado para adoptar medidas que pongan fin a la pobreza, protejan el planeta y garanticen que todas las personas gocen de paz y prosperidad. Chile, como estado miembro del PNUD, suscribió y comprometió el cumplimiento de este programa. Dentro de estos objetivos, se encuentra “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”, el cual define entre sus metas:

- De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.
- De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.

- De aquí a 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos. Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento.

Adicionalmente, estudios hacen referencia a la problemática central. Según el informe "Evaluaciones del desempeño ambiental: Chile 2016" de la OCDE, en la última década Chile ha logrado avances considerables en materia de política ambiental. Sin embargo, existen desafíos relevantes en torno a los recursos hídricos. Uno de estos desafíos es la escasez y contaminación del agua, especialmente en zonas donde se concentra la agricultura y la minería.

En relación a la calidad de agua, el informe de la OCDE señala que es en la región central del país donde existen los principales problemas de contaminación. El limitado acceso a plantas de tratamiento de aguas servidas, sumado a las grandes escorrentías de tierras agrícolas han implicado una acumulación de residuos orgánicos en los estuarios, humedales y lagos costeros. Asimismo, en el norte del país la actividad minera ha generado un aumento en los niveles de cobre y sales en algunos ríos.

El informe de la OCDE señala que Chile, entre otras medidas, debe:

- Adoptar normas secundarias de calidad de las aguas superficiales para la mayoría de las cuencas fluviales del norte, que son particularmente afectadas por la minería.
- Diseñar normas adecuadas para las aguas subterráneas.
- Mejorar la obtención de datos para evaluar el estado de los cuerpos de agua y las zonas costeras.
- Eliminar la práctica que tienen algunos municipios de descargar aguas servidas en el mar tras sólo realizar un tratamiento primario.
- Recopilar datos oficiales acerca del tratamiento de aguas en zonas rurales.

Complementariamente, según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), todavía se está a tiempo para que los estados decidan frenar la contaminación y restablecer la calidad de los ríos y lagos ya contaminados. Para ello, la UNEP recomienda:

- Monitorización, ya que medir constantemente y recabar datos permite comprender la magnitud del desafío mundial respecto de la calidad del agua. Se debe enfatizar el monitoreo de ríos acerca de los cuales no se tienen datos.
- Evaluaciones, toda vez que se requiere identificar lugares prioritarios y acciones recomendadas.
- Implementar nuevas opciones técnicas y de gestión, ya que los países en desarrollo tienen la oportunidad de implementar opciones técnicas modernas

para gestionar la calidad del agua, dejando de lado enfoques tradicionales que en otros países no lograron los resultados esperados

- Establecer instituciones efectivas, puesto que se necesita crear instituciones fuertes, con recursos, que puedan implementar las acciones correctas para controlar la contaminación del agua

6.3.3.2.1.2 Cuantificación del problema

La cuenca del río Loa, enfrenta un deterioro multicausal de su calidad ambiental. En la actualidad el río Loa es utilizado por distintos actores (poblados, comunidades indígenas, empresas mineras) como una de las principales fuentes de captación de agua para propósitos agropecuarios, urbanos y sanitarios.

Dentro de estos usos en la cuenca, la industria minera posee una gran predominancia, debido a que en este lugar se encuentran los mayores yacimientos de cobre del país, lo que ha llevado a un aumento del consumo de recurso hídrico para los distintos procesos que se requieren en las faenas. En este sentido, la demanda de la cuenca proveniente del sector minero bordea el 60% del total. Asimismo, las demandas de aguas subterráneas devienen principalmente del sector minero con un 80%, seguido por el sector sanitario y otros usos con un 20%.

De esta forma, se ha provocado una disminución de los recursos hídricos disponibles, traduciéndose en una problemática persistente entre las mineras y los usuarios agrícolas. En el caso de Calama, se ha visto disminuida el área agrícola producto de la pérdida de los suelos cultivables a raíz de la expansión de la ciudad sobre estos terrenos por el incremento de la población derivada del auge de la actividad minera. En el caso de Quillagua, el problema se ha desencadenado por el desecamiento y contaminación de las aguas del río Loa. Si bien esta situación se atribuye a la actividad minera en diversos medios de comunicación, no existe información oficial de las causas de esta situación.

Así, el bajo caudal medio anual del río Loa sumado a la presión de uso por las actividades económicas, generan estrés sobre la biota lo que provoca pérdida de la biodiversidad. Complementariamente, el cambio climático está provocando un cambio en la distribución de las precipitaciones las que, si bien son escasas, son de mayor intensidad lo que permite una recarga de los acuíferos.

A través del estudio “Diagnóstico del Caudal Ambiental del Río Loa, Región de Antofagasta” fue posible determinar el caudal mínimo necesario para abastecer los distintos requerimientos ecosistémicos en 10 Áreas de Evaluación de la Condición (AEC) (Palpana, Calina, Ayquina, Lasana, Chiu Chiu, Calama Alto, Calama Medio, Calama Bajo, Coya y Quillagua) y según 4 componentes:

- **Componente de requerimientos sociales:**
  - Uso de recursos permanentes para provisión de agua de bebida a la comunidad (consuntivos).
  - Uso de recursos permanentes o eventuales para mantención y desarrollo de actividades ancestrales (consuntivos y no consuntivos).
  - Uso de recursos para el desarrollo de actividades productivas de sustento básico y de identidad de la región (consuntivos).
- **Componente de requerimientos ecológicos:**
  - Recursos pasantes para la mantención de la altura y velocidad en la sección que dan origen al hábitat de la biota (no consuntivos).
  - Cantidad del recurso necesario para la mantención de niveles adecuados de otras variables relevantes como, por ejemplo, salinidad, temperatura, entre otras (no consuntivos).
- **Componente de servicios relevantes para el desarrollo (estratégicos):**
  - Recursos utilizados para el desarrollo de actividades fundamentales para el desarrollo de la(s) comunidad(es) y la región (consuntivos y no consuntivos).
  - Recursos de aprovisionamiento futuro considerados para el crecimiento y desarrollo en la región (consuntivos).
- **Componente de servicios relevantes para usuarios (no estratégicos):**
  - Recursos para la mantención de condiciones hidráulicas que permitan usos derivados, como pesca y recreacionales (no consuntivos).
  - Recursos destinados para la producción agropecuaria no básica, pero de interés para la población, como aquellos recursos que pueden ser obtenidos fuera de la región (consuntivos).

En función del requerimiento de cada componente, el caudal ambiental y el porcentaje de abastecimiento según la disponibilidad actual se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 6.4. Caudal ambiental según requerimiento social (agua potable) (m^3/s).

AEC	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
01_Palpana	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
02_Calina												
03_Ayquina												
04_Lasana												
05_Chiu_Chiu												
06_Calama_Alto												
07_Calama_Medio	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
08_Calama_Bajo												
09_Coya												
10_Quillagua												

Fuente: Estudio "Diagnóstico del Caudal Ambiental del Río Loa, Región de Antofagasta".

Tabla 6.5. Nivel de abastecimiento según caudal disponible para requerimiento social (agua potable) (%).

AEC	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
01_Palpana	60%	62%	65%	67%	66%	69%	65%	59%	54%	60%	66%	62%
02_Calina												
03_Ayquina												
04_Lasana												
05_Chiu_Chiu												
06_Calama_Alto												
07_Calama_Medio	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
08_Calama_Bajo												
09_Coya												
10_Quillagua												

Fuente: Estudio "Diagnóstico del Caudal Ambiental del Río Loa, Región de Antofagasta".

Tabla 6.6. Caudal ambiental según requerimiento ecológico (m^3/s).

AEC	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
01_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
02_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
03_Ayquina												
04_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
05_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
06_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
07_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
08_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
09_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
10_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: Estudio "Diagnóstico del Caudal Ambiental del Río Loa, Región de Antofagasta".

Tabla 6.7. Nivel de abastecimiento según caudal disponible para requerimiento ecológico (%).

AEC	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
01_Palpana	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
02_Calina	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
03_Ayquina												
04_Lasana	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
05_Chiu_Chiu	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
06_Calama_Alto	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
07_Calama_Medio	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
08_Calama_Bajo	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
09_Coya	72%	100%	100%	100%	100%	100%	85%	64%	53%	48%	98%	73%
10_Quillagua	33%	81%	100%	100%	100%	100%	73%	34%	28%	21%	23%	17%

Fuente: Estudio "Diagnóstico del Caudal Ambiental del Río Loa, Región de Antofagasta".

Tabla 6.8. Caudal ambiental según requerimiento desarrollo (riego e industria) (m^3/s).

AEC	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
01_Palpana												
02_Calina	0,09	0,09	0,09	0,10	0,11	0,14	0,15	0,15	0,12	0,12	0,09	0,09
03_Ayquina	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
04_Lasana	0,30	0,28	0,28	0,34	0,40	0,51	0,57	0,56	0,42	0,39	0,31	0,29
05_Chiu_Chiu	0,16	0,15	0,15	0,21	0,28	0,37	0,43	0,41	0,26	0,24	0,17	0,15
06_Calama_Alto	0,33	0,35	0,45	0,52	0,67	0,77	1,11	1,23	1,12	0,77	0,59	0,42
07_Calama_Medio	0,25	0,27	0,34	0,40	0,51	0,58	0,84	0,93	0,84	0,58	0,45	0,32
08_Calama_Bajo	0,37	0,38	0,43	0,47	0,55	0,60	0,78	0,84	0,78	0,60	0,51	0,41
09_Coya	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
10_Quillagua	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06

Fuente: Estudio "Diagnóstico del Caudal Ambiental del Río Loa, Región de Antofagasta".

Tabla 6.9. Nivel de abastecimiento según caudal disponible para requerimiento de desarrollo (%).

AEC	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
01_Palpana												
02_Calina	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
03_Ayquina	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
04_Lasana	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
05_Chiu_Chiu	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
06_Calama_Alto	100%	100%	100%	100%	100%	100%	89%	71%	77%	100%	100%	100%
07_Calama_Medio	100%	100%	100%	100%	100%	100%	63%	46%	48%	100%	100%	100%
08_Calama_Bajo	68%	100%	100%	100%	100%	54%	26%	16%	14%	32%	86%	80%
09_Coya	0%	60%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
10_Quillagua	0%	0%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Fuente: Estudio "Diagnóstico del Caudal Ambiental del Río Loa, Región de Antofagasta".

Tabla 6.10. Caudal ambiental según requerimiento desarrollo (riego e industria) (m^3/s).

AEC	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
01_Palpana	0,33	0,34	0,36	0,37	0,37	0,38	0,36	0,33	0,30	0,33	0,37	0,34
02_Calina	0,85	0,86	0,85	0,86	0,86	0,83	0,83	0,82	0,80	0,87	0,91	0,92
03_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
04_Lasana												
05_Chiu_Chiu												
06_Calama_Alto	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
07_Calama_Medio	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
08_Calama_Bajo	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
09_Coya	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
10_Quillagua												

Fuente: Estudio "Diagnóstico del Caudal Ambiental del Río Loa, Región de Antofagasta".

Tabla 6.11. Nivel de abastecimiento según caudal disponible para requerimiento de desarrollo (%).

AEC	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
01_Palpana	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
02_Calina	96%	97%	96%	97%	96%	93%	93%	91%	89%	98%	100%	100%
03_Ayquina	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	83%	94%	100%	100%	100%
04_Lasana												
05_Chiu_Chiu												
06_Calama_Alto	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
07_Calama_Medio	100%	100%	100%	100%	100%	100%	36%	0%	6%	100%	100%	100%
08_Calama_Bajo	97%	100%	100%	100%	100%	100%	84%	68%	63%	85%	100%	100%
09_Coya	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
10_Quillagua												

Fuente: Estudio "Diagnóstico del Caudal Ambiental del Río Loa, Región de Antofagasta".

A partir de los desarrollos anteriores, en la Tabla 6.12 se presenta el cuadro resumen de caudales ambientales a nivel mensual para cada una de las áreas de estudio.

Tabla 6.12: Caudal ambiental mensual en m^3/s según AEC.

AEC	Caudal ambiental total en m^3/s por Área de Evaluación de la Condición (AEC)											
	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Palpana	0.51	0.52	0.55	0.57	0.56	0.59	0.56	0.50	0.46	0.51	0.56	0.53
Calina	0.85	0.86	0.85	0.86	0.86	0.83	0.83	0.82	0.80	0.87	0.91	0.92
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
Lasana	0.66	0.63	0.64	0.69	0.75	0.86	0.92	0.91	0.77	0.76	0.68	0.67
ChiuChiu	0.78	0.76	0.76	0.82	0.88	0.97	1.04	1.02	0.88	0.88	0.83	0.80
Calama Alto	0.93	0.95	1.05	1.15	1.29	1.39	1.72	1.83	1.72	1.42	1.34	1.03
Calama Medio	0.71	0.73	0.81	0.87	0.98	1.04	1.29	1.38	1.30	1.07	1.00	0.80
Calama Bajo	0.52	0.54	0.59	0.63	0.71	0.75	0.93	0.99	0.93	0.76	0.68	0.58
Coya	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
Quillagua	0.91	0.95	1.06	1.13	1.09	1.02	0.95	0.92	0.94	0.98	1.00	0.94

En función de los caudales demandados y disponibles, se define el déficit del caudal actual respecto del caudal ambiental requerido:

Tabla 6.13. Déficit actual respecto al caudal ambiental requerido (m^3/s).

AEC	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
01_Palpana	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02_Calina	-0,04	-0,03	-0,04	-0,03	-0,03	-0,06	-0,06	-0,07	-0,09	-0,02	0,02	0,03
03_Ayquina	0,03	0,05	0,07	0,07	0,05	0,04	0,00	-0,02	-0,01	0,10	0,21	0,09
04_Lasana	1,12	1,13	1,13	1,06	1,01	0,85	0,81	0,79	0,92	1,04	1,18	1,25
05_Chiu_Chiu	0,64	0,65	0,66	0,58	0,52	0,40	0,35	0,33	0,47	0,56	0,66	0,73
06_Calama_Alto	0,62	0,65	0,60	0,69	0,47	0,32	-0,12	-0,36	-0,26	0,39	1,30	0,64
07_Calama_Medio	0,27	0,40	0,44	0,47	0,29	0,05	-0,31	-0,50	-0,43	0,01	0,63	0,29
08_Calama_Bajo	-0,12	0,11	0,24	0,20	0,05	-0,28	-0,57	-0,71	-0,67	-0,41	-0,07	-0,08
09_Coya	-0,29	-0,03	0,14	0,38	0,27	0,06	-0,19	-0,36	-0,45	-0,51	-0,09	-0,31
10_Quillagua	-0,63	-0,23	0,46	0,81	0,59	0,17	-0,30	-0,63	-0,69	-0,79	-0,78	-0,80
TOTAL	**-0,63**	**-0,23**	**-0,04**	**-0,03**	**-0,03**	**-0,28**	**-0,57**	**-0,71**	**-0,69**	**-0,79**	**-0,78**	**-0,80**

Fuente: Estudio "Diagnóstico del Caudal Ambiental del Río Loa, Región de Antofagasta".

Como se observa en la Tabla 6.13, la cuenca del río Loa presenta un déficit mensual para satisfacer los requerimientos de la población, influyendo directamente en la sostenibilidad de las actividades productivas y calidad de vida de estos habitantes.

Este resultado evidencia una de las subcausas identificadas en el árbol de problemas (Figura 6.10), la cual corresponde a la "Disminución de caudal del río". Esta disminución del caudal

del río, tal como se explica en el Capítulo 4: “Desarrollo OE-2” del presente informe, es producto de las presiones ejercidas sobre el sistema y bajo un escenario “natural” del río el déficit respecto al caudal ambiental es nulo.

6.3.3.2.1.3 Fuentes de información

- Estudio “Diagnóstico del Caudal Ambiental del Río Loa, Región de Antofagasta”. 2020.
- Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta. 2016. Ministerio de Obras Públicas.
- Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021, Región de Antofagasta. 2012. Ministerio de Obras Públicas.
- Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta. 2016. Ministerio de Obras Públicas.
- Gobierno Regional de Antofagasta.
- Comisión Nacional de Medio Ambiente.
- Plan de Desarrollo Comunal, Ilustre Municipalidad de Calama.

6.3.3.2.2 Justificación de la necesidad del programa

Como se observa en el árbol de problemas, una de las causas asociadas a la problemática central está relacionada con la presión de uso de la cuenca del río Loa, lo cual conlleva un déficit del caudal disponible para satisfacer los requerimientos a nivel global del territorio.

A partir de esta problemática, se identifica el siguiente árbol de objetivos:

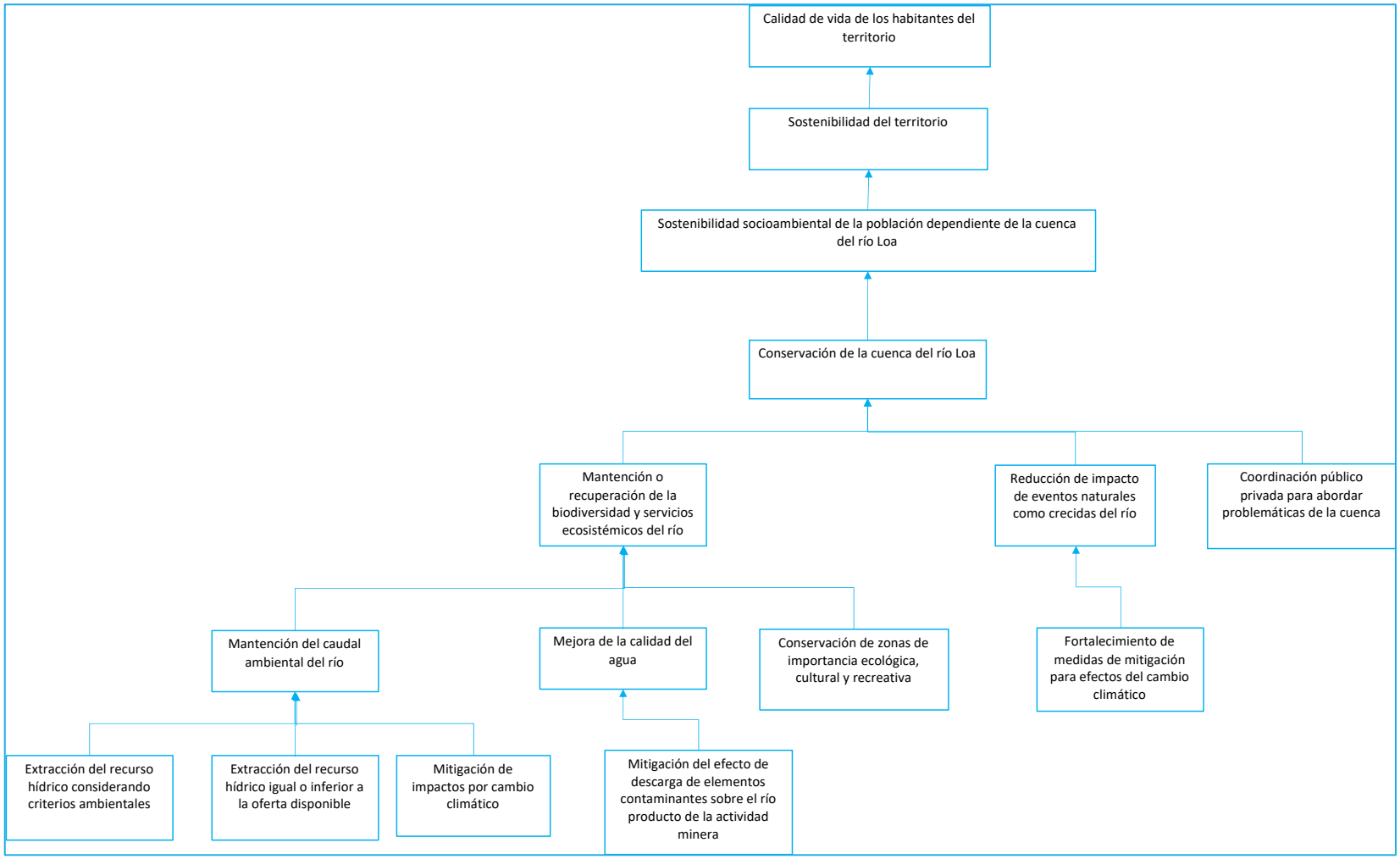


Figura 6.11 Árbol de objetivos.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de este árbol, se identifican las siguientes alternativas de solución:

Tabla 6.14. Alternativas de solución.

Causa	Alternativa de solución
Extracción del recurso hídrico sin considerar criterios ambientales.	Generación de normas u otros instrumentos de gestión ambiental, para regular la extracción del recurso hídrico bajo criterios ambientales.
Alta extracción del recurso hídrico, cuyo volumen supera la oferta hídrica disponible.	Generación de fuentes alternativas de abastecimiento de agua.
Impacto negativo por cambio climático.	Generación de fuentes alternativas de abastecimiento de agua.
Descarga de elementos contaminantes.	Generación de normas para regular las descargas de contaminantes. Recuperación o descontaminación de sitios de importancia ecológica.
Deterioro de zonas de importancia ecológica, cultural y recreativa.	Recuperación de sitios de relevancia ecológica, cultural y recreativa.
Inexistencia de medidas de mitigación para efectos del cambio climático.	Implementación de obras de mitigación para crecidas y desbordes del río.
Escasa integración de involucrados para conservación del ecosistema.	Implementación de instancias de coordinación público privadas para la gestión de la cuenca. Desarrollo de capacidades en la comunidad para su participación activa en la gestión de la cuenca.

Fuente: Elaboración propia en base a árbol de problemas y objetivos.

Este programa busca dar solución a tres de las causas basales identificadas, en particular la "Alta extracción del recurso hídrico", "Deterioro de zonas de importancia ecológica, cultural y recreativa" y "Escasa integración de involucrados para conservación del ecosistema".

En el caso de la integración de actores, se espera que a través de un trabajo coordinado puedan codiseñarse y desarrollarse planes de acción conjunta para la definición de normas de regulación que involucren a actores de alcance nacional y también, que puedan definirse aquellas obras de mitigación para crecidas y desbordes que requieren de una alta inversión pública. De esta forma, si bien son alternativas de solución que no serán abordadas por este programa dado que requieren previamente la coordinación de los actores involucrados, se espera sentar las bases para su desarrollo en el mediano plazo.

Para ello, se proponen 3 componentes:

- **Componente 1:** Definición de alternativas de abastecimiento. Comprende la evaluación ambiental, técnica y económica de alternativas para el abastecimiento de agua de la población que satisfagan los requerimientos en al menos uno de los ámbitos establecidos, es decir, ámbito de desarrollo productivo, ámbito ecológico, ámbito social o ámbito de usuarios.

- **Componente 2:** Recuperación de sitios de relevancia. Comprende la elaboración de planes de intervención para sitios de importancia ecológica, hidrológica y socio-productivos, de modo de disminuir su deterioro y asegurar la sustentabilidad en su uso por parte de la población. La elaboración de estos planes incorporará análisis de costos, factibilidad técnica y búsqueda de alternativas de financiamiento, además de la implementación de al menos tres de ellos durante el segundo año de ejecución de este programa.
- **Componente 3:** Gestión efectiva del programa. Comprende el establecimiento de una gobernanza público – privada que gestione la posterior implementación de las iniciativas identificadas con esta propuesta, además de generar acciones para dar solución a los factores causales que no son abordados con esta propuesta. Asimismo, incluye la generación de capital social a través de la sensibilización de la comunidad afectada por la problemática y de los actores públicos y privados con ámbito de acción en el territorio.

6.3.3.2.2.1 Experiencias previas

A nivel nacional e internacional, se han desarrollado iniciativas públicas y privadas, cuyo propósito es la búsqueda de fuentes alternativas de abastecimiento hídrico, ya sea con fines productivos, industriales y sociales. Dentro de éstas, se encuentran las siguientes:

i. **NEWater de Singapur**[18].

Singapur ha implementado una estrategia de reutilización del agua, mediante el cual pretende alcanzar una cobertura de más de un 50% de la demanda en el año 2060. Para producir este recurso, Singapur cuenta con cuatro plantas de tratamiento de aguas, en Bedok (2002; 82.000 m3/día), Kranji (2002; 100.030 m3/día), Ulu Pandan (2007; 148.000 m3/día) y Changi (2009; dos plantas con 228.000 m3/día). Además, está prevista la ampliación de una de estas plantas (Kranji con 22.730 m3/día más) y la construcción de una nueva (Tuas) con 228.000 m3/día

El tratamiento que se aplica está basado primero en un tratamiento convencional de aguas residuales, posteriormente en un sistema de micro y ultra filtración a través de determinadas membranas, luego una osmosis inversa y finalmente la aplicación de rayos ultravioleta que permite desinfectar de bacterias el agua y obtener una pureza adecuada. Asimismo, al final del proceso y en función del uso posterior, se adicionan algunos productos químicos alcalinos para restaurar el equilibrio del pH. Este tratamiento, que ha sido sometido a numerosos test científicos, cumple con los

[18] https://www.iagua.es/blogs/eduardo-perero/newater-aceptacion-social-uso-agua-regenerada-caso-singapur

estándares de agua potable establecidos tanto de la Organización Mundial de la Salud (OMS) como de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA)

La utilización principal de esta agua es esencialmente industrial y para distintos sistemas de refrigeración. Solamente durante los meses secos, el agua procedente de la reutilización se mezcla con la existente en embalses para su utilización como agua potable.

Una de las ventajas del agua regenerada frente a la desalación, es que se puede ajustar la calidad del agua en el proceso de tratamiento, en función de su destino, además de suponer un recurso disponible localmente. Asimismo, con la instalación de sistemas de recogida de aguas residuales diferenciadas por su composición, se permite optimizar los tratamientos a desarrollar en cada caso según su origen. Este diseño de diferenciación según su origen y destino permite optimizar las plantas y sus procesos y, por tanto, ajustar los recursos a las necesidades en cada momento.

Uno de los aspectos que se considera más significativos de la experiencia NEWater es cómo han desarrollado y sigue desarrollando toda una serie de acciones proactivas para mejorar la aceptación social del uso de agua regenerada, lo que ha permitido involucrar a todos los niveles de la sociedad. Así, se han implementado acciones desde clásicos programas de educación hasta novedosos planes de comunicación que permiten convencer al ciudadano que NEWater es salubre para el consumo y a la industria, que el agua resulta adecuada a sus necesidades.

Entre estas acciones se encuentran actividades informativas a miembros del parlamento e implicación de los medios de comunicación, además de crear un Centro de Visitantes de Información sobre NEWater, en el cual existen distintos programas educativos y científicos para estudiantes, aula al aire libre y la generación de embajadores del agua.

Para convencer a determinadas industrias se construyó una planta piloto para simular condiciones de fábrica similares, para que pudieran probar el uso de agua regenerada en sus procesos y fuera testada por los propios responsables de dichas fábricas.

Para la ciudadanía, una pequeña proporción de esta agua se mezcla con agua rica en nutrientes que se encuentra almacenada en depósitos de lluvia, y una vez procesada se embotella. Dichas botellas se distribuyen gratuitamente en distintos eventos, con la finalidad de dar a conocer este proyecto a la ciudadanía y poder facilitar la aceptación social del mismo.

Parte del éxito también, ha sido la capacidad de desarrollar un ecosistema de empresas, técnicos y profesionales que trabajan en la materia y atraer el

conocimiento de expertos de todo el mundo, que además de conocimiento generan confianza en la sociedad de que se están aplicando las tecnologías más avanzadas del momento.

ii. Proyecto "Desalinización de aguas salobres mediante electrodiálisis y energía solar fotovoltaica para uso agrícola en la localidad de Quillagua, Antofagasta". Código PYT-2010-0159.[19]

Este proyecto se ejecuta en 2010 por la Universidad Católica del Norte con financiamiento FIC Región de Antofagasta y FIA. Quillagua, integra la red de localidades dependientes de la comuna de María Elena (Provincia de Tocopilla, Región de Antofagasta). Los habitantes de Quillagua, viven principalmente de la explotación de pequeños predios agrícolas de su pertenencia, siendo sus principales productos alfalfa y maíz. Hasta 2010 han utilizado el sistema agroforestal para producción de sus cultivos, los que han decaído por graves alteraciones de la cantidad y calidad de las aguas del río Loa. Esta situación afecta la calidad de vida de la población, lo cual influye directamente en el desarrollo de esta comunidad, la que de seguir en esta situación tiene una proyección futura bastante negativa. Si a este problema, se le suma la falta de energía eléctrica, dificulta cualquier solución tecnológica disponible. Las aguas superficiales provenientes del río Loa, contienen alta salinidad y elevados niveles de arsénico y boro, por lo que no es apto ni para consumo ni para el riego agrícola. En la actualidad, el agua potable es llevada a través de camiones aljibe, la que es utilizada sólo para satisfacer las necesidades básicas del consumo humano, por lo que la incipiente agricultura tiene que utilizar las aguas salobres contaminadas del río Loa. En tal sentido, surge la necesidad de resolver de manera sustentable el problema del agua para que esta localidad vuelva a resurgir como un oasis agrícola en medio del desierto, mediante una agricultura más tecnificada que les permita cultivar productos como el tomate, entre otras hortalizas, y pueda atender las necesidades de hortalizas frescas de las comunas cercanas de María Elena, Calama y Antofagasta. Este proyecto buscó usar la tecnología de electrodiálisis para la desalinización y remoción de arsénico y boro de las aguas contaminadas del río Loa. Se eligió la Electrodiálisis (ED) porque era la única tecnología de desalinización que permitía regular la calidad del agua tratada (desalinizada). Esta tecnología es ampliamente utilizada por las grandes empresas como las mineras o sanitarias de la Región de Antofagasta debido a que permite obtener altas tasas de producción de agua desalinizada a menor tiempo, pero con grandes consumos de energía eléctrica. Esto último hace inviable para pequeñas poblaciones que no cuentan con una actividad económica que le permita sustentar

[19] https://www.opia.cl/601/w3-article-7162.html

la desalinización del agua salobre superficial o subterránea. Para salvar la dependencia de la energía eléctrica, se utilizó la energía solar fotovoltaica que genera corriente continua de aplicación inmediata para el proceso de ED propuesto.

iii. Proyecto "Reúso de agua servida para la producción de flores de corte en un sistema aeropónico recirculante". Código PYT-2015-0171.[20]

Este proyecto ejecutado en 2015 por la Universidad Arturo Prat con el financiamiento de FIA, se origina dado que la región de Tarapacá presenta una condición de escasez hídrica basado principalmente en la disponibilidad de agua natural continental confinada principalmente en acuíferos que sustenta los diferentes usos (minería, agricultura, industria y población), y que en las principales cuencas la demanda supera la oferta generando limitaciones para nuevos emprendimientos. A partir de estos antecedentes se hizo necesario diversificar la matriz del agua a través de la desalinización del agua de mar y el reúso del agua residual urbana. Otro aspecto asociado también al recurso hídrico es la eficiencia en el uso, donde el 70% de la actividad agrícola de la región de Tarapacá se riega por inundación que presenta una eficiencia de riego entre un 40 a 50%; y, además los cultivos regados con sistema presurizados, tales como goteo, generan procesos de contaminación difusa a los acuíferos o cursos superficiales de agua. A partir de estos antecedentes se propone en este proyecto la reutilización de aguas residuales urbanas tratadas para la evaluación y desarrollo comercial de la aeroponía para producción de flores de corte. El resultado marco será generar una propuesta de modelo de negocio agrícola para la Región de Tarapacá, que permitirá redireccionarse hacia una agricultura familiar campesina sustentable, innovadora, competitiva y con impacto social por la demanda de mano de obra directa e indirecta.

iv. Aguas Residuales como nueva fuente de agua. Diagnóstico del potencial reúso de aguas residuales en la Región de Valparaíso. Gobierno Regional de Valparaíso. Código BIP 30351025-0.

Este proyecto, adjudicado por Fundación Chile en 2014 y financiado por el Gobierno Regional de Valparaíso, plantea sentar en la discusión una de las opciones de "nueva fuente de agua", como lo es el agua residual tratada. Esto a través del desarrollo de un modelo conceptual que permita evaluar diferentes escenarios de reúso de las aguas residuales tratadas, como por ejemplo las que provienen de los emisarios submarinos, que son aguas que actualmente están siendo desaprovechadas, al ser

[20] https://www.opia.cl/601/w3-article-3500.html

descargadas al mar, y cuyo volumen, sólo en la región de Valparaíso, alcanzaría para regar 27 mil ha de uva, con descarga anual que supera los volúmenes de los embalses proyectados.

El proyecto realiza un análisis estratégico de la Región de Valparaíso, considerando el agua como un bien compartido por diferentes usuarios en un territorio común. El alcance del análisis establece como potenciales beneficiarios a la agricultura, industria y minería quienes al aprovechar estas aguas pueden potencialmente dejar agua disponible en los acuíferos para otros usos, como por ejemplo el consumo humano. Para ello, se levanta un diagnóstico de las fuentes de aguas residuales (oferta); se identifica a los principales consumidores de agua de la región (Huella Hídrica); se ubican las zonas con riesgo hídrico, para determinar una demanda potencial por el agua de reúso, y se realiza una evaluación técnico-económica, para la implementación del sistema de reúso de aguas residuales en la región.

v. Proyectos privados de la industria minera para desalinización de agua[21].

La angloaustraliana BHP Billiton en su principal yacimiento, Escondida, ha invertido a fines de 2019 más de US$ 4.000 millones en plantas desalinizadoras. Partió con la primera planta de la industria en 2006, sumó una segunda en 2018 y ahora está ejecutando una nueva ampliación. La inversión ha permitido a Escondida reducir gradualmente su consumo de agua desde acuíferos altoandinos. A noviembre de 2019 ese consumo fue de un 32% (del total) y a partir de 2020 ese porcentaje caerá a no más del 12%. Para sus faenas de Cerro Colorado y Spence también se tiene en marcha la construcción de plantas desaladoras.

En el caso de Antofagasta Minerals (AMSA), en tanto, el 45% de toda el agua utilizada en sus faenas proviene del mar, incrementando dicho porcentaje desde un 9% en 2008. Hoy sus operaciones de Michilla y Antucoya se abastecen completamente de agua de mar (desalada o en estado natural), en Centinela la mayor parte también proviene de esa fuente, mientras que en Los Pelambres (Región de Coquimbo) el proyecto Infraestructura Complementaria (INCO), que inició su construcción a mediados de 2019, incluye una planta desaladora cuyo uso está planificado para períodos de escasez hídrica.

Finalmente, Anglo American tiene la meta de reducir en 50% la extracción de agua fresca en zonas con escasez hídrica al año 2030. Entre los ejes que tiene su plan está

[21] Fundación Terram. https://www.terram.cl/2019/12/escasez-hidrica-empuja-a-las-mineras-a-abandonar-el-uso-de-agua-fresca/

la búsqueda de fuentes de abastecimiento alternativas, como aguas residuales de procesos sanitarios y termoeléctricos.

En función de las experiencias previas descritas, es posible señalar que a nivel nacional e internacional se ha realizado la búsqueda de alternativas de abastecimiento hídrico como solución a escenarios de escasez hídrica. Dentro de estas alternativas, se puede mencionar el tratamiento de aguas residuales, procesos de desalinización e infiltración. La selección de la mejor alternativa, dependerá del propósito final de modo de ajustar la solución a los fines productivos, industriales o sociales definidos. Asimismo, y como se observa en la experiencia de Singapur, el involucramiento de la comunidad y los stakeholders, es clave para el éxito de la alternativa implementada ya que permite el desarrollo del capital social en torno a la problemática y facilita la sostenibilidad de largo plazo.

6.3.3.3 Factores de riesgo

Tabla 6.15. Factores de riesgo identificados para el programa

Riesgo	Tipo	Probabilidad	Plan de contingencia
Baja participación de comunidades en el modelo participativo de gestión del territorio	Interno	Baja	a) Complementar la iniciativa con una Gira Tecnológica para mostrar iniciativas similares a nivel internacional y demostrar su importancia y valor. b) Incrementar la participación a través de reuniones adicionales dirigida a cada público objetivo y con los directores y profesores de escuelas certificadas a modo de motivarlos a participar activamente en el programa. c) Crear un reconocimiento anual asociado al cuidado del territorio.
Inexistencia de alternativas de abastecimiento que sean técnica, económica y ambientalmente viables para el territorio.	Externo	Baja	a) Diseño de iniciativas de innovación que puedan abordar los requerimientos de abastecimiento en el territorio.

Fuente: elaboración propia.

6.3.4 Objetivos

6.3.4.1 Fin

Contribuir a la sustentabilidad social, ambiental y económica de las comunas aledañas a la Cuenca del río Loa, mediante el aseguramiento de la disponibilidad del caudal ambiental requerido en el territorio.

6.3.4.2 Propósito

El territorio de influencia de la cuenca del río Loa cuenta con planes de acción técnica, ambiental y económicamente viables para asegurar el caudal ambiental y conservación del recurso hídrico además de promover la recuperación de sitios de importancia ecológica, cultural y recreativa en el territorio. Lo anterior, a través de un trabajo coordinado entre los actores públicos y privados involucrados y la población afectada.

6.3.5 Poblaciones

6.3.5.1 Población de referencia

La población afectada por el problema antes descrito, corresponde a los habitantes de las comunas de Antofagasta, Calama, María Elena, Mejillones, Ollagüe, Tocopilla y Sierra de la Región de Antofagasta, dado que son éstas las usuarias de la cuenca. En este territorio, la población total localizada es de 172.188[22] personas, distribuida de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 6.16. Población de referencia.

Comuna	Mujeres	Hombres	Total
Antofagasta	180.027	181.846	361.873
Calama	79.682	86.049	165.731
María Elena	2.365	4.092	6.457
Mejillones	5.432	8.035	13.467
Ollagüe	114	207	321
Tocopilla	12.705	12.481	25.186
Sierra Gorda	1.524	8.662	10.186
Total	**281.849**	**281.849**	**281.849**

Fuente: Censo 2017, INE.

6.3.5.1.1 Descripción de la población

Contexto general

La Región de Antofagasta presenta una superficie regional aproximada de 500 kilómetros de longitud, y abarca un área de 126.049,1 kilómetros cuadrados, equivalentes al 16,7% del territorio nacional divididas en las provincias de Antofagasta, El Loa y Tocopilla. Según el Censo 2017[23], cuenta con una población de 607.534 habitantes (315.014 hombres y 292.520 mujeres). La principal actividad productiva de la región es la minería, aportando cerca del 50% del PIB regional. A la actividad minera le siguen en importancia para la región las actividades de construcción; con un aporte del 13%, duplicando la importancia relativa que este sector posee a nivel nacional, y los servicios financieros y empresariales; con un aporte a la actividad de la región del 12%[24].

[22] http://resultados.censo2017.cl/Region?R=R02.
[23] www.censo2017.cl.
[24] Reportes estadísticos distritales 2017. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

La cuenca del río Loa, es un recurso esencial para la sustentabilidad de la región y se ubica administrativamente en las regiones de Tarapacá y Antofagasta y cubre una superficie total de 33.570 km^2 con perímetro que alcanza una extensión de 874 km. Esta cuenca limita al norte con la Cuenca Pampa del Tamarugal; al sur, con Cuencas Quebrada Caracoles y Salar de Atacama; al oriente con Cuencas Fronterizas Michincha; y al poniente, con Cuencas Costeras Quebrada Caracoles.

El río Loa es el principal curso de agua que recorre el Desierto de Atacama y el único que desemboca en el mar. Su hoya abarca las comunas de Calama y María Elena, siendo el poblado urbano más grande la ciudad de Calama. En las zonas altas de la cuenca se emplazan diversas localidades con presencia de comunidades indígenas, principalmente atacameñas, pertenecientes al Área de Desarrollo Indígena (ADI) Alto el Loa, mientras que en las cercanías de la desembocadura del río se encuentra el poblado de Quillagua.

En la cuenca del río Loa se desarrolla parte de la agricultura de la región, concentrando aproximadamente el 38% del total de superficie regada. En los últimos años (1975-2014) se ha observado un decaimiento de la superficie cultivada en más de un 50%[25]. Este escenario podría explicarse dado que en general las comunidades han tenido problemas con el abastecimiento y calidad del recurso hídrico para poder desarrollar la agricultura, debido a las extracciones mineras y a las condiciones naturales del territorio, que explican la presencia de ciertos analitos en el agua y cuya concentración se ve incrementada por dicha actividad minera. Además, muchos de los títulos de agua no han sido regularizados. En general la actividad agrícola se desarrolla para subsistencia en las comunidades o para vender productos en la ciudad de Calama.

El río Loa fue declarado agotado en el año 2000 para otorgamiento de nuevos derechos de aprovechamiento superficial, consuntivo y permanente. Con respecto al agua subterránea, sólo el sector hidrogeológico Salar de Llamara ha sido declarado área de restricción para otorgamiento de nuevos derechos, el año 2012. Complementariamente, en la zona se encuentran protegidos acuíferos y vegas.

[25] Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta. 2016. Ministerio de Obras Públicas.

Figura 6.12 Declaración de agotamiento del Río Loa y sus afluentes. Resolución DGA 197, 14 de febrero de 2000.
Fuente: Observatorio georreferenciado DGA, 2020.

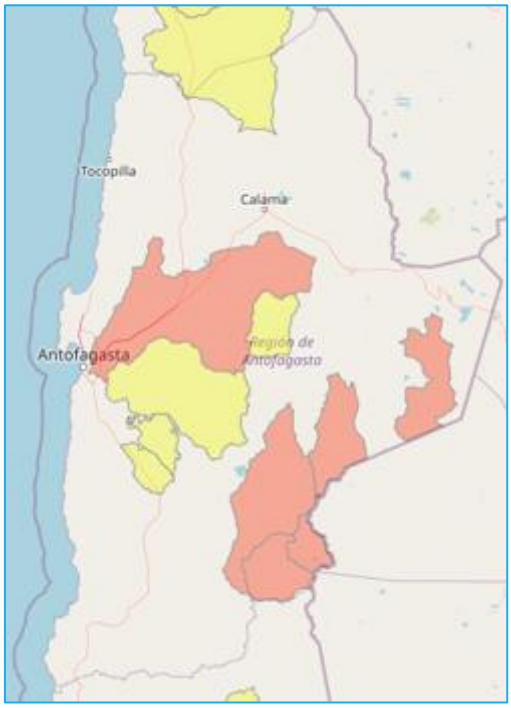


Figura 6.13 Áreas de restricción (amarillo) y zonas de prohibición (rojo), Región de Antofagasta.
Fuente: Observatorio georreferenciado DGA, 2020.

Figura 6.14 Acuíferos protegidos, Región de Antofagasta.
Fuente: Observatorio georreferenciado DGA, 2020.

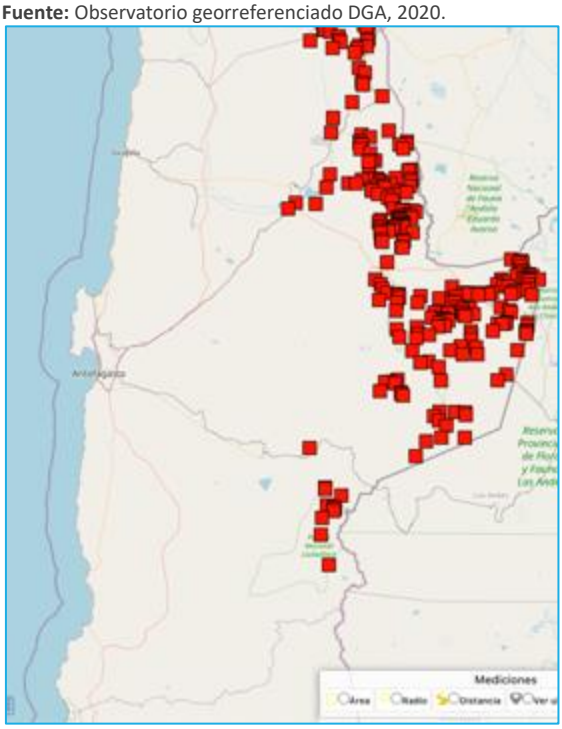


Figura 6.15 Vegas protegidas, Región de Antofagasta.
Fuente: Observatorio georreferenciado DGA, 2020.

En la zona alta de la cuenca, y en los afluentes del río Salado se encuentran las captaciones pertenecientes a Aguas Antofagasta, agua que es extraída para abastecer de agua potable a las ciudades de Calama, Antofagasta, Mejillones, Tocopilla y Sierra Gorda.

En esta cuenca se ubican también importantes faenas mineras, como Chuquicamata, Radomiro Tomic, Minera El Abra y SQM[26].

6.3.5.1.2 Sector Río Loa Alto

En esta zona se encuentran las localidades de Taira, San Pedro Estación y Conchi Viejo. La comunidad de Taira se dedica principalmente a la ganadería para autoconsumo y la producción a pequeña escala de productos de la lana de los animales La localidad de San Pedro Estación, en tanto, vivía de la agricultura y la ganadería, y prácticamente la totalidad de sus habitantes emigraron gradualmente a Calama dada la escasez del agua y problemas de contaminación. En los últimos años se ha planteado una recuperación de la infraestructura y de hectáreas para uso agrícola, lo que está impulsando el regreso de sus antiguos pobladores.

Respecto al uso del agua, en la zona de las vegas protegidas, en las cercanías del afluente río Blanco, hay derechos de la Comunidad Quechua de Ollagüe, equivalentes a 13 L/s. En el río Loa hay solicitudes de regularización de derechos de agua de la Comunidad Indígena Atacameña de Taira y la Comunidad Atacameña de Conchi Viejo, y en el río San Pedro solicitud de regularización para un particular[27].

En la zona de nacimiento del río Loa se encuentran acuíferos y vegas protegidos, al igual que en el río San Pedro (Inacaliri, Ojo de San Pedro, Carcanal, entre otras).

En este tramo del río Loa se encuentran las captaciones de Aguas Antofagasta denominadas Lequena y Quinchamale, con un caudal total de 850 L/s otorgado.

En el sector del cauce del río Salado y sus afluentes, se ubican en tanto las localidades de Caspana, Toconce, Turi, Ayquina y Cupo, con una población de 381 personas, en su totalidad rural.

La principal actividad es la agricultura de subsistencia con una superficie cultivada es de 104 ha, de las cuales cerca del 70% es ocupada por alfalfa. Se cuenta además con una masa ganadera importante, por lo que un tema relevante es el aumento del forraje, asociada a

[26] Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021, Región de Antofagasta. 2012. Ministerio de Obras Públicas.
[27] Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta. 2016. Ministerio de Obras Públicas.

las vegas y bofedales. Para las comunidades de Turi y Cupo, la ganadería ovina ocupa el primer lugar en la base económica[28].

En esta zona se ubican tres captaciones de Aguas Antofagasta, totalizando un caudal otorgado de 660 L/s, y un derecho antiguo de Codelco con un caudal de 400 L/s[29].

Ésta es una zona donde hay varios poblados, los cuales, en general, no tienen un abastecimiento de agua potable de buena calidad. Esta situación se contradice con el hecho de que en esta parte de la cuenca del río Loa hay varias extracciones de Aguas Antofagasta, la cual es usada para abastecer a otras ciudades de la región. Además, se puede señalar la importancia que tiene para la comunidad la protección de las vegas, ya que son su fuente de recurso hídrico para desarrollar la agricultura y ganadería.

6.3.5.1.3 Sector Río Loa Medio

En este sector se ubican las localidades de Chiu-Chiu, Lasana y Calama, capital provincial, siendo esta última la ciudad con más población de la zona.

La principal actividad productiva en las zonas rurales es la agricultura, en particular en Lasana y Chiu-Chiu con 207 ha de zonas cultivadas de alfalfa y maíz para autoconsumo y hortalizas para venta en Calama. En Calama, en tanto, existen 464 ha de superficie cultivada, destacando la alfalfa y el maíz. En relación al pastoreo, los abrevaderos de los ganados están en zonas de vegas y bofedales. La producción ganadera es reducida, totalizando 1.264 cabezas de ganado entre Chiu-Chiu y Lasana[30].

Al norte de la ciudad de Calama se localizan las faenas mineras Codelco Chuquicamata, Codelco Norte, El Abra y Ministro Hales, por lo que la actividad económica de la ciudad se relaciona con la minería y los servicios.

Esta zona tiene dos acuíferos protegidos que alimentan vegas y bofedales, y es donde se emplazan las localidades. Además, en las vegas Yalquincha y Calama está el sitio prioritario para la biodiversidad Oasis de Calama, el mayor oasis de la región de Antofagasta.

Esta zona de la cuenca del río Loa se caracteriza por la presencia de las faenas mineras de Codelco, lo que ha influido en el estilo de vida de la ciudad de Calama. Esta situación no se refleja en las zonas rurales, especialmente en las localidades indígenas, las cuales mantienen su actividad agrícola de subsistencia, haciendo uso de sus derechos ancestrales,

[28] VII Censo agropecuario y forestal 2006-2007. Ministerio de Agricultura. Odepa.
[29] Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta. 2016. Ministerio de Obras Públicas.
[30] VII Censo agropecuario y forestal 2006-2007. Ministerio de Agricultura. Odepa.

los cuales no todos están regularizados. Sí se puede señalar que en esta zona hay Comunidades de Aguas inscritas en la DGA, muchas de las cuales extraen aguas de bocatomas en la zona rural de Calama y en las localidades de Chiu-Chiu y Lasana.

6.3.5.1.4 Sector Río Loa Bajo

En esta zona de la cuenca del río Loa se localiza la comuna de María Elena, en donde se emplazan los centros poblados de María Elena y Quillagua.

La actividad agrícola de Quillagua ha ido disminuyendo en los últimos años. Al año 2007 la superficie de riego era de 8,8 ha, donde se cultivaba principalmente alfalfa, mientras que en el año 2014 esta superficie disminuyó a 1 ha. El principal inconveniente para el desarrollo de la agricultura es la falta de agua. A esta zona el río Loa llega con escaso caudal, dado que sus aguas son capturadas aguas arriba por las empresas mineras y sanitarias[31].

6.3.5.1.5 Áreas de Desarrollo Indígena

La Región de Antofagasta cuenta con 2 Áreas de Desarrollo Indígena (ADI): Atacama La Grande y Alto El Loa. Esta última, abarca las comunas de Calama y Ollagüe, y fue promulgada por el Decreto 189 del 08 de octubre de 2003. Las características del territorio que dan origen a esta ADI, y que se estipulan en dicho decreto, corresponden a:

- Parte del territorio de la provincia del Loa, que comprende el área rural de la comuna de Calama y la comuna de Ollagüe, es una extensa zona andina que ancestralmente ha sido ocupada por el Pueblo Atacameño y Quechua, quienes han entregado un legado cultural y social invaluable a la zona y al país.
- Las comunidades atacameñas y quechuas que habitan la Cuenca del Río Loa, con una población cercana a las 1.210 personas, han mantenido el uso de sus tierras y aguas ancestrales, subsistiendo con la explotación equilibrada de los recursos naturales del altiplano.
- Las comunidades Atacameñas de Caspana, Conchi Viejo, Lasana, Ayquina-Turi, Cupo, Toconce, San Francisco de Chui Chui y las comunidades Quechuas conforman un espacio territorial de homogeneidad cultural y ecológica indiscutible de aproximadamente 12.716,28 kilómetros cuadrados.

[31] Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta. 2016. Ministerio de Obras Públicas

6.3.5.2 Población potencial

La población potencial corresponde a aquellas personas que desarrollan alguna actividad productiva que depende de los servicios ecosistémicos de la cuenca del río Loa. Dentro de éstas se contemplan actividades industriales, mineras, de pesca y agrícolas, además de actividades de fomento desarrolladas por actores públicos.

Asimismo, la población potencial está compuesta por toda la comunidad que utiliza el río para provisión de agua potable, actividades ancestrales y actividades recreacionales.

Considerando lo anterior, en particular se identifican los siguientes segmentos:

- Empresas que desarrollan actividades productivas del área minera, agrícola, pesca o de servicios.
- Personas que pertenecen a comunidades y asociaciones indígenas localizadas en la ADI Alto El Loa.
- Operadores turísticos de las comunas Antofagasta, Calama, María Elena, Mejillones, Ollagüe, Tocopilla y Sierra Gorda.
- Niños y jóvenes en edad escolar matriculados en establecimientos certificados por el Ministerio del Medio Ambiente de las comunas de Antofagasta, Calama, María Elena, Mejillones, Ollagüe, Tocopilla y Sierra Gorda.
- Beneficiarios de Comités de Agua Potable Rural de las comunas de Antofagasta, Calama, María Elena, Mejillones, Ollagüe, Tocopilla y Sierra Gorda.
-

6.3.5.2.1 Descripción de la población potencial

Comuna de Antofagasta

La comuna de Antofagasta tiene una superficie de 30.718,1 km^2. De acuerdo al Censo 2017, tiene una población de 361.873 habitantes (180.027 mujeres y 181.846 hombres), de los cuales el 21,1% se ubica en un rango etario de menos de 15 años; un 71% entre 15 y 64 años y un 7,9% en un rango superior a 65 años.

El 8% de la población declara pertenecer a algún pueblo originario, siendo la Mapuche (36,4%), Aymara (22,0%), Diaguita (14,3%) y Lican Antai (9,9%%) las etnias con mayor incidencia dentro de la población. Al 2019, en la

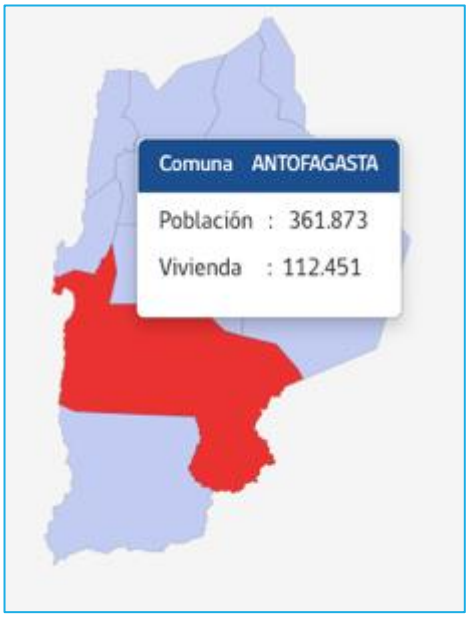


Figura 6.16 Mapa Comuna de Antofagasta

comuna se encontraban registradas 5 asociaciones indígenas y 5 agrupaciones indígenas[32].

Tabla 6.17. Asociaciones indígenas de la comuna de Antofagasta.

Nombre	Nº de socios
Asociación de Agricultores Indígenas de Antofagasta o Asaia	30
Asociación Agricultores Indígenas Nuevo Amanecer Antofagasta o Aina	25
Asociación Indígena de Regantes y Agricultores del Kilómetro 12 de Antofagasta	53
Asociación Indígena Productiva Altos La Portada	42
Asociación Urbana De Antofagasta	6
Total	*156*

Al 2016, la comuna contaba con 20.186[33] empresas, de las cuales el 65,2% pertenecían al segmento de microempresa; 19,5% al segmento pequeña; 3,0% al segmento mediana; y 1,0% al segmento de grandes empresas. La siguiente tabla, muestra el total de empresas y trabajadores, según rubro económico en la comuna.

Tabla 6.18. Número de empresas y número de trabajadores por rubro económico, comuna de Antofagasta.

Rubro económico	Nº de empresas	Nº de trabajadores
Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	134	1.191
Pesca	34	216
Explotación de minas y canteras	198	5.397
Industrias manufactureras no metálicas	800	9.620
Industrias manufactureras metálicas	848	11.366
Suministro de electricidad, gas y agua	37	3.507
Construcción	2.202	30.015
Comercio al por mayor y menor	6.623	18.431
Hoteles y restaurantes	1.238	5.154
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	2.347	8.786
Intermediación financiera	414	1.097
Actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler	3.169	14.279
Adm. pública y defensa, planes de seg. social	10	4.672
Enseñanza	198	7.126
Servicios sociales y de salud	641	3.393
Otras actividades de servicios comunitarias, sociales y personales	1.181	2.634
Consejo de administración de edificios y condominios	21	182
Organizaciones y órganos extraterritoriales	0	0
Sin información	91	22
Total	*20186*	*127088*

Fuente: Reportes Estadísticos Comunales, 2017.

[32] Estadísticas sociales indígenas. Región de Antofagasta. Documento Elaborado por la Unidad de Estudios Dirección Nacional CONADI, 2019.
[33] Para efectos de cuantificación de la población potencial, se considerarán empresas de los rubros agricultura, pesca, minería y suministro de electricidad y agua.

Respecto de los operadores turísticos que se sitúan en la comuna, a abril de 2020 se encontraban registrados 229 operadores segmentados en 41 clases[34].

Tabla 6.19. Número de operadores turísticos por clase, comuna de Antofagasta.

Clase	Número de operadores
Agencia de viajes emisiva	2
Agencia de viajes receptiva y emisiva	4
Alquiler de automóviles	4
Alquiler de bicicletas	1
Apart - Hotel	9
Artesanía Independiente.	2
Bed and Breakfast, Alojamiento Familiar u Hospedaje Rural	1
Buceo en apnea	2
Buceo recreativo autónomo	1
Canotaje	2
Casino de Juego	1
Centro Cultural	1
Centro o feria artesanal.	3
Cicloturismo	1
Departamentos Turísticos y/o Ejecutivos	2
Deslizamiento sobre arena o sandboard	1
Deslizamiento sobre olas (Surf, Bodyboard, Kneeboard y similares)	2
Desplazamiento en cables: Canopy, Tirolesa y Arborismo	1
Especializado	1
Excursionismo o trekking	3
General	7
Hostal	21
Hotel	58
Local	1
Observación de flora y fauna	1
Paseos Náuticos	2
Pesca Recreativa	1
Pub	3
Recorrido en vehículos todo terreno u off road	2
Residencial	9
Restaurante	24
Salón de Té o Café	2
Senderismo o hiking	3
Servicios de Artesanía Tradicional y/o Contemporánea	1
Servicios de buses de turismo	1
Servicios de taxis de turismo	11

[34] https://registro.sernatur.cl/

Clase	Número de operadores
Servicios de transporte de pasajeros por carretera interurbana	6
Servicios de transporte permanente de pasajeros al aeropuerto	8
Tour operador doméstico o interno	9
Tour operador receptivo	7
Tour operador receptivo y emisivo	6
Sin información	2
Total	*229*

Fuente: Registro Sernatur, 2020.

En el caso de Comités de Agua Potable, al 2014 la comuna no contaba con este tipo de organización.

Finalmente, respecto de los establecimientos educacionales de la comuna que han aprobado la certificación del SNCAE, al 2019 la comuna contaba con 20[35] establecimientos con nivel de certificación básico, medio y de excelencia.

Tabla 6.20. Nº de establecimientos educacionales con certificación ambiental, comuna de Antofagasta.

Dependencia	Nivel de certificación				Matrícula total
	Básico	Medio	Excelencia	Total	
Jardín municipal	**1**	**1**		**2**	
Escuela de párvulos Marcela Paz		1		1	270
Escuela de párvulos Semillita	1			1	282
Junji		**3**	**1**	**4**	
Jardín infantil Bambi			1	1	s/i
Jardín infantil Caracolito		1		1	s/i
Jardín infantil Sueños de Colores		1		1	s/i
Jardín infantil Tortuguina		1		1	s/i
Municipal	**1**	**6**	**3**	**10**	
Escuela Padre Gustavo Le Paige D-65		1		1	1235
Escuela D-138 Ecológica Padre Alberto Hurtado		1		1	780
Escuela D-68 José Papic Radnic	1			1	1347
Escuela Gonzalez Echegoyen		1		1	1195
Escuela Japón		1		1	1192
Escuela N° 23 Presbiteriana		1		1	666
Escuela República de los Estados Unidos		1		1	598

[35] Para efectos de cuantificación de la población potencial, se considerarán solo los establecimientos de enseñanza básica y media.

Dependencia	Nivel de certificación				Matrícula total
	Básico	Medio	Excelencia	Total	
Instituto Científico Educacional José Maza Sancho			1	1	614
Liceo Andrés Sabella			1	1	1.436
Liceo B-13 Domingo Herrera Rivera			1	1	1.087
Particular pagado		**1**	**1**	**2**	
Colegio San Patricio		1		1	731
The Antofagasta British School			1	1	817
Particular subvencionado	**1**	**1**		**2**	
Colegio New Heaven High School		1		1	2.217
Fundación Educacional Javiera Carrera	1			1	367
Total general	***3***	***12***	***5***	***20***	***14.834***

Tabla 6.21. Matrícula en establecimientos educacionales con certificación ambiental, comuna de Antofagasta.

Establecimiento	Parvularia	Básica	Media / Técnico Profesional	Adultos	Total
Escuela de párvulos Marcela Paz	270	0	0		270
Escuela de párvulos Semillita	282	0	0		282
Escuela Padre Gustavo Le Paige D-65	104	1.131	0		1.235
Escuela D-138 Ecológica Padre Alberto Hurtado	0	780	0		780
Escuela D-68 José Papic Radnic	156	1.191	0		1.347
Escuela Gonzalez Echegoyen	167	1.028	0		1.195
Escuela Japón	0	1.192	0		1.192
Escuela N° 23 Presbiteriana	71	595	0		666
Escuela República de los Estados Unidos	50	548	0		598
Instituto Científico Educacional José Maza Sancho	69	400	145		614
Liceo Andrés Sabella	160	766	510		1.436
Liceo B-13 Domingo Herrera Rivera	0	59	1.028		1.087
Colegio San Patricio	129	470	132		731
The Antofagasta British School	171	432	214		817
Colegio New Heaven High School	318	1.512	387		2.217
Fundación Educacional Javiera Carrera	0	367	0		367
Total general	***1.947***	***10.471***	***2.416***		***14.834***

Fuente: Datos abiertos de Centro de Estudios del Ministerio de Educación, 2019.

Comuna de Calama

Figura 6.17 Mapa Comuna de Calama

La comuna de Calama tiene una superficie de 15.597 km2. De acuerdo al Censo 2017, tiene una población de 165.731 habitantes (79.682 mujeres y 86.049 hombres), de los cuales el 22,3% se ubica en un rango etario de menos de 15 años; un 71% entre 15 y 64 años y un 6,7% en un rango superior a 65 años.

El 15,1% de la población declara pertenecer a algún pueblo originario, siendo la Lican Antai (45,6%), Quechua (18,1%), Aymara (12,4%) y Diaguita (8,6%) las etnias con mayor incidencia dentro de la población. Al 2019, en la comuna se encontraban registradas 17 comunidades indígenas, 82 asociaciones indígenas y 106 agrupaciones indígenas[36].

Tabla 6.22. Comunidades indígenas de la comuna de Calama.

Nombre	Nº de socios	Nº de familias
Comunidad Atacameña Agrícola y Cultural, "Kamac Mayu Hijos de Yalquincha"	30	15
Comunidad Atacameña de Ayquina-Turi	98	70
Comunidad Atacameña de Caspana	129	65
Comunidad Atacameña de Conchi-Viejo	126	75
Comunidad Atacameña de Cupo	86	14
Comunidad Atacameña de Lasana	133	71
Comunidad Atacameña de Toconce	215	90
Comunidad Atacameña San Francisco de Chiu-Chiu	471	248
Comunidad de Indios Atacameños en el Sector de Chunchuri	15	13
Comunidad Indígena "Pankara Loa"	10	3
Comunidad Indígena Atacameña Taira	53	17
Comunidad Indígena Chunchuri	45	15
Comunidad Indígena de La Banda	17	10
Comunidad Indígena del Pueblo de San Pedro	128	39
Comunidad Indígena Quechua Ayllu Ojos de San Pedro	14	0
Comunidad Indígena Sumac-Llajta	30	23
Yalquincha Lickan Ichai Paatcha.	18	10
Total	*1618*	*778*

Fuente: Sistema Integrado de Información Conadi, 2020.

[36] Estadísticas sociales indígenas. Región de Antofagasta. Documento Elaborado por la Unidad de Estudios Dirección Nacional CONADI, 2019.

Tabla 6.23. Asociaciones indígenas de la comuna de Calama.

Nombre	Nº de socios
Asociación de Mujeres Indígena Panilicau Haiti	36
Asociación Indígena Khuska Ñañakuna Wawqikuna (Juntos Hermanas Y Hermanos)	84
Asociación Social, Cultural Y Deportiva Mystikos 2012	27
Agrícola Ganadera Cultural Y Social Valle Del Sol Yalquincha	34
Asociación Agricultores de Chunchuri Poniente	194
Asociación Atacameña de Artesanos de Caspana	24
Asociación Atacameña de Caspana	29
Asociación Atacameña Lickan Tacksy	34
Asociación Atacameña Zhali Likan Kapur	104
Asociación Consejo de Pueblos Originarios Del Alto El Loa	35
Asociación Coordinadora Indígena El Loa	27
Asociación Cultual Indígena Aymara Machaj K	30
Asociación Cultura Atacameña de Tradiciones Y Costumbres, Comuna de Calama	42
Asociación Cultural de Tradiciones y Costumbres San Antonio de Ollagüe	27
Asociación Cultural Mapuche de Tradiciones Y Costumbres, Comuna de Calama, Lonko Nahuel	27
Asociación de Artesanos y Agricultores de Chiu-Chiu	29
Asociación de Cultores de La Medicina Ancestral Lickan Antay y Quechua	35
Asociación de Industriales Indígenas Pyme Alto El Loa	25
Asociación de Mujeres Atacameñas de Toconce "Ninchies Lickau Cota"	35
Asociación de Mujeres Indígena de Calama	25
Asociación de Mujeres Indígena Inti Panni Puri Pachamama	59
Asociación de Mujeres Indígenas "Pat-Ta Hoiri Puri Chiu-Chiu"	30
Asociación de Mujeres Indígenas Pahiliq´Cau Ckunza Hoy Ri (Hijas de Nuestra Tierra)	28
Asociación de Mujeres Indígenas San Pedro Y San Pablo, Orko Coraskcuna	31
Asociación de Pueblos Indígenas Multicultural El Vergel de Calama	30
Asociación Gremial de Transportes Indígena de Pueblos Originarios	26
Asociación Indígena "Lickan - Antai de Panire"	33
Asociación Indígena Agrícola Y Cultural Social Del Sector Cerro Negro Y Sector Las Vegas	59
Asociación Indígena Aka Pacha	28
Asociación Indígena Atacameña Cementerio, Nueva Generación Ayquina-Turi	39
Asociación Indígena Atacameña Conjunto Zampoñas Amautas	43
Asociación Indígena Atacameña de La Vivienda, Nuevas Generaciones Ayquina	3
Asociación Indígena Atacameña de Mujeres de Lasana Quillantay	26
Asociación Indígena Atacameña Likan Tatay	66
Asociación Indígena Atacameña Para La Vivienda Cultural Social Quilama Paatcha, Comuna Calama	5
Asociación Indígena Aymara Marcamasis	82
Asociación Indígena Aymara Santata	26
Asociación Indígena Calama Andino Costumbrista	50
Asociación Indígena Confederación Multicultural de Pueblos Originarios	88
Asociación Indígena Consejo de Pueblos Originarios Del Alto El Loa	10
Asociación Indígena Consejo Pueblos Atacameños	29
Asociación Indígena Cultural, Social Y Productiva Quilama Paatcha	0
Asociación Indígena de Agricultores Lickan Antay	55

Nombre	Nº de socios
Asociación Indígena de Agricultores Y Regantes de Chiu-Chiu	37
Asociación Indígena de Cunicultores de La Prov. El Loa	64
Asociación Indígena de Danzas Andinas "Inti Yacta"	47
asociación Indígena de Deportes Y Recreación de La Precordillera Central El Loa Adrepcel	31
Asociación Indígena de Mujeres Willka Wasi	24
Asociación Indígena de Regantes y Agricultores Lay Lay	31
Asociación Indígena de Regantes y Agricultores Patta Hoiri	55
Asociación Indígena de Sanadores Lickan Hampitur	34
Asociación Indígena de Transportistas El Loa Calama	29
Asociación Indígena Donde Comienza Mi Tierra	31
Asociación Indígena Ecologista Hijos del Loa	27
Asociación Indígena Esperanza Nisayá Lickan	674
Asociación Indígena Hijas e Hijos de La Hondonada	24
Asociación Indígena Hijos de La Candelaria de Caspana	29
Asociación Indígena Hijos Del Ojo de San Pedro	29
Asociación Indígena Huñuy Concepción de Amincha	29
Asociación Indígena Inti Llacta	155
Asociación Indígena Juvenil Atacameña Yaalir	24
Asociación Indígena Kunza Hoiri	42
Asociación Indígena Marka Massy	28
Asociación Indígena Mayu Cthyaqui	32
Asociación Indígena para la Vivienda Patta Hoiri	55
Asociación Indígena por la Vivienda Esperanza Del Mañana	303
Asociación Indígena Pueblos Originarios	31
Asociación Indígena Quechua Rijchariy de Ollagüe	27
Asociación Indígena San Antonio de Amincha	26
Asociación Indígena Sayrina Ia Liqcau Lickan Antai	27
Asociación Indígena Sumaj Orko Khory Tika Ollague Llajtaymanta	4
Asociación Indígena Ticka Cotchaya Hoiri	42
Asociación Indígena Transportistas Atacameños	5
Asociación Indígena Unifam	29
Asociación Indígena Urbana Machaj Inti	51
Asociación Inti Llacta	4
Ckausatur Ckaari (Vivir Un Verde Nuevo)	33
Cultural, Social Y Productiva Pata Hoiri	32
De Cultores, Artesanos Y Turismo Ruraq Maki	27
Ganadero Agrícola Runa-Kay	50
Hermanos Indígenas	4
Lemú Cuyén	42
Total	*4017*

Fuente: Sistema Integrado de Información Conadi, 2020.

Al 2016, la comuna contaba con 7.843[37] empresas, de las cuales el 68,2% pertenecían al segmento de microempresa; 18,4% al segmento pequeña; 1,8% al segmento mediana; y 0,6% al segmento de grandes empresas. La siguiente tabla, muestra el total de empresas y trabajadores, según rubro económico en la comuna.

Tabla 6.24. Número de empresas y número de trabajadores por rubro económico, comuna de Calama.

Rubro económico	Nº de empresas	Nº de trabajadores
Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	74	251
Pesca	1	0
Explotación de minas y canteras	94	1.818
Industrias manufactureras no metálicas	334	771
Industrias manufactureras metálicas	285	3.631
Suministro de electricidad, gas y agua	31	86
Construcción	685	9.223
Comercio al por mayor y menor	2.890	7.884
Hoteles y restaurantes	724	2.418
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	1.059	2.576
Intermediación financiera	34	335
Actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler	911	3.254
Adm. pública y defensa, planes de seg. social	1	272
Enseñanza	67	1.474
Servicios sociales y de salud	187	398
Otras actividades de servicios comunitarias, sociales y personales	421	1.107
Consejo de administración de edificios y condominios	1	10
Organizaciones y órganos extraterritoriales	0	0
Sin información	44	1
Total	*7.843*	*35.509*

Fuente: Reportes Estadísticos Comunales, 2017.

Respecto de los operadores turísticos que se sitúan en la comuna, a abril de 2020 se encontraban registrados 112 operadores segmentados en 29 clases[38].

[37] Para efectos de cuantificación de la población potencial, se considerarán empresas de los rubros agricultura, pesca, minería y suministro de electricidad y agua.

[38] https://registro.sernatur.cl/

Tabla 6.25. Número de operadores turísticos por clase, comuna de Calama.

Clase	Número de operadores
Agencia de viajes receptiva	1
Agencia de viajes receptiva y emisiva	1
Alquiler de automóviles	2
Alta Montaña	1
Apart - Hotel	6
Artesanía Independiente.	2
Bar	1
Bed and Breakfast, Alojamiento Familiar u Hospedaje Rural	2
Cabañas	4
Comida Rápida	1
Deslizamiento sobre arena o sandboard	1
Especializado	1
Excursionismo o trekking	1
Hostal	19
Hostería	2
Hotel	21
Hotel Boutique	2
Observación de flora y fauna	1
Residencial	4
Restaurante	5
Salón de Té o Café	1
Senderismo o hiking	7
Servicios de taxis de turismo	3
Servicios de transporte de pasajeros por carretera interurbana	7
Servicios de transporte permanente de pasajeros al aeropuerto	2
Tour operador doméstico o interno	2
Tour operador receptivo	5
Tour operador receptivo y emisivo	6
Zona de Picnic	1
Total general	*112*

Fuente: Registro Sernatur, 2020.

En el caso de Comités de Agua Potable, al 2014 la comuna contaba con 4 Comités con un alcance de 2.024 beneficiarios estimados.

Tabla 6.26. Número de comités de Agua Potable Rural (APR), comuna de Calama.

Comité	Número de Arranques	Beneficiarios/as Estimados
Calama Rural	68	272
Caspana	95	380
Lasana-Chiu Chiu	265	1.060
Toconce	78	312
Total general	*506*	*2.024*

Fuente: Portal de Datos Públicos. Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

Finalmente, respecto de los establecimientos educacionales de la comuna que han aprobado la certificación del SNCAE, al 2019 la comuna contaba con 3[39] establecimientos con nivel de certificación básico, medio y de excelencia.

Tabla 6.27. Nº de establecimientos educacionales con certificación ambiental, Calama.

Dependencia	Nivel de certificación				Matrícula total
	Básico	Medio	Excelencia	Total	
Junji	**1**			**1**	
Jardín Infantil Conejitos Blancos De Chiu-Chiu	1			1	138
Municipal		**1**		**1**	
Escuela D-49 Vado de Topater		1		1	584
Particular Subvencionado			**1**	**1**	
Colegio Río Loa			1	1	1.233
Total	*1*	*1*	*1*	*3*	

Fuente: SNCAE, Ministerio del Medio Ambiente, 2019.

Tabla 6.28. Matrícula en establecimientos educacionales con certificación ambiental, comuna de Calama.

Establecimiento	Parvularia	Básica	Media / Técnico Profesional	Adultos	Total
Jardín Infantil Conejitos Blancos De Chiu-Chiu	138	0	0	0	138
Escuela D-49 Vado de Topater	0	584	0	0	584
Colegio Río Loa	235	705	293	0	1.233
Total	*373*	*1.289*	*293*	*0*	*1.955*

Fuente: Datos abiertos de Centro de Estudios del Ministerio de Educación, 2019.

[39] Para efectos de cuantificación de la población potencial, se considerarán solo los establecimientos de enseñanza básica y media.

Comuna de María Elena

La comuna de María Elena tiene una superficie de 12.197 km^2. De acuerdo al Censo 2017, tiene una población de 6.457 habitantes (2.365 mujeres y 4.092 hombres), de los cuales el 15,5% se ubica en un rango etario de menos de 15 años; un 79,9% entre 15 y 64 años y un 4,6% en un rango superior a 65 años.

El 13% de la población declara pertenecer a algún pueblo originario, siendo la Aymara (40,3%), mapuche (31,0%), Diaguita (8,9%) y Quechua (5,9%) las etnias con mayor incidencia dentro de la población. Al 2019, en la comuna se encontraba registrada 1 comunidad indígena, 1 asociación indígena y 2 agrupaciones.

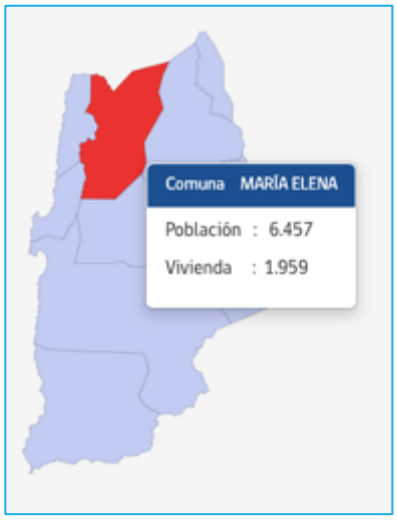


Figura 6.18 Comuna María Elena

Tabla 6.29. Comunidades indígenas de la comuna de María Elena.

Nombre	Nº de socios	Nº de familias
Comunidad Aymara de Quillagua	80	13
Total	*80*	*13*

Fuente: Sistema Integrado de Información Conadi, 2020.

Tabla 6.30. Asociaciones indígenas de la comuna de María Elena.

Nombre	Nº de socios
Agroforestal de Quillagua	28
Total general	*28*

Fuente: Sistema Integrado de Información Conadi, 2020.

Al 2016, la comuna contaba con 215 empresas, de las cuales el 75,8% pertenecían al segmento de microempresa; 17,7% al segmento pequeña y 1,9% al segmento de medianas empresas. La siguiente tabla, muestra el total de empresas y trabajadores, según rubro económico en la comuna.

Tabla 6.31. Número de empresas y número de trabajadores por rubro económico, comuna de María Elena.

Rubro económico	Nº de empresas	Nº de trabajadores
Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	3	0
Pesca	0	0
Explotación de minas y canteras	0	0
Industrias manufactureras no metálicas	12	13
Industrias manufactureras metálicas	6	151
Suministro de electricidad, gas y agua	3	0
Construcción	26	396
Comercio al por mayor y menor	101	88
Hoteles y restaurantes	29	72
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	12	5
Intermediación financiera	0	0
Actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler	12	8
Adm. pública y defensa, planes de seg. social	1	42
Enseñanza	1	209
Servicios sociales y de salud	0	0
Otras actividades de servicios comunitarias, sociales y personales	8	0
Consejo de administración de edificios y condominios	0	0
Organizaciones y órganos extraterritoriales	0	0
Sin información	1	0
Total	*7.843*	*35.509*

Fuente: Reportes Estadísticos Comunales, 2017.

Respecto de los operadores turísticos que se sitúan en la comuna, a abril de 2020 se encontraban registrados 9 operadores segmentados en 5 clases.

Tabla 6.32. Número de operadores turísticos por clase, comuna de María Elena.

Clase	Número de operadores
Agencia de viajes receptiva y emisiva	1
Cicloturismo	1
Especializado	1
Hostal	1
Restaurante	5
Total general	*9*

Fuente: Registro Sernatur, 2020.

En el caso de Comités de Agua Potable, al 2014 la comuna no contaba con este tipo de organizaciones. Asimismo, al 2019, la comuna tampoco cuenta con establecimientos educacionales que hayan aprobado la certificación del SNCAE.

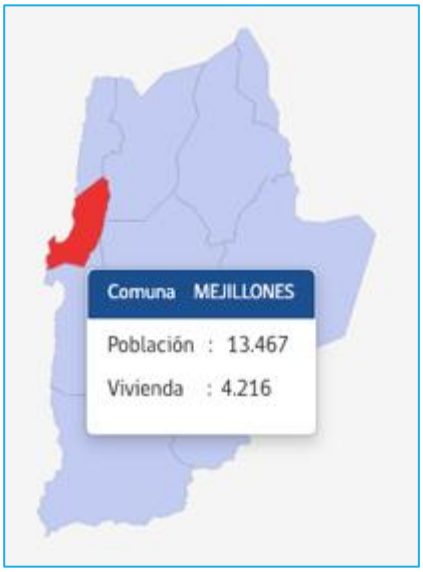


Figura 6.19 Mapa Comuna de Mejillones

Comuna de Mejillones

La comuna de Mejillones tiene una superficie de 3.803,9 km^2. De acuerdo al Censo 2017, tiene una población de 13.467 habitantes (5.432 mujeres y 8.035 hombres), de los cuales el 19,6% se ubica en un rango etario de menos de 15 años; un 74,8% entre 15 y 64 años y un 5,6% en un rango superior a 65 años.

El 10% de la población declara pertenecer a algún pueblo originario, siendo Mapuche (49,6%), Aymara (16,7%), Quechua (10,3%) y Diaguita (7,8%) las etnias con mayor incidencia dentro de esta población. Al 2019, en la comuna no se encontraban registradas comunidades, asociaciones o agrupaciones indígenas[40].

Al 2016, la comuna contaba con 572[41] empresas, de las cuales el 61,7% pertenecían al segmento de microempresa; 26,9% al segmento pequeña; 1,9% al segmento mediana; y 1,9% al segmento de grandes empresas. La siguiente tabla, muestra el total de empresas y trabajadores, según rubro económico en la comuna.

Tabla 6.33. Número de empresas y número de trabajadores por rubro económico, comuna de Mejillones.

Rubro económico	Nº de empresas	Nº de trabajadores
Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	1	0
Pesca	6	27
Explotación de minas y canteras	4	5
Industrias manufactureras no metálicas	26	144
Industrias manufactureras metálicas	17	947
Suministro de electricidad, gas y agua	3	11
Construcción	97	1.012
Comercio al por mayor y menor	203	251
Hoteles y restaurantes	80	409
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	51	97
Intermediación financiera	0	0

[40] Estadísticas sociales indígenas. Región de Antofagasta. Documento Elaborado por la Unidad de Estudios Dirección Nacional CONADI, 2019.
[41] Para efectos de cuantificación de la población potencial, se considerarán empresas de los rubros agricultura, pesca, minería y suministro de electricidad y agua.

Rubro económico	Nº de empresas	Nº de trabajadores
Actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler	46	267
Adm. pública y defensa, planes de seg. social	1	389
Enseñanza	2	19
Servicios sociales y de salud	2	0
Otras actividades de servicios comunitarias, sociales y personales	32	49
Consejo de administración de edificios y condominios	0	0
Organizaciones y órganos extraterritoriales	0	0
Sin información	1	0
Total	***572***	***3.627***

Fuente: Reportes Estadísticos Comunales, 2017.

Respecto de los operadores turísticos que se sitúan en la comuna, a abril de 2020 se encontraban registrados 27 operadores segmentados en 9 clases[42].

Tabla 6.34. Número de operadores turísticos por clase, comuna de Mejillones.

Clase	Número de operadores
Apart - Hotel	3
Complejo Turístico o Resort	1
Hostal	5
Hotel	6
Paseos Náuticos	1
Picada	1
Pub	1
Residencial	2
Restaurante	4
Sin información	3
Total general	*27*

Fuente: Registro Sernatur, 2020.

En el caso de Comités de Agua Potable, al 2014 la comuna no contaba con este tipo de organización.

Finalmente, respecto de los establecimientos educacionales de la comuna que han aprobado la certificación del SNCAE, al 2019 la comuna contaba con 1 establecimiento con nivel de certificación de excelencia.

[42] https://registro.sernatur.cl/

Tabla 6.35. Nº de establecimientos educacionales con certificación ambiental, comuna de Mejillones.

Dependencia	Nivel de certificación				Matrícula total
	Básico	Medio	Excelencia	Total	
Municipal			**1**	**1**	
Complejo Educativo Juan José Latorre Benavente			1	1	1.292
Total			*1*	*1*	*1.292*

Fuente: SNCAE, Ministerio del Medio Ambiente, 2019.

Tabla 6.36. Matrícula en establecimientos educacionales con certificación ambiental, comuna de Mejillones.

Establecimiento	Parvularia	Básica	Media / Técnico Profesional	Adultos	Total
Complejo Educativo Juan José Latorre Benavente	0	611	681	0	1.292
Total	*03*	*611*	*681*	*0*	*1.292*

Fuente: Datos abiertos de Centro de Estudios del Ministerio de Educación, 2019.

Comuna de Ollagüe

Figura 6.20 Comuna de Ollagüe

La comuna de Ollagüe tiene una superficie de 2.964 km^2. De acuerdo al Censo 2017, tiene una población de 321 habitantes (114 mujeres y 207 hombres), de los cuales el 18,1% se ubica en un rango etario de menos de 15 años; un 74,4% entre 15 y 64 años y un 7,5% en un rango superior a 65 años.

El 68% de la población declara pertenecer a algún pueblo originario, siendo la Quechua (84,1%), Aymara (7,0%), Lican Antai (3,3%) y Diaguita (2,4%) las etnias con mayor incidencia dentro de la población. Al 2019, en la comuna se encontraban registradas 2 comunidades indígenas, 6 asociaciones indígenas y 8 agrupaciones indígenas.

Tabla 6.37. Comunidades indígenas de la comuna de Ollagüe.

Nombre	Nº de socios	Nº de familias
Comunidad Indígena Cebollar - Ascotán	30	12
Comunidad Quechua de Ollagüe	143	80
Total	*173*	*92*

Fuente: Sistema Integrado de Información Conadi, 2020.

Tabla 6.38. Asociaciones indígenas de la comuna de Ollagüe.

Nombre	Nº de socios
Asociación Agrupación De Artesanos De Ollagüe Killa Wasi	38
Asociación Indígena de Progreso, Desarrollo y Cultura del Pueblo de Kosca	181
Asociación Indígena Quechua Cebollar Ascotan	88
Asociación Indígena Quechua Inti Llajta	30
Asociación Quechua Juvenil De Ollagüe	54
De Turismo de Ollagüe	27
Total	*418*

Fuente: Sistema Integrado de Información Conadi, 2020.

Al 2016, la comuna contaba con 14 empresas, de las cuales el 57,1% pertenecían al segmento de microempresa y 28,6% al segmento de pequeñas empresas. La siguiente tabla, muestra el total de empresas y trabajadores, según rubro económico en la comuna.

Tabla 6.39. Número de empresas y número de trabajadores por rubro económico, comuna de Ollagüe.

Rubro económico	Nº de empresas	Nº de trabajadores
Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	1	1
Pesca	0	0
Explotación de minas y canteras	0	0
Industrias manufactureras no metálicas	2	19
Industrias manufactureras metálicas	1	34
Suministro de electricidad, gas y agua	0	0
Construcción	3	26
Comercio al por mayor y menor	2	0
Hoteles y restaurantes	1	0
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	0	0
Intermediación financiera	0	0
Actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler	1	0
Adm. pública y defensa, planes de seg. social	1	38
Enseñanza	0	0
Servicios sociales y de salud	0	0
Otras actividades de servicios comunitarias, sociales y personales	2	5
Consejo de administración de edificios y condominios	0	0
Organizaciones y órganos extraterritoriales	0	0
Sin información	0	0
Total	*14*	*123*

Fuente: Reportes Estadísticos Comunales, 2017.

Respecto de los operadores turísticos que se sitúan en la comuna, a abril de 2020 se encontraban registrados 6 operadores segmentados en 2 clases.

Tabla 6.40. Número de operadores turísticos por clase, comuna de Ollagüe.

Clase	Número de operadores
Hostal	3
Restaurante	3
Total	*6*

Fuente: Registro Sernatur, 2020.

En el caso de Comités de Agua Potable, al 2014 la comuna contaba con 1 Comité con un alcance de 300 beneficiarios estimados.

Tabla 6.41. Número de comités de Agua Potable Rural (APR), comuna de Ollagüe.

Comité	Número de Arranques	Beneficiarios/as Estimados
Ollagüe	75	300
Total	*75*	*300*

Fuente: Portal de Datos Públicos. Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

Finalmente, respecto de los establecimientos educacionales que han aprobado la certificación del SNCAE, al 2019 la comuna no contaba con establecimientos que hubiesen aprobado dicha certificación.

Comuna de Tocopilla

La comuna de Tocopilla tiene una superficie de 4.039 km^2. De acuerdo al Censo 2017, tiene una población de 25.186 habitantes (12.705 mujeres y 12.481 hombres), de los cuales el 24,0% se ubica en un rango etario de menos de 15 años; un 65,4% entre 15 y 64 años y un 10,6% en un rango superior a 65 años.

El 8% de la población declara pertenecer a algún pueblo originario, siendo la Mapuche (43,5%), Aymara (21,2%), Diaguita (14,6%) y Quechua (5,8%) las etnias con mayor incidencia dentro de la población. Al 2019, en la comuna no se encontraban registradas en la comuna, ningún tipo de organización indígena.

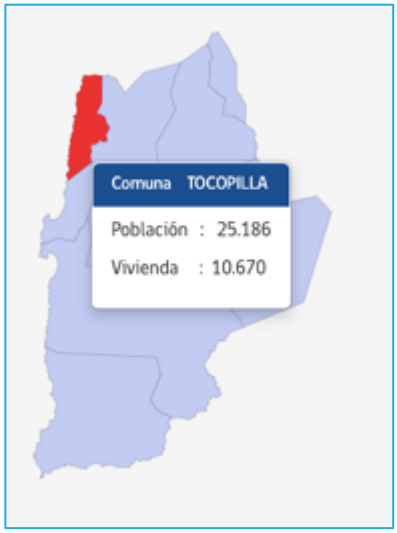


Figura 6.21 Comuna de Tocopilla

Al 2016, la comuna contaba con 1.234 empresas, de las cuales el 73,9% pertenecían al segmento de microempresa; 14,7% al segmento pequeña; 1,5% al segmento mediana; y 0,1% al segmento de grandes empresas. La siguiente tabla, muestra el total de empresas y trabajadores, según rubro económico en la comuna.

Tabla 6.42. Número de empresas y número de trabajadores por rubro económico, comuna de Tocopilla.

Rubro económico	Nº de empresas	Nº de trabajadores
Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	4	3
Pesca	19	126
Explotación de minas y canteras	32	224
Industrias manufactureras no metálicas	51	115
Industrias manufactureras metálicas	27	101
Suministro de electricidad, gas y agua	3	10
Construcción	94	839
Comercio al por mayor y menor	554	385
Hoteles y restaurantes	131	262
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	112	384
Intermediación financiera	4	9
Actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler	73	324
Adm. pública y defensa, planes de seg. social	1	1.228
Enseñanza	3	123
Servicios sociales y de salud	12	15
Otras actividades de servicios comunitarias, sociales y personales	97	52
Consejo de administración de edificios y condominios	0	0
Organizaciones y órganos extraterritoriales	0	0
Sin información	17	0
Total	*1234*	*4200*

Fuente: Reportes Estadísticos Comunales, 2017.

Respecto de los operadores turísticos que se sitúan en la comuna, a abril de 2020 se encontraban registrados 17 operadores segmentados en 6 clases.

Tabla 6.43. Número de operadores turísticos por clase, comuna de Tocopilla.

Clase	Número de operadores
Cabañas	2
Hostal	3
Hotel	8
Residencial	1
Restaurante	2
Tour Operador Receptivo	1
Total	*17*

Fuente: Registro Sernatur, 2020.

En el caso de Comités de Agua Potable, al 2014 la comuna no contaba con este tipo de organización.

Finalmente, respecto de los establecimientos educacionales de la comuna que han aprobado la certificación del SNCAE, al 2019 la comuna contaba con 8 establecimientos con nivel de certificación medio y de excelencia.

Tabla 6.44. Número establecimientos educacionales con certificación ambiental, comuna de Tocopilla.

Dependencia	Nivel de certificación		
	Medio	Excelencia	Total
Integra	**1**		**1**
Jardín Infantil Javiera Carrera	1		1
Junji		**1**	**1**
Jardín Infantil Ardillita		1	1
Municipal		**6**	**6**
Escuela Bernardo O'Higgins Riquelme		1	1
Escuela Carlos Condell de La Haza		1	1
Escuela Especial Pedro Aguirre Cerda		1	1
Escuela Pablo Neruda		1	1
Escuela República De EEUU de Norteamérica		1	1
Liceo Domingo Latrille		1	1
Total	*1*	*7*	*8*

Fuente: SNCAE, Ministerio del Medio Ambiente, 2019.

Tabla 6.45. Matrícula en establecimientos educacionales con certificación ambiental, comuna de Tocopilla.

Establecimiento	Parvularia	Básica	Media / Técnico Profesional	Adultos	Total
Jardín Infantil Javiera Carrera	197	0	0	0	197
Jardín Infantil Ardillita	119		0	0	119
Escuela Bernardo O'Higgins Riquelme	123	449	0	0	572
Escuela Carlos Condell de La Haza	108	430	0	0	538
Escuela Especial Pedro Aguirre Cerda	0	71	0	0	71
Escuela Pablo Neruda	83	528	0	0	611
Escuela República De EEUU de Norteamérica	105	357	0	0	462
Liceo Domingo Latrille	0	0	478	218	696
Total	*735*	*1.764*	*478*	*218*	*3.266*

Fuente: Datos abiertos de Centro de Estudios del Ministerio de Educación, 2019.

Comuna de Sierra Gorda

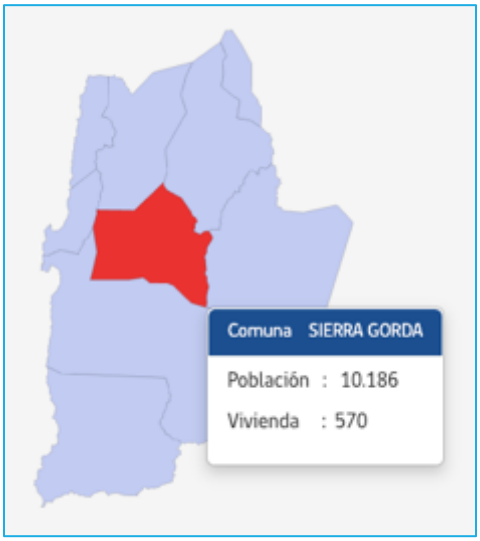


Figura 6.22 Mapa Comuna de Sierra Gorda

La comuna de Sierra Gorda tiene una superficie de 12.886 km^2. De acuerdo al Censo 2017, tiene una población de 10.186 habitantes (1.524 mujeres y 8.662 hombres), de los cuales el 3,1% se ubica en un rango etario de menos de 15 años; un 95,7% entre 15 y 64 años y un 1,2% en un rango superior a 65 años.

El 14% de la población declara pertenecer a algún pueblo originario, siendo la Mapuche (35,4%), Aymara (25,6%), Diaguita (14,3%) y Lican Antai (9,6%), las etnias con mayor incidencia dentro de esta población. Al 2019, en la comuna no se encontraban registradas comunidades indígenas, asociaciones indígenas, ni agrupaciones indígenas[43].

Al 2016, la comuna contaba con 113[44] empresas, de las cuales el 68,2% pertenecían al segmento de microempresa; 22,1% al segmento pequeña; 1,8% al segmento mediana; y 0,9% al segmento de grandes empresas. La siguiente tabla, muestra el total de empresas y trabajadores, según rubro económico en la comuna.

Tabla 6.46. Número de empresas y número de trabajadores por rubro económico, comuna de Sierra Gorda.

Rubro económico	Nº de empresas	Nº de trabajadores
Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	1	0
Pesca	0	0
Explotación de minas y canteras	4	1.161
Industrias manufactureras no metálicas	9	0
Industrias manufactureras metálicas	0	0
Suministro de electricidad, gas y agua	1	27
Construcción	17	21
Comercio al por mayor y menor	32	33
Hoteles y restaurantes	21	56
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	6	50
Intermediación financiera	0	0

[43] Estadísticas sociales indígenas. Región de Antofagasta. Documento Elaborado por la Unidad de Estudios Dirección Nacional CONADI, 2019.
[44] Para efectos de cuantificación de la población potencial, se considerarán empresas de los rubros agricultura, pesca, minería y suministro de electricidad y agua.

Rubro económico	Nº de empresas	Nº de trabajadores
Actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler	11	28
Adm. pública y defensa, planes de seg. social	1	163
Enseñanza	0	0
Servicios sociales y de salud	0	0
Otras actividades de servicios comunitarias, sociales y personales	10	24
Consejo de administración de edificios y condominios	0	0
Organizaciones y órganos extraterritoriales	0	0
Sin información	0	0
Total	*113*	*1.563*

Fuente: Reportes Estadísticos Comunales, 2017.

Respecto de los operadores turísticos que se sitúan en la comuna, a abril de 2020 se encontraban registrados 5 operadores segmentados en 3 clases[45].

Tabla 6.47. Número de operadores turísticos por clase, comuna de Sierra Gorda.

Clase	Número de operadores
Hotel	1
Picada	1
Restaurante	3
Total	*5*

Fuente: Registro Sernatur, 2020.

En el caso de Comités de Agua Potable, al 2014 la comuna contaba este tipo de organización.

Finalmente, respecto de los establecimientos educacionales de la comuna que han aprobado la certificación del SNCAE, al 2019 la comuna contaba con 3[46] establecimientos con nivel de certificación básico y de excelencia.

Tabla 6.48. Nº de establecimientos educacionales con certificación ambiental, comuna de Sierra Gorda.

Dependencia	Nivel de certificación				Matrícula total
	Básico	Medio	Excelencia	Total	
Integra	**1**			**1**	
Jardín Infantil Estación de Niños	1			1	S/I
Jardín Infantil Flor del Desierto	1				S/I
Municipal			**1**	**1**	
Escuela G-130 Estación Baquedano			1	1	169
Total	*2*		*1*	*3*	*169*

Fuente: SNCAE, Ministerio del Medio Ambiente, 2019.

[45] https://registro.sernatur.cl/

[46] Para efectos de cuantificación de la población potencial, se considerarán solo los establecimientos de enseñanza básica y media.

Tabla 6.49. Matrícula en establecimientos educacionales con certificación ambiental, comuna de Calama.

Establecimiento	Parvularia	Básica	Media / Técnico Profesional	Adultos	Total
Escuela G-130 Estación Baquedano	25	144	0	0	169
Total	*25*	*144*	*0*	*0*	*169*

Fuente: Datos abiertos de Centro de Estudios del Ministerio de Educación, 2019.

6.3.5.2.2 Criterios de identificación de la población potencial

Se utilizará como criterio, la pertenencia a alguno de los segmentos antes indicados como población potencial:

- Empresas que desarrollan actividades productivas del área minera, agrícola, pesca o de servicios.
- Comunidades y asociaciones indígenas localizadas en el territorio.
- Operadores turísticos de las comunas de Antofagasta, Calama, María Elena, Mejillones, Ollagüe, Tocopilla y Sierra Gorda.
- Niños y jóvenes en edad escolar matriculados en establecimientos certificados por el Ministerio del Medio Ambiente de las comunas de Antofagasta, Calama, María Elena, Mejillones, Ollagüe, Tocopilla y Sierra Gorda.
- Beneficiarios de Comités de Agua Potable Rural del territorio.

6.3.5.2.3 Unidad de medida de la población potencial

Para cada segmento, se establecen las unidades de medida descritas en la siguiente tabla.

Tabla 6.50. Unidades de medida de la población potencial según segmento.

Segmento	Unidad de medida
Empresas de sectores dependientes del recurso de la cuenca	Empresas
Comunidades y asociaciones indígenas	Agrupaciones
Operadores turísticos	Empresas
Niños y jóvenes en edad escolar	Personas
Comités de agua potable rural	Comités

6.3.5.2.4 Cuantificación de la población potencial

En base a los segmentos definidos y a la información disponible, la cuantificación de la población potencial se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6.51. Cuantificación de población potencial según segmento y comuna.

Segmento	Antofagasta	Calama	María Elena	Mejillones	Ollagüe	Tocopilla	Sierra Gorda	Total	Unidad de medida
Empresas de sectores dependientes del recurso de la cuenca	3.873	200	6	14	1	58	5	4.157	Empresas
Comunidades y asociaciones indígenas	10	97	2	0	8	0	0	117	Agrupaciones
Operadores turísticos	229	112	9	27	6	17	5	405	Empresas
Niños y jóvenes en edad escolar	12.887	1.582	0	1.292	0	2.313	144	18.218	Personas
Comités de agua potable rural	0	4	0	0	1	0	0	5	Comités

6.3.5.3 Población objetivo

La población objetivo anual, para cada segmento definido, se calcula en función de la tabla 6.51, considerando como supuesto base, un trabajo directo con el 100% de empresas, agrupaciones y comités y con el 5,5% del segmento de niños y jóvenes en edad escolar. En este último caso, se considera una capacidad de atención directa de 500 niños y jóvenes anualmente. Asimismo, se considera que los restantes de la población potencial, podrán tener acceso a las herramientas de difusión y educación desarrolladas, como videos, dado que quedarán disponibles públicamente a través de los sitios de descarga de las instituciones que sean parte de la gobernanza de este programa.

La población objetivo, se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6.52. Cuantificación de población objetivo anual según segmento.

Segmento	Año 1	Año 2	Unidad de medida
Empresas de sector dependiente del recurso de la cuenca	2.079	2.078	Empresas
Comunidades y asociaciones indígenas	59	58	Agrupaciones
Operadores turísticos	205	200	Empresas
Niños y jóvenes en edad escolar de establecimientos certificados	500	500	Personas
Comités APR	3	2	Comités

Como ya se mencionó, en el caso de los segmentos 1, 2, 3 y 5, se considera que el programa será universal. En el caso del segmento 4, “Niños y jóvenes en edad escolar de establecimientos certificados por el SNCAE” se priorizarán aquellos que estén en un rango etario de 10 a 13 años.

6.3.6 Beneficiarios

En términos de personas, se estima que la participación efectiva de la población será de un 95%, dado que se considerará un porcentaje menor de inasistencia a las actividades convocadas. En términos de personas, los beneficiarios se cuantifican de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 6.53. Estimación de beneficiarios del programa.

Segmento	Total (A)	Número estimado de personas por segmento (B)	Nº estimado de personas total (A*B)	Nº estimado de participantes (A*B)*0,95
Empresas de sector dependiente del recurso de la cuenca	2.079	3	6.237	5.925
Comunidades y asociaciones indígenas	59	5	295	280
Operadores turísticos	205	3	615	584
Niños y jóvenes en edad escolar de establecimientos certificados	500	-	-	475
Comités APR	3	4	12	11
Total				7.275

Así, durante el primer año se espera haber atendido efectivamente a 7.275 personas.

6.3.7 Estrategia de intervención

En base al problema identificado, el programa realizará intervención en tres focos. El primero, orientado a establecer alternativas para asegurar el caudal ambiental de la cuenca del río Loa, a través de la búsqueda de alternativas de abastecimiento de agua. El segundo, orientado a mejorar e intervenir sitios de relevancia ecológica, cultural o recreativa, de modo de favorecer la sustentabilidad en el uso de éstos por parte de la comunidad. Por último, el tercer foco está orientado a coordinar a los actores públicos y privados involucrados en la problemática, de modo que las acciones definidas puedan ser ejecutadas en el mediano plazo y complementadas con acciones que no son abordadas en este programa. Asimismo, se espera concientizar y generar capital social en la población de las comunas involucradas para la adopción y valoración de las soluciones que sean implementadas.

6.3.7.1 Componentes del programa

El programa cuenta con tres componentes, que se describen a continuación.

i. Componente 1.

a. **Nombre:** Fuentes alternativas de abastecimiento y tecnologías de uso eficiente del recurso hídrico.
b. **Fecha de inicio:** mes 1.
c. **Tipo de beneficio:** los beneficiarios podrán contar con un portafolio de alternativas de abastecimiento hídrico y tecnologías de uso eficiente del agua, evaluadas técnica, económica y socialmente, a partir de las cuales, se podrán seleccionar e implementar aquellas que sean priorizadas por la gobernanza.
d. **Descripción del componente:** a partir de la causa identificada "alta extracción del recurso hídrico" se propone como solución sistematizar opciones de solución tecnológicamente disponibles a nivel nacional e internacional, que permitan establecer alternativas de abastecimiento de agua y uso eficiente de ésta, tanto para uso industrial como social. Además, considerando que por cambio climático, podrían existir crecidas de mayor magnitud, estas alternativas podrían incluir mitigar estos efectos aprovechando las aguas de crecidas, por ejemplo, mediante embalses. Se espera contar con un portafolio de al menos 6 alternativas que sean técnica, económica y socialmente viables, sustentables y sostenibles para el territorio, rankeadas a través de indicadores de rentabilidad social. A partir del ranking obtenido se deberá elaborar un proyecto de inversión que pueda ser postulado al Sistema Nacional de Inversiones en su etapa de prefactibilidad.
e. Criterios de selección específicos: el resultado de este componente será traspasado a representantes de la gobernanza conformada en el componente 3 de este programa.

f. **Unidad de producción:** estudios técnicos, económicos y sociales de alternativas de abastecimiento hídrico documentados y traspasados a la gobernanza.
g. **Producción:** la producción del primer año será de 4 estudios.
h. **Presupuesto a ejecutar: $75.493.000**

ii. **Componente 2.**

a. **Nombre:** Recuperación de sitios de relevancia.
b. **Fecha de inicio:** mes 1.
c. **Tipo de beneficio:** los beneficiarios recuperarán el uso de zonas de importancia hidrológica y ecológica.
d. **Descripción del componente:** de forma complementaria al componente 1, se esperar generar un portafolio de planes para recuperar sitios de relevancia hidrológica que permitan asegurar el caudal ambiental de la cuenca. Para ello, se realizará un levantamiento de la información disponible para priorizar las zonas que deben ser recuperadas y a partir de ello, se generarán planes de acción que puedan ser ejecutados en el mediano plazo, Se espera contar con un portafolio de al menos 6 alternativas que sean técnica y socialmente viables rankeadas a través de indicadores de rentabilidad social. A partir del ranking obtenido se ejecutarán al menos tres de ellos durante el segundo año de programa.
   Adicionalmente, se realizará un trabajo con operadores turísticos y comunidades y asociaciones indígenas que desarrollen actividades relacionadas al turismo, favoreciendo la sustentabilidad de los planes de recuperación ejecutados.
e. **Criterios de selección específicos:** no se consideran criterios específicos de selección.
f. **Unidad de producción:** número de sitios de importancia ecológica, cultural o recreativa, intervenidos.
g. **Producción:** no se contempla producción durante el primer año de programa.
h. **Presupuesto a ejecutar: $110.132.000**

iii. **Componente 3.**

a. **Nombre:** Gestión efectiva del programa.
b. **Fecha de inicio:** mes 1.
c. **Tipo de beneficio:** los beneficiarios podrán contar con una organización formal para estructurar actividades que permitan asegurar el caudal ambiental de la cuenca. Además, contarán con conocimientos para cualificar la problemática ambiental que afecta a la cuenca y sus efectos en la sustentabilidad del territorio y calidad de vida la población.

d. **Descripción del componente:** para lograr una integración efectiva de los actores del territorio con la problemática descrita y las alternativas de solución generadas con el programa, se propone la conformación de una gobernanza pública privada que priorice las acciones a realizar en el territorio, además de monitorear y hacer seguimiento al desarrollo de éstas. Lo anterior, permitirá no sólo priorizar las mejores alternativas bajo criterios de rentabilidad social, sino que además comprometer a los actores en su materialización en el mediano plazo.
   Complementariamente, y como parte de la instalación de capital social en el territorio, se desarrollarán acciones de difusión y sensibilización de la población de modo que no sólo conozcan la problemática de la cuenca y sus efectos, sino que también, adopten y aprueben las soluciones que sean priorizadas por la gobernanza.
e. **Criterios de selección específicos:** la gobernanza será conformada con actores públicos y privados, estos últimos, pertenecientes a actores productivos y sociales descritos en la población objetivo. La sensibilización en tanto, será realizada a toda la población objetivo.
f. **Unidad de producción:** gobernanzas constituidas.
g. **Producción:** Durante el primer año, el programa habrá constituido una gobernanza con la participación de al menos 8 actores público privados. Esta instancia continuará su operación en el siguiente año de ejecución del programa y planificará su operación permanente una vez que éste finalice.
h. **Presupuesto a ejecutar: $197.857.000**

6.3.7.2 Actividades por componente

i. **Componente 1:** Alternativas de abastecimiento hídrico.
   a. **Diagnóstico de situación actual ($23.892.000).** Se realizará un diagnóstico de la situación actual a partir de información ya levantada con el Estudio “Diagnóstico del Caudal Ambiental del Río Loa, Región de Antofagasta”. En función del caudal ambiental de la cuenca determinado para las distintas zonas de estudio de dicho diagnóstico, se definirán alternativas de solución que sean capaces de satisfacer dichos requerimientos.
   b. **Sistematización de alternativas de abastecimiento de agua y tecnologías ($8.052.000).** Se realizará una búsqueda a nivel nacional e internacional de alternativas de abastecimiento y uso eficiente de agua para fines productivos, sociales y recreacionales. Las alternativas que se definan deberán haber sido probadas y validadas técnicamente en zonas de características similares a las del presente estudio y sus externalidades negativas deberán ser neutras o mínimas. A partir de esta sistematización, la gobernanza a conformar en el componente 3, seleccionará aquellas que serán analizadas a través de indicadores sociales.

c. **Sistematización de información técnica para la implementación de cada alternativa definida ($16.610.000).** Se levantará la información necesaria para la implementación de cada alternativa a través de un plan de trabajo detallado y considerando aspectos como inversión inicial, plazos de implementación, alcance, beneficios anuales, costo de mantención y operación y externalidades positivas y negativas.
d. **Obtención de indicadores de rentabilidad social para cada alternativa definida ($11.352.000).** A partir de la información sistematizada, se deberá realizar una evaluación económica social considerando tasas y precios sociales y un flujo proyectado de costos y beneficios para un período de 15 años. A partir de este flujo, se determinará VAN y TIR social además de indicadores como el IVAN, que permitan rankear las alternativas en términos de rentabilidad social.
e. **Formulación de proyecto de inversión para la alternativa que presente mayor rentabilidad social ($15.587.000).** En base al ranking generado, la gobernanza seleccionará las alternativas que serán implementadas en el mediano plazo las que serán traspasadas a un proyecto de inversión a nivel de prefactibilidad incluyendo, entre otros, un análisis tecnológico, con alternativas de equipos, materia prima, procesos, servicios y otros para determinar los costos; aspectos asociados a tamaño y localización y externalidades, y un análisis administrativo y legal para determinar costos fijos de operación, determinando la organización del proyecto, en términos de RRHH y organigrama. Este proyecto deberá ser presentado al Sistema Nacional de Inversiones.

ii. **Componente 2:** Recuperación de sitios de relevancia.
a. **Diagnóstico de situación actual ($5.698.000).** Se realizará un levantamiento del estado actual de sitios de relevancia ecológica, cultural y recreativa que deban ser intervenidos, en términos de infraestructura para uso sustentable y otros parámetros que sean de importancia para la gobernanza, como frecuencia de uso anual. Se elaborará así, un listado de sitios y zonas de interés, las que serán ponderadas en función de criterios cualitativos y cuantitativos como beneficiarios impactados, cobertura geográfica, estado de infraestructura y otros, de modo de seleccionar aquellos que serán priorizados para su intervención. Preliminarmente, se puede mencionar como sitios de interés el Balneario Coya y el Parque Loa.
b. **Definición de planes de intervención para sitios de relevancia ($16.654.000)**. Para los sitios priorizados, se establecerán planes de intervención que contemplen la instalación de medidas de protección, instalación de infraestructura menor, delimitación de senderos y vías de acceso, entre otros. Cabe señalar, que si bien el río brinda una serie de servicio ecosistémicos que se ven afectados por la disminución del caudal y

deterioro del cajón, como lo son el paisaje y el turismo, estos últimos no son cuantificables directamente en función del caudal, por lo cual se proponen estas medidas para abordar esta problemática.

c. **Obtención de indicadores de rentabilidad social para cada alternativa definida ($8.470.000).** Para cada uno de los planes definidos, se realizará una evaluación de rentabilidad proyectando un flujo de costos y beneficios sociales en un horizonte de largo plazo. En función de los indicadores obtenidos, se elaborará un ranking de modo de seleccionar aquellos que sean implementados en el segundo año del programa.
d. **Ejecución de planes de intervención ($64.394.000).** En función de los planes definidos y priorizados, se realizará la ejecución de al menos tres de ellos. Estos incluirán la instalación de infraestructura menor, delimitación de zonas y otras.
e. **Intervención a operadores turísticos y comunidades y asociaciones indígenas asociadas a actividades turísticas ($14.916.000).** Complementariamente, se desarrollará un proceso de capacitación a operadores, comunidades y asociaciones que desarrollen actividades turísticas en el territorio de alcance de los sitios intervenidos. Asimismo, se elaborará al menos un plan de desarrollo turístico sustentable que favorezcan la conservación de los sitios intervenidos en el largo plazo que incluya visión territorial, acciones concretas de corto y mediano plazo, responsables, metas e indicadores. Este plan será presentad y traspasado a la gobernanza para que su ejecución sea liderada por las instituciones respectivas.

iii. **Componente 3:** Gestión efectiva del programa.

a. **Levantamiento de actores ($4.136.000).** Se elaborará un mapa de actores, de modo de identificar y caracterizar los stakeholders involucrados en la problemática de la cuenca, en términos de su grado de influencia en la toma de decisiones, intereses particulares y potenciales conflictos. Para cada uno, se elaborará también un listado preliminar de los contactos que serán convocados para participar dentro de la gobernanza como representante de su respectiva organización.
b. **Convocatoria de actores ($3.608.000).** Una vez identificados y caracterizados los stakeholders, se realizará una convocatoria para su participación formal dentro de la gobernanza. Ello se concretará a través de un taller de inducción y sensibilización donde se dará a conocer el propósito de la conformación de esta estructura, las actividades a ejecutar y los resultados esperados.
c. **Definición de estatutos de operación ($4.136.000).** Paralelamente y con la participación de los actores previamente convocados, se realizará al menos un taller de trabajo para definir los objetivos y marco de acción de la

gobernanza, así como los roles de cada participante y la estructura de operación. Asimismo, se conformarán comités técnicos de trabajo, de acuerdo al ámbito de acción de cada participante, para la discusión de temas específicos. Dentro de las funciones específicas que deberán incorporarse será el monitoreo del programa y la validación de los resultados de los componentes 1 y 2.

d. **Puesta en régimen de gobernanza ($3.300.000).** Establecida la operatoria de la gobernanza, se dará inicio a su funcionamiento a través de una reunión inicial, donde se definirá un plan de trabajo en el marco del programa.
e. **Difusión del valor ambiental del territorio ($106.986.000):** Parte esencial de la gobernanza, será apropiar a la comunidad sobre el valor ambiental del territorio. Para ello, se establecerán instancias de difusión a la ciudadanía, en particular empresas privadas que hacen uso del recurso hídrico, comunidades y asociaciones indígenas del territorio, organizaciones de la sociedad civil y establecimientos educacionales, a objeto de informar y educar de forma constante y periódica acerca de la valorización ambiental de la cuenca del río Loa. Estas actividades consistirán en talleres de periodicidad mensual para cada segmento. Asimismo, se utilizarán herramientas de difusión como afiches, dípticos, boletines, cápsulas radiales, un sitio web del proyecto y videos educativos. Finalmente, se considera la realización de una gira tecnológica con representantes de la gobernanza, para prospectar experiencias exitosas a nivel nacional o internacional, que hayan sido implementadas de manera similar a las propuestas por este programa.
f. **Administración general del programa ($75.691.000):** como parte de su ámbito de acción, la gobernanza estará a cargo de monitorear la ejecución de las actividades y los resultados obtenidos, proponiendo acciones correctivas en caso necesario.

6.3.7.3 Estrategia de intervención del programa

El programa se estructura en 3 componentes que buscan dar solución a dos de las causas basales identificadas. A través del primer componente, está orientado en generar alternativas de solución técnica, económica y socialmente factibles para el abastecimiento de agua del territorio tanto con fines productivos, como sociales y recreacionales. Las alternativas que sean propuestas deberán haber sido previamente validadas y deberán presentar el menor número de externalidades negativas de modo que constituyan una solución sostenible y sustentable en el largo plazo. Las alternativas con mayor rentabilidad social, deberán ser presentadas a fuentes de financiamiento público de modo que puedan ser implementadas en el mediano plazo.

El segundo componente, buscará intervenir sitios de importancia ecológica, cultural y recreativa, de modo de satisfacer estas demandas de manera sustentable. Para ello, se deberá elaborarán planes de restauración de al menos 6 sitios de interés para los actores de la gobernanza, los que serán ponderados y priorizados para, el segundo año, concretar la intervención de al menos 3 de ellos. Complementariamente, se realizará un proceso de intervención a operadores turísticos y comunidades y asociaciones indígenas ligadas al rubro de modo de favorecer la sustentabilidad de las acciones de restauración realizadas.

Finalmente, con el componente 3 se busca realizar una gestión efectiva con los actores del territorio y la población, de modo de sensibilizar a ésta en torno a la problemática de la cuenca, pero además con las soluciones que sean levantadas y planificadas a través de este programa. Para ello, se conformará una gobernanza público privada de alcance territorial que definirá las acciones específicas de mediano y largo plazo que serán implementadas de manera coordinada e integrada entre todos los participantes. En este participarán instituciones como el Gobierno Regional de Antofagasta y la Seremi de Medio Ambiente, representantes de empresas productivas de sectores que utilizan y dependen del recurso hídrico, y representantes de organizaciones del mundo indígena y de la sociedad civil. El ámbito de acción de esta gobernanza estará dado entonces por 3 ejes: la validación de las actividades e información generada en los otros componentes, el control y monitoreo del programa, y el aseguramiento de la implementación de las iniciativas priorizadas en el componente 1. De forma complementaria, estará a cargo de ejecutar acciones de concientización de la comunidad en torno a la problemática ambiental de la cuenca, sus efectos en la sustentabilidad productiva y económica del territorio y la calidad de vida de las personas y la sensibilización de las iniciativas priorizadas.

La integración de estos 3 componentes permitirá, por una parte, incrementar o asegurar el caudal ambiental disponible de la cuenca del río Loa. Con ello, se mejorará la sostenibilidad y sustentabilidad de las distintas actividades económicas y productivas del territorio, en particular, minería, turismo y provisión de servicios, además de las actividades sociales y recreativas desarrolladas por la población. Asimismo, se generará vinculación y coordinación entre los distintos stakeholders de modo que las iniciativas ejecutadas y por

ejecutar, desarrolladas en el marco de este programa, sean concretadas y con un impacto positivo en el territorio. Todo ello, complementado con la sensibilización y concientización de la población, factor crítico para el éxito sostenible en el largo plazo de dichas iniciativas.

6.3.7.3.1 Tiempo de intervención

El programa tendrá una duración de 2 años.

6.3.7.3.2 Criterios de egreso

La entrega de los beneficios será verificada a través de actas de aprobación por parte de la gobernanza. En el caso de las capacitaciones, ésta será verificada a través de certificados de participación.

6.3.7.3.3 Sistemas de registro

Para el registro de los beneficiarios atendidos, se utilizará una planilla Excel elaborada y manejada por el ejecutor donde se registrará el RUT, nombre y organización que representa o de la cual forma parte.

6.3.7.4 Articulaciones y complementariedades

Este programa se complementa con el estudio "Diagnóstico del Caudal Ambiental del Río Loa, Región de Antofagasta", solicitado por el Gobierno Regional de Antofagasta el cual da origen a este programa a través de los resultados obtenidos.

Por otra parte, el programa se articulará permanentemente con los actores públicos y privados que formarán parte de la gobernanza. Dentro de éstos se encuentran:

- Gobierno Regional de Antofagasta.
- Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente.
- Armada de Chile.
- Secretaría Regional Ministerial de Salud.
- Servicio Nacional de Pesca.
- Servicio de Evaluación Ambiental.
- Municipalidades de las comunas involucradas.
- Organizaciones de la sociedad civil.

6.3.7.5 Incorporación de enfoque de derechos

El programa tendrá un enfoque de pueblos indígenas, aspecto que será considerado en el diseño y ejecución de cada una de las alternativas de abastecimiento hídrico y recuperación de sitios, además de las capacitaciones orientadas a este segmento.

6.3.8 Indicadores

Tabla 6.54. Indicadores de logro del propósito.

Nº	Nombre	Forma de cálculo	Unidad de medida	Periodicidad	Dimensión	Lectura	Fuente de información
1	Iniciativas presentadas al SNI a nivel de prefactibilidad para implementación de alternativas de abastecimiento hídrico.	Nº de iniciativas presentadas / Nº de iniciativas priorizadas por gobernanza	Porcentual	Anual	Calidad	Ascendente	El numerador será obtenido a través del BIP. El denominador, a través de registro interno del programa.
2	Sitios de importancia ecológica, cultural y recreativa intervenidos por el programa.	Sitios intervenidos / Nº de iniciativas priorizadas por gobernanza	Porcentual	Anual	Calidad	Ascendente	El numerador y el denominador serán obtenidos a través de registro interno del programa.

Tabla 6.55. Indicadores por componente

Nº	Nombre	Forma de cálculo	Unidad de medida	Periodicidad	Dimensión	Lectura	Fuente de información
Componente 1							
1	Campañas de medición	Nº de campañas realizadas/Nº de campañas programadas	Porcentual	Bimensual	Eficacia	Ascendente	El numerador y el denominador serán obtenidos a través de registro interno del programa.
2	Tecnologías y alternativas de abastecimiento hídrico documentadas y evaluadas técnica y económicamente.	Nº de alternativas documentadas y evaluadas / 6	Porcentual	Anual	Eficacia	Ascendente	El numerador y el denominador serán obtenidos a través de registro interno del programa.
Componente 2							
1	Planes de intervención de sitios de importancia ecológica , cultural y recreativa, documentados y evaluados.	Nº de alternativas documentadas y evaluadas / 6	Porcentual	Anual	Eficacia	Ascendente	El numerador y el denominador serán obtenidos a través de registro interno del programa.
2	Operadores turísticos capacitados	Nº de operadores turísticos capacitados/Nº de operadores pertenecientes al territorio	Porcentual	Anual	Eficacia	Ascendente	El numerador y el denominador serán obtenidos a través de registro interno del programa.
3	Comunidades y asociaciones indígenas capacitadas	Nº de comunidades y asociaciones capacitadas/ Nº de comunidades y	Porcentual	Anual	Eficacia	Ascendente	El numerador y el denominador serán obtenidos a través de

Nº	Nombre	Forma de cálculo	Unidad de medida	Periodicidad	Dimensión	Lectura	Fuente de información
		asociaciones pertenecientes al territorio					registro interno del programa.
4	Planes de desarrollo turístico	Nº de planes elaborados/Nº de planes programados	Porcentual	Anual	Eficacia	Ascendente	El numerador y el denominador serán obtenidos a través de registro interno del programa.
Componente 3							
1	Organizaciones que conforman la gobernanza.	(Nº de organizaciones que conforman la gobernanza / Nº de organizaciones convocadas)	Porcentual	Anual	Eficiencia	Ascendente	El numerador y el denominador serán obtenidos a través de registro interno del programa.
2	Nº de planes de intervención aprobados por la gobernanza para abordar la problemática	(Nº de planes aprobados / Nº de planes desarrollados)	Porcentual	Anual	Eficiencia	Ascendente	El numerador y el denominador serán obtenidos a través de registro interno del programa.
3	Niños y jóvenes sensibilizados.	(Nº de niños y jóvenes certificadas) / (Nº de niños y jóvenes capacitados)	Porcentual	Anual	Eficacia	Ascendente	El numerador y el denominador serán obtenidos a través de registro interno del programa.
4	Empresas capacitadas	(Nº de empresas capacitados/Nº de empresas pertenecientes al territorio	Porcentual	Anual	Eficacia	Ascendente	El numerador y el denominador serán obtenidos a través de registro interno del programa.

Nº	Nombre	Forma de cálculo	Unidad de medida	Periodicidad	Dimensión	Lectura	Fuente de información
5	Organizaciones de la sociedad civil capacitadas	(Nº de organizaciones capacitadas/Nº de organizaciones pertenecientes al territorio	Porcentual	Anual	Eficacia	Ascendente.	El numerador y el denominador serán obtenidos a través de registro interno del programa.
6	Comunidades y asociaciones indígenas capacitadas	(Nº de comunidades y asociaciones capacitadas/Nº de comunidades y asociaciones pertenecientes al territorio	Porcentual	Anual	Eficacia	Ascendente.	El numerador y el denominador serán obtenidos a través de registro interno del programa.
7	Personas sensibilizadas y concientizadas con la problemática	(Nº de personas que declaran conocer la importancia de la problemática/Nº de personas atendidas)	Porcentual	Anual	Eficiencia	Ascendente.	El numerador y el denominador serán obtenidos a través de registro interno del programa.
8	Personas sensibilizadas y concientizadas con las soluciones generadas	(Nº de personas que declaran aprobar las soluciones generadas/Nº de personas atendidas)	Porcentual	Anual	Eficiencia	Ascendente.	El numerador y el denominador serán obtenidos a través de registro interno del programa.

6.3.9 Presupuesto del programa

Tabla 6.56. Presupuesto global

Ítem	Unidad	Costo unitario (M$)	Cantidad total	Total programa
Jefe de proyecto - Ingeniero ambiental	hora	16	2.160	33.594
Coordinador Regional	hora	10	4.320	43.200
Ingeniero Ambiental	hora	10	4.320	43.200
Ingeniero Civil/Comercial	hora	10	4.320	43.200
Técnico	hora	6	4.319	23.996
Administrativo técnico-financiero	hora	6	4.320	24.000
Alimentación	día	60	176	10.560
Arriendo de salas y equipos	día	200	40	8.000
Café, colación o similar	persona	7	1.080	7.560
Infraestructura de recuperación de sitios	set	10.000	3	30.000
Material digital e impreso (infografías, RRSS, afiches)	set	6.000	2	12.000
Material multimedia (videos, cápsulas u otros)	video	4.500	4	18.000
Materiales de oficina	anual	1.000	2	2.000
Software ofimática	licencia	300	4	1.200
Transporte	mes	500	25	12.500
Ejecución de gira tecnológica	persona	3.000	10	30.000
Equipamiento de muestreo	set	3.000	1	3.000
Equipos computacionales (impresora, data, computadores)	set	2.610	1	2.610
Sub total				**348.620**
Utilidad consultora (10%)				34.862
Total general				***383.482***

Tabla 6.57. Presupuesto detallado por componente/actividad

Etiquetas de fila	Total año 1	Total año 2	Total programa	Utilidad consultora	Total General
Componente 1	**38.700**	**29.930**	**68.630**	**6.863**	**75.493**
Actividad 1.1.	21.720	-	21.720	2.172	23.892
Actividad 1.2.	2.760	4.560	7.320	732	8.052
Actividad 1.3.	6.380	8.720	15.100	1.510	16.610
Actividad 1.4.	3.650	6.670	10.320	1.032	11.352
Actividad 1.5.	4.190	9.980	14.170	1.417	15.587
Componente 2	**28.020**	**72.100**	**100.120**	**10.012**	**110.132**
Actividad 2.1.	5.180	-	5.180	518	5.698
Actividad 2.2.	15.140	-	15.140	1.514	16.654
Actividad 2.3.	7.700	-	7.700	770	8.470
Actividad 2.4.	-	58.540	58.540	5.854	64.394
Actividad 2.5.	-	13.560	13.560	1.356	14.916
Componente 3	**106.350**	**73.520**	**179.870**	**17.987**	**197.857**
Actividad 3.1.	3.760	-	3.760	376	4.136
Actividad 3.2.	3.280	-	3.280	328	3.608
Actividad 3.3.	3.760	-	3.760	376	4.136
Actividad 3.4.	3.000	-	3.000	300	3.300
Actividad 3.5.	66.500	30.760	97.260	9.726	106.986
Actividad 3.6.	26.050	42.760	68.810	6.881	75.691
Total general	***173.070***	***175.550***	***348.620***	***34.862***	***383.482***

6.3.1 Carta Gantt

Programa Recuperación del Caudal Ambiental de la Cuenca del Río Loa	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Mes 13	Mes 14	Mes 15	Mes 16	Mes 17	Mes 18	Mes 19	Mes 20	Mes 21	Mes 22	Mes 23	Mes 24
1. Componente 1: Alternativas de abastecimiento hídrico y tecnologías de uso eficiente.																								
1.1. Diagnóstico de situación actual.																								
1.1.1. Levantamiento de información secundaria.	■	■	■	■	■																			
1.2. Sistematización de alternativas de abastecimiento de agua.						■	■								■	■								
1.3. Sistematización de información técnica para la implementación de cada alternativa definida.							■	■	■	■						■	■	■	■					
1.4. Obtención de indicadores de rentabilidad social para cada alternativa definida.										■	■	■							■	■	■			
1.5. Formulación de proyecto de inversión para la alternativa que presente mayor rentabilidad social.												■	■								■	■	■	■
2. Componente 2: Recuperación de sitios de relevancia.																								
2.1. Diagnóstico de situación actual.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
2.2. Definición de planes de recuperación para sitios de relevancia.		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
2.3. Obtención de indicadores de rentabilidad social para cada alternativa definida.										■	■	■												
2.4. Ejecución de planes de recuperación.													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2.5. Intervención a operadores turísticos y comunidades y asociaciones indígenas asociadas a actividades turísticas.																								
2.5.1. Ciclo de capacitación y sensibilización a actores.													■			■			■			■		
2.5.2. Elaboración de planes de desarrollo turístico sustentable.																			■	■	■	■	■	■
3. Componente 3: Gestión efectiva del territorio.																								
3.1. Levantamiento de actores.	■	■																						
3.2. Convocatoria de actores.		■																						
3.3. Definición de estatutos de operación.		■	■																					
3.4. Puesta en régimen de gobernanza.				■																				
3.5. Difusión del valor ambiental del territorio.																								
3.5.1. Elaboración de herramientas educativas y de difusión.				■	■	■	■	■	■	■					■	■	■	■	■	■				
3.5.2. Ciclo de capacitación y sensibilización a actores.					■			■			■			■			■			■			■	
3.5.3. Gira tecnológica para conocer experiencias similares.				■																				
3.6. Administración general del programa.				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Figura 6.23 Carta Gantt del programa

7 REFERENCIAS

7.1 General

Acrernan, M. & Dunbar, M.J.2004. Defining environmental river flow requirements - a review. Hydrology and Earth System Sciences 8(5): 861-876

Agualimpia, Y.& Castro, C.2006. Metodologías para la determinación de los caudales ecológicos en el manejo de los recursos hídricos. Revista Tecnogestion vol 3 (1) Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Castro, L.M., Carvajal, Y. & Monsalve, E. 2006. Enfoques teóricos para definir el caudal ambiental. Revista Ingeniería y Universidad vol. 10 (2). Facultad de Ingeniería. Pontificia Universidad laveriana.

DGA, 2016. Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta. Informe Final. S.I.T N°379.

Dyson, M., Bergkamp, G. & Scanlon, J. (eds) 2003. Caudal. Elementos esenciales de los caudales ambientales. Tr. José María Blanch. San José, c.R.: UICN-ORMA xiv + 125 pp.

Flores V., Carolina, 2001. Diagnóstico de la Cuenca Hidrográfica del Río Loa. Tesis de Título, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Católica del Norte.

GORE Aysén, 2010. Diagnóstico Ambiental Cuenca del Río Aysén y Sector Costero Adyacente. Informe Final.

Karim, K., Gubbels, M.E. & Goulter, LC. 1995. Review of determination of instream flow requirements with special application to Australia. Water Resources Bulletin 311063-1077.

King J. & Louw D. 1998. Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the Building Block Methodology. Aquatic Ecosystem Health and Management 1(2): 109-124.

Malan, H., Bath, A, Day, J. & [oubert, A 2003. A simple flow - concentration modelling method for integrating water quality and water quantity in rivers. En Water SA,vol. 29, numo 3, pp. 305-311. Disponible en ww"v.wrc.or~za.

McKay, S. K., & Fischenich, J. C., 2011. Robust prediction of hydraulic roughness. U.S. Army Engineer Research and Development Center.

MMA 2014, Propuesta Marco Conceptual, Definición y Clasificación de Servicios Ecosistémicos. Departamento de Economía Ambiental del Ministerio del Medio Ambiente de Chile.

MMA 2015. Especificaciones técnicas para nuevos productos cartográficos. División de Recursos Naturales y biodiversidad. 6pp

MOP. 2012. Diagnóstico plan estratégico para la gestión de los recursos hídricos, Región de Antofagasta. ARRAU Ingeniería E.I.R.L.S.J.T.Nº 29. 319pp.

Neimeyer, H., (1979). Hoyas Hidrográficas de Chile: Segunda región.

Ormazábal, C. 2004. El caso del proyecto RALCO.Presentado en el Seminario: "Caudal ecológico: metodologías y casos aplicados". 28 de abril de 2004. Santiago de Chile. Chile

Orellana, S., (1985). Hidroquímica del río Loa, Un prototipo para estudio de Hoyas hidrográficas en el norte de Chile. Tesis de Magíster en Ciencias, mención Geoquímica. Universidad Católica del Norte. Antofagasta.

Palau, A. 1994. Los mal llamados caudales "ecológicos". Bases para una propuesta de cálculo. Revista del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Nº 28. Ríos, 11. p. 84 - 95.

Palmer, C.G., Rossouw, N., Muller, W.J. & Scherman P-A. 2005. The development ofwater quality method whitin ecological Reserve assessment, and links to environmental flow. En Water SA, vol. 31, numo 2, pp. 161-170. Disponible en VvwvJ.wrc.orgM

Pyerce. R. 2004. Hydrological low flow indices and their uses. Watershed Science Center. Trent University. WSC Report No. 04-2004. Peterborough. Ontario. Canada.

Rojas, C; Bembow, M.,(2006) Generación de información geológica compementaria en la elaboración de la norma secundaria de las aguas del río Loa.

Rojas M., Casas A., Ordóñez D., Otero J.D., Martínez J.P., Ceballos V., Joaquí S., y González Dayan. 2014. Metodología para el análisis de vulnerabilidad en cuencas abastecedoras de agua ante la variabilidad climática. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, vol. 13, No. 25 pag 29- 43. ISSN 1692-3324 - julio-diciembre de 2014/248 p. Medellín, Colombia,

TEEB 2010, The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations, The Economic of Ecosystems and Biodiversity.

Tharme, R. E. 2003. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. River Research and Applications, 19, 397-441

Específica Química:

APHA, AWWA, WEF (2012). Standard Methods: for the examination of water and wastewater. 22nd Edition

NCh 1333 Of.78. Modificada en 1987. Requisitos de calidad de agua para diferentes usos. Instituto Nacional de Normalización.

Decreto Supremo N°143/2009. “Normas de calidad primaria para las aguas continentales superficiales aptas para actividades de recreación con contacto directo”.

7.2 OE-1

7.2.1 Recopilación antecedentes

Arcadis. 2016. Plan estratégico para la gestión de los recursos hídricos, Región de Antofagasta. S.I. T. N° 379, Dirección General de Aguas. Santiagio, Chile: DGA. 356 pp.

Arrau Ingeniería E.I.R.L. 2012. Diagnóstico Plan estratégico para la gestión de los recursos hídricos, Región de Antofagasta. Dirección General de Aguas. Santiagio, Chile: DGA. 319 pp.

Aylwin, et al. 2010. Las Implicancias de la ratificación del Convenio N° 169 de la OIT eb Chile. Programa de Derechos de los Pueblos Indígenas 2°da edición revisada y aumentada. 161 pp.

AMPHOS. 2018. Informe Plan de Vigilancia Ambiental Río Loa. CODELCO DISTRITO NORTE.

AMPHOS. 2017. Diagnóstico para desarrollar plan de gestión de riego en la Región de Antofagasta. 408 pp.

AQUATIERRA INGENIEROS LIMITADA. 2009. Actualización y complementación de información de organizaciones de usuarios. Informe Final realizado para la Dirección General de Aguas, Unidad de Fizcalización. S.I.T N° 179.

Bauer. 2015. Conflictos de agua y problemas de gobernanza en Chile. Conferencia CEPAL. Reunión de expertos en la formulación de políticas de agua. Santiago, Chile.

BIOTA. 2006. Estudio de los sistemas vegetacionales azonales hídricos del altiplano. Recuperado de <https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/INFORME_FINALALTIPLANO_SAG.pdf.>

Börgel, R. 1983. Geografía de Chile, Instituto Geográfico de Chile. Tomo II Geomorfología. Santiago, Chile. Editorial del Instituto Geográfico Militar de Chile 178 pp.

Centro del Agua. 2018. Organizaciones de usuarios del Agua. Asociaciones de canalistas. Universidad de Concepción. [En Línea] Recuperado en <http://www.centrodelagua.cl/?q=node/19>.

CEA. 2015. Diagnóstico y gestión ambiental integrada de humedales Altoandinos. 409 pp.

CEA. 2017. Análisis de adaptación al cambio climático en humedales andinos. 1068 pp.

CIREN. 2016. Sistema de Información Territorial de Humedales Altoandinos. Flora y Vegetación II Región de Antofagasta. 31 pp.

CIREN. 2010. Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile, Región de Antofagasta, síntesis de resultados. 50 pp.

Cade - Idepe consultores en ingeniería. 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad, Cuenca río Loa. 155 pp.

Casanova, M.; Salazar, O.; Seguel, O.; Luzio, W. 2013. The Soils Of Chile. Main Features of Chilean Soils. Madison, USA: Alfred Hartemink. 182 pp.

Comisión Nacional de Riego. 2019. Definiciones estratégicas. Recuperado el 11 de mayo del 2019 En línea:
https://www.mop.cl/Direccionesyareas/DirecciondeObrasHidraulicas/Paginas/default.aspx

CONADI. 2018. Misión Institucional. [En Línea] Recuperado en < http://www.conadi.gob.cl/mision-institucional>

CONAMA. 2002. Estrategia regional y plan de acción para la conservación y uso sustentable de la diversidad biológica de la región de Antofagasta. 39 pp.

CONAF. 2018. Funciones. [En Línea] Recuperado en <http://www.conaf.gob.cl/quienes-somos/>

DGA. 2018. Informe técnico DARH n°2, Balance y disponibilidad para el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de ejercicio eventual en el río Loa, tramo: Estación fluviométrica río Loa en Chacance- Desembocadura, Región de Antofagasta. 14 pp.

Dirección de obras hidráulicas. 2019. Direcciones y áreas. Recuperado el 11 de mayo del 2019. https://www.mop.cl/Direccionesyareas/DirecciondeObrasHidraulicas/Paginas/default.aspx

Dirección de obras hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas. 2017. Embalse Conchi, Calama, II Región de Antofagasta, Chile. 14 pp.

Departamento de proyectos de riego, Ministerio de Obras Públicas. 2015. Informe topogrpafico de perfiles transversales río Loa. 5 pp.

DGA, Departamento de recursos hídricos, Ministerio de obras públicas. 2005. Evaluación de los recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Loa. S .D.T- N°192. 38pp

DGA 2018. Funciones. [En Línea] Recuperado en <http://www.dga.cl/acercadeladga/funciones/Paginas/default.aspx>

DMC. 2001. Departamente de climatología meterorología de Chile. Climatología Regional. 41 pp.

Econat Consultores. 2005. Análisis general del impacto ecnonómico de norma secundaria de calidad de aguas del río Loa en el sector silvoagropecuario. 84 pp.

Flores, P et al. 2010. Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile, Región de Antofagasta. Centro de Información de Recursos Naturales, Santiagio, Chile: MINAGRI. 50 pp.

García-Cevecich, P. 2015. Control de la Erosión y Recuperación de Suelos Degradados. Denver, Colorado. Oitskirts Press. Inc. 469 pp.

Honorato-Zimmer, D. Thiel, M. 2017. Segundo muestreo nacional de la basura en los ríos. Universidad Católica del Norte, Sede Coquimbo. Coquimbo, Chile.

Ibañez, A.; Moreno, R.; Blanquer, J.2010. Glosario de términos geomorfológicos. Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Ambiente. Valencia, España. 31 pp.

Instituto Nacional de Estadística. 2007. Censo Nacional Agropecuario y Forestal.

Instituto Nacional de Estadísticas. 2017. Censo nacional de población y vivienda.

Intendencia de Antofagasta. 2018. Misión institucional y objetivos estratégicos. [En Línea] Recuperado en < http://www.intendenciaantofagasta.gov.cl/vision/>

Inzunza, J. S/F. Meteorología descriptiva. Capítulo 15 Climas de Chile. Universidad de Concepción. [En Línea]. Recuperado en <

http://nimbus.com.uy/weather/Cursos/Curso_2006/Textos%20complementarios/Meteorologia%20descriptiva_Inzunza/cap15_Inzunza_Climas%20de%20Chile.pdf> .

Matraz Consultores Asociados Limitada. 2014. Caracterización Hidrogeoquímica de la cuenca del Loa alto, Región de Antofagasta Chile. S.I.T. N° 335. 451 pp.

Mayco Consultores. 2013. Levantamiento de información hidrogeológica Región de Antofagasta. 134 pp.

Ministerio de Economía Fomento y Turismo. 2014. Unidad de estudios. Las empresas en Chile por tamaño y sector económico desde el 2005 a la fecha. [En Línea] <http://www.economia.gob.cl/wp-content/uploads/2014/06/Bolet%C3%ADn-Empresas-en-Chile-por-Tama%C3%B1o-y-Sector-2005-2012.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente. Preguntas frecuentes. Santiago, Chile. Preguntas frecuentes [En línea] < http://areasprotegidas.mma.gob.cl/preguntas-frecuentes/>

Ministerio de Salud. 2015. Departamento de estadísticas e información de salud. Indicadores básicos de salud Chile. [En línea] <http://www.deis.cl/wp-content/uploads/2018/05/IBS-2015.pdf >

MOP. 2018. Funciones. [En Línea] Recuperado en https://www.mop.cl/acercadelmop/Funciones/Paginas/default.aspx.

Muñoz. 2003. El registro de las organizaciones de usuarios de aguas por la dirección general de aguas. Revista de derecho administrativo económico N°2. pp 303-309.

Knigth Pésold S.A. 2014. Análisis integrado río Loa Región de Antofagasta. S.I.T. N° 339. S.I.T. N° 339, Dirección General de Aguas. Santiago, Chile: DGA. 306 pp.

Leubert, F.; Pliscoff, P. 2006.Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile.Santiago, Chile. Editorial Universitaria.315 pp.

ODEPA. 2016. VIII Censo nacional Agropecuario y Forestal INE- ODEPA. Modernizar la estadística regional.

ONEMI 2018. Visión y misión. [En Línea] Recuperado en < http://www.onemi.cl/mision-y-vision/>

Peredo- Parada, M. et al. 2009. Base de datos eco-hidrologica de los ríos de Chile: Una herramienta de gestión para los ecosistemas acuáticos. [En línea] Gayana 73(1): 119-129. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/gayana/v73n1/art15.pdf>.

Pliscoff, P. 2015. Aplicación de los criterios de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) para la evaluación de riesgo de los ecosistemas terrestres de

Chile. Informe Técnico elaborado por Patricio Pliscoff para el Ministerio del Medio Ambiente. 63 p. Santiago, Chile.

Servicio nacional de turismo. 2012. Atractivos turísticos. Región de Antofagasta. [En línea]: 330 pp recuperado de < http://astroturismochile.cl/wp-content/uploads/2015/01/Catastro-de-atractivos-tur%C3%ADsticos-Regi%C3%B3n-de-Antofagasta-2012-Sernatur.pdf >.

SAG. 2018. Funciones. [En Línea] Recuperado en <http://www.sag.gob.cl/quienes-somos/que-es-y-que-hace-el-sag>

SAG. 2000. Informe contaminación río Loa, período marzo 1997 – febrero 2000.

SEA. 2018. 2018. Funciones y objetivos estratégicos. [En Línea]. Recuperado en <http://www.sea.gob.cl/sea/quienes-somos>

SERNAGEOMIN. 2018. Funciones y objetivos estratégicos [En Línea] Recuperado en <http://www.sernageomin.cl/mision-y-vision-institucional/>

SISS. 2018. Misión, visión, valores. [En Línea]. Recuperado en <http://www.siss.gob.cl/586/w3-propertyvalue-6314.html>

Seremi del Medio Ambiente. 2013. Diagnóstico y Evaluación (2002-20015) de la estrategia regional y plan de acción para la conservación y uso sustentable de la diversidad biológica de la región de Antofagasta. Villablanca, R.; Ibarra, J. 220 pp.

Tellier, S.; Becerra, P. 2003. Flora y vegetación del salar de Ascotan, andes del norte de Chile. Gayana 60(2): 114- 122.

UATSA. 2015. Análisis integral del mejoramiento de la calidad de vida, comuna de Calama 1era etapa: "Análisis de agua en el río Loa para detectar Contaminantes que provienen del tranque Talabre, comuna de Calama y otros".113 pp

United States Geological Survey (USGS). Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plain. Office of Water Data Coordination. USGS, Reston, Virginia.

XIV Congreso geológico chileno. 2015. Geoquímica de sedimentos y suelos de Chile, Catastro de estudios de geoquímica ambiental de suelos y sedimentos de Chile. [En línea]. Tapia, J.; Mulet, J.; Poblete, N.; Rodriguez, C. 5 pp. Recuperado de http://biblioteca.sernageomin.cl/opac/DataFiles/14905_v3_pp_314_317.pdf

7.2.2 Biológica

Benoit I (ed) (1989). Libro Rojo de la Flora terrestre de Chile. Corporación Nacional Forestal. Ministerio de Agricultura .157 pp.

Bertrand, H (1995) Les insects aquatiques d Europe. Encyclopédie Entomologique. Volume II: Trichoptères, Lepidoptères, Diptères, Hyménoptères. Paul Lechevalier Editeur (Paris).543 pp.

CEI J.M. (1962). Batracios de Chile. Ediciones Universidad de Chile, Santiago. cviii + 128 pp.

Decreto Supremo N° 13/2013. Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, noveno proceso. Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Publicado en Diario Oficial de la República de Chile (Publicado el 25 de julio de 2013).

Decreto supremo N° 151/2007. Oficializa la primera clasificación de especies silvestres según estado de conservación. Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES). Publicado en Diario Oficial de la República de Chile (Publicado el 24 de marzo de 2007).

Decreto Supremo N° 16/2016. Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, duodécimo proceso. Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Publicado en Diario Oficial de la República de Chile (16 de septiembre de 2016).

Decreto Supremo N° 19/2013. Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, octavo proceso. Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Publicado en Diario Oficial de la República de Chile (Publicado el 11 de febrero de 2013).

Decreto Supremo N° 23/2009. Aprueba y oficializa nómina para el cuarto proceso de clasificación de especies silvestres según estado de conservación. Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES). 2009. Publicado en Diario Oficial de la República de Chile (Publicado el 7 de mayo de 2009).

Decreto Supremo N° 33/2012. Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, quinto proceso. Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Publicado en Diario Oficial de la República de Chile (Publicado el 27 de febrero de 2012).

Decreto Supremo N° 38/2015. Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, undécimo proceso. Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Publicado en Diario Oficial de la República de Chile (4 de diciembre de 2015).

Decreto Supremo N° 41/2012. CHILE. Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, sexto proceso. Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Publicado en Diario Oficial de la República de Chile (Publicado el 11 de abril de 2012).

Decreto Supremo N° 42/2012. Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, séptimo proceso. Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Publicado en Diario Oficial de la República de Chile (Publicado el 11 de abril de 2012).

Decreto Supremo N° 50/2008. Aprueba y oficializa nómina para el segundo proceso de clasificación de especies según estado de conservación. Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES). Publicado en Diario Oficial de la República de Chile (Publicado el 30 de junio de 2008).

Decreto Supremo N° 51/2008. Aprueba y oficializa nómina para el tercer proceso de clasificación de especies según estado de conservación. Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES). Publicado en Diario Oficial de la República de Chile (Publicado el 30 de junio de 2008).

Decreto Supremo N° 52/2014. Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, décimo proceso. Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Publicado en Diario Oficial de la República de Chile (29 de agosto de 2014).

Decreto Supremo N° 6/2017. Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, decimotercer proceso. Ministerio del Medio Ambiente (MMA). Publicado en Diario Oficial de la República de Chile (16 de marzo de 2017).

DONOSO-BARROS R. (1966). Reptiles de Chile. Ediciones Universidad de Chile, Santiago. Cxiiv + 458 pp.

Fernández HR & E Domínguez (2001) Guía para la determinación de los Artrópodos Bentónicos Sudamericanos.Editorial Universitaria de Tucumán282 p.

FORMAS, J.R. (1995). Anfibios. 314-325. En: Simonetti, J., M. Arroyo, A. Spotorno & E. Lozada (Eds.). Diversidad biológica de Chile. Conicyt. Santiago de Chile. 364 pp.

Hernández, J., M.T. Serra & L. Faúndez (2000). Manual de métodos y criterios para la evaluación y monitoreo de la flora y la vegetación. Universidad de Chile, Chile, 37 pp.

Krammer K & H Lange–Bertalot (1986–1991). Bacillariophyceae 1. (1986); Bacillariophyceae 2 (1988); Bacillariophyceae 3 (1991); Bacillariophyceae 4 (1991). En: Ettl, H.et al., (Eds.), Süsswasserflora von Mitteleuropa, G. Fischer, Jena.

Lagler, K.F. (1956). Freshwater Fishery Biology. W.M.C. Brown Company Dubeque. Iowa. 421 pp.

Lange-Bertalot H (2001) Diatoms of Europe. Navicula sensu stricto 10 Genera SeparatedfromNavicula sensu lato. Frustulia.Lange-Bertalot (ed.).526 pp.

Lopretto, E. & Tell G. (1995). Ecosistemas de Aguas Continentales. Tomo III. Ediciones Sur. La Plata, Argentina. 1401 pp.

Marticorena, C., F. Squeo, G. Arancio & M. Muñoz (2001). Catálogo de la flora vascular de la IV Región de Coquimbo. En: Squeo F, G. Arancio & J. Gutiérrez (eds) Libro Rojo de la flora nativa y de los sitios prioritarios para su conservación: Región de Coquimbo. CONAF- Univ. La Serena, 372 pp.

MELLA, J. E. (2005). Guía de Campo de Reptiles de Chile: Zona Central. Peñaloza, APG; F Novoa & M Contreras (eds.). Ediciones del Centro de Ecología Aplicada Ltda. 147 pp + xii.

Merrit RW & K-W Cummins (1996) An introduction to the Aquatic Insect of North America. Third Edition. Kendall / Hunt Publishing Company.862 pp.

Mueller-Dombois D & H Ellenberg (1974). Aims and methods of Vegetation Ecology. J. Wiley & Sons, New York. 547 pp.

NÚÑEZ, H. & F. JAKSIC. (1992). Lista comentada de los reptiles terrestres de Chile continental. Boletín del Museo Nacional de Historia Natural de Chile 43: 63-91.

PINCHEIRA-DONOSO, D. & NUÑEZ H. (2005). La especies chilenas del género Liolaemus Wiegmann, 1834 (Iguania: Tropiduridae: Liolaeminae). Taxonomía, Sistemática y Evolución. Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural. Chile Nº 59: 7-486.

Rivera P (1983) A Guide for References and Distribution for the Class Bacillariophyceae in Chile between 18º28'S and 58ºS.Bibliotheca Diatomologica Vol.3, 386 pp.

Round, F.E., Crawford, R.M. & Mann, D.G. (1996). The Diatoms. Biology and morphology of the genera. Cambridge Univ. Press. Cambridge. 735 p.

Rumrich U, H Lange-Bertalot& M Rumrich (2000) Iconographia Diatomologica 9.Diatomeen der Anden (von Venezuela bis Patagonien/ Tierra del Fuego).Lange Bertalot (ed.), 671 pp.

The Plant List (2013). http://www.theplantlist.org/ Real Jardín Botánico y Jardín Botánico de Missouri.

VELOSO A. & J. NAVARRO. (1988). Lista sistemática y distribución geográfica de anfibios y reptiles de Chile. Bolletino del Museo Regionale di Scienze Naturali 6: 481-539.

VELOSO, A., J.C. ORTIZ, J. NAVARRO, H. NÚÑEZ, P. ESPEJO & A. LABRA. (1995). Reptiles. 326-335. En: Simonetti, J., M. Arroyo, A. Spotorno & E. Lozada (Eds.). Diversidad biológica de Chile. Conicyt. Santiago de Chile. 364 pp.

VIDAL M & A LABRA. (2008). Herpetología de Chile. Science Verlag. 593 pp.

Vila I, A Veloso, R Schlatter & C RamIrez (Eds.) (2006). Macrófitas y vertebrados de los sistemas límnicos de Chile. Editorial Universitaria. Santiago de Chile. 173 pp.

Subsecretaría de desarrollo regional y administrativo. 2018. Diagnóstico de la situación por comuna y por región en materia de RSD asimilables. Recuperado el 11 de mayo del 2019. http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/4.1_diagnostico_introduccion_agosto_2018.pdf

Zuloaga F, O Morrone, M Belgrano (Eds.) (2008). Catálogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur (Argentina, Sur de Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay). Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden 107, 1–3348.

7.2.3 Anfibios y Reptiles

De la Riva I. 2002. Rediscovery and taxonomic status of *Telmatobius marmoratus gigas* Vellard, 1969 ‘1968’ (Anura: Leptodactylidae). *Herpetologica* **58:** 220–228.

Formas J R, Benavides E, Cuevas CC. 2003. A new species of *Telmatobius* (Anura: Leptodactylidae) from río Vilama, north- ern Chile, and the redescription of *T. halli* Noble. *Herpetologica* 59: 253–270.

Formas J R, Cuevas CC, Nunez JJ. 2006. A new species of *Telmatobius* (Anura: Leptodactylidae) from Northern Chile. *Herpetologica* 62: 173–183.

Formas J R, Veloso A, Ortiz JC. 2005. Sinopsis de los *Telmatobius* de Chile. *Monografías de Herpetología* 7**:** 103– 114.

Frost D. R. 2013. *Amphibian species of the world: an online reference*, *Version 5.6 (9 January 2013)*. New York: American Museum of Natural History. Available at: http:// research.amnh.org/vz/herpetology/amphibia/Amphibia/Anura/ Telmatobiidae/Telmatobius

Marquet, P. Bozinovic, F. et al. 1998. Los ecosistemas del desierto de Atacama y área andina adyacente en el norte de Chile. Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica de Chile. Revista Chilena de Historia Natural 71:593- 617.Disponible

Noble, G.K. (1938) A new species of frog of the genus Telmatobius from Chile. American Museum Novitates, 973, 1–3.

Sáez, P.A., Fibla, P., Correa, C., Sallaberry, M., Salinas, H., Veloso, A., Mella, J., Iturra, P. & Méndez, M.A. (2014) A new endemic lineage of Andean frog genus Telmatobius (Anura, Telmatobiidae) from the western slope of the Central Andes. Zoological Journal of the Linnean Society, 171, 769–782. https://doi.org/10.1111/zoj.12152

Schmidt KP. 1928. The Chilean frogs of the genus *Telmatobius*. *Revista Chilena de Historia Natural* 32: 98–105.

Veloso A. y H. Nuñez 1998 Inventario de especies de fauna de la Región de Antofagasta (Chile) y recursos metodológicos para almacenar y analizar información de biodiversidad Revista Chilena de Historia Natural 71: 555-569.

7.2.4 Vegetación y Flora

APONTE H. (2009). El junco: clasificación, biología y gestión. Científica 6 (1): 38- 45.

LUEBERT F. y P. Pliscoff. (2006). Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Editorial Universitaria, Santiago. 316 p.

ORREGO F., DE LA FUENTE LM., GÓMEZ M. y GINOCCCHIO R. (2018). Diversidad de halófitos chilenas: distribución, origen y hábito. Gayana 75 (2): 555-567.

SAN MARTÍN C., RAMÍREZ C. y ALVÁREZ M. (2003). Macrófitos como bioindicadores: una propuesta metodológica para caracterizar ambientes dulciacuícolas. Geográfico de Valparaíso 34: 243- 253.

SQUEO F, OSORIO R & ARANCIO G (1994). Flora de Los Andes de Coquimbo: Cordillera de Doña Ana. Ediciones de la Universidad de La Serena, La Serena. 176 pp.

VILA I, VELOSO A, SCHLATTER R & RAMÍREZ C (2006). Macrófitas y Vertebrados de los Sistemas Límnicos de Chile. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 187 pp.

7.2.5 Biota

Bertrand H. 1995. Les insectes aquatiques d”Europe. Encyclopédie Entomologique. Volume II: Trichoptères, Lepidoptères, Diptères, Hyménoptères. Paul Lechevalier Editeur (Paris). 543 pp.

Camousseight A. 2006. Estado de Conocimiento de los Ephemeroptera de Chile. Gayana 70(1): 50-56.

Dyer, B., 1997. Phylogenetic revision of Atherinopsinae (Teleostei, Atheriniformes, Atherinopsidae), with comments on the systematics of the South American freshwater fish genus Basilichthys Girard. Miscellaneous Publication, Museum Zoology, University of Michigan 185: 1-64, 46 figs.

Dyer, B., 2000. Revisión Sistemática de los Pejerreyes de Chile (Teleostei, Atheriniforme sistematyc review of the fishes of Chile (teleostei, atheriniformes). Estudios Oceanol. 19:99-127.

Davies AL & JHR Gee (1993) A simple periphyton sampler for algal biomass estimates in streams. Freshwater Biology 30:47-51.

Fernández, H.R. y E. Domínguez. 2001. Guía para la Determinación de Artrópodos Bentónicos Sudamericanos. Serie: Investigaciones de la UNT, Sub serie Ciencias Exactas Naturales. Tucumán. Argentina. 282 pp.

Jara C, E Rudolph & E González (2006) Estado de Conocimiento de los Malacostráceos Dulceacuícolas de Chile. Gayana (1): 40-49

Jerez V & J Moroni. 2006. Diversidad de coleópteros acuáticos en Chile. Gayana 70 (1): 72-81.

Lagler, K.F. 1956. Freshwater Fishery Biology. W.M.C. Brown Company Dubeque. Iowa, 421 pp.

Lange-Bertalot H. 2001. Diatoms of Europe. Navicula sensu stricto 10 Genera Separated from Navicula sensu lato. Frustulia. Lange Bertalot (ed.). 526 pp.

Lopretto E.C. & G. Tell. 1995. Ecosistemas de aguas continentales. Metodologías para su estudio. Tomo III. Ediciones Sur, República Argentina.

Lugo-Ortiz C.R. & W.P. McCafferty. 1995. Taxonomy of the north and sector american species of Camelobaetidius (Ephemeroptera: Baetidae). Entomological News. 106 (4): 178-192.

Lugo-Ortiz C.R. & W.P. McCafferty. 1999. Three new genera of small minnow mayflies (Insecta Baetidae) from the Andes and Patagonia. Stud. Neotrop. Fauna & Envirom. 34: 88-104.

Merrit R.W & K.W Cummins. 1996. An introduction to the Aquatic Insect of North America. Third Edition. Kendall / Hunt Publishing Company. 862 pp.

Nash, R. D. M.; Valencia, A. H.; Geffen, A. J., 2006: The origin of Fulton's condition factor–setting the record straight. Fisheries 31, 236–238.

Krammer K. & H. Lange-Bertalot. 1986-1991. Bacillariophyceae 1: 976 pp (1986); Bacillariophyceae 2: 610 pp (1988); Bacillariophyceae 3: 576 pp (1991); Bacillariophyceae 4 : 436 pp (1991). En: Ettl, H. et al. (Eds.), Süsswasserflora von Mitteleuropa, G. Fischer, Jena.

Rivera P. 1983. A Guide for References and Distribution for the Class Bacillariophyceae in Chile between 18º28'S and 58ºS. Bibliotheca Diatomologica Vol. 3, 386 pp.

Rojas F. 2006. Estado de Conocimiento de los Trichoptera de Chile. Gayana (1): 65-71.

Round F.E., Crawford R.M. & Mann D.G. 1996. The Diatoms. Biology and morphology of the genera. Cambridge Univ. Press. Cambridge. 735 pp.

Rumrich U., Lange-Bertalot H. & M. Rumrich. 2000. Iconographia Diatomologica 9. Diatomeen der Anden (von Venezuela bis Patagonien/ Tierra del Fuego). Lange Bertalot (ed.). 671 pp.

Valdovinos C. 2006. Estado de Conocimiento de los Gastrópodos Dulceacuícolas de Chile. Gayana (1): 88-95.

Véliz, D., Catalán, L., Pardo, R., Acuña, P., Díaz, A., Poulin, A. & Vila, I. The genus Basilichthys (Teleostei: Atherinopsidae) revisited along its Chilean distribution range (21º to 40º S) using variation in morphology and mtDNA. Revista Chilena de Historia Natural 85: 49-59, 2012.

Vera A & A Camousseight. 2006. Estado de Conocimiento de los Plecópteros de Chile. Gayana 70(1): 57-64.

Wetzel R. & G. Likens 2000. Limnological Analyses. 3rd Ed. Springer-Verlag, New York. 429 pp.

7.2.6 Caracterización geomorfológica

CIREN. 2016. Sistema de Información Territorial de Humedales Altoandinos. Suelos II Región de Antofagasta. 6 pp

Parasiewicz, P., 2007. The mesohabsim model revisited. River Research "and applications. 23(8): 893-903, Doi: 10.1002/rra.1045.

Peredo-Parada, M. et al., 2011. Implementation of an eco-hydrological classification in Chilean rivers. Gayana. 75(1): 26-38, Doi: 10.4067/S0717-65382011000100003.

Rosgen, D., 1994. A Classification of natural rivers. Wildland Hydrology, USA. 22(3): 169-199, Doi: 10.1016/0341-8162(94)90001-9.

Snelder, T. & Biggs, B., 2002. Multiscale river environment classification for water resources management. Journal of the American water resources association. 38(5):1225-1239.

Higginson, N. N. J. & Johnston, H. T., 1988. Estimation of friction factor in natural streams. In proceedings of the international conference on river regime. Hydraulics research. 251-266.

Montgomery D & Buffington J., 1997. Channel-reach morphology in mountain drainage rivers. GSA Bulletins. 109(5): 596-611.

7.2.7 Caracterización hidrológica

Campos, D., 2001. Contraste de dos procedimientos de ajuste de la distribución Wakeby en la modelación probabilística de crecientes. Agrociencia. 35(4): 429-439.

Luna, J. A., Domínguez, R., 2013. Un método para el análisis de frecuencia regional de lluvias máximas diarias: aplicación en los Andes Bolivianos. Ingeniare. 21(2): 111-124.

Manual de Carreteras, 2014. Volumen n°3, Instrucciones y criterios de diseño. MOP – DGOP – Dirección de vialidad, Chile.

OMM, (2012) “Índice normalizado de precipitación: Guía del usuario” Organización Meteorológica Mundial. OMM-No 1090

Torres, E., 2016. Determinación de curvas IDF en la región de Antofagasta, Chile. Universidad de Chile.

Varas, E., 2000. Estimación de momentos ponderados regionales de caudales máximos diarios. Ingeniería Hidráulica en México. 15(1): 15-61.

Varas, E., Lara, S., 1998. Métodos regionales para estimar la probabilidad de frecuencia de crecidas. International water association. 5(3): 51-58. Doi: 10.4995/ia.1998.2766.

7.2.8 Vulnerabilidad

Berger, B, Fror, O & Schafer, RB 2019. Salinity impacts on river ecosystem processes: a critical mini-review. Phil Trans. R. Soc. B 374: 20180010

Beroya-Eitner, 2016. Ecological Vulnerability Indicators. Ecological Indicators 60; 329-334.

Cañedo- Arguelles, M, Kefford, BJ, Piscart, C, Prat N, Schafer, RB & Schulz 2013. Salinization of Rivers: An urgent ecological issue. Environmental Pollution 173, 157-167.

DODDS, W. K., J. R. JONES, AND E. B. WELCH. 1998. Suggested classification of stream trophic state: distributions of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen, and phosphorus. Water Research 32:1455–1462.

DECRETO SUPREMO 51/2008 MINSEGPRES. Tercer proceso de clasificación de especies según su estado de conservación. Publicado en el Diario Oficial de la República de Chile el Lunes 30 de junio de 2008.

DECRETO SUPREMO N° 13/2013. Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, noveno proceso. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. Diario Oficial, 25 de julio de 2013.

DECRETO SUPREMO N° 151/2006. Oficializa primera clasificación de especies silvestres según su estado de conservación. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Santiago, Chile. Diario Oficial, 24 de marzo de 2007.

DECRETO SUPREMO N° 16/2016. Reglamento para la Clasificación de Especies Silvestres, proceso número 12. Publicado en el Diario Oficial de la República de Chile el día 3 de junio de 2016.

DECRETO SUPREMO N° 19/2012. Aprueba y oficializa clasificación de especies silvestres según su estado de conservación, octavo proceso. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. Diario Oficial, 11 de febrero de 2013.

DECRETO SUPREMO N° 23/2009. Aprueba y oficializa nómina para el cuarto proceso de clasificación de especies según su estado de conservación. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Santiago, Chile. Diario Oficial, 07 de mayo de 2009.

DECRETO SUPREMO N° 33/2011. Aprueba y oficializa clasificación de especies según su estado de conservación, quinto proceso. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. Diario Oficial, 27 de febrero de 2012.

DECRETO SUPREMO N° 41/2011. Aprueba y oficializa clasificación de especies, según su estado de conservación, sexto proceso. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. Diario Oficial, 11 de abril de 2011.

DECRETO SUPREMO N° 50/2008. Aprueba y oficializa nómina para el segundo proceso de clasificación de especies según su estado de conservación. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Santiago, Chile. Diario Oficial, 30 de junio de 2008.

DECRETO SUPREMO N° 52/2014. Aprueba y oficializa nómina para el décimo proceso de clasificación de especies según su estado de conservación. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. Diario Oficial, 29 de agosto de 2014.

Dufour & González, 2019. Riparian Zona/Riparian Vegetation definition-principles and recommendation. 15 pp.

Dunlop, J, Mc Gregor, G, Horrigan N. 2005. Potential impacts of Salinity and turbidity in riverine ecosystems. State of Queesland, Australia.

De Lange, HJ, Sala, S, Vighi, M & Faber, JH 2010. Ecological vulnerability in risk Assessment – A review and perspectives. Science of the Total Environment 408, 3871-3879.

Decker, K & Rondeau, R. 2014. San Juan/ Tres Ríos Climate Change Ecosystem Vulnerability Assessment. Colorado Natural Heritage Program. Colorado State University. Fort Collins. Colorado.

Dodds, W.K. 2007. Trophic state, eutrophication and nutrient criteria in streams. Trends in Ecology and Evolution 22, 12, 669-676.

Dodds, W.K., et Smith, V.H., 2016. Nitrogen, Phosphorous, and eutrophication in streams. Inland Waters 6, 155-164.

IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (2010). Estudio Nacional del Agua. Bogotá, Colombia.

IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (2011). Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de Calidad del agua superficial. 10 p.

IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (2014). Estudio Nacional del Agua. Bogotá, Colombia.

Guethi P.F. (1986). I Macroinvertebrati nell`Analisi di qualità dei corsi d`aqua. Ed. Università di Parma. Italia. 105 pp.

Guetti P.F. (1997) Manuale di aplicazione Indice Biotico Esteso (IBE): I macroinvertebrati nel controllo della qualitá degli ambienti di acque correnti. Provincia autónoma di Trento. Agencia Provinciale per la protezione dell'ambiente. Trento. Italia. 222 pp.

Ghetti P.F. (2000) L`Indice Biotico Esteso (IBE). Biología Ambientale, 14(2):55-61.

Hilsenhoff, W.L (1988) "Rapid field assessment of organic pollution with a family level biotic index". J. North Am. Benthol. Soc, 7: 65-68, 1988.

Iescha R, Lathb MP, Ierbachc DB (2018) Ecology and evolution along environmental gradients. 64:193–196. doi: 10.1093/cz/zoy015

Ippolito, A, Sala S, Faber, JS & Vighi, M 2010. Ecological Vulnerability Analysis: A river Basin Case study. The Science of Total Enviroment. 408, 3880-3890.

Ohmann JL, Spies TA (1998) Regional gradient analysis and spatial pattern of woody plant communities of Oregon forests. Ecol Monogr 68:151–182.

Palma, A. (2013) "Importancia de las regiones mediterránea, templada y patagónica en la diversidad de ephemeroptera, plecoptera y trichoptera: implicancias de futuros cambios ambientales en sus distribuciones". Boletín de Biodiversidad de Chile 8: 37–47. http://www.bbchile.com/

Pardo I., Álvarez M., Casas J., Moreno J. L., Vivas S., Bonada N., Alba-Tercedor J., Jáimez-Cuéllar P., Moyà G., Prat N., Robles S., Suárez M.L., Toro M. y Vidal-Abarca M.R.. (2002) "El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat". Limnetica 21(3-4): 115-133 (2002). Asociación Española de Limnología, Madrid. Spain. ISSN: 0213-8409

Sánchez. Ó., Herzig M., Peters O., Márquez-Huitzil R. y Zambrano L. (2007) "Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México". Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; Instituto Nacional de Ecología; U.S. Fish & Wildlife Service; Unidos para la Conservación, A.C; Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo.

Poff, N L, Allan, D, Bain, MarkB, Karr, J, Prestegaard L, Richter, BD, Sparks RE, Stromberg JC. 1997. The Natural Flow Regime, a paradigm for river conservation and restoration. BioScience 47, 11: 769 -784.

Ter Braak CJF, Prentice IC (1988) A Theory of Gradient Analysis. Adv Ecological Res 18:271–317. doi: 10.1016/S0065-2504(08)60183-X

Whittaker RH (1956) Vegetation of the Great Smoky Mountains. Ecol Monogr 26:1–80. doi: 10.2307/1943577.

7.3 OE-2

7.3.1 Modelo hidrológico

Ayala, A., 2011. Impactos del cambio climático sobre la operación del sistema hídrico de la laguna Laja. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.

Cannon, A.J., 2016. Multivariate bias correction of climate model output: Matching marginal distributions and intervariable dependence structure. J. Clim. 29, 7045–7064. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0679.1

DGA (2013). Levantamiento Información Hidrogeológica Región de Antofagasta. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Realizado por Mayco Consultores.

DGA (2017), Análisis para el desarrollo de un Plan de GIRH en la Cuenca del Choapa, SIT N° 420, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile, Realizado por: RODHOS Asesorías y Proyectos Ltda.

DGA (2017b). Actualización Balance Hídrico. Informe Final. S.I.T. 417 Desarrrollado para la Dirección General de Agual, MOP, por Universidad de Chile y Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile

DGA (2018). APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ACTUALIZACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO NACIONAL EN LAS CUENCAS DE LAS MACROZONAS NORTE Y CENTRO, SIT N° 435. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios Planificación, Santiago, Chile. Realizado por Fundaciónpara la Transferencia Tecnológica y Pontificia Universidad Católica de Chile.

Hasson, S. (2016). Future water availability from Hindukush-Karakoram-Himalaya upper indus basin under conflicting climate change scenarios. Climate, 4(3), 40.

Knight-Piésold (2014a). Análisis Integrado río Loa, Región de Antofagasta". Mayo 2014. ´Preparado para la Dirección General de Aguas.

Knight Piésold (2014b). Sectorización de los acuíferos del río Loa. Diciembe 2014. Preparado para la Dirección General de Aguas.

Lobo, M., Pérez, M. & Samartin, A. (1991). Problemas de homogeneización en la ingeniería. Una experimentación numérica. Revista internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería. Vol. 7, 4, 455-472.

Markstrom, S.L., Regan, R.S., Hay, L.E., Viger, R.J., Webb, R.M.T., Payn, R.A., & LaFontaine, J.H. (2015). PRMS-IV, the precipitation-runoff modeling system, version 4: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. B7, 158 p., http://dx.doi.org/10.3133/tm6B7.

Pramar Ambiental (s.f.) Estudio de Impacto Ambiental: Proyecto Pampa Hermosa. Anexo XII: Estudio Fisicoquímico e Hidrobiológico del Río Loa y Cálculo del Caudal Ecológico asociado a la extracción de agua en Quebrada Amarga. Elaborado para SQM

Singh, V. P., & Frevert, D. K. (Eds.). (2005). Watershed models. CRC Press.

Leavesley, G.H. & Stannard, L.G. (1995). "The Precipitation-Runoff Modeleing System - PRMS", en Singh, V. P. (Ed.). Computer models of watershed hydrology (Vol. 1130). Highlands Ranch, CO: Water Resources Publications.

SEI (Stockholm Environment Institute) (2018). User Guide, Web-based, English. Disponible en línea: https://www.weap21.org/WebHelp/index.html

Sugawara, M. (1995). "Tank model", en Singh, V. P. (Ed.). Computer models of watershed hydrology (Vol. 1130). Highlands Ranch, CO: Water Resources Publications.

Quick, M.C. (1995). "The UBC Watershed Model", en Singh, V. P. (Ed.). Computer models of watershed hydrology (Vol. 1130). Highlands Ranch, CO: Water Resources Publications.

Quick, M.C. & Pipes, A. (1977). UBC Watershed Model. Hydrological Sciences-Bulletin-des Sciences Hydrologiques, XXII, 1, 3/1977.

7.3.2 Caudal ambiental

Dolédec, Sylvain & LAMOUROUX, NICOLAS & FUCHS, ULRIKE & Mérigoux, Sylvie. (2006). Modelling the hydraulic preferences of benthic macroinvertebrates in small European stream. Freshwater Biology. 52. 145 - 164. 10.1111/j.1365-2427.2006.01663.x.

7.4 OE-3

7.4.1 Servicios Ecosistémicos y su valoración

ARCADIS, DGA, MOP. (2016). PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA. Recuperado el 2019, de http://documentos.dga.cl/ADM5702.v2.pdf

Arrau Ingeniería E.I.R.L. MOP. (2012). Diagnóstico plan estratégico para la gestión de los recursos hídricos, Región de Antofagasta. MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. Obtenido de http://documentos.dga.cl/ADM5404v1.pdf

Aznar, J., & Estruch, V. (2015). Valoración de Activos Ambientales. Teoría y casos (2da ed.). Valencia: Universitat politècnica de valència.

Boyd J., B. J. (2007). What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. Ecological Economics, 63: 616–626.

CADE-IDEPE, 2004. Consultores en Ingeniería, Informe de Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad Cuenca Rio Loa. Encargado por la Dirección general de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Chile.

CÁMARA DE DIPUTADOS. (2017). BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE. Recuperado el 2019, de DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS, EXTENSiÓN Y PUBLICACIONES, : https://www.camara.cl/pdf.aspx?prmTIPO=DOCUMENTOCOMUNICACIONCUENTA&prmID=57905

Castro, E. y. (1998). Valoración económica ecológica del recurso hídrico en la cuenca Arenal: Agua un flujo permanente de ingreso. Fundación Instituto de Políticas para la Sostenibilidad (IPS), Heredia, Costa Rica.

CICES 5.1, H.-Y. R. (2018). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure. Nottingham. Obtenido de www.cices.eu

CICES, H. Y. (2012). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES). University of Nottingham, Nottingham. Obtenido de www.cices.eu

CICES, P. R. (2011). UK Common International Classification of Ecosystem Services (CICES). University of Nottingham, Nottingham. Obtenido de www.cices.eu

Costanza R, d. R. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 387: 253–260.

Costanza, R., & Rudolf De Groot, P. S. (2014). Global Environmental Change, 26, 152-158.

Daily, G. (1997). Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press, 392.

De Groot, R. W. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. . Ecological Economics, 41, 393–408.

De Groot, R., Luke Brander, S. v., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., Christie, M., . . . Rodriguez, L. (julio de 2014). Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. Ecosystem Services, 1(1), 50-61.

Di Gregorio A, J. L. (2005). Land cover classifcation system classifcation concepts and user manual. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA), MOP. (2019). DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS, MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP). Recuperado el 2019, de http://www.dga.cl/productosyservicios/derechos_historicos/Paginas/default.aspx

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2019). Servicios ecosistémicos y biodiversidad. Recuperado el 2019, de http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/background/provisioningservices/es/

Fisher B, T. K. (2009). Defning and classifying ecosystem services for decision making . Ecological Economics , 68 : 643-653.

Figueroa, E. (Diciembre de 2010). Gobierno de Chile Ministerio del Medio Ambiente. Obtenido de Valoración Económica Detallada de las Áreas Protegidas de Chile: http://bdrnap.mma.gob.cl/recursos/privados/Recursos/CNAP/GEF-SNAP/Figueroa_2010.pdf

Freeman, A. (1993). The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods, Resources for the Future. Recuperado el 2019, de Resources for the future: https://core.ac.uk/download/pdf/6304509.pdf

Geldes, C. 2003. Valoración económica de los servicios ambientales del agua en la cuenca del río Limarí, IV región de Chile. Tesis para optar al grado académico de Magister en Gestión y Planificación Ambiental. Programa Inter facultades, Universidad de Chile.

Global Rates. (2019). Global-rates.com. Recuperado el 2019, de https://es.global-rates.com/estadisticas-economicas/inflacion/indice-de-precios-al-consumo/ipc/estados-unidos.aspx

H. Rosa, S. K. (2004.). Compensation for Environmental Services and Rural Communities: Lessons. International Forestry Review,, 6(2):187-194. Obtenido de http://www.bioone.org/doi/full/10.1505/ifor.6.2.187.38401

Haines-Young, R. a. (2012). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES). University of Nottingham, Nottingham. Obtenido de www.cices.eu

Haines-Young, R. a. (2017). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure. University of Nottingham, Nottingham. Obtenido de www.cices.eu

Honorio, C. D., & Torres, J. G. (2000). Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgica y Geográfica, 3(Núm. 5 (2000)). Recuperado el 2019

Huenchuleo C. & A. de Kartzow. Valoración económica de servicios ecosistémicos en la cuenca del río Aconcagua, Chile. Tecnología y Ciencias del Agua 9: 48-72; doi: 10.24850/j-tyca-2018-02-03

INE, Ministerio de Economía y Hacienda. (2019). Estadísticas de Turismo. Recuperado el 2019, de https://www.ine.cl/estadisticas/economicas/turismo

INSUS, ingeniería Sustentable. (2018). Estudio de Percepción del Turismo en el Alto Loa. Obtenido de http://www.elabra.cl/wp-content/uploads/2018/05/ESTUDIO_TURISMO_ALTO_LOA.pdf

Lozano, V. M. (2012). SGITT-OTRI (Universidad de Alicante). Recuperado el 2019, de Control biológico de plagas y enfermedades vegetales: https://sgitt-otri.ua.es/es/empresa/documentos/ot-0811-control-biologico-de-plagas.pdf

Mejías, R. &. (2002). El Pago de Servicios Ambientales en Centroamérica. Centro Internacional de Política Económica para el Desarrollo Sostenible (CINPE)., Costa Rica.

Millenium Ecosystem Assessment. (2003). Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment. Island Press, 49 - 70.

Ministerio de Desarrollo Social. (2019). SISTEMA NACIONAL DE INVERSIONES . Recuperado el 2019, de Precios Sociales 2018 : http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/download/precios-sociales-vigentes-2017/?wpdmdl=2392

Ministry of Supply and Services (1993). Water Works! Canada.

N.SMALLA, M.MUNDAY, & DURANCE. (2017). The challenge of valuing ecosystem services that have no material benefits. Global Environmental Change, 57 - 67. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378017303540

Potschin, R. H.-Y. (2011). UK Common International Classification of Ecosystem Services (CICES). University of Nottingham, Nottingham. Obtenido de www.cices.eu

Robert, C., & De Groot R, F. S. (1997). Nature, 387: 253–260.

Russell A., M., & Tracy A. Farrell, I. J. (05 de enero de 2019). CEMEX. Obtenido de http://www.cemexnature.com/es/extracto/servicios-ecosistemicos-de-agua-dulce/

SERNATUR, MINISTERIO DE ECONOMIA, FOMENTO Y TURISMO. (2018). SERIE DE TURISMO INTERNO Temporada Alta 2016 (Publicado abril del 2018). Recuperado el 2019, de http://www.subturismo.gob.cl/wp-content/uploads/2015/10/InformeTurismoInterno-TempAlta2016-04042018.pdf

SERNATUR, MINISTERIO DE ECONOMIA, FOMENTO Y TURISMO. (2019). SUBSECRETARIA DE TURISMO. Recuperado el 2019, de http://www.subturismo.gob.cl/documentos/estadisticas/#

Steward, J. H. (1955). Theory of Culture Changes. Clásicos y Contemporáneos en Antropología, Cap 2. Obtenido de https://www.ciesas.edu.mx/publicaciones/clasicos/00_CCA/Articulos_CCA/CCA_PDF/040_STEWARD_1955_El%20Concepto_yel_metodo.pdf

TEEB, The Economics of Ecosystems and Biodiversity. (2010). La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad: Fundamentos Ecológicos y Económicos. (Earthscan, Ed.) Londres y Washington D.C: Pushpam Kumar. Recuperado el 2019

Turismo Virtual. (2019). turismovirtual.cl. Obtenido de https://www.turismovirtual.cl/ii/ii.html

US Government. (s.f.). National Handbook of Recommended Methods for Water Data Acquisition. Concepts, approaches, and methods for determining water use.

U.S. Environmental Protection Agency. (2004). Ecological benefts assessment strategic plan. *SAB Review Draft*.

Valls, M. (1980). *La legislación del agua en los países de la América del Sur.* Estudio Legislativo No.19, FAO.

VILLABLANCA, R. & IBARRA, J. 2015. Diagnóstico y Evaluación: Estrategia Regional y Plan de Acción para la Conservación y Uso Sustentable de la Diversidad Biológica de la Región de Antofagasta. SEREMI del Medio Ambiente, Región de Antofagasta. 183 pp.

7.5 OE-4

7.5.1 Cartera de Proyectos

www.censo2017.cl.

Reportes estadísticos distritales 2017. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021, Región de Antofagasta. 2012. Ministerio de Obras Públicas.

Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta. 2016. Ministerio de Obras Públicas

VII Censo agropecuario y forestal 2006-2007. Ministerio de Agricultura. Odepa.

Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta. 2016. Ministerio de Obras Públicas.

VII Censo agropecuario y forestal 2006-2007. Ministerio de Agricultura. Odepa.

Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta. 2016. Ministerio de Obras Públicas

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. http://desarrollohumano.cl/

Agricultura Indígena Chilena. Análisis socioespacial de la agricultura según etnia. 2010. Programa Chile Indígena, Corporación Nacional de Desarrollo Indígena.

Informe de Avance “Diagnóstico del caudal ambiental del Río Loa, Región de Antofagasta”.

Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta. 2016. Ministerio de Obras Públicas.

8 ANEXOS

8.1 Tablas de Datos

Tabla 8.1 Detalle de Derechos Comunidades Calama, Lasana y Chiu-Chiu, Dotación mensual. Fuente DGA 2016

	m3/Há/mes												m3/Há/año
COMUNIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC.	ANUAL
Canal Chunchuri Bajo	3.970	2.918	2.679	1.722	1.292	909	979	1.698	1.842	3.300	3.516	3.875	28.700
Canal Lay Lay Ramal Chunchuri Alto	3.970	2.918	2.679	1.722	1.292	909	979	1.698	1.842	3.300	3.516	3.875	28.700
Canal Bocatoma Dupont de Calama	3.970	2.918	2.679	1.722	1.292	909	979	1.698	1.842	3.300	3.516	3.875	28.700
Canal La Prensa	3.970	2.918	2.679	1.722	1.292	909	979	1.698	1.842	3.300	3.516	3.875	28.700
Canal Nuñez	3.970	2.918	2.679	1.722	1.292	909	979	1.698	1.842	3.300	3.516	3.875	28.700
Canal Topater	3.970	2.918	2.679	1.722	1.292	909	979	1.698	1.842	3.300	3.516	3.875	28.700
Canal Chañar	3.970	2.918	2.679	1.722	1.292	909	979	1.698	1.842	3.300	3.516	3.875	28.700
Canal Tronco	3.970	2.918	2.679	1.722	1.292	909	979	1.698	1.842	3.300	3.516	3.875	28.700
Canal Yalquincha	3.970	2.918	2.679	1.722	1.292	909	979	1.698	1.842	3.300	3.516	3.875	28.700
Canal Lay Lay Ramal Carvajal	3.970	2.918	2.679	1.722	1.292	909	979	1.698	1.842	3.300	3.516	3.875	28.700
Canal Lay Lay Sector La Banda	3.970	2.918	2.679	1.722	1.292	909	979	1.698	1.842	3.300	3.516	3.875	28.700
Canal Coco La Villa	3.970	2.918	2.679	1.722	1.292	909	979	1.698	1.842	3.300	3.516	3.875	28.700
Canal Coco La Villa Ramal Berna	3.970	2.918	2.679	1.722	1.292	909	979	1.698	1.842	3.300	3.516	3.875	28.700
Canal Coco La Villa Ramal Quinta El Bosque	3.970	2.918	2.679	1.722	1.292	909	979	1.698	1.842	3.300	3.516	3.875	28.700
Canal Coco La Villa Ramal Radic	3.970	2.918	2.679	1.722	1.292	909	979	1.698	1.842	3.300	3.516	3.875	28.700
Canal Coco La Villa Ramal Bilbao	3.970	2.918	2.679	1.722	1.292	909	979	1.698	1.842	3.300	3.516	3.875	28.700
Canal Coco La Villa Ramal Tambores	3.970	2.918	2.679	1.722	1.292	909	979	1.698	1.842	3.300	3.516	3.875	28.700
Canal Quilchiri de Lasana	3.846	2.826	2.595	1.668	1.251	881	950	1.645	1.784	3.197	3.404	3.753	27.800
Canal Quichira de Lasana	3.846	2.826	2.595	1.668	1.251	881	950	1.645	1.784	3.197	3.404	3.753	27.800
Canal Buen Retiro de Lasana	3.846	2.826	2.595	1.668	1.251	881	950	1.645	1.784	3.197	3.404	3.753	27.800
Canal San Antonio de Lasana	3.846	2.826	2.595	1.668	1.251	881	950	1.645	1.784	3.197	3.404	3.753	27.800
Canal Los Ramirez de Lasana	3.846	2.826	2.595	1.668	1.251	881	950	1.645	1.784	3.197	3.404	3.753	27.800
Canal Pona de Lasana	3.846	2.826	2.595	1.668	1.251	881	950	1.645	1.784	3.197	3.404	3.753	27.800
Canal Los Perales de Lasana	3.846	2.826	2.595	1.668	1.251	881	950	1.645	1.784	3.197	3.404	3.753	27.800

	m3/Há/mes												m3/Há/año
COMUNIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC.	ANUAL
Canal Grande de Lasana y Chiu Chiu	3.846	2.826	2.595	1.668	1.251	881	950	1.645	1.784	3.197	3.404	3.753	27.800
Canal La Banda de Lasana y Chiu Chiu	3.846	2.826	2.595	1.668	1.251	881	950	1.645	1.784	3.197	3.404	3.753	27.800
Canal La Banda Ramal Los Blancos de Chiu Chiu	3.846	2.826	2.595	1.668	1.251	881	950	1.645	1.784	3.197	3.404	3.753	27.800
Canal El Pueblo de Chiu Chiu	3.846	2.826	2.595	1.668	1.251	881	950	1.645	1.784	3.197	3.404	3.753	27.800
Canal Grande Ramal N° 3 Piar de Chiu Chiu	3.846	2.826	2.595	1.668	1.251	881	950	1.645	1.784	3.197	3.404	3.753	27.800
Canal Grande Ramal N° 4 Pukara de Chiu Chiu	3.846	2.826	2.595	1.668	1.251	881	950	1.645	1.784	3.197	3.404	3.753	27.800
Canal Grande Ramal N° 6 San Andrés de Chiu Chiu	3.846	2.826	2.595	1.668	1.251	881	950	1.645	1.784	3.197	3.404	3.753	27.800
Canal Grande Ramal Callejon de Chiu Chiu	3.846	2.826	2.595	1.668	1.251	881	950	1.645	1.784	3.197	3.404	3.753	27.800
Canal Grande Ramal Triangulo de Chiu Chiu	3.846	2.826	2.595	1.668	1.251	881	950	1.645	1.784	3.197	3.404	3.753	27.800
Canal Grande Ramal San Juan de Chiu Chiu	3.846	2.826	2.595	1.668	1.251	881	950	1.645	1.784	3.197	3.404	3.753	27.800
Canal El Pueblo Ramal El Calvario de Chiu Chiu	3.846	2.826	2.595	1.668	1.251	881	950	1.645	1.784	3.197	3.404	3.753	27.800
Canal El Pueblo Ramal Cochala de Chiu Chiu	3.846	2.826	2.595	1.668	1.251	881	950	1.645	1.784	3.197	3.404	3.753	27.800
Canal El Pueblo Ramal San Ramón de Chiu Chiu	3.846	2.826	2.595	1.668	1.251	881	950	1.645	1.784	3.197	3.404	3.753	27.800
Canal El Pueblo Ramal la Parroquia de Chiu Chiu	3.846	2.826	2.595	1.668	1.251	881	950	1.645	1.784	3.197	3.404	3.753	27.800
Canal El Pueblo Ramal Santa Faustina de Chiu Chiu	3.846	2.826	2.595	1.668	1.251	881	950	1.645	1.784	3.197	3.404	3.753	27.800
Canal El Pueblo Ramal El Pongo de Chiu Chiu	3.846	2.826	2.595	1.668	1.251	881	950	1.645	1.784	3.197	3.404	3.753	27.800

Tabla 8.2 Detalle de Derechos Comunidades Calama Lasana Chiu-Chiu, Dotación actual. Fuente DGA 2016

		Dotación original		Traslados autorizados por DGA		dotacion actual
Localidad	COMUNIDAD	HÁS.	m3/año	Entradas	Salidas	m3/año
CALAMA	Canal Chunchuri Bajo	179,10	4.953.486	53.754		5.007.240
	Canal Lay Lay Ramal Chunchuri Alto	100,75	2.891.525			2.891.525
	Canal Bocatoma Dupont de Calama	24,86	713.482			713.482
	Canal La Prensa	35,00	1.004.500	502.250		1.506.750
	Canal Nuñez	110,50	3.171.350	285.565	502.250	2.954.665
	Canal Topater	118,82	3.410.134			3.410.134
	Canal Chañar	55,27	1.586.249		358.757	1.227.492
	Canal Tronco	28,00	803.600			803.600
	Canal Yalquincha	50,00	1.435.000			1.435.000
	Canal Lay Lay Ramal Carvajal	30,72	881.664		511.519	370.145
	Canal Lay Lay Sector La Banda	88,54	2.541.098			2.541.098
	Canal Coco La Villa	91,42	2.623.764	215.250	186.550	2.652.464
	Canal Coco La Villa Ramal Berna	95,28	2.720.186		466.800	2.253.386
	Canal Coco La Villa Ramal Quinta El Bosque	4,39	125.993			125.993
	Canal Coco La Villa Ramal Radic	39,41	1.131.067			1.131.067
	Canal Coco La Villa Ramal Bilbao	16,30	467.810		28.700	439.110
	Canal Coco La Villa Ramal Tambores	34,75	997.325		861.800	135.525
LASANA	Canal Quilchiri de Lasana	4,94	137.332			137.332
	Canal Quichira de Lasana	2,25	62.550			62.550
	Canal Buen Retiro de Lasana	11,76	326.928			326.928
	Canal San Antonio de Lasana	2,34	65.052			65.052
	Canal Los Ramirez de Lasana	4,58	127.324			127.324
	Canal Pona de Lasana	22,08	613.824			613.824
	Canal Los Perales de Lasana	6,37	177.086			177.086
CHIUCHIU	Canal Grande de Lasana y Chiu Chiu	29,59	822.602		6.811	815.791
	Canal La Banda de Lasana y Chiu Chiu	49,81	1.384.718			1.384.718
	Canal La Banda Ramal Los Blancos de Chiu Chiu	7,08	196.824			196.824
	Canal El Pueblo de Chiu Chiu	15,92	442.576	6.811		449.387
	Canal Grande Ramal N° 3 Piar de Chiu Chiu	3,53	98.134			98.134
	Canal Grande Ramal N° 4 Pukara de Chiu Chiu	20,71	575.738			575.738
	Canal Grande Ramal N° 6 San Andrés de Chiu Chiu	6,05	168.190			168.190
	Canal Grande Ramal Callejon de Chiu Chiu	4,74	131.772			131.772
	Canal Grande Ramal Triangulo de Chiu Chiu	7,36	204.608			204.608
	Canal Grande Ramal San Juan de Chiu Chiu	9,90	275.220			275.220
	Canal El Pueblo Ramal El Calvario de Chiu Chiu	0,54	15.012			15.012
	Canal El Pueblo Ramal Cochala de Chiu Chiu	0,46	12.788			12.788
	Canal El Pueblo Ramal San Ramón de Chiu Chiu	6,95	193.210			193.210
	Canal El Pueblo Ramal la Parroquia de Chiu Chiu	0,93	25.854			25.854

		Dotación original		Traslados autorizados por DGA		dotacion actual
Localidad	COMUNIDAD	HÁS.	m3/año	Entradas	Salidas	m3/año
	Canal El Pueblo Ramal Santa Faustina de Chiu Chiu	2,12	58.936			58.936
	Canal El Pueblo Ramal El Pongo de Chiu Chiu	10,28	285.784			285.784
	Totales Calama	1.103,11	**31.458.233**			**29.598.676**
	Totales ChiuChiu	175,97	**4.891.966**			**4.891.966**
	Totales Lasana	54,32	**1.510.096**			**1.510.096**

8.2 Perfiles topobatimétricos obtenidos de campaña Agosto-Septiembre de 2018

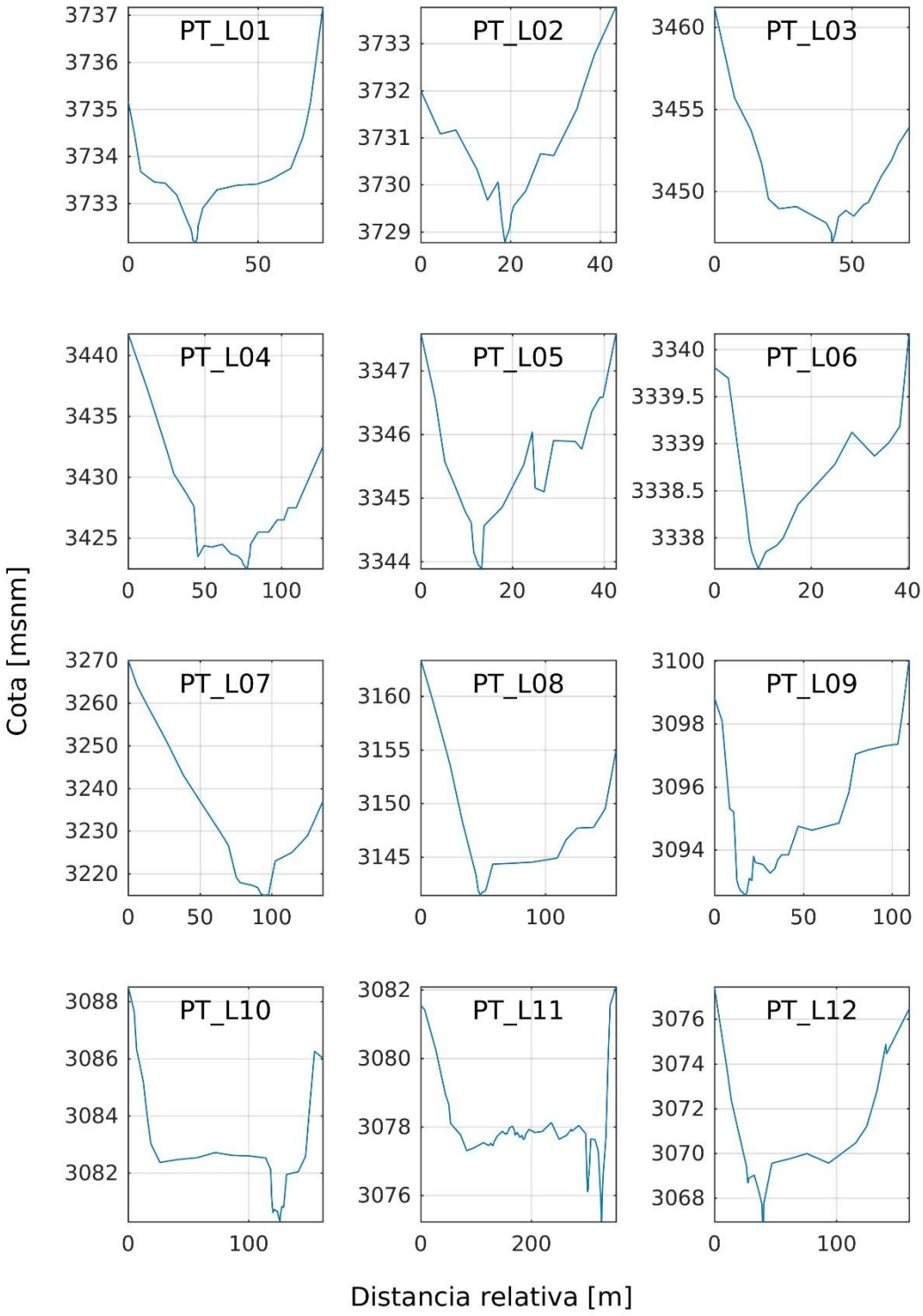


Figura 8.1 Perfiles topobatimétricos obtenidos de campaña Ago-Sept 2018.

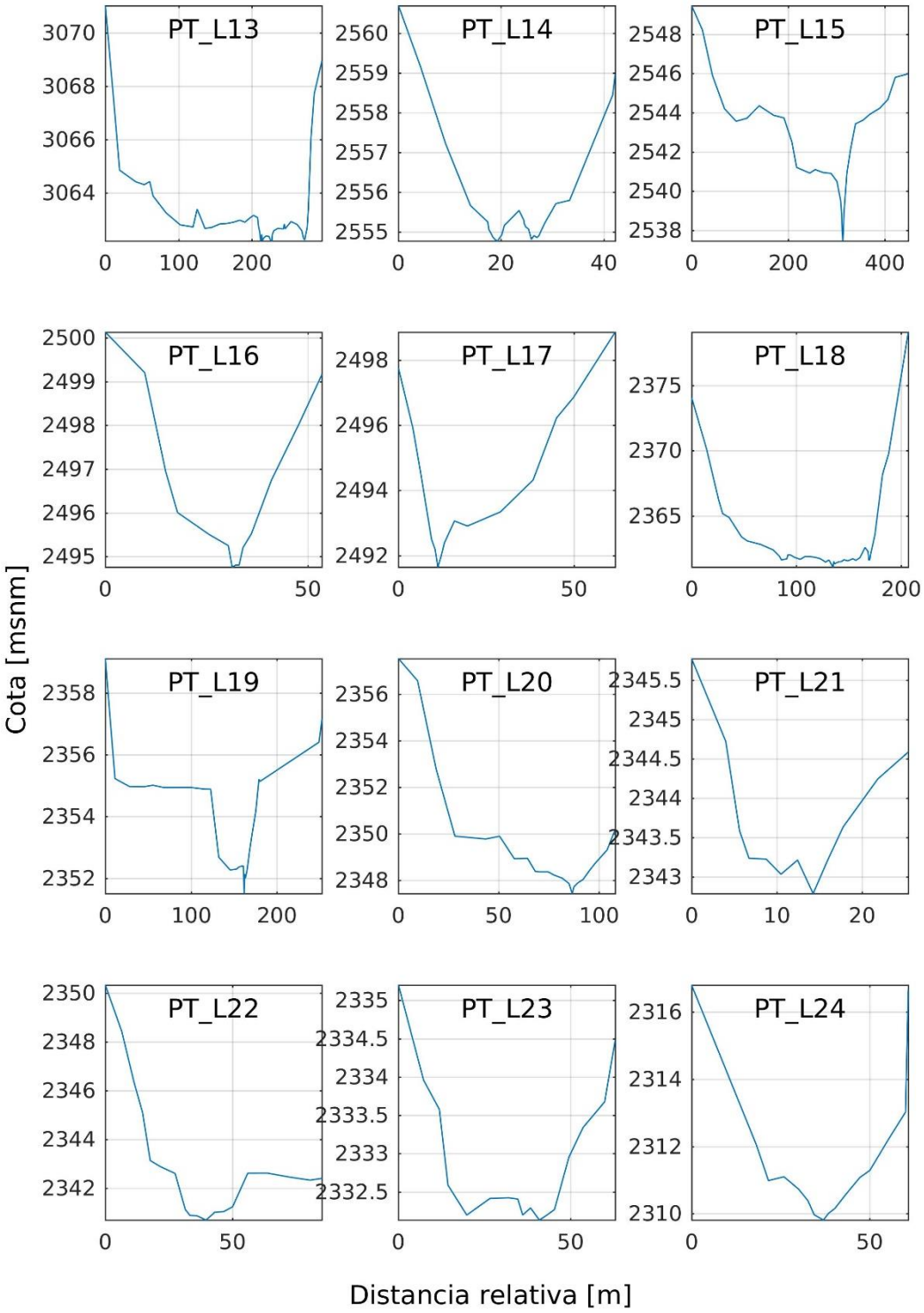


Figura 8.2 Perfiles topobatimétricos obtenidos de campaña Ago-Sept 2018 (Continuación).

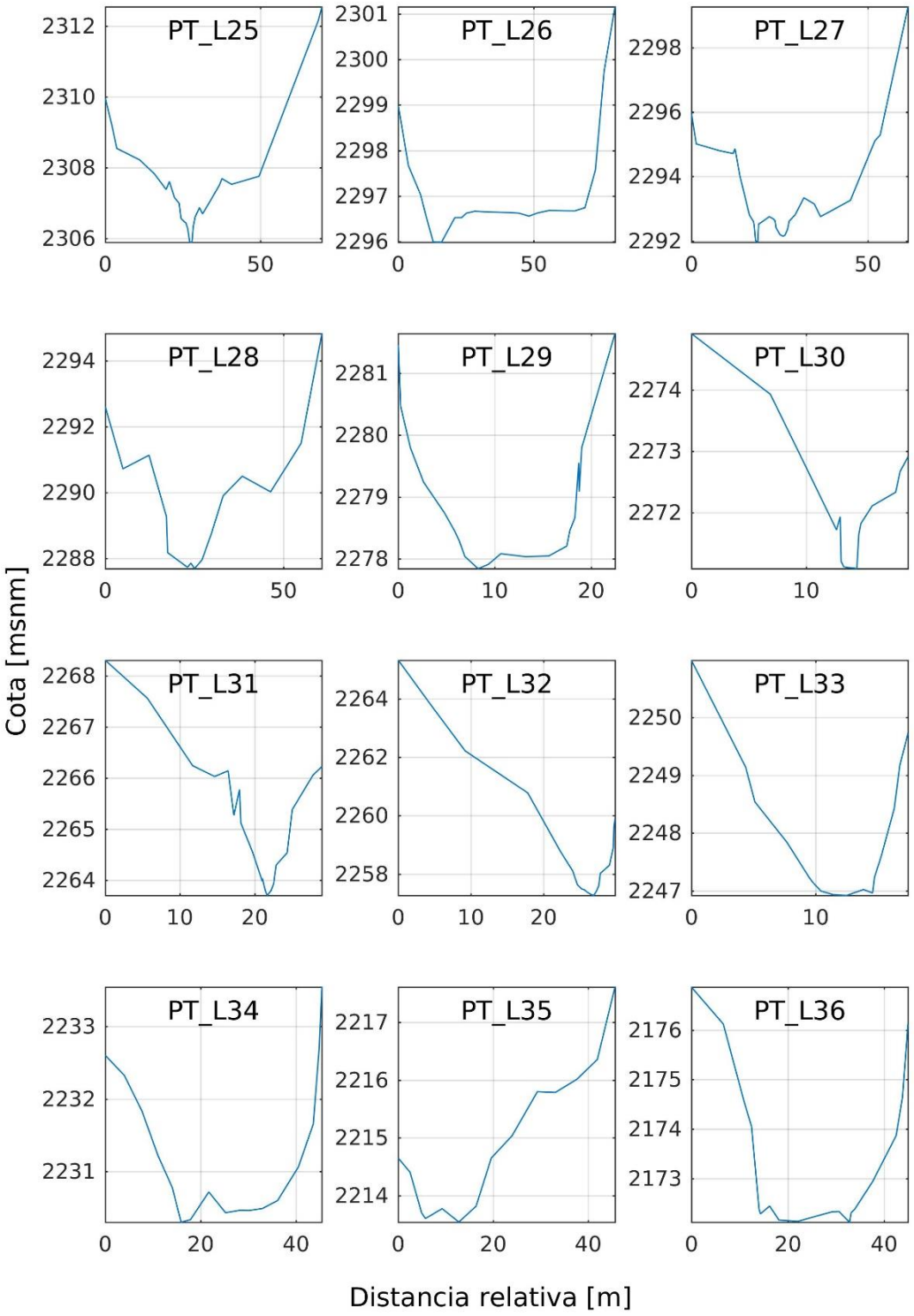


Figura 8.3 Perfiles topobatimétricos obtenidos de campaña Ago-Sept 2018 (Continuación).

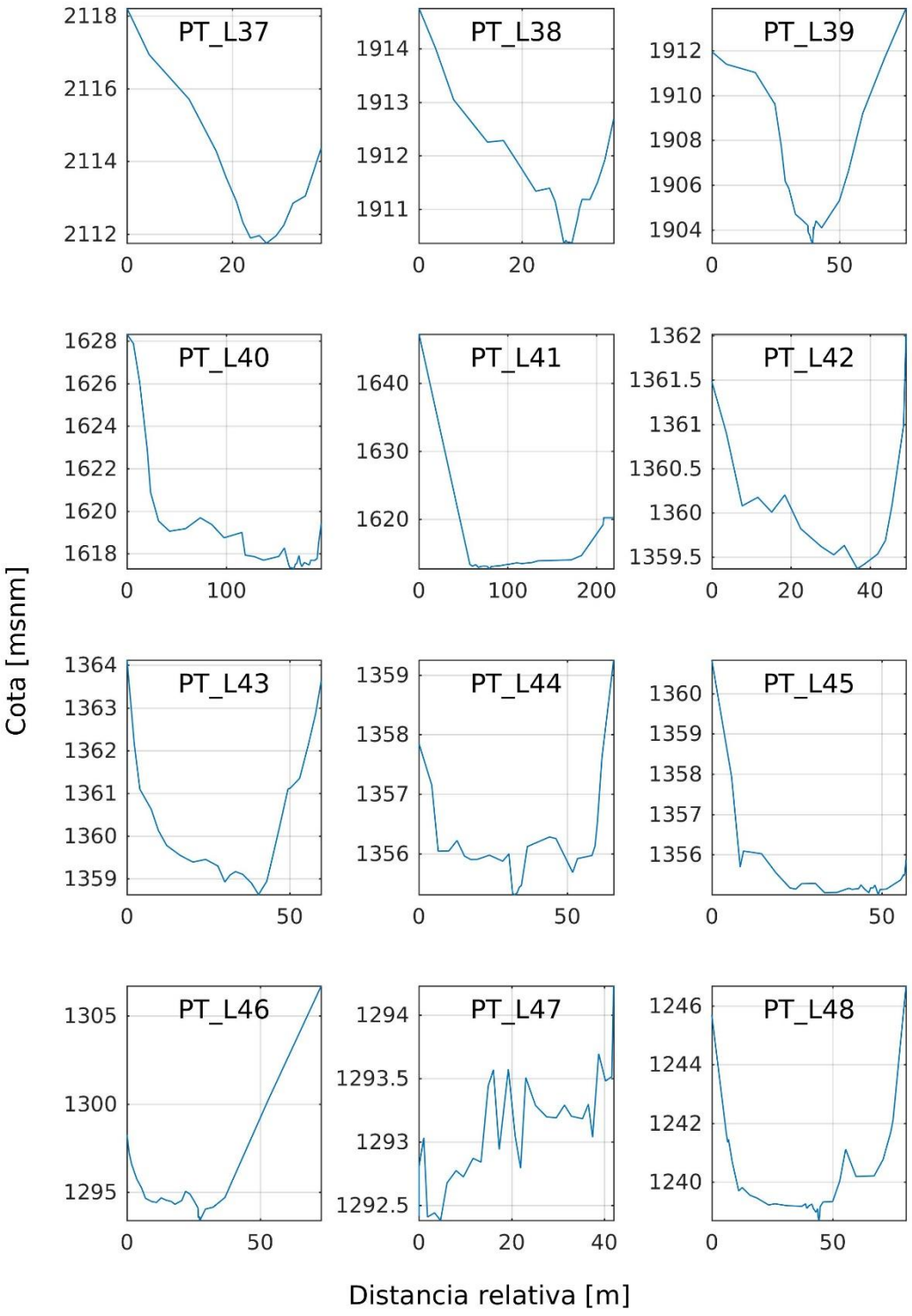


Figura 8.4 Perfiles topobatimétricos obtenidos de campaña Ago-Sept 2018 (Continuación).

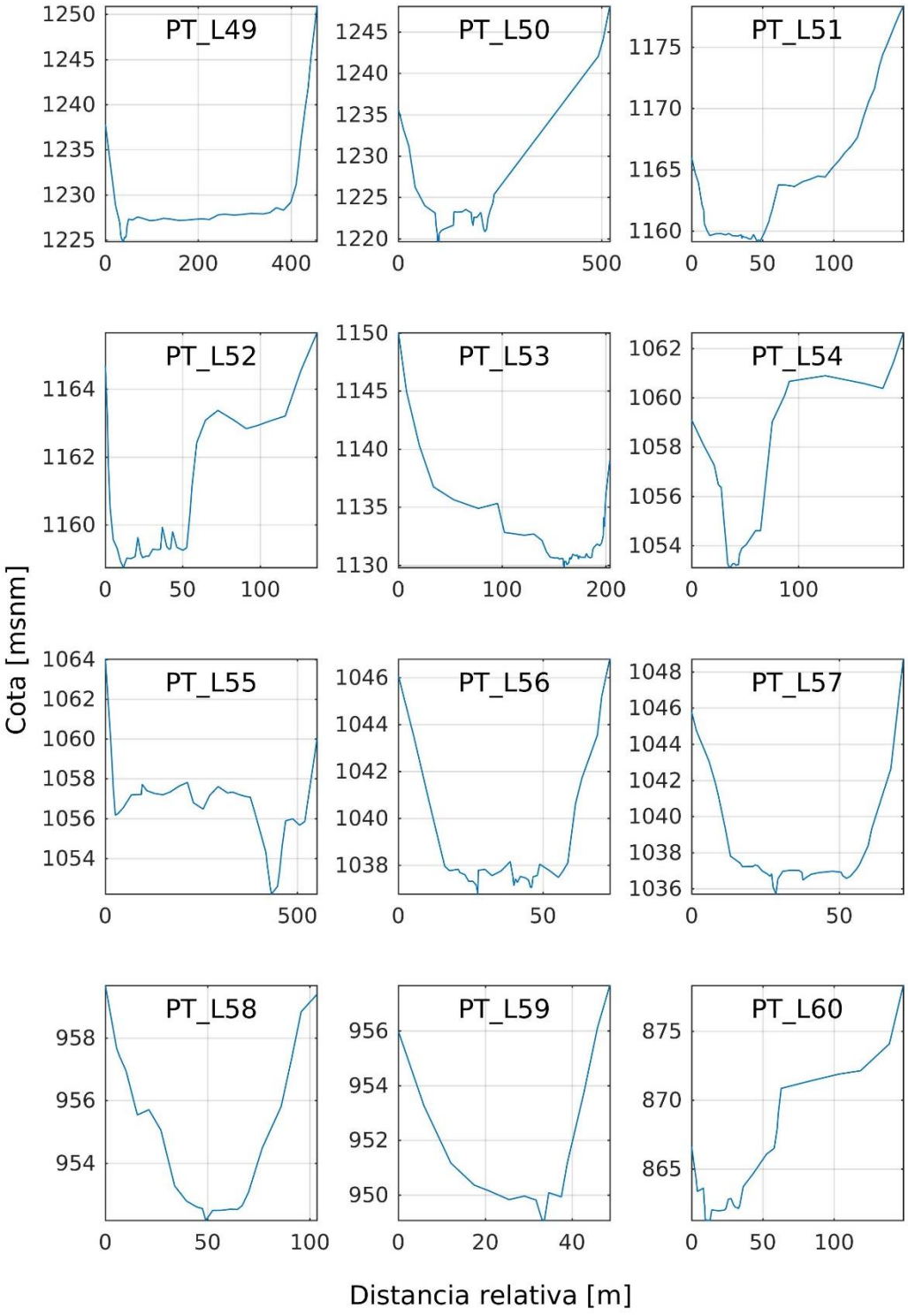


Figura 8.5 Perfiles topobatimétricos obtenidos de campaña Ago-Sept 2018 (Continuación).

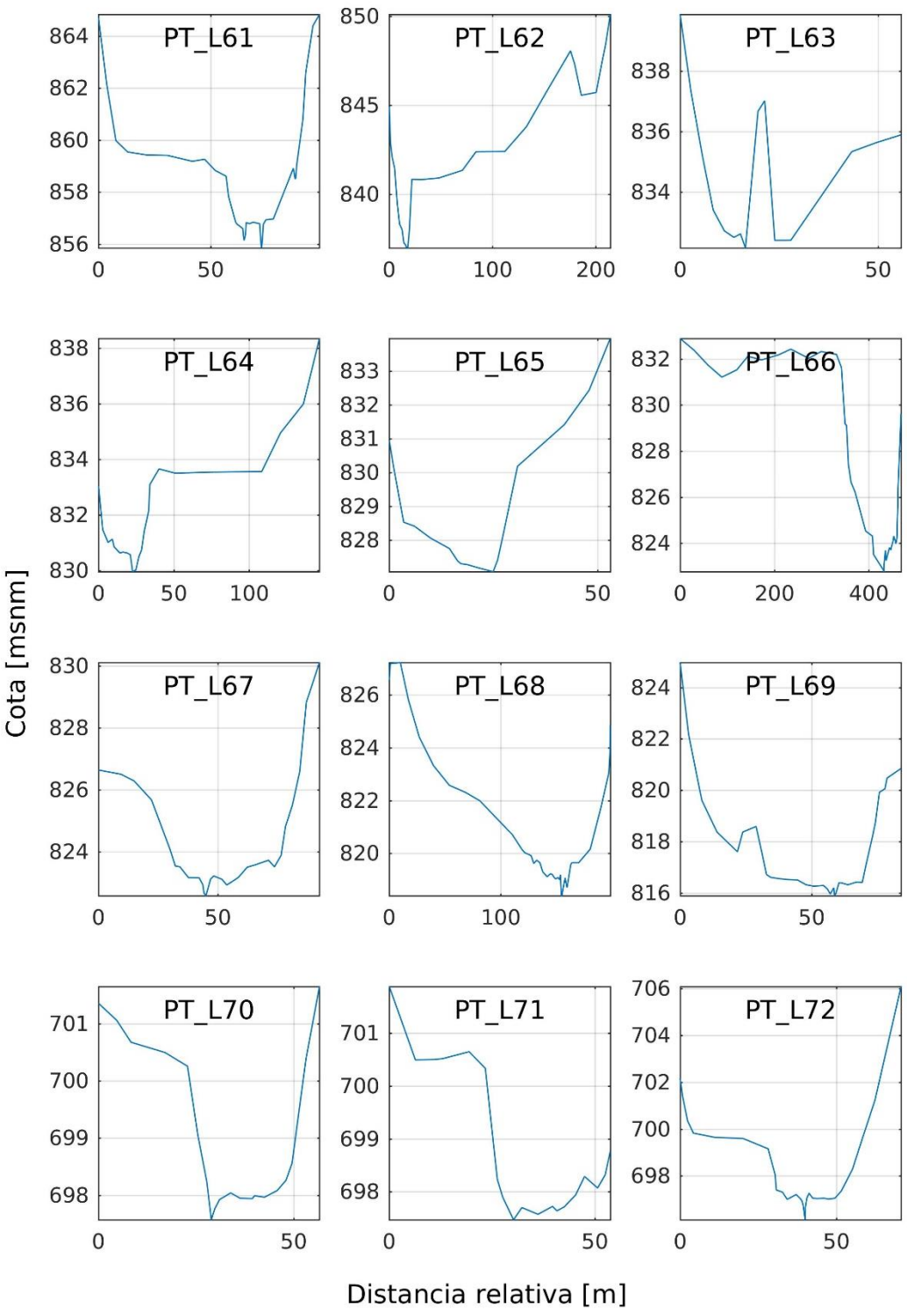


Figura 8.6 Perfiles topobatimétricos obtenidos de campaña Ago-Sept 2018 (Continuación).

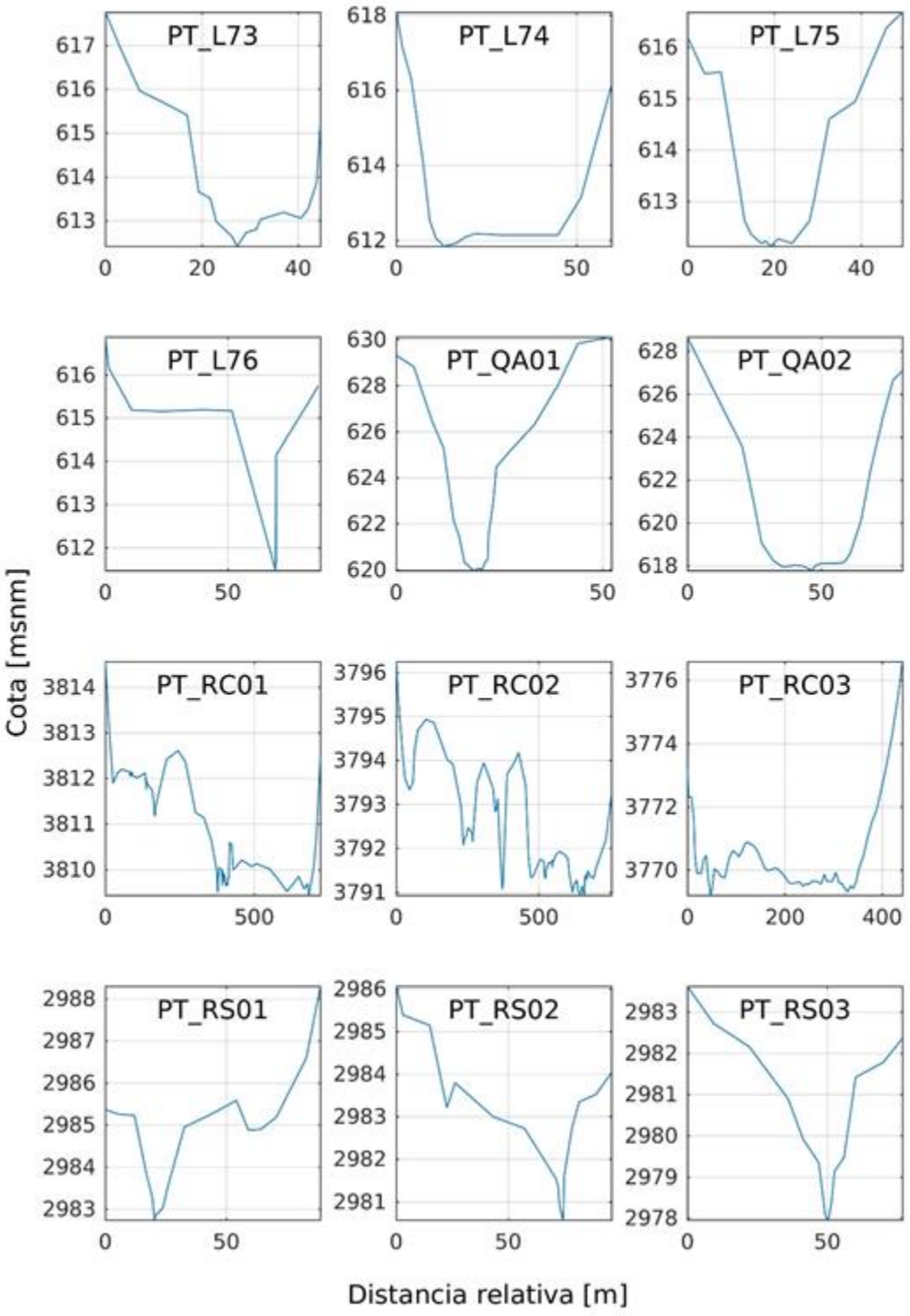


Figura 8.7 Perfiles topobatimétricos obtenidos de campaña Ago-Sept 2018 (Continuación).

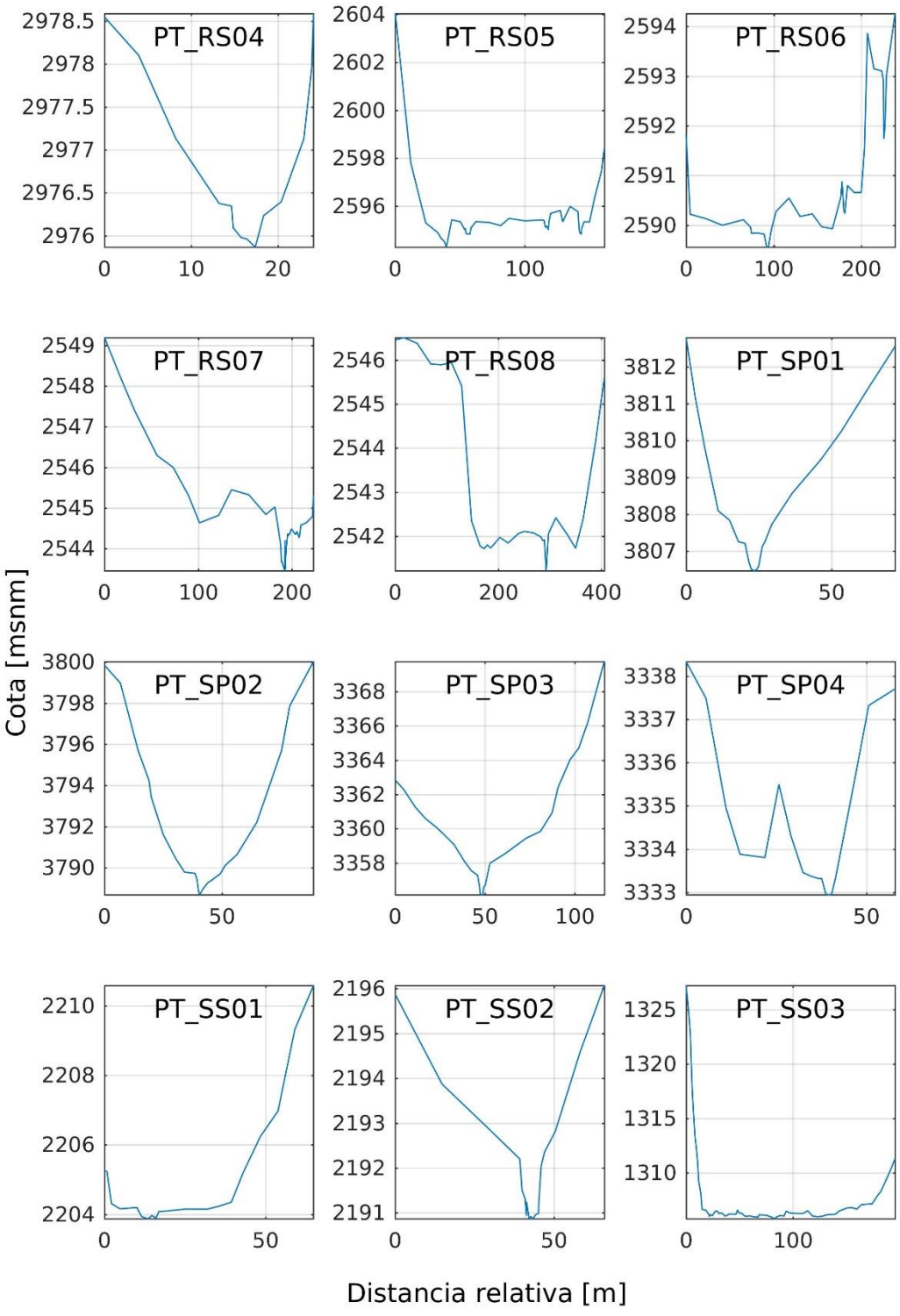


Figura 8.8 Perfiles topobatimétricos obtenidos de campaña Ago-Sept 2018 (Continuación).

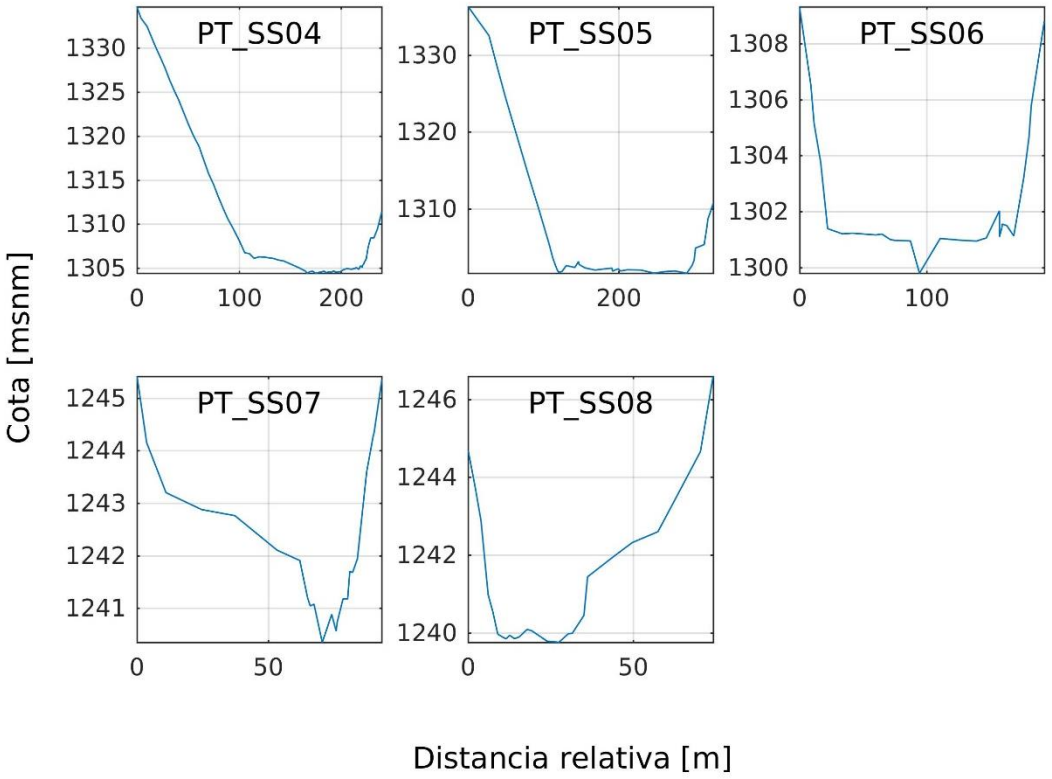


Figura 8.9 Perfiles topobatimétricos obtenidos de campaña Ago-Sept 2018 (Continuación).

8.3 CRITERIOS CICES V 5.1

Tabla 8.3. Aprovisionamiento, Sección Biótico, División Biomasa, CICES

	Group	Class	Code	Class type
1	Cultivated terrestrial plants for nutrition, materials or energy	Cultivated terrestrial plants (including fungi, algae) grown for nutritional purposes	1.1.1.1	Crops by amount, type (e.g. cereals, root crops, soft fruit, etc.)
2	Cultivated terrestrial plants for nutrition, materials or energy	Fibers and other materials from cultivated plants, fungi, algae and bacteria for direct use or processing	1.1.1.2	Material by amount, type, use, media (land, soil, freshwater, marine)
3	Cultivated terrestrial plants for nutrition, materials or energy	Cultivated plants (including fungi, algae) grown as a source of energy	1.1.1.3	By amount, type, source
4	Cultivated aquatic plants for nutrition, materials or energy	Cultivated plants grown for nutritional purposes by in- situ aquaculture	1.1.2.1	Plants, algae by amount, type
5	Cultivated aquatic plants for nutrition, materials or energy	Cultivated plants grown for material purposes by in- situ aquaculture (excluding genetic materials)	1.1.2.2	Plants, algae by amount, type
6	Cultivated aquatic plants for nutrition, materials or energy	Cultivated plants grown as a source of energy by in-situ aquaculture	1.1.2.3	Plants, algae by amount, type
7	Reared animals for nutrition, materials or energy	Animals reared to provide nutrition	1.1.3.1	Animals, products by amount, type (e.g. beef, dairy)
8	Reared animals for nutrition, materials or energy	Fibers and other materials from reared animals for direct use or processing (excluding genetic materials)	1.1.3.2	Material by amount, type, use, media (land, soil, freshwater, marine)
9	Reared animals for nutrition, materials or energy	Animals reared to provide energy (including mechanical)	1.1.3.3	By amount, type, source
10	Reared aquatic animals for nutrition, materials or energy	Animals reared by in-situ aquaculture for nutritional purposes	1.1.4.1	Animals by amount, type
11	Reared aquatic animals for nutrition, materials or energy	Animals reared by in-situ aquaculture for material purposes (excluding genetic materials)	1.1.4.2	Animals by amount, type
12	Reared aquatic animals for nutrition, materials or energy	Animals reared by in-situ aquaculture as an energy source	1.1.4.3	Animals by amount, type

Tabla 8.4. Aprovisionamiento, Sección Abiótico, División Agua, CICES Extendido

	Group	Class	Code	Class type
1	Surface water used for nutrition, materials or energy	Surface water for drinking	4.2.1.1	By amount, type, source
2	Surface water used for nutrition, materials or energy	Surface water used as a material (non-drinking purposes)	4.2.1.2	By amount & source
3	Surface water used for nutrition, materials or energy	Freshwater surface water used as an energy source	4.2.1.3	By amount, type, source
4	Surface water used for nutrition, materials or energy	Coastal and marine water used as energy source	4.2.1.4	By amount, type, source
5	Ground water for used for nutrition, materials or energy	Ground water for drinking	4.2.2.1	By amount, type, source
6	Ground water for used for nutrition, materials or energy	Ground water used as a material (non- drinking purposes)	4.2.2.2	By amount & source
7	Ground water for used for nutrition, materials or energy	Ground water used as an energy source	4.2.2.3	By amount & source
8	Other aqueous ecosystem outputs	Other	4.2.X.X	Use nested codes to allocate other provisioning services from non-living systems to appropriate Groups and Classes

Tabla 8.5. Regulación y mantenimiento, Divisiones varias, CICES

Division	Group	Class	Code	Class type
Transformation of biochemical or physical inputs to ecosystems	Mediation of wastes or toxic substances of anthropogenic origin by living processes	Bio-remediation by micro-organisms, algae, plants, and animals	2.1.1.1	By type of living system or by waste or subsistence type
Transformation of biochemical or physical inputs to ecosystems	Mediation of wastes or toxic substances of anthropogenic origin by living processes	Filtration/sequestration/storage/accumulatio n by micro-organisms, algae, plants, and animals	2.1.1.2	By type of living system, or by water or substance type
Transformation of biochemical or physical inputs to ecosystems	Mediation of nuisances of anthropogenic origin	Smell reduction	2.1.2.1	By type of living system
Transformation of biochemical or physical inputs to ecosystems	Mediation of nuisances of anthropogenic origin	Noise attenuation	2.1.2.2	By type of living system
Transformation of biochemical or physical inputs to ecosystems	Mediation of nuisances of anthropogenic origin	Visual screening	2.1.2.3	By type of living system
Regulation of physical, chemical, biological conditions	Regulation of baseline flows and extreme events	Control of erosion rates	2.2.1.1	By reduction in risk, area protected
Regulation of physical, chemical, biological conditions	Regulation of baseline flows and extreme events	Buffering and attenuation of mass movement	2.2.1.2	By reduction in risk, area protected
Regulation of physical, chemical, biological conditions	Regulation of baseline flows and extreme events	Hydrological cycle and water flow regulation (Including flood control)	2.2.1.3	By depth/volumes
Regulation of physical, chemical, biological conditions	Regulation of baseline flows and extreme events	Storm protection	2.2.1.4	By reduction in risk, area protected
Regulation of physical, chemical, biological	Regulation of baseline flows and extreme	Fire protection	2.2.1.5	By reduction in risk, area protected
Regulation of physical, chemical, biological conditions	Lifecycle maintenance, habitat and gene pool protection	Pollination (or 'gamete' dispersal in a marine context)	2.2.2.1	By amount and pollinator
Regulation of physical, chemical, biological conditions	Lifecycle maintenance, habitat and gene pool protection	Seed dispersal	2.2.2.2	By amount and dispersal agent
Regulation of physical, chemical, biological conditions	Lifecycle maintenance, habitat and gene pool protection	Maintaining nursery populations and habitats (Including gene pool protection)	2.2.2.3	By amount and source
Regulation of physical, chemical, biological conditions	Pest and disease control	Pest control (including invasive species)	2.2.3.1	By reduction in incidence, risk, area protected by type of living system
Regulation of physical, chemical, biological conditions	Pest and disease control	Disease control	2.2.3.2	By reduction in incidence, risk, area protected by type of living system
Regulation of physical, chemical, biological conditions	Regulation of soil quality	Weathering processes and their effect on soil quality	2.2.4.1	By amount/concentration and source
Regulation of physical, chemical, biological conditions	Regulation of soil quality	Decomposition and fixing processes and their effect on soil quality	2.2.4.2	By amount/concentration and source

Regulation of physical, chemical, biological conditions	Water conditions	Regulation of the chemical condition of freshwaters by living processes	2.2.5.1	By type of living system
Regulation of physical, chemical, biological conditions	Water conditions	Regulation of the chemical condition of salt waters by living processes	2.2.5.2	By type of living system
Regulation of physical, chemical, biological conditions	Atmospheric composition and conditions	Regulation of chemical composition of atmosphere	2.2.6.1	By contribution of type of living system to amount, concentration or climatic parameter
Regulation of physical, chemical, biological conditions	Atmospheric composition and conditions	Regulation of temperature and humidity, including ventilation and transpiration	2.2.6.2	By contribution of type of living system to amount, concentration or climatic parameter
Other types of regulation and maintenance service by living processes	Other	Other	2.3.X.X	Use nested codes to allocate other regulating and maintenance services from living systems to

Tabla 8.6. Cultura, Sección Cultura Biótica, Divisiones varias, CICES

Division	Group	Class	Code	Class type
Direct, in-situ and outdoor interactions with living systems that depend on presence in the environmental setting	Physical and experiential interactions with natural environment	Characteristics of living systems that enable activities promoting health, recuperation or enjoyment through active or immersive interactions	3.1.1.1	By type of living system or environmental setting
Direct, in-situ and outdoor interactions with living systems that depend on presence in the environmental setting	Physical and experiential interactions with natural environment	Characteristics of living systems that enable activities promoting health, recuperation or enjoyment through passive or observational interactions	3.1.1.2	By type of living system or environmental setting
Direct, in-situ and outdoor interactions with living systems that depend on presence in the environmental setting	Intellectual and representative interactions with natural environment	Characteristics of living systems that enable scientific investigation or the creation of traditional ecological knowledge	3.1.2.1	By type of living system or environmental setting
Direct, in-situ and outdoor interactions with living systems that depend on presence in the environmental setting	Intellectual and representative interactions with natural environment	Characteristics of living systems that enable education and training	3.1.2.2	By type of living system or environmental setting
Direct, in-situ and outdoor interactions with living systems that depend on presence in the environmental setting	Intellectual and representative interactions with natural environment	Characteristics of living systems that are resonant in terms of culture or heritage	3.1.2.3	By type of living system or environmental setting
Direct, in-situ and outdoor interactions with living systems that depend on presence in the environmental setting	Intellectual and representative interactions with natural environment	Characteristics of living systems that enable aesthetic experiences	3.1.2.4	By type of living system or environmental setting
Indirect, remote, often indoor interactions with living systems that do not require presence in the environmental setting	Spiritual, symbolic and other interactions with natural environment	Elements of living systems that have symbolic meaning	3.2.1.1	By type of living system or environmental setting
Indirect, remote, often indoor interactions with living systems that do not require presence in the environmental setting	Spiritual, symbolic and other interactions with natural environment	Elements of living systems that have sacred or religious meaning	3.2.1.2	By type of living system or environmental setting
Indirect, remote, often indoor interactions with living systems that do not require presence in the environmental setting	Spiritual, symbolic and other interactions with natural environment	Elements of living systems used for entertainment or representation	3.2.1.3	By type of living system or environmental setting
Indirect, remote, often indoor interactions with living systems that do not require presence in the environmental setting	Other biotic characteristics that have a non-use value	Characteristics or features of living systems that have an existence value	3.2.2.1	By type of living system or environmental setting
Indirect, remote, often indoor interactions with living systems that do not require presence in the environmental setting	Other biotic characteristics that have a non-use value	Characteristics or features of living systems that have an bequest value	3.2.2.2	By type of living system or environmental setting
Other characteristics of living systems that have cultural significance	Other	Other	3.3.X.X	Use nested codes to allocate other cultural services from living systems to appropriate Groups and Classes

Tabla 8.7. Extensión Abiótica, Sección Aprovisionamiento (Abiótico), CICES extendido

Section	Division	Group	Class	Code	Class type
Provisioning (Abiotic)	Water	Surface water used for nutrition, materials or energy	Surface water for drinking	4.2.1.1	By amount, type, source
Provisioning (Abiotic)	Water	Surface water used for nutrition, materials or energy	Surface water used as a material (non- drinking purposes)	4.2.1.2	By amount & source
Provisioning (Abiotic)	Water	Surface water used for nutrition, materials or energy	Freshwater surface water used as an energy source	4.2.1.3	By amount, type, source
Provisioning (Abiotic)	Water	Surface water used for nutrition, materials or energy	Coastal and marine water used as energy source	4.2.1.4	By amount, type, source
Provisioning (Abiotic)	Water	Ground water for used for nutrition, materials or energy	Ground water for drinking	4.2.2.1	By amount, type, source
Provisioning (Abiotic)	Water	Ground water for used for nutrition, materials or energy	Ground water used as a material (non- drinking purposes)	4.2.2.2	By amount & source
Provisioning (Abiotic)	Water	Ground water for used for nutrition, materials or energy	Ground water used as an energy source	4.2.2.3	By amount & source
Provisioning (Abiotic)	Water	Other aqueous ecosystem outputs	Other	4.2.X.X	Use nested codes to allocate other provisioning services from non-living systems to appropriate
Provisioning (Abiotic)	Non-aqueous natural abiotic ecosystem outputs	Mineral substances used for nutrition, materials or energy	Mineral substances used for nutrition	4.3.1.1	Amount by type
Provisioning (Abiotic)	Non-aqueous natural abiotic ecosystem outputs	Mineral substances used for nutrition, materials or energy	Mineral substances used for material purposes	4.3.1.2	Amount by type
Provisioning (Abiotic)	Non-aqueous natural abiotic ecosystem outputs	Mineral substances used for nutrition, materials or energy	Mineral substances used for as an energy source	4.3.1.3	Amount by type
Provisioning (Abiotic)	Non-aqueous natural abiotic ecosystem outputs	Non-mineral substances or ecosystem properties used for nutrition, materials or energy	Non-mineral substances or ecosystem properties used for nutrition	4.3.2.1	Amount by type
Provisioning (Abiotic)	Non-aqueous natural abiotic ecosystem outputs	Non-mineral substances or ecosystem properties used for nutrition, materials or energy	Non-mineral substances used for materials	4.3.2.2	Amount by type
Provisioning (Abiotic)	Non-aqueous natural abiotic ecosystem outputs	Non-mineral substances or ecosystem properties used for nutrition, materials or energy	Wind energy	4.3.2.3	Amount by type
Provisioning (Abiotic)	Non-aqueous natural abiotic ecosystem outputs	Non-mineral substances or ecosystem properties used for nutrition, materials or energy	Solar energy	4.3.2.4	Amount by type
Provisioning (Abiotic)	Non-aqueous natural abiotic ecosystem outputs	Non-mineral substances or ecosystem properties used for nutrition, materials or energy	Geothermal	4.3.2.5	Amount by type

Provisioning (Abiotic)	Non-aqueous natural abiotic ecosystem outputs	Other mineral or non- mineral substances or ecosystem properties used for nutrition, materials or energy	Other	4.3.2.6	Use nested codes to allocate other provisioning services from non-living systems to appropriate Groups and Classes
Regulation & Maintenance (Abiotic)	Transformation of biochemical or physical inputs to ecosystems	Mediation of waste, toxics and other nuisances by non- living processes	Dilution by freshwater and marine ecosystems	5.1.1.1	Amount by type
Regulation & Maintenance (Abiotic)	Transformation of biochemical or physical inputs to ecosystems	Mediation of waste, toxics and other nuisances by non- living processes	Dilution by atmosphere	5.1.1.2	Amount by type
Regulation & Maintenance (Abiotic)	Transformation of biochemical or physical inputs to ecosystems	Mediation of waste, toxics and other nuisances by non- living processes	Mediation by other chemical or physical means (e.g. via Filtration, sequestration, storage or accumulation)	5.1.1.3	Amount by type
Regulation & Maintenance (Abiotic)	Transformation of biochemical or physical inputs to ecosystems	Mediation of nuisances of anthropogenic origin	Mediation of nuisances by abiotic structures or processes	5.1.2.1	Amount by type
Regulation & Maintenance (Abiotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Regulation of baseline flows and extreme events	Mass flows	5.2.1.1	Amount by type
Regulation & Maintenance (Abiotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Regulation of baseline flows and extreme events	Liquid flows	5.2.1.2	Amount by type
Regulation & Maintenance (Abiotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Regulation of baseline flows and extreme events	Gaseous flows	5.2.1.3	Amount by type
Regulation & Maintenance (Abiotic)	Regulation of physical, chemical, biological conditions	Maintenance of physical, chemical, abiotic conditions	Maintenance and regulation by inorganic natural chemical and physical processes	5.2.2.1	Amount by type
Regulation & Maintenance (Abiotic)	Other type of regulation and maintenance service by abiotic processes	Other	Other	5.3.X.X	Use nested codes to allocate other provisioning services from non-living systems to appropriate Groups and Classes
Cultural (Abiotic)	Direct, in-situ and outdoor interactions with natural physical systems that depend on presence in the environmental setting	Physical and experiential interactions with natural abiotic components of the environment	Natural, abiotic characteristics of nature that enable active or passive physical and experiential interactions	6.1.1.1	Amount by type
Cultural (Abiotic)	Direct, in-situ and outdoor interactions with natural physical systems that depend on presence in the environmental setting	Intellectual and representative interactions with abiotic components of the natural environment	Natural, abiotic characteristics of nature that enable intellectual interactions	6.1.2.1	Amount by type
Cultural (Abiotic)	Indirect, remote, often indoor interactions with physical systems that do	Spiritual, symbolic and other interactions with the abiotic components of the	Natural, abiotic characteristics of nature that enable spiritual, symbolic and other interactions	6.2.1.1	Amount by type

	not require presence in the environmental setting	natural environment			
Cultural (Abiotic)	Indirect, remote, often indoor interactions with physical systems that do not require presence in the environmental setting	Other abiotic characteristics that have a non-use value	Natural, abiotic characteristics or features of nature that have either an existence or bequest value	6.2.2.1	Amount by type
Cultural (Abiotic)	Other abiotic characteristics of nature that have cultural significance	Other	Other	6.3.X.X	Use nested codes to allocate other provisioning services from non-living systems to appropriate Groups and Classes

8.4 Anexos certificados

8.4.1 Permiso captura con fines de investigación C. Herrera

RESOLUCIÓN EXENTA N°:4684/2018

AUTORIZA AL SR. CÉSAR ALFREDO HERRERA ITURRIAGA LA CAPTURA DE ANFIBIOS Y REPTILES CON FINES DE INVESTIGACIÓN.

Santiago, 08/ 08/ 2018

VISTOS:

Lo solicitado por el interesado con fecha de 30 de julio de 2018; Ley N° 18.755, Orgánica de este Servicio Agrícola y Ganadero; Ley 4.601, de Caza, modificada por la Ley N° 19.473, de 1996; D.S. N° 5, de 1998, del Ministerio de Agricultura; Resolución N° 2433 del 27 de abril de 2012 del Director Nacional del Servicio Agrícola y Ganadero, modificada por la Resolución Exenta N° 437 del 21 de enero de 2013.

CONSIDERANDO:

1. Que para fines de investigación, el Señor César Alfredo Herrera Iturriaga, solicita permiso de captura de especies protegidas de la fauna silvestre.

RESUELVO:

1. Autorízase al Sr. César Alfredo Herrera Iturriaga, RUT N° 17.231.501-1, con domicilio en Av. Príncipe de Gales N° 6465, comuna de La Reina, región Metropolitana, la captura de anfibios y reptiles bajo las condiciones de la presente Resolución.

2. Se autoriza la captura de ejemplares de anfibios de forma manual y de reptiles mediante lazo de nudo corredizo y manualmente, en las comunas de Calama y María Elena, región de Antofagasta, desde la fecha de esta Resolución hasta el 31 de octubre de 2019.

3. Los ejemplares capturados, una vez identificados y fotografiados, deberán ser liberados en los mismos sitios de captura, lo antes posibles, teniendo en consideración las condiciones de la especie, el estado del individuo y las condiciones de captura. En caso que ocurra la muerte de un ejemplar, se deberá dar aviso al SAG de la región correspondiente al sitio de captura.

4. Para la Manipulación de los ejemplares, deberán utilizarse las medidas de bioseguridad respectivas, que aseguren la protección de la fauna. En el caso de los anfibios se deberá tener especial precaución en evitar la contaminación cruzada entre ejemplares y sitios de captura.

   En caso de captura de ejemplares de especies de fauna silvestre catalogadas como perjudiciales o dañinas, según el Artículo 6 del Reglamento de la Ley de Caza, estos no podrán ser devueltos al medio.

5. Para las capturas, deberá contarse con la autorización expresa de la Corporación Nacional Forestal, en caso que éstas se realicen dentro de Áreas Silvestres Protegidas del Estado, o de los respectivos propietarios, en caso de realizarse fuera de ellas.

6. En forma previa a la colecta, con al menos 5 días hábiles de anticipación, el investigador deberá informar por escrito, a la Dirección Regional SAG Región de Antofagasta, al mail del encargado R.N.R carolina.elizalde@sag.gob.cl, las fechas y sitios específicos de las capturas, además de un número de teléfono y/o dirección de correo electrónico de contacto.

7. Una vez concluidas las actividades de terreno, el titular de esta Resolución, deberá enviar a la Dirección Regional SAG respectiva y al Departamento de Vida Silvestre del SAG Central (diproren@sag.gob.cl), a los correos indicados anteriormente, un informe basado en el formato proporcionado por este Servicio, a más tardar 30 días hábiles después de finalizadas las capturas.

   En caso de existir alguna publicación originada de la autorización otorgada, deberá hacer referencia en ellas del permiso expedido.

   En el caso que la captura de individuos no sea efectuada, el interesado deberá de informar el hecho a la división de Protección de los Recursos Naturales Renovables del SAG central.

1 de 2

08-08-2018 17:13

8. Toda Infracción a las disposiciones contenidas en la Ley de Caza y su Reglamento, y a la autorización que se ha otorgado será sancionada por el Servicio Agrícola y Ganadero.

ANOTESE Y TRANSCRIBASE

JOSÉ ROBERTO ROJAS CORNEJO
JEFE DIVISIÓN PROTECCIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Adjuntos

Documento	Fecha Publicación
7557/2018 Registro de Ingreso de documento Externo	30/07/2018

RAF/AAS

Distribución:

- Marcela Soledad Cespedes Moya - Secretaria Departamento de Vida Silvestre - Or.OC
- Angélica Genoveva Vivallo Vivallo - Directora Regional Región de Antofagasta Servicio Agrícola y Ganadero - Or.II
- Fernanda Orellana Silva - Encargada Regional (S) Unidad Técnica Protección de RNR - Or.II

División Protección de los Recursos Naturales Renovables - Paseo Bulnes N° 140

FIRMA ELECTRÓNICA SISTEMA DE GESTIÓN DOCUMENTAL

El presente documento ha sido suscrito por medio de firma electrónica avanzada en los términos de la Ley 19.799 (Sobre Documentos Electrónicos, Firma Electrónica y Servicios de Certificación de dicha Firma), siendo válido de la misma manera y produciendo los mismos efectos que los expedidos por escrito y en soporte de papel, con firma convencional.

El documento original está disponible en la siguiente dirección url:http://firmaelectronica.sag.gob.cl/SignServerEsign/visualizadorXML/C47429EA1667F5B84E58D41C733028461F0C0360

El documento original está disponible en la siguiente dirección url:http://firmaelectronica.sag.gob.cl/SignServerEsign/visualizadorXML/C47429EA1667F5B84E58D41C733028461F0C0360

8.4.2 Permiso captura con fines de investigación A. Charrier

RESOLUCIÓN EXENTA Nº:4511/2019

AUTORIZA AL SR. ANDRÉS CHARRIER ESCOBAR ITURRIAGA LA CAPTURA DE ANFIBIOS Y REPTILES CON FINES DE INVESTIGACIÓN.

Santiago, 19/ 06/ 2019

VISTOS:

Lo solicitado por el interesado con fecha de 29 de mayo de 2019; Ley Nº 18.755, Orgánica de este Servicio Agrícola y Ganadero; Ley 4.601, de Caza, modificada por la Ley N° 19.473, de 1996; D.S. Nº 5, de 1998, del Ministerio de Agricultura; Resolución N° 2433 del 27 de abril de 2012 del Director Nacional del Servicio Agrícola y Ganadero, modificada por la Resolución Exenta N° 437 del 21 de enero de 2013.

CONSIDERANDO:

1. Que para fines de investigación, el Señor Andrés Charrier Escobar Iturriaga, solicita permiso de captura de especies protegidas de la fauna silvestre.

RESUELVO:

1. Autorízase al Sr. Andrés Charrier Escobar Iturriaga, RUT N° 11.862.347-9, con domicilio en Av. Príncipe de Gales 6465, comuna de La Reina, región Metropolitana, la captura de anfibios y reptiles bajo las condiciones de la presente Resolución.

2. Se autoriza la captura de ejemplares de anfibios manualmente y de reptiles mediante lazo de nudo corredizo y de forma manual, en la cuenca del río Loa y sus tributarios, región de Antofagasta, desde la fecha de esta Resolución hasta el 31 de diciembre de 2019.

3. Los ejemplares capturados, una vez identificados, deberán ser liberados en los mismos sitios de captura, lo antes posibles, teniendo en consideración las condiciones de la especie, el estado del individuo y las condiciones de captura. En caso que ocurra la muerte de un ejemplar, se deberá dar aviso al SAG de la región correspondiente al sitio de captura.

4. Para la Manipulación de los ejemplares, deberán utilizarse las medidas de bioseguridad respectivas, que aseguren la protección de la fauna. En el caso de los anfibios, se deberá tener especial precaución en evitar la contaminación cruzada entre ejemplares y sitios de captura.

   En caso de captura de ejemplares de especies de fauna silvestre catalogadas como perjudiciales o dañinas, según el Artículo 6 del Reglamento de la Ley de Caza, estos no podrán ser devueltos al medio.

   Mientras permanezcan activas las trampas, deberán ser revisadas con una frecuencia acorde a las condiciones de captura.

5. La captura y manipulación de los ejemplares, sólo está permitida para las personas autorizadas en esta resolución.

6. Para las capturas, deberá contarse con la autorización expresa de la Corporación Nacional Forestal, en caso que éstas se realicen dentro de Áreas Silvestres Protegidas del Estado, o de los respectivos propietarios, en caso de realizarse fuera de ellas.

7. En forma previa a la colecta, con al menos 10 días hábiles de anticipación, el investigador deberá informar por escrito, a la Dirección Regional SAG Región de Antofagasta, al mail del encargado R.N.R carolina.elizalde@sag.gob.cl, las fechas y sitios específicos de las capturas, además de un número de teléfono y/o dirección de correo electrónico de contacto.

8. Una vez concluidas las actividades de terreno, el titular de esta Resolución, deberá enviar a la Dirección Regional SAG respectiva y al Departamento de Vida Silvestre del SAG Central (diproren@sag.gob.cl), a los correos indicados anteriormente, un informe basado en el formato

proporcionado por este Servicio, a más tardar 30 días hábiles después de finalizadas las capturas.

En caso de existir alguna publicación originada de la autorización otorgada, deberá hacer referencia en ellas del permiso expedido.

En el caso que la captura de individuos no sea efectuada, el interesado deberá de informar el hecho a la división de Protección de los Recursos Naturales Renovables del SAG central.

9. Toda Infracción a las disposiciones contenidas en la Ley de Caza y su Reglamento, y a la autorización que se ha otorgado será sancionada por el Servicio Agrícola y Ganadero.

ANOTESE Y TRANSCRIBASE

MARIO ANDRES AHUMADA CAMPOS
JEFE (S) DIVISIÓN PROTECCIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Anexos

Nombre	Tipo	Archivo	Copias	Hojas
Correo con antecedentes	Digital			

Adjuntos

Documento	Fecha Publicación
5319/2019 Registro de Ingreso de documento Externo	29/05/2019

RAF/AAS

Distribución:

- Marcela Soledad Cespedes Moya - Secretaria Departamento de Vida Silvestre - Or.OC
- Angélica Genoveva Vivallo Vivallo - Directora Regional Región de Antofagasta Servicio Agrícola y Ganadero - Or.II
- Carolina Elizalde Martin - Encargada Regional Unidad Técnica Protección de RNR - Or.II

División Protección de los Recursos Naturales Renovables - Paseo Bulnes N° 140

FIRMA ELECTRÓNICA SISTEMA DE GESTIÓN DOCUMENTAL

El presente documento ha sido suscrito por medio de firma electrónica avanzada en los términos de la Ley 19.799 (Sobre Documentos Electrónicos, Firma Electrónica y Servicios de Certificación de dicha Firma), siendo válido de la misma manera y produciendo los mismos efectos que los expedidos por escrito y en soporte de papel, con firma convencional.

El documento original está disponible en la siguiente dirección url:http://firmaelectronica.sag.gob.cl/SignServerEsign/visualizadorXML/1A82FDC8DE9CC25AF0F24D73F9018DB41F9B7520

El documento original está disponible en la siguiente dirección url:http://firmaelectronica.sag.gob.cl/SignServerEsign/visualizadorXML/1A82FDC8DE9CC25AF0F24D73F9018DB41F9B7520

RESOLUCIÓN EXENTA N°:4684/2018

AUTORIZA AL SR. CÉSAR ALFREDO HERRERA ITURRIAGA LA CAPTURA DE ANFIBIOS Y REPTILES CON FINES DE INVESTIGACIÓN.

Santiago, 08/ 08/ 2018

VISTOS:

Lo solicitado por el interesado con fecha de 30 de julio de 2018; Ley Nº 18.755, Orgánica de este Servicio Agrícola y Ganadero; Ley 4.601, de Caza, modificada por la Ley N° 19.473, de 1996; D.S. N° 5, de 1998, del Ministerio de Agricultura; Resolución N° 2433 del 27 de abril de 2012 del Director Nacional del Servicio Agrícola y Ganadero, modificada por la Resolución Exenta N° 437 del 21 de enero de 2013.

CONSIDERANDO:

1. Que para fines de investigación, el Señor César Alfredo Herrera Iturriaga, solicita permiso de captura de especies protegidas de la fauna silvestre.

RESUELVO:

1. Autorízase al Sr. César Alfredo Herrera Iturriaga, RUT N° 17.231.501-1, con domicilio en Av. Príncipe de Gales N° 6465, comuna de La Reina, región Metropolitana, la captura de anfibios y reptiles bajo las condiciones de la presente Resolución.

2. Se autoriza la captura de ejemplares de anfibios de forma manual y de reptiles mediante lazo de nudo corredizo y manualmente, en las comunas de Calama y María Elena, región de Antofagasta, desde la fecha de esta Resolución hasta el 31 de octubre de 2019.

3. Los ejemplares capturados, una vez identificados y fotografiados, deberán ser liberados en los mismos sitios de captura, lo antes posibles, teniendo en consideración las condiciones de la especie, el estado del individuo y las condiciones de captura. En caso que ocurra la muerte de un ejemplar, se deberá dar aviso al SAG de la región correspondiente al sitio de captura.

4. Para la Manipulación de los ejemplares, deberán utilizarse las medidas de bioseguridad respectivas, que aseguren la protección de la fauna. En el caso de los anfibios se deberá tener especial precaución en evitar la contaminación cruzada entre ejemplares y sitios de captura.

   En caso de captura de ejemplares de especies de fauna silvestre catalogadas como perjudiciales o dañinas, según el Artículo 6 del Reglamento de la Ley de Caza, estos no podrán ser devueltos al medio.

5. Para las capturas, deberá contarse con la autorización expresa de la Corporación Nacional Forestal, en caso que éstas se realicen dentro de Áreas Silvestres Protegidas del Estado, o de los respectivos propietarios, en caso de realizarse fuera de ellas.

6. En forma previa a la colecta, con al menos 5 días hábiles de anticipación, el investigador deberá informar por escrito, a la Dirección Regional SAG Región de Antofagasta, al mail del encargado R.N.R carolina.elizalde@sag.gob.cl, las fechas y sitios específicos de las capturas, además de un número de teléfono y/o dirección de correo electrónico de contacto.

7. Una vez concluidas las actividades de terreno, el titular de esta Resolución, deberá enviar a la Dirección Regional SAG respectiva y al Departamento de Vida Silvestre del SAG Central (diproren@sag.gob.cl), a los correos indicados anteriormente, un informe basado en el formato proporcionado por este Servicio, a más tardar 30 días hábiles después de finalizadas las capturas.

   En caso de existir alguna publicación originada de la autorización otorgada, deberá hacer referencia en ellas del permiso expedido.

   En el caso que la captura de individuos no sea efectuada, el interesado deberá de informar el hecho a la división de Protección de los Recursos Naturales Renovables del SAG central.

1 de 2

08-08-2018 17:13

8. Toda Infracción a las disposiciones contenidas en la Ley de Caza y su Reglamento, y a la autorización que se ha otorgado será sancionada por el Servicio Agrícola y Ganadero.

ANOTESE Y TRANSCRIBASE

JOSÉ ROBERTO ROJAS CORNEJO
JEFE DIVISIÓN PROTECCIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Adjuntos

Documento	Fecha Publicación
7557/2018 Registro de Ingreso de documento Externo	30/07/2018

RAF/AAS

Distribución:

- Marcela Soledad Cespedes Moya - Secretaria Departamento de Vida Silvestre - Or.OC
- Angélica Genoveva Vivallo Vivallo - Directora Regional Región de Antofagasta Servicio Agrícola y Ganadero - Or.II
- Fernanda Orellana Silva - Encargada Regional (S) Unidad Técnica Protección de RNR - Or.II

División Protección de los Recursos Naturales Renovables - Paseo Bulnes N° 140

FIRMA ELECTRÓNICA SISTEMA DE GESTIÓN DOCUMENTAL

El presente documento ha sido suscrito por medio de firma electrónica avanzada en los términos de la Ley 19.799 (Sobre Documentos Electrónicos, Firma Electrónica y Servicios de Certificación de dicha Firma), siendo válido de la misma manera y produciendo los mismos efectos que los expedidos por escrito y en soporte de papel, con firma convencional.

El documento original está disponible en la siguiente dirección url:http://firmaelectronica.sag.gob.cl/SignServerEsign/visualizadorXML/C47429EA1667F5B84E58D41C733028461F0C0360

El documento original está disponible en la siguiente dirección url:http://firmaelectronica.sag.gob.cl/SignServerEsign/visualizadorXML/C47429EA1667F5B84E58D41C733028461F0C0360

8.4.3 Permiso de Pesca 2018

DIARIO OFICIAL
DE LA REPUBLICA DE CHILE
Ministerio del Interior y Seguridad Pública

II SECCIÓN

DECRETOS, RESOLUCIONES, SOLICITUDES Y NORMAS DE INTERÉS PARTICULAR

Núm. 41.939 | Viernes 22 de Diciembre de 2017 | Página 1 de 1

Normas Particulares

CVE 1322736

MINISTERIO DE ECONOMÍA, FOMENTO Y TURISMO

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura

AUTORIZA A CENTRO DE ECOLOGÍA APLICADA LTDA. PARA REALIZAR PESCA DE INVESTIGACIÓN QUE INDICA

(Extracto)

Por resolución exenta N° 4.157, de 12 de diciembre de 2017, de esta Subsecretaría, autorízase a Centro de Ecología Aplicada Ltda., para efectuar una pesca de investigación de conformidad con el proyecto "Solicitud de Pesca de Investigación para Flora y Fauna Acuáticas en Cuerpos y Cursos de Aguas Continentales del Territorio Nacional".

El objetivo de la pesca de investigación que por la presente resolución se autoriza, consiste en realizar estudios de flora y fauna acuáticas en cursos y cuerpos de agua de las principales cuencas del país, enmarcados dentro de estudios de línea de base de ecosistemas acuáticos continentales de Chile. Además, se realizan monitoreos y seguimientos de las variables ambientales establecidas en las distintas Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) de los proyectos.

La pesca de investigación se efectuará en un período de 12 meses contados desde la fecha de publicación de la presente resolución, de conformidad con lo establecido en el artículo N° 174 de la Ley General de Pesca y Acuicultura, cuya zona de estudio serán todos los cuerpos de agua dulce continentales del territorio nacional, donde podrá muestrear las especies indicadas en la resolución extractada en los términos allí señalados.

La peticionaria designa como persona responsable de la presente pesca de investigación a don Manuel Contreras Leiva.

El texto íntegro de la presente resolución se publicará en el sitio de dominio electrónico de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

Valparaíso, 12 de diciembre de 2017.- Paolo Trejo Carmona, Subsecretario de Pesca y Acuicultura (S).

CVE 1322736 | Director: Carlos Orellana Céspedes
Sitio Web: www.diarioficial.cl | Mesa Central: +562 2486 3600 Email: consultas@diarioficial.cl
Dirección: Dr. Torres Boonen N°511, Providencia, Santiago, Chile.

Este documento ha sido firmado electrónicamente de acuerdo con la ley N°19.799 e incluye sellado de tiempo y firma electrónica avanzada. Para verificar la autenticidad de una representación impresa del mismo, ingrese este código en el sitio web www.diarioficial.cl

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE ECONOMÍA, FOMENTO Y TURISMO
SUBSECRETARÍA DE PESCA Y ACUICULTURA
CASILLA 100 - V
VALPARAÍSO

AUTORIZA A CENTRO DE ECOLOGÍA APLICADA LTDA.
PARA REALIZAR PESCA DE INVESTIGACIÓN QUE INDICA.

(EXTRACTO)

Por Resolución Exenta Nº 4157
de esta Subsecretaría, autorízase a Centro de Ecología Aplicada Ltda., para efectuar una pesca de investigación de conformidad con el proyecto **"Solicitud de Pesca de Investigación Para Flora y Fauna Acuática en Cuerpos y Cursos de Aguas Continentales del Territorio Nacional"**.

El objetivo de la pesca de investigación que por la presente resolución se autoriza, consiste en realizar estudios de flora y fauna acuática en cursos y cuerpos de agua de las principales cuencas del país, enmarcados dentro de estudios de línea de base de ecosistemas acuáticos continentales de Chile. Además se realizan monitoreos y seguimientos de las variables ambientales establecidas en las distintas Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) de los proyectos.

La pesca de investigación se efectuará en un período de 12 meses contados desde la fecha de publicación de la presente resolución, de conformidad con lo establecido en el Artículo Nº 174 de la Ley General de Pesca y Acuicultura, cuya zona de estudio, serán todos los cuerpos de agua dulce continentales del territorio nacional, donde podrá muestrear las especies indicadas en la resolución extractada en los términos allí señalados.

La peticionaria designa como persona responsable de la presente pesca de investigación a don Manuel Contreras Leiva.

El texto íntegro de la presente resolución se publicará en el sitio de dominio electrónico de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

MINISTERIO DE ECONOMÍA, FOMENTO Y TURISMO SUBSECRETARIO DE PESCA Y ACUICULTURA SUBROGANTE CHILE

PAOLO TREJO CARMONA
Subsecretario de Pesca y Acuicultura (S)

VALPARAÍSO, 12 DIC. 2017

MINISTERIO DE ECONOMÍA
FOMENTO Y TURISMO
SUBSECRETARÍA DE PESCA Y ACUICULTURA
PINV 234-2017 FLORA Y FAUNA ICTICA

AUTORIZA A CENTRO DE ECOLOGÍA APLICADA LTDA. PARA REALIZAR PESCA DE INVESTIGACIÓN QUE INDICA.

VALPARAÍSO, 12 DIC. 2017

R. EX. Nº 4157

VISTO: Lo solicitado por Centro de Ecología Aplicada Ltda., mediante C.I. SUBPESCA Nº 12.042/2017, de fecha 23 de octubre de 2017; lo informado por la División de Administración Pesquera de esta Subsecretaría, en Informe Técnico Nº 234/2017, contenido en Memorándum Técnico (P.INV.) Nº 234/2017, de fecha 28 de noviembre de 2017; los Términos Técnicos de Referencia del Proyecto **"Solicitud de Pesca de Investigación Para Flora y Fauna Acuática en Cuerpos y Cursos de Aguas Continentales del Territorio Nacional"**, elaborados por la peticionaria y aprobados por esta Subsecretaría; la Ley Nº 19.880; la Ley General de Pesca y Acuicultura Nº 18.892 y sus modificaciones cuyo texto refundido fue fijado por el D.S. Nº 430 de 1991, el D.F.L. Nº 5 de 1983, el D.S. Nº 461 de 1995, el Decreto Exento Nº 878 de 2011, todos del actual Ministerio de Economía, Fomento y Turismo; la Resolución Nº 332 de 2011, del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura.

C O N S I D E R A N D O:

Que Centro de Ecología Aplicada Ltda., ingresó mediante carta citada en Visto, una solicitud para desarrollar la pesca de investigación conforme los Términos Técnicos de Referencia del Proyecto denominado **"Solicitud de Pesca de Investigación Para Flora y Fauna Acuática en Cuerpos y Cursos de Aguas Continentales del Territorio Nacional"**.

Que mediante Memorándum Técnico (P.INV.) Nº 234/2017, citado en Visto, la División de Administración Pesquera de esta Subsecretaría, informa que las actividades planteadas en la solicitud califican como pesca de investigación de acuerdo a lo dispuesto en el artículo 2º Nº 29 de la Ley General de Pesca y Acuicultura, por cuanto es una actividad extractiva sin fines de lucro, cuya finalidad es obtener datos e información para generar conocimiento científico, para proteger la biodiversidad y el patrimonio sanitario del país.

Que la evidencia científica apunta a que los problemas de conservación de las especies ícticas de aguas continentales chilenas van en aumento. Esta situación se asocia a múltiples factores, donde el más relevante es el deterioro y fragmentación de su hábitat.

Que por lo anterior, es de especial interés para la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura contar con el mayor número de antecedentes que permitan diseñar medidas de administración que promuevan objetivos de conservación de peces nativos y asilvestrados de importancia para la pesca recreativa.

Que el uso controlado de las artes, aparejos y utensilios de pesca descritos en el presente informe permite disminuir la mortalidad no deseada y por tanto no resulta en un incremento de los riesgos de conservación de las especies señaladas.

Que dicha solicitud cumple con las exigencias dispuestas en el D.S. Nº 461 de 1995, del actual Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, que establece los requisitos que deben cumplir las solicitudes de pesca de investigación.

Que de acuerdo a lo anterior y de conformidad a lo dispuesto en los artículos 98 a 102 de la Ley General de Pesca y Acuicultura y el D.S. Nº 461 de 1995, citado en Visto, corresponde autorizar la pesca de investigación solicitada.

R E S U E L V O:

1.- Autorízase a Centro de Ecología Aplicada Ltda., R.U.T. 78.294.470-3, con domicilio en Av. Príncipe de Gales 6465, comuna de La Reina, Región Metropolitana, para efectuar una pesca de investigación, de conformidad con los Términos Técnicos de Referencia del Proyecto denominado **"Solicitud de Pesca de Investigación Para Flora y Fauna Acuática en Cuerpos y Cursos de Aguas Continentales del Territorio Nacional"**, elaborados por la peticionaria y aprobados por esta Subsecretaría y el informe técnico citado en Visto, los que se consideran parte integrante de la presente resolución.

2.- El objetivo de la pesca de investigación que por la presente resolución se autoriza, consiste en realizar estudios de flora y fauna acuática en cursos y cuerpos de agua de las principales cuencas del país, enmarcados dentro de estudios de línea de base de ecosistemas acuáticos continentales de Chile. Además se realizan monitoreos y seguimientos de las variables ambientales establecidas en las distintas Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) de los proyectos.

3.- La pesca de investigación se efectuará en un período de 12 meses contados desde la fecha de publicación de la presente resolución, de conformidad con lo establecido en el Artículo Nº 174 de la Ley General de Pesca y Acuicultura, cuya zona de estudio, serán todos los cuerpos de agua dulce continentales del territorio nacional.

4.- En cumplimiento de los objetivos de la presente pesca de investigación, la peticionaria podrá realizar:

a.- La captura con retención permanente de las siguientes matrices biológicas según se indica:

Matriz Biológica	Arte de Pesca, Equipos o elementos	Características
Zoobentos	Red Surber	Red Surber de 0,09 m^2 y con una apertura de malla de 250 µm.
	Corer	Corer de 0,0037 m^2.
Fitobentos	Perifitómetro	De acuerdo a Davies y Gee (1993).
	Core	Jeringa-core de 10 ml.

Fitoplancton	Red de fitoplancton	Red de arrastre de 60 µm de apertura de malla y 30 cm de diámetro de boca.
	Botella oceanográfica	Botella Van Dorn
	Red de salar	Red de plancton de 60 µm de trama de malla, con una apertura de boca de 10x15 cm.
Zooplancton	Red zooplancton	Red de arrastre de 110 µm de apertura de malla y 30 cm de diámetro de boca.
	Red de salar	Red con malla N 10 (110 µm) y 6 cm de diámetro.
	Botella oceanográfica	Botella Van Dorn / Niskin
Macrófitas	Cuadrante	Cuadrante de $1m^2$ reticulado (100 retículas de $4cm^2$).

b.- La captura con retención temporal de las siguientes especies:

Especie nativas	Nombre común
Geotria australis	Lamprea de bolsa
Mordacia lapicida	Lamprea de agua dulce
Cheirodon galusdae	Pocha de los Lagos
Cheirodon pisciculatus	Pocha
Cheirodon australe	Pocha del sur
Cheirodon kilIiani	Pocha
Diplomystes nahuelbutaensis	Bagre /Tollo
Diplomystes chilensis	Bagre /Tollo
Diplomystes. camposensis	Bagre /Tollo
Hatcheria macraei	Bagre
Trichomycterus areolatus	Bagrecito
Trichomycterus chiltoni	Bagrecito
Trichomycterus rivolatus	Bagrecito
Trichomycterus chungaraensis	Bagrecito
Trichomycterus laucaensis	Bagrecito
Bullockia maldonadoi	Bagrecito
Nematogenys inermis	Bagre grande
Galaxias maculatus	Puye/Truchita/Coltrao
Galaxias platei	Puye
Galaxias globiceps	Puye
Brachygalaxias gothei	Puye
Brachygalaxias bullocki	Puye
Aplochiton marinus	Peladilla
Aplochiton taeniatus	Farionela / Peladilla
Aplochiton zebra	Farionela listada
Orestias agassizi	Karachi/corvinilla
Orestias chungarensis	Karachi/corvinilla
Orestias laucaensis	Karachi/corvinilla
Orestias ascotanensis	Karachi/corvinilla
Orestias parinacotensis	Karachi/corvinilla

Odontesthes mauleanum	Cauque /pejerrey
Odontesthes debueni	Pirihuelo
Odontesthes wiebrichi	Cauque de valdivia
Odontesthes brevianalis	Cauque del norte
Odontesthes molinae	Cauque de molina
Odontesthes itatanum	Cauque de itata
Odontesthes hatcheri	Cauque patagonico
Basilichthys australis	Pejerrey chileno
Basilichthys microlepidotus	Pejerrey del norte
Basilichthys semotilus	Pejerrey
Percichthys trucha	Perca trucha o trucha criolla
Percichthys melanops	Trucha negra o trucha criolla
Percilia gillissi	Carmelita o coloradita
Percilia irwini	Carmelita de Concepción
Especies introducidas	
Basilichthys bonaerensis	Pejerrey argentino
Cyprinus carpio	Carpa
Gambusia affinis	Gambusia
Gambusia holbrooki	Gambusia
Carasius carasius	dorado
Cnesterodon decemaculatus	10 manchas
Ameiurus nebulosus	Cat fish
Oncorhynchus kisutch	Salmón coho o plateado
Oncorhynchus masou	Salmón cereza
Oncorhynchus mykiss	Trucha arcoiris
Oncorhynchus tshawytscha	Salmón Rey o Chinook
Salmo salar	Salmón del Atlántico
Salmo trutta	Trucha fario
Salvelinus fontinalis	Trucha de arroyo
Carassius sp	Dorado

Sin perjuicio de lo anterior, las especies de *Australoheros facetum* ("chanchito"), *Gambusia spp* ("gambusia"), *Carassius carassius* ("doradito"), *Cnesterodon decemmaculatus* ("10 manchas"), *Ameiurus nebulosus* ("pez gato"), *Jenynsia multidentata* (overito o morraja) y *Cheirodon interruptus* (pocha o morrajita) *Ctenopharyngodon idella* (carpa china) y *Cyprinus carpio* (carpa), podrán ser sacrificados en su totalidad, en consideración a su potencial invasividad y riesgo para la conservación de las especies nativas amenazadas.

Las especies nativas deberán ser devueltas una vez clasificadas a su medio en el mismo sitio de su captura, y en buenas condiciones para su sobrevivencia. Sin perjuicio de lo anterior, el consultor podrá reservar una muestra, o ejemplares de las especies ícticas que presenten signos de enfermedades o daños evidentes, para su posterior análisis patológico.

Para la captura de peces se podrá utilizar un equipo de pesca eléctrica especializada para dichos fines, el uso de chinguillos auxiliares y redes de cerco orilleras. De la misma manera y para zonas de mayor profundidad, podrá utilizar trampas de peces, espineles y redes. Respecto del uso de espineles, estos no deberán superar un número máximo de 10 anzuelos, todos sin "rebarba". Los que deberán ser operados con tiempos de reposo inferiores a 12 horas. Las redes utilizadas no deben superar los 25 metros de longitud y nunca cubrir todo el curso de agua. En lagos, las redes podrán alcanzar un máximo de 125 metros de

longitud y no más de tres unidades por cuerpo de agua. El tamaño de malla deberá corresponder al adecuado a cada especie objetivo del estudio, evitando la captura incidental de otras especies. El periodo de captura de la red no debe superar las 12 horas continuas. Durante este periodo, se deberá revisar regularmente la red a objeto de evitar la sobre captura, la captura de especies no objetivo, la mortalidad de los organismos atrapados.

5.- Para la captura de peces se podrá utilizar un equipo de pesca eléctrica especializada para dichos fines, que no deben incluir generadores eléctricos de combustión o baterías usadas directamente al curso y cuerpo de agua. Además debe cumplir con las siguientes características y buenas prácticas:

- Interruptor en el ánodo situado en bastón de acceso rápido.
- Indicador de parámetros eléctricos básicos.
- Control de frecuencia paso a paso.
- Regulación de potencia de salida.
- Potencia máxima 400 Watt.
- Control de pulso eléctrico.
- El pescado debe ser eliminado del campo eléctrico tan pronto como sea posible.
- Donde la pesca sea posible debe llevarse a cabo utilizando los campos de corriente continua.
- Frecuencias del pulso debe mantenerse lo más bajo posible entre 30-40 Hz o inferior.
- Máximo 2 minutos de uso por evento.

6.- Para efectos de la pesca de investigación que se autoriza por la presente resolución, la peticionaria se exceptúa del cumplimiento de las normas de administración establecidas mediante Decreto Exento Nº 878 de 2011, del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.

7.- Para efectos de dar cumplimiento a las medidas establecidas en el programa de vigilancia, detección y control establecido por el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura para la plaga *Didymosphenia geminata* (Didymo), el peticionario deberá:

a) Desinfectar los equipos, artes, implementos, aparejos de pesca y demás fómites que entren en contacto directo con el agua; en el lugar en donde se efectúen las actividades en terreno, tanto al comienzo y término de cada muestreo y en cada estación, debiendo utilizar los protocolos descritos en la Resolución Exenta 332 de 2011 del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura y el Manual para el Monitoreo e Identificación de la microalga bentónica *Didymosphenia geminata* de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

b) Dar aviso a más tardar dentro de las primeras 24 horas, una vez terminadas las campañas de muestreo, a la Dirección Regional del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura correspondiente, en caso que durante la ejecución de las actividades en terreno se sospeche de la aparición de dicha plaga en el área de estudio. De la misma forma, en caso de encontrar células de la plaga en los análisis posteriores, se deberá dar aviso al Servicio dentro del mismo tiempo indicado en el párrafo precedente.

8.- La peticionaria deberá informar a la oficina del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura correspondiente, con a lo menos dos días hábiles de anticipación, las fechas y lugares exactos en que se realizarán las jornadas de muestreo, para su control y fiscalización.

9.- En los estudios asociados a programas de monitoreo medioambiental o planes de vigilancia ambientales, las metodologías utilizadas deberán ser aquellas señaladas en las respectivas Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA).

10.- La solicitante deberá elaborar un informe resumido de las actividades realizadas, que contenga a lo menos información de la obtención de muestras, de los materiales y métodos ocupados. Asimismo, se deberá entregar una base de datos, en formato EXCEL, conteniendo: localización de la red o estaciones de muestreo, número de muestras, número de ejemplares capturados por especie cuando proceda o una cuantificación de la captura y características de los individuos muestreados en el contexto de la autorización.

Además, se deberá disponer los resultados en un archivo electrónico en formato *shape* el cual deberá estar en coordenadas geográficas (grados, minutos y segundos) referida al *datum WGS-84* considerando como atributo la categoría antes mencionada.

Lo anterior deberá ser entregado dentro del plazo de 30 días corridos, contados desde la fecha de término del período de pesca autorizado, y deberá entregarse impreso por medio de una carta conductora a la cual se le deberá adjuntar un dispositivo de respaldo digital que contenga una copia del informe más la base de datos solicitada.

El incumplimiento de la obligación antes señalada se considerará como causal suficiente para denegar cualquier nueva solicitud de pesca de investigación.

11.- Designase a la Jefa de la División de Administración Pesquera de esta Subsecretaría, como funcionario encargado de velar por el oportuno y debido cumplimiento de la obligación establecida en el numeral anterior.

12.- Esta autorización es intransferible y no podrá ser objeto o instrumento de negociación o situación de privilegio alguno.

13.- La peticionaria designa como persona responsable de la presente pesca de investigación a don Manuel Contreras Leiva, R.U.T. N° 8.990.546-K, del mismo domicilio.

Asimismo, se autoriza al jefe de proyecto responsable de la presente pesca de investigación y al siguiente personal técnico participante según la siguiente descripción:

Nombre	RUT	Profesión	Función
Manuel Contreras L.	08.990.546-K	Biólogo	Jefe de Proyecto
Leopoldo Fuentes B.	09.785.227-8	Biólogo	Ecología de peces
Esteban Abrigo	14.014.921-7	Biólogo	Ecología de peces
Esteban Martínez	15.669.823-7	Ingeniero Ambiental	Ecología de peces
Luis Vega	08.189.976-2	Biólogo Marino	Métodos muestreo Limnológicos
Manuel Segovia	17.388.649-7	Biólogo Marino	Métodos muestreo Limnológicos
Joksan Araya	16.987.649-5	Ingeniero Acuicultor	Métodos muestreo Limnológicos
Patricio Bahamondes	15.922.465-1	Biólogo Marino	Métodos muestreo Limnológicos
Pablo Colipué	16.744.740-6	Biólogo Marino	Métodos muestreo Limnológicos
Raúl Lagos	12.733.161-8	Técnico	Métodos muestreo Limnológicos
Hernán Thielemann	05.898.604-6	Técnico	Métodos muestreo Limnológicos

CENTRO DE ECOLOGIA APLICADA

Jorge Arroyo	12.642.896-0	Técnico	Métodos muestreo Limnológicos
Milton Munizaga	12.583.331-4	Técnico	Métodos muestreo Limnológicos
Darío Núñez	15.887.087-8	Técnico	Métodos muestreo Limnológicos
Diego Olguín	17.590.549-9	Técnico	Métodos muestreo Limnológicos
Nelson González	13.890.626-6	Técnico	Métodos muestreo Limnológicos
Marco Contreras	08.990.519-2	Técnico	Métodos muestreo Limnológicos

14.- La peticionaria deberá dar cumplimiento a las obligaciones que se establecen en la presente resolución, y a las establecidas en la Ley General de Pesca y Acuicultura y en el D.S. Nº 461 de 1995, del actual Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. El incumplimiento hará incurrir a la titular en el término inmediato de la pesca de investigación sin que sea necesario formalizarlo, y sin perjuicio de las sanciones que correspondan de acuerdo a lo dispuesto en la Ley General de Pesca y Acuicultura, ya citada.

15.- La presente resolución es sin perjuicio de las que correspondan conferir a otras autoridades, de acuerdo a las disposiciones legales y reglamentarias vigentes o que se establezcan.

16.- El Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura deberá adoptar las medidas y efectuar los controles que sean necesarios para lograr un efectivo cumplimiento de las disposiciones de la presente resolución.

17.- La presente resolución podrá ser impugnada por la interposición del recurso de reposición contemplado en el artículo 59 de la Ley Nº 19.880, ante esta misma Subsecretaría y dentro del plazo de 5 días hábiles contados desde la respectiva notificación, sin perjuicio de la aclaración del acto dispuesta en el artículo 62 del citado cuerpo legal y de las demás acciones y recursos que procedan de conformidad con la normativa vigente.

18.- La presente resolución deberá ser publicada en extracto en el Diario Oficial, por cuenta de la interesada.

19.- Transcríbase copia de esta resolución a la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante, al Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura y a la División Jurídica de esta Subsecretaría.

ANÓTESE, NOTIFÍQUESE POR CARTA CERTIFICADA, PUBLÍQUESE A TEXTO ÍNTEGRO EN LOS SITIOS DE DOMINIO ELECTRÓNICO DE LA SUBSECRETARÍA DE PESCA Y ACUICULTURA Y DEL SERVICIO NACIONAL DE PESCA Y ACUICULTURA, Y ARCHÍVESE

MINISTERIO DE ECONOMIA, FOMENTO Y TURISMO SUBSECRETARIO DE PESCA Y ACUICULTURA SUBROGANTE CHILE

PABLO TREJO CARMONA
Subsecretario de Pesca y Acuicultura (S)

CGS/FPA/css

Lo que transcribo para su conocimiento.

Saluda atentamente a Ud.

MINISTERIO DE ECONOMIA, SUBSECRETARIA DE PESCA Y ACUICULTURA JEFE DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO

ROBINSON QUIERO ZARATE
Jefe Departamento Administrativo

8.4.4 Permiso de Pesca 2019

DIARIO OFICIAL
DE LA REPUBLICA DE CHILE
Ministerio del Interior y Seguridad Pública

II SECCIÓN

DECRETOS, RESOLUCIONES, SOLICITUDES Y NORMAS DE INTERÉS PARTICULAR

Núm. 42.226 | Martes 11 de Diciembre de 2018 | Página 1 de 1

Normas Particulares

CVE 1508409

MINISTERIO DE ECONOMÍA, FOMENTO Y TURISMO

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura

AUTORIZA A CENTRO DE ECOLOGÍA APLICADA LTDA. PARA REALIZAR PESCA DE INVESTIGACIÓN QUE INDICA

(Extracto)

Por resolución exenta N° 4.084, de 27 de noviembre de 2018, de esta Subsecretaría, autorízase a Centro de Ecología Aplicada Ltda., para efectuar una pesca de investigación de conformidad con el proyecto "Solicitud de Pesca de Investigación para Flora y Fauna Acuática en Cuerpos y Cursos de Aguas Continentales del Territorio Nacional".

El objetivo de la pesca de investigación que por la presente resolución se autoriza consiste en estudiar la flora y fauna acuática en los cursos y cuerpos de agua de las principales cuencas del país, enmarcados dentro de estudios de línea de base de ecosistemas acuáticos continentales de Chile. Además se realizarán monitoreos y seguimientos de las variables ambientales establecidas en las distintas Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) de los proyectos.

La pesca de investigación se efectuará en un período de 12 meses contados desde la fecha de publicación de la presente resolución, de conformidad con lo establecido en el Artículo N° 174 de la Ley General de Pesca y Acuicultura, a ejecutarse en todos los cuerpos de agua dulce continentales del territorio nacional, donde podrá muestrear las especies indicadas en la resolución extractada en los términos allí señalados.

La peticionaria designa como persona responsable de la presente pesca de investigación a don Manuel Contreras Leiva.

El texto íntegro de la presente resolución se publicará en el sitio de dominio electrónico de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

Valparaíso, 27 de noviembre de 2018.- Eduardo Riquelme Portilla, Subsecretario de Pesca y Acuicultura.

CVE 1508409 | Director: Juan Jorge Lazo Rodríguez
Sitio Web: www.diarioficial.cl | Mesa Central: +562 2486 3600 Email: consultas@diarioficial.cl
Dirección: Dr. Torres Boonen N°511, Providencia, Santiago, Chile.

Este documento ha sido firmado electrónicamente de acuerdo con la ley N°19.799 e incluye sellado de tiempo y firma electrónica avanzada. Para verificar la autenticidad de una representación impresa del mismo, ingrese este código en el sitio web www.diarioficial.cl

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE ECONOMÍA, FOMENTO Y TURISMO
SUBSECRETARÍA DE PESCA Y ACUICULTURA
CASILLA 100-V
VALPARAÍSO

AUTORIZA A CENTRO DE ECOLOGÍA APLICADA LTDA. PARA REALIZAR PESCA DE INVESTIGACIÓN QUE INDICA.

(EXTRACTO)

Por Resolución Exenta Nº 4084 de esta Subsecretaría, autorízase a Centro de Ecología Aplicada Ltda., para efectuar una pesca de investigación de conformidad con el proyecto **"Solicitud de Pesca de Investigación para Flora y Fauna Acuática en Cuerpos y Cursos de Aguas Continentales del Territorio Nacional"**.

El objetivo de la pesca de investigación que por la presente resolución se autoriza consiste en estudiar la flora y fauna acuática en los cursos y cuerpos de agua de las principales cuencas del país, enmarcados dentro de estudios de línea de base de ecosistemas acuáticos continentales de Chile. Además se realizarán monitoreos y seguimientos de las variables ambientales establecidas en las distintas Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) de los proyectos.

La pesca de investigación se efectuará en un período de 12 meses contados desde la fecha de publicación de la presente resolución, de conformidad con lo establecido en el Artículo Nº 174 de la Ley General de Pesca y Acuicultura, a ejecutarse en todos los cuerpos de agua dulce continentales del territorio nacional, donde podrá muestrear las especies indicadas en la resolución extractada en los términos allí señalados.

La peticionaria designa como persona responsable de la presente pesca de investigación a don Manuel Contreras Leiva.

El texto íntegro de la presente resolución se publicará en el sitio de dominio electrónico de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

EDUARDO RIQUELME PORTILLA
Subsecretario de Pesca y Acuicultura

VALPARAÍSO, 27 NOV. 2018

CENTRO DE ECOLOGIA APLICADA

MINISTERIO DE ECONOMÍA FOMENTO Y TURISMO
SUBSECRETARÍA DE PESCA Y ACUICULTURA
PINV 252-2018 FLORA Y FAUNA ACUÁTICA

AUTORIZA A CENTRO DE ECOLOGÍA APLICADA LTDA. PARA REALIZAR PESCA DE INVESTIGACIÓN QUE INDICA.

VALPARAÍSO, 27 NOV. 2018

RESOL. EXENTA Nº 4084

VISTO: Lo solicitado por Centro de Ecología Aplicada Ltda., mediante C.I. SUBPESCA Nº 11.846/2018, de fecha 22 de octubre de 2018; lo informado por la División de Administración Pesquera de esta Subsecretaría, en Informe Técnico Nº 252/2018, contenido en Memorándum Técnico (P.INV.) Nº 252/2018, de fecha 13 de noviembre de 2018; los Términos Técnicos de Referencia del Proyecto **"Solicitud de Pesca de Investigación para Flora y Fauna Acuática en Cuerpos y Cursos de Aguas Continentales del Territorio Nacional"**, elaborados por la peticionaria y aprobados por esta Subsecretaría; la Ley Nº 19.880; la Ley General de Pesca y Acuicultura Nº 18.892 y sus modificaciones cuyo texto refundido, coordinado y sistematizado fue fijado por el D.S. Nº 430 de 1991, el D.F.L. Nº 5 de 1983, el D.S. Nº 461 de 1995, el Decreto Exento Nº 878 de 2011, todos del actual Ministerio de Economía, Fomento y Turismo; la Resolución Exenta Nº 332 de 2011, del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura.

CONSIDERANDO:

Que Centro de Ecología Aplicada Ltda., ingresó mediante carta citada en Visto, una solicitud para desarrollar la pesca de investigación conforme los Términos Técnicos de Referencia del Proyecto denominado **"Solicitud de Pesca de Investigación para Flora y Fauna Acuática en Cuerpos y Cursos de Aguas Continentales del Territorio Nacional"**.

Que mediante Memorándum Técnico (P.INV.) Nº 252/2018, citado en Visto, la División de Administración Pesquera de esta Subsecretaría, informa que las actividades planteadas en la solicitud califican como pesca de investigación de acuerdo a lo dispuesto en el artículo 2º Nº 29 de la Ley General de Pesca y Acuicultura, por cuanto es una actividad extractiva sin fines de lucro, cuya finalidad es obtener datos e información para generar conocimiento científico, para proteger la biodiversidad y el patrimonio sanitario del país.

Que la evidencia científica apunta a que los problemas de conservación de las especies ícticas de aguas continentales chilenas van en aumento y esta situación se asocia a múltiples factores, donde el más relevante es el deterioro y fragmentación de su hábitat.

Que por lo anterior, es de especial interés para esta Subsecretaría contar con el mayor número de antecedentes que permitan diseñar medidas de administración que promuevan objetivos de conservación de peces nativos y asilvestrados de importancia para la pesca recreativa.

Que el uso controlado de las artes, aparejos y utensilios de pesca descritos en el presente informe permite disminuir la mortalidad no deseada y, por tanto, no resulta en un incremento de los riesgos de conservación de las especies señaladas.

Que dicha solicitud cumple con las exigencias dispuestas en el D.S. Nº 461 de 1995, del actual Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, que establece los requisitos que deben cumplir las solicitudes de pesca de investigación.

Que de acuerdo a lo anterior y de conformidad a lo dispuesto en los artículos 98 a 102 de la Ley General de Pesca y Acuicultura y el D.S. Nº 461 de 1995, citado en Visto, corresponde autorizar la pesca de investigación solicitada.

R E S U E L V O:

1.- Autorízase a Centro de Ecología Aplicada Ltda., R.U.T. 78.294.470-3, con domicilio en Avenida Príncipe de Gales Nº 6465, La Reina, Santiago, Región Metropolitana de Santiago, para efectuar una pesca de investigación, de conformidad con los Términos Técnicos de Referencia del Proyecto denominado **"Solicitud de Pesca de Investigación para Flora y Fauna Acuática en Cuerpos y Cursos de Aguas Continentales del Territorio Nacional"**, elaborados por la peticionaria y aprobados por esta Subsecretaría y el informe técnico citado en Visto, los que se consideran parte integrante de la presente resolución.

2.- El objetivo de la pesca de investigación que por la presente resolución se autoriza consiste en estudiar la flora y fauna acuática en los cursos y cuerpos de agua de las principales cuencas del país, enmarcados dentro de estudios de línea de base de ecosistemas acuáticos continentales de Chile. Además se realizarán monitoreos y seguimientos de las variables ambientales establecidas en las distintas Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) de los proyectos.

3.- La pesca de investigación se efectuará en un período de 12 meses contados desde la fecha de publicación de la presente resolución, de conformidad con lo establecido en el Artículo Nº 174 de la Ley General de Pesca y Acuicultura, a ejecutarse en todos los cuerpos de agua dulce continentales del territorio nacional.

4.- En cumplimiento de los objetivos de la presente pesca de investigación, la peticionaria podrá realizar las siguientes actividades:

a.- La captura con retención permanente de las siguientes matrices biológicas según indica:

Matriz Biológica	Arte de Pesca, Equipos o elementos	Características
Zoobentos	Red Surber	Red Surber de 0,09 m^2 y con una apertura de malla de 250 µm.
	Corer	Corer de 0,0037 m^2.
Fitobentos	Perifitómetro	De acuerdo a Davies y Gee (1993).
	Core	Jeringa-core de 10 mL.

Fitoplancton	Red de fitoplancton	Red de arrastre de 60 µm de apertura de malla y 30 cm de diámetro de boca.
	Botella oceanográfica	Botella Van Dorn
	Red de salar	Red de plancton de 60 µm de trama de malla, con una apertura de boca de 10x15 cm.
Zooplancton	Red zooplancton	Red de arrastre de 110 µm de apertura de malla y 30 cm de diámetro de boca.
	Red de salar	Red con malla N 10 (110 µm) y 6 cm de diámetro.
	Botella oceanográfica	Botella Van Dorn / Niskin
Macrófitas	Cuadrante	Cuadrante de 1m^2 reticulado (100 reticulas de 4cm^2).

b.- La captura con retención temporal de las siguientes especies:

Especie nativas	Nombre común
Geotria australis	Lamprea de bolsa
Mordacia lapicida	Lamprea de agua dulce
Cheirodon galusdae	Pocha de los Lagos
Cheirodon pisciculatus	Pocha
Cheirodon australe	Pocha del sur
Cheirodon kiliani	Pocha
Diplomystes nahuelbutaensis	Bagre /Tollo
Diplomystes chilensis	Bagre /Tollo
Diplomystes. camposensis	Bagre /Tollo
Hatcheria macraei	Bagre
Trichomycterus areolatus	Bagrecito
Trichomycterus chiltoni	Bagrecito
Trichomypterus rivolatus	Bagrecito
Trichomypterus chungaraensis	Bagrecito
Trichomypterus laucaensis	Bagrecito
Bullockia maldonadoi	Bagrecito
Nematogenys inermis	Bagre grande
Galaxias maculatus	Puye/Truchita/Coltrao
Galaxias platei	Puye
Galaxias globiceps	Puye
Brachygalaxias gothei	Puye
Brachygalaxias bullocki	Puye
Aplochiton marinus	Peladilla
Aplochiton taeniatus	Farionela / Peladilla
Aplochiton zebra	Farionela listada
Orestias agassizi	Karachi/corvinilla
Orestias chungarensis	Karachi/corvinilla
Orestias laucaensis	Karachi/corvinilla
Orestias ascotanensis	Karachi/corvinilla
Orestias parinacotensis	Karachi/corvinilla

Odontesthes mauleanum	Cauque /pejerrey
Odontesthes debueni	Pirihuelo
Odontesthes wiebrichi	Cauque de valdivia
Odontesthes brevianalis	Cauque del norte
Odontesthes molinae	Cauque de molina
Odontesthes itatanum	Cauque de itata
Odontesthes hatcheri	Cauque patagonico
Basilichthys australis	Pejerrey chileno
Basilichthys microlepidotus	Pejerrey del norte
Basilichthys semotilus	Pejerrey
Percichthys trucha	Perca trucha o trucha criolla
Percichthys melanops	Trucha negra o trucha criolla
Percilia gillissi	Carmelita o coloradita
Percilia irwini	Carmelita de Concepción
Especies introducidas	
Basilichthys bonaerensis	Pejerrey argentino
Cyprinus carpio	Carpa
Gambusia affinis	Gambusia
Gambusia holbrooki	Gambusia
Carasius carasius	dorado
Cnesterodon decemaculatus	10 manchas
Ameiurus nebulosus	Cat fish
Oncorhynchus kisutch	Salmón coho o plateado
Oncorhynchus masou	Salmón cereza
Oncorhynchus mykiss	Trucha arcoiris
Oncorhynchus tshawytscha	Salmón Rey o Chinook
Salmo salar	Salmón del Atlántico
Salmo trutta	Trucha fario
Salvelinus fontinalis	Trucha de arroyo
Carassius sp	Dorado

Sin perjuicio de lo anterior, las especies de *Australoheros facetum* ("chanchito"), *Gambusia* spp. ("gambusia"), *Carassius carassius* ("doradito"), *Cnesterodon decemmaculatus* ("10 manchas"), *Ameiurus nebulosus* ("pez gato"), *Jenynsia multidentata* (overito o morraja) y *Cheirodon interruptus* (pocha o morrajita) *Ctenopharyngodon idella* (carpa china) y *Cyprinus carpio* (carpa), podrán ser sacrificados en su totalidad, en consideración a su potencial invasividad y riesgo para la conservación de las especies nativas amenazadas.

Las especies nativas deberán ser devueltas una vez clasificadas a su medio en el mismo sitio de su captura, y en buenas condiciones para su sobrevivencia. Sin perjuicio de lo anterior, el consultor podrá reservar una muestra, o ejemplares de las especies ícticas que presenten signos de enfermedades o daños evidentes, para su posterior análisis patológico.

5.- Para la captura de peces se podrá utilizar un equipo de pesca eléctrica especializada para dichos fines, que no deben incluir generadores eléctricos de combustión o baterías usadas directamente al curso y cuerpo de agua. Además debe cumplir con las siguientes características y buenas prácticas:

- Interruptor en el ánodo situado en bastón de acceso rápido.
- Indicador de parámetros eléctricos básicos.
- Control de frecuencia paso a paso.
- Regulación de potencia de salida.
- Potencia máxima 400 Watt.
- Control de pulso eléctrico.
- El pescado debe ser eliminado del campo eléctrico tan pronto como sea posible.
- Donde la pesca sea posible debe llevarse a cabo utilizando los campos de corriente continua.
- Frecuencias del pulso debe mantenerse lo más bajo posible entre 30-40 Hz o inferior.
- Máximo 2 minutos de uso por evento.

Para la captura de peces se podrá utilizar un equipo de pesca eléctrica especializada para dichos fines, el uso de chinguillos auxiliares y redes de cerco orilleras. De la misma manera y para zonas de mayor profundidad, podrá utilizar trampas de peces, espineles y redes. Respecto del uso de espineles, estos no deberán superar un número máximo de 10 anzuelos, todos sin "rebarba", los que deberán ser operados con tiempos de reposo inferiores a 12 horas.

Las redes utilizadas no deben superar los 25 metros de longitud y nunca cubrir todo el curso de agua. En lagos, las redes podrán alcanzar un máximo de 125 metros de longitud y no más de tres unidades por cuerpo de agua. El tamaño de malla deberá corresponder al adecuado a cada especie objetivo del estudio, evitando la captura incidental de otras especies. El periodo de captura de la red no debe superar las 12 horas continuas. Durante este periodo, se deberá revisar regularmente la red a objeto de evitar la sobre captura, la captura de especies no objetivo, la mortalidad de los organismos atrapados.

6.- Para efectos de la pesca de investigación que se autoriza por la presente resolución, la peticionaria se exceptúa del cumplimiento de las normas de administración establecidas mediante Decreto Exento Nº 878 de 2011, del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.

7.- Para efectos de dar cumplimiento a las medidas establecidas en el programa de vigilancia, detección y control establecido por el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura para la plaga *Didymosphenia geminata* (Didymo), el peticionario deberá:

a) Desinfectar los equipos, artes, implementos, aparejos de pesca y demás fómites que entren en contacto directo con el agua; en el lugar en donde se efectúen las actividades en terreno, tanto al comienzo y término de cada muestreo y en cada estación, debiendo utilizar los protocolos descritos en la Resolución Exenta 332 de 2011 del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura y el Manual para el Monitoreo e Identificación de la microalga bentónica *Didymosphenia geminata* de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

b) Dar aviso a más tardar dentro de las primeras 24 horas, una vez terminadas las campañas de muestreo, a la Dirección Regional del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura correspondiente, en caso que durante la ejecución de las actividades en terreno se sospeche de la aparición de dicha plaga en el área de estudio. De la misma forma, en caso de encontrar células de la plaga en los análisis posteriores, se deberá dar aviso al Servicio dentro del mismo tiempo indicado en el párrafo precedente.

8.- La peticionaria deberá informar a la oficina del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura correspondiente, con a lo menos dos días hábiles de anticipación, las fechas y lugares exactos en que se realizarán las jornadas de muestreo, para su control y fiscalización.

9.- En los estudios asociados a programas de monitoreo medioambiental o planes de vigilancia ambientales, las metodologías utilizadas deberán ser aquellas señaladas en las respectivas Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA).

10.- La solicitante deberá elaborar un informe resumido de las actividades realizadas, que contenga a lo menos información de la obtención de muestras, de los materiales y métodos ocupados. Asimismo, se deberá entregar una base de datos, en formato EXCEL, conteniendo: localización de la red o estaciones de muestreo, número de muestras, número de ejemplares capturados por especie cuando proceda o una cuantificación de la captura y características de los individuos muestreados en el contexto de la autorización.

Además, se deberá disponer los resultados en un archivo electrónico en formato *shape* el cual deberá estar en coordenadas geográficas (grados, minutos y segundos) referida al *Dátum WGS-84* considerando como atributo la categoría antes mencionada.

Lo anterior deberá ser entregado dentro del plazo de 30 días corridos, contados desde la fecha de término del período de pesca autorizado, y deberá entregarse impreso por medio de una carta conductora a la cual se le deberá adjuntar un dispositivo de respaldo digital que contenga una copia del informe más la base de datos solicitada.

El incumplimiento de la obligación antes señalada se considerará como causal suficiente para denegar cualquier nueva solicitud de pesca de investigación.

11.- Designase al Jefe de la División de Administración Pesquera de esta Subsecretaría, como funcionario encargado de velar por el oportuno y debido cumplimiento de la obligación establecida en el numeral anterior.

12.- Esta autorización es intransferible y no podrá ser objeto o instrumento de negociación o situación de privilegio alguno.

13.- La peticionaria designa como persona responsable de la presente pesca de investigación a don Manuel Contreras Leiva, cédula de identidad Nº 8.990.546-K, del mismo domicilio.

Asimismo, el Jefe de Proyecto y personal técnico participante del estudio corresponde a las personas que se indica, en las calidades que en cada caso se señalan:

Nombre	RUT	Profesión	Función
Manuel Contreras Leiva	8.990.546-K	Dr. en Ciencias mención Biología	Jefe Proyecto
Leopoldo Fuentes Benítez	9.785.227-8	Mg. en Cs. Biológicas	Ecología de peces
Marcelo Saavedra Pérez	10.337.388-3	Biólogo	Ecología acuática
Orlando Jara Pérez	15.633.968-7	Mg. en Biología Marina	Ecología acuática

Aldo Barba Asenjo	16.336.535-9	Biólogo Marino	Ecología acuática
Esteban Martínez Fredes	15.669.823-7	Ingeniero Ambiental	Ecología de peces
Elizabeth Chihuailaf Vega	17.604.598-1	Licenciada en Cs.	Ecología acuática
Natalia Muñoz Herrera	16.375.146-1	Bióloga Marina	Ecología acuática
Daniela Baeza Castro	17.700.240-2	Bióloga Marina	Ecología acuática
Luis Vega Arancibia	8.189.976-2	Biólogo Marino	Métodos muestreo Limnológicos
Manuel Segovia Chamorro	17.388.649-7	Biólogo Marino	Métodos muestreo Limnológicos
Joksan Araya Toro	16.987.649-5	Licenciada en Cs. de la Acuicultura	Métodos muestreo Limnológicos
Patricio Bahamondes Núñez	15.922.465-1	Biólogo Marino	Métodos muestreo Limnológicos
Pamela Guzmán Poblete	16.203.814-1	Ingeniera Ambiental	Métodos muestreo Limnológicos

14.- La peticionaria deberá dar cumplimiento a las obligaciones que se establecen en la presente resolución, y a las establecidas en la Ley General de Pesca y Acuicultura y en el D.S. Nº 461 de 1995, del actual Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. El incumplimiento hará incurrir a la titular en el término inmediato de la pesca de investigación sin que sea necesario formalizarlo, y sin perjuicio de las sanciones que correspondan de acuerdo a lo dispuesto en la Ley General de Pesca y Acuicultura, ya citada.

15.- La presente resolución es sin perjuicio de las que correspondan conferir a otras autoridades, de acuerdo a las disposiciones legales y reglamentarias vigentes o que se establezcan.

16.- El Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura deberá adoptar las medidas y efectuar los controles que sean necesarios para lograr un efectivo cumplimiento de las disposiciones de la presente resolución.

17.- La presente resolución podrá ser impugnada por la interposición del recurso de reposición contemplado en el artículo 59 de la Ley Nº 19.880, ante esta misma Subsecretaría y dentro del plazo de 5 días hábiles contados desde la respectiva notificación, sin perjuicio de la aclaración del acto dispuesta en el artículo 62 del citado cuerpo legal y de las demás acciones y recursos que procedan de conformidad con la normativa vigente.

18.- La presente resolución deberá ser publicada en extracto en el Diario Oficial, por cuenta de la interesada.

19.- Transcríbase copia de esta resolución a la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante, al Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura y a la División Jurídica de esta Subsecretaría.

ANÓTESE, NOTIFÍQUESE POR CARTA CERTIFICADA, PUBLÍQUESE A TEXTO ÍNTEGRO EN LOS SITIOS DE DOMINIO ELECTRÓNICO DE LA SUBSECRETARÍA DE PESCA Y ACUICULTURA Y DEL SERVICIO NACIONAL DE PESCA Y ACUICULTURA, Y ARCHÍVESE

EDUARDO RIQUELME PORTILLA
Subsecretario de Pesca y Acuicultura

RZP/CGS/NVC/css

Lo que transcribo para su conocimiento.

Saluda atentamente a Ud.

JEFE DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO

ROBINSON QUIERO ZARATE
Jefe Departamento Administrativo

8.5 Anexo equipo de trabajo

El equipo profesional es mostrado en la Tabla 8.8, mientras que en la Figura 8.10, se presenta la estructura organizacional del equipo de trabajo.

Tabla 8.8. Equipo profesional asociado al estudio.

Nombre del Profesional	Título y grado académico	Función en el proyecto	Organización
Alejandro Aguado	Ingeniero Civil Hidráulico	Jefe de proyecto	CEA
Manuel Contreras L.	Biólogo, M.Sc. Ph.D.	Director del Proyecto y Encargado de Biología y Ecología	CEA
Cristian Godoy Barbieri	Ingeniero Civil Hidráulico. Ph.D ©	Asesor en determinación de Caudal Ambiental	CEA
José María Peralta	Ing. Agrónomo, M.Sc, Ph.D.	Coordinador proyecto	CEA
Italo Serey	Profesor de Biología y cs. Naturales, Doctor en Biología	Profesional área Ecología y Biología. Determinación de Indicadores Ecológicos	CEA
Eduardo Rubio	Ingeniero Civil Hidráulico. Magister en Ciencias de la Ingeniería	Profesional Hidrología	ERIDANUS (CEA)
Salvador López	Ingeniero Civil Hidráulico	Profesional especialista en determinación de Caudal Ambiental	CEA
Diego Arce	Ingeniero Civil Hidráulico	Profesional encargado de modelación de escenarios de cambio climático	CEA
Gonzalo Parada	Ingeniero Civil Hidráulico	Profesional especialista en determinación de Caudal Ambiental	CEA
Werther Kern	Ingeniero Agrónomo U. de Chile; Ingeniero Civil Industrial UTFSM, MBA, Dr Ciencias de la Administración.	Encargado área de economía ambiental	U. de Chile (CEA)
Jorge Wicha A.	Ingeniero Agrónomo, Master en Administración y Dirección de Empresas	Especialista economía y análisis socio-económico	U.Mayor (CEA)
Paul Granado	Biólogo	Profesional encargado área SIG y análisis geográfico	CEA
Yovana Leal Aguayo	Ingeniero Civil Industrial Mención Informática	Encargada de Cartera de Proyectos	INIA (CEA)
Luis Vega	Biólogo Ambiental	Muestreador Limnológico	CEA
Lucía Varas	Ingeniero Ambiental	Profesional encargado de química de aguas y sedimentos	CEA
Anaysa Elgueta	Bióloga	Profesional encargado de químicay biota de aguas y sedimentos	
Andrés Charrier	Antropólogo	Herpetólogo. Profesional Especialista en Fauna	CEA (Externo)
Valentina Carmona	Ingeniero Forestal	Profesional Especialista en Vegetación	CEA (Externo)
Ghía Durán	Bióloga	Coordinador local de proyecto	CEA

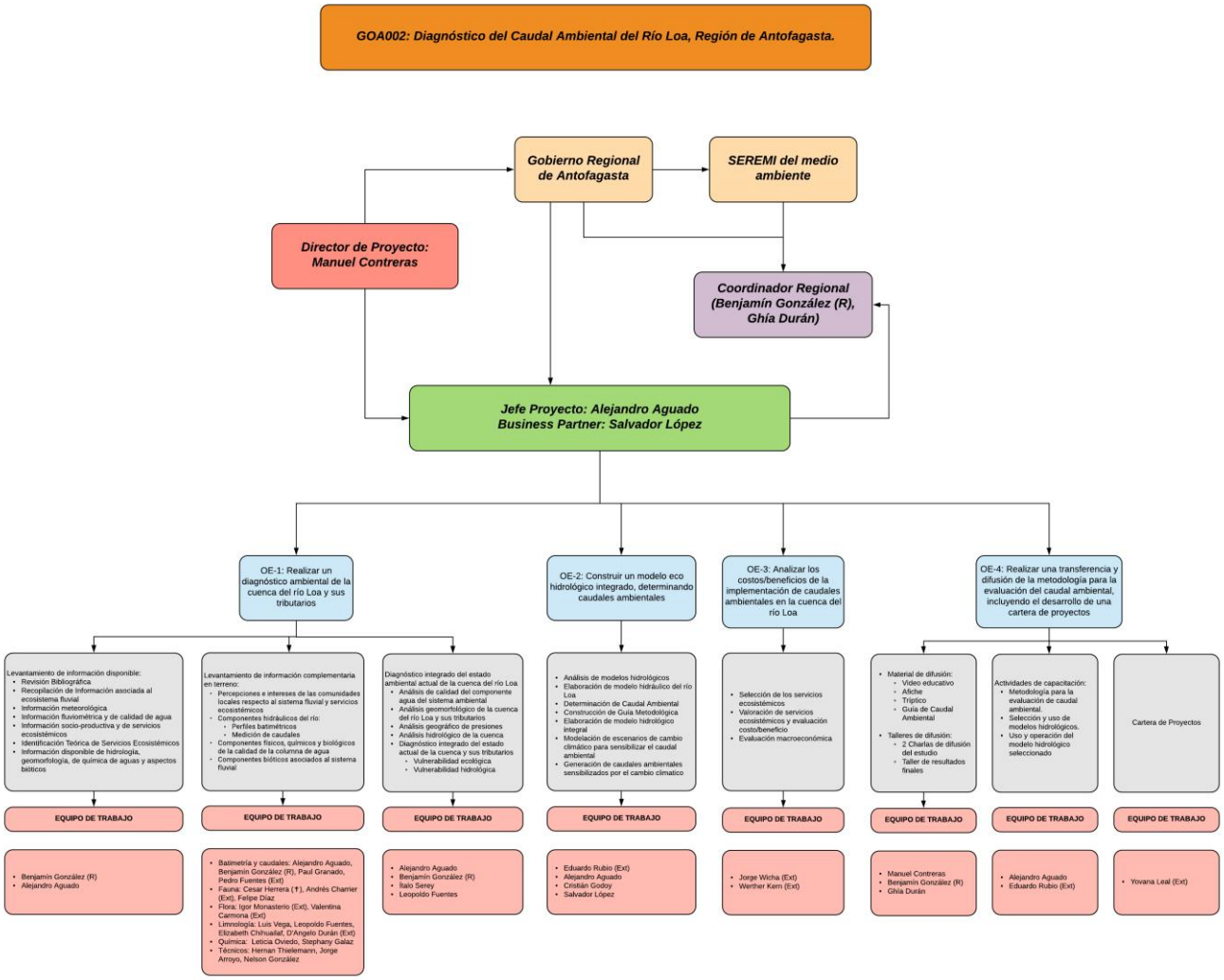


Figura 8.10. Estructura organizacional del equipo de trabajo

8.6 Correo aprobación de puntos de monitoreo

Alejandro Aguado <aaguado@cea.cl>

Fwd: RE: GOA002: Reubicación puntos de muestreo río Loa
1 mensaje

Jose Maria Peralta <jperalta@cea.cl> 8 de junio de 2018 a las 16:42
Para: aaguado@cea.cl

---------- Mensaje reenviado ----------
De: Roberto Andres Villablanca Montano <RVillablanca.2@mma.gob.cl>
Fecha: 8 jun. 2018 16:39
Asunto: RE: GOA002: Reubicación puntos de muestreo río Loa
Para: Jose Peralta <jperalta@cea.cl>
Cc: 'Benjamin González' <benjamingonzalezsubiabre@gmail.com>,Mirna Karin Aguilar Lara <MAguilar.2@mma.gob.cl>

Estimado:

Respecto de los puntos de monitoreo, solo tengo dudas con el que está ubicado en el San Pedro, ya que en esa zona generalmente no hay agua.

Los demás me parecen bien.

Saludos

ROBERTO VILLABLANCA M.
Encargado Sección de Recursos Naturales,
Residuos y Evaluación de Riesgos
SEREMI del Medio Ambiente
Región de Antofagasta
Ministerio del Medio Ambiente

www.mma.gob.cl (56-55) 268200

De: Jose Peralta [mailto:jperalta@cea.cl]
Enviado el: jueves, 07 de junio de 2018 17:01
Para: Roberto Andres Villablanca Montano; Mirna Karin Aguilar Lara
CC: 'Benjamin González'
Asunto: GOA002: Reubicación puntos de muestreo río Loa

Roberto:

Te adjunto kmz con la reubicación de los puntos de monitoreo, para poder abordar los tributarios, para tu opinión.

Quedo atento

José María Peralta Alba

Gerente Ingeniería

Ingeniero Agrónomo, M.S., Ph.D.

Centro de Ecología Aplicada
Av. Príncipe de Gales 6465
La Reina, Santiago · Chile
Tel. (+56)2 24491250
www.cea.cl

Este mensaje de correo electrónico y sus documentos adjuntos están dirigidos EXCLUSIVAMENTE a los destinatarios especificados. La información contenida puede ser CONFIDENCIAL y/o estar LEGALMENTE PROTEGIDA y no necesariamente refleja la opinión CEA Ltda. Si usted recibe este mensaje por ERROR, por favor comuníqueselo inmediatamente al remitente y ELIMÍNELO ya que usted NO ESTA AUTORIZADO al uso, revelación, distribución, impresión o copia de toda o alguna parte de la información contenida. Gracias.

8.7 Correo aprobación de propuestas cartera de proyectos

7/6/2020 GOA002 - Propuestas preliminares cartera de proyecto Loa - aaguado@cea.cl - Correo de Centro De Ecologia Aplicada Limitada

El jue., 23 de abr. de 2020 a la(s) 19:55, Alejandro Aguado (aaguado@cea.cl) escribió:
Gracias Roberto, acogeremos las sugerencias en el informe. Saludos!

El mar., 21 de abr. de 2020 a la(s) 22:44, Roberto Andres Villablanca Montano (RVillablanca.2@mma.gob.cl) escribió:
Hola, respecto de lo primero (NSCA), ningún problema, en la medida que se establezca adecuadamente con los resultados de este estudio.

Sobre el programa de conservación de belleza escénica, por favor necesito más antecedentes, cual es el vínculo con el Qamb, que tipos de medidas tendría asociado, etc.

Al margen recordar que la cartera de proyectos se desarrolla con la metodologia del SNI tal como lo hemos estado haciendo con los otros FNDR

Saludos

Roberto

De: Alejandro Aguado <aaguado@cea.cl>
Enviado: martes, 21 de abril de 2020 16:01
Para: Roberto Andres Villablanca Montano <RVillablanca.2@mma.gob.cl>
Asunto: Re: GOA002 - Propuestas preliminares cartera de proyecto Loa

Hola Roberto,

junto con saludar me gustaría confirmar la validación de la propuesta sobre "Generación de normas para regular las descargas de contaminantes", ya que por ahora la estamos desarrollando.

Además, te comento que dentro de la temática de restauración de sitios relevantes, además de respetar el Qmb, estamos considerando un programa para la conservación de la belleza escénica en algunos sectores, lo cual además, promueve el turismo. En general corresponden a medidas para evitar el deterioro de cada sector y mantención del lugar. Por favor dar tu parecer a esta medida para seguir desarrollándola como parte de la cartera de proyectos.

Quedo atento a tus comentarios.

Saludos!

De: Alejandro Aguado <aaguado@cea.cl>
Enviado: lunes, 6 de abril de 2020 18:39
Para: Roberto Andres Villablanca Montano <RVillablanca.2@mma.gob.cl>
Asunto: Re: GOA002 - Propuestas preliminares cartera de proyecto Loa

Estimado Roberto, estaba revisando los temasconversados en videoconferencia con Yovana, encargada de la cartera de proyectos, y se plantearon los siguientes temas:

1. Generación de fuentes alternativas de abastecimiento de agua.
2. Generación de normas para regular las descargas de contaminantes.
3. Implementación de obras de mitigación para crecidas y desbordes de ríos.
4. Implementación de instancias de coordinación público privadas para la gestión de la cuenca.
5. Desarrollo de capacidades en la comunidad para su participación activa en la gestión de la cuenca.

Por favor indicar cuales estarían validados para poder desarrollar paralelamente al cálculo del Qamb.

Saludos!

--

Alejandro Aguado G.
Ingeniero Civil Hidráulico
Jefe de Proyecto
. . . . . .
Centro de Ecología Aplicada
Av. Príncipe de Gales 6465
La Reina, Santiago · Chile
Tel. (56)2 24491264 - (56)2 24491250
www.cea.cl

Este mensaje de correo electrónico y sus documentos adjuntos están dirigidos EXCLUSIVAMENTE a los destinatarios especificados. La información contenida puede ser CONFIDENCIAL y/o estar LEGALMENTE PROTEGIDA y no necesariamente refleja la opinión CEA Ltda. Si usted recibe este mensaje por ERROR, por favor comuníqueselo inmediatamente al remitente y ELIMÍNELO ya que usted NO ESTÁ AUTORIZADO al uso, revelación, distribución, impresión o copia de toda o alguna parte de la información contenida. Gracias.

--

Alejandro Aguado G.
Ingeniero Civil Hidráulico
Jefe de Proyecto
. . . . . .
Centro de Ecología Aplicada
Av. Príncipe de Gales 6465

https://mail.google.com/mail/u/1/#search/cartera+de+proyecto/KtbxLvhRbdVXRltlppBwFNVBGbGLtRLBZg 1/2

La Reina, Santiago · Chile
Tel. (56)2 24491264 - (56)2 24491250
www.cea.cl

CENTRO DE ECOLOGIA APLICADA

Este mensaje de correo electrónico y sus documentos adjuntos están dirigidos EXCLUSIVAMENTE a los destinatarios especificados. La información contenida puede ser CONFIDENCIAL y/o estar LEGALMENTE PROTEGIDA y no neoesariamente refleja la opinión CEA Ltda. Si usted recibe este mensaje por ERROR, por favor comuníqueselo inmediatamente al remitente y ELIMÍNELO ya que usted NO ESTÁ AUTORIZADO al uso, revelación, distribución, impresión o copia de toda o alguna parte de la información contenida. Gracias.

–

Alejandro Aguado G.
Ingeniero Civil Hidráulico
Jefe de Proyecto

Centro de Ecología Aplicada
Av. Príncipe de Gales 6465
La Reina, Santiago · Chile
Tel. (56)2 24491264 - (56)2 24491250
www.cea.cl

CENTRO DE ECOLOGIA APLICADA

Este mensaje de correo electrónico y sus documentos adjuntos están dirigidos EXCLUSIVAMENTE a los destinatarios especificados. La información contenida puede ser CONFIDENCIAL y/o estar LEGALMENTE PROTEGIDA y no neoesariamente refleja la opinión CEA Ltda. Si usted recibe este mensaje por ERROR, por favor comuníqueselo inmediatamente al remitente y ELIMÍNELO ya que usted NO ESTÁ AUTORIZADO al uso, revelación, distribución, impresión o copia de toda o alguna parte de la información contenida. Gracias.