LanData

Laboratorio Natural Desierto de Atacama

Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo

Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación

Gobierno de Chile

COD.: NEL123N0014

CONCURSO NODOS ESPECIALIZACIÓN
PROYECTOS NODOS DE LABORATORIOS NATURALES LÍNEAS 1 Y 2 2024

FICHA CASO DE ESTUDIO CUENCA DEL RÍO LOA

Desierto de Atacama,
Laboratorio Natural de la
adaptabilidad, la resiliencia,
y una ventana para mirar el
espacio, el origen y el futuro

EQUIPO LANDATA

Directora Proyecto
Cecilia Demergasso

Director Alterno
Emilio Ricci

Coordinación
Sabrina Marín
Fabián Araya

Investigadores
Fernando Álvarez
David Andrade
Adriana Aránguiz
Jenny Blamey
Ricardo Cabrera
Guillermo Chong
Benito Gómez
Gabriel González
Nicolás Guiliani
Mauricio Lorca
José Luque
Marco Méndez
Marcia Montedonico
Alejandro Murillo
Rómulo Oses
Rodrigo Palma
Camila Salazar
Susana Soto
Cynthia Tebes

Equipo de profesionales
Valentina Cáceres
Manuel Castro
Vicente Danica
Raúl Flores
Ximena Retamal

CONTENIDOS

pág.

1. Fichas de los casos de estudio Landata 06

2. El caso de estudio: Cuenca río Loa 09

2.1. Rol del equipo y levantamiento de información 12

2.2. Otros casos de estudio 14

pág.

3. Descripción y sus principales características: Cuenca del río Loa 19

3.1. Ubicación geográfica 19

3.2. Definición de límites del caso de estudio río Loa 20

3.2.1 Sector río Loa Alto y sus poblados 20

3.2.2 Sector río Loa Medio y sus poblados 21

3.2.3 Sector río Loa Bajo y sus poblados 21

4. Singularidades 25

4.1. Geomorfología 25

4.2. Recursos hídricos y potenciales impactos ambientales 26

4.2.1 Zona del Loa Alto-Medio (sector de Calama – Chiu Chiu) 26

4.2.2 Zona de la Cuenca Baja (sector de Quillagua) 28

4.2.3 Relación con la cuenca del Salar de Llamara 28

4.3. Focos potenciales de contaminación 35

4.4. Vía de transmisión de la contaminación y receptores relacionados 38

4.5. Tipología de la sustancia potencialmente contaminante 40

pág.

4.6. Acciones antrópicas que alteran la disponibilidad natural de agua del sistema 41

4.7. Biodiversidad e impactos ambientales 41

4.7.1 Biodiversidad del río Loa: Flora y fauna 41

4.7.2 Diversidad microbiana de la cuanca del río Loa 50

4.8. Agricultura y ganadería 52

4.9. Energías renovables 52

4.10. Arqueología y antropología 54

4.10.1 Arqueología: Evidencia fósil de cocodrilos marinos 54

4.10.2 Arqueología: Yacimientos paleoicnológicos asociados al río Loa 54

4.10.3 Antropología: Reliquias e historias precolombinas del territorio relacionada al río Loa 56

4.10.4 Arqueología de asentamientos salitreros en la región de Antofagasta 57

4.11. Turismo y patrimonio 59

4.12. Historia e identidad 59

4.12.1 Interacciones físicas y espirituales 59

pág.

4.12.2 Celebraciones relacionadas al río Loa 61

5. Oportunidades para el desarrollo de la actividad científica 62

6. Oportunidades para el sector productivo 70

7. Oportunidades para la sociedad 71

8. Necesidades habilitantes 73

8.1. Sector de Calama y Chiu Chiu 75

8.2. Sector de Quillagua 76

9. Qué vamos a hacer: Hoja de Ruta 77

10. Referencias bibliográficas 84

11. Anexos 88

11.1. Presentación de sitios priorizados 88

11.2. Presentación Visión-Brechas-Acciones 95

11.2.1 Fichas Visión-Brechas-Acciones Calama 95

11.2.2 Fichas Visión-Brechas-Acciones Quillagua 104

06

1. FICHAS DE LOS CASOS DE ESTUDIO LANDATA

La presente ficha llamada "caso de estudio cuenca del río Loa" es una de las cuatro fichas solicitadas por Asociación Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) que se enmarca en los casos de estudio seleccionados como cuenca del río Loa, península de Mejillones, cuenca de Llamara y frontera sur del Desierto de Atacama por el nodo llamado "Laboratorio Natural Desierto de Atacama (LANDATA) dentro del marco de los proyectos n° 1 y n° 2 titulados: "El Desierto de Atacama: laboratorio natural de la adaptabilidad, la resiliencia, y una ventana para mirar el espacio, el origen y el futuro (NODOSLN0014)" y "Fortalecimiento del Nodo LANDATA: Desierto de Atacama, Laboratorio Natural de la adaptabilidad, la resiliencia, y una ventana para mirar el espacio, el origen y el futuro (NEL123N001)", respectivamente.

LANDATA es un nodo académico multidisciplinario y multi-institucional que tiene por objetivo crear Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación para y con la ciudadanía y los objetivos del proyecto n° 1 se llevaron a cabo entre enero de 2022 y abril de 2023 mientras que los del proyecto 2 se están ejecutando entre enero del 2023 y abril de 2025. Con el fin de dar respuesta al objetivo específico 3 del proyecto n° 1 de LANDATA: "Integrar a los actores valorando las vinculaciones existentes, y promoviendo nuevas vinculaciones, para fomentar la bidireccionalidad mediante la generación de confianzas que permitan la elaboración conjunta de la cartografía participativa y una hoja de ruta de acciones futuras", se lleva a cabo la selección de los casos de estudio cuenca del río Loa como también el proceso de elaboración, ejecución y devolución de su cartografía participativa tanto en Calama como en Quillagua.

La selección del río Loa como caso de estudio se definió debido a sus singularidades, las áreas de interés científico, las contingencias ambientales que derivan en conflictos, los actores estratégicos del sector público, productivo, académico, y sociedad civil que se relacionan con el río Loa. Estas características del río Loa fueron integradas por el equipo de trabajo de investigadores que lideran líneas de investigación asociadas al caso de estudio "cuenca del río Loa".

LANDATA definió 3 grupos de trabajo en el proceso de "Cartografía participativa (CP)" tales como el equipo interno, equipo de terreno (incluyendo al facilitador) y actores del territorio delimitado para cada caso de estudio.

Primero, el equipo interno está conformado por investigadores del proyecto LANDATA, provenientes de diversas disciplinas (Ingenierías, Ciencias Naturales y Ciencias Sociales) y afiliados a distintas instituciones (Universidad Católica del Norte, Universidad de Chile, Fundación Geoglifos de Tarapacá y Fundación Biociencias).

Segundo, el equipo de terreno son aquellos investigadores que viajan para recoger la información de la CP e incluyen a un facilitador (aquel investigador que presenta al equipo LANDATA a los actores del territorio como también se encarga de seguir con el itinerario de las actividades de la CP), integrante del equipo interno (presenta los objetivos de la actividad), sociólogo (encargado de explicar la actividad principal para recoger la información) y periodista (encargado de realizar entrevistas y tomar fotografías y videos de la actividad).

Tercero, los actores del territorio son aquellos que fueron estudiados, seleccionados e invitados a participar en la cartografía participativa con el objetivo de tener una representación equilibrada de los actores estratégicos del sector público, privado (productivo como empresas mineras, de energías renovables y turísticas), académico (universidades y centros de investigación) y sociedad civil (organización no gubernamental, organización civil organizada, escuelas, pobladores y jóvenes de 18 a 29 años).

Para la creación de capital social a lo largo del plazo del proyecto que permita superar conflictos que surjan del trabajo en conjunto, LANDATA trabajó en el caso de estudio cuenca del río Loa usando la cartografía participativa (CP). CP es una metodología cualitativa de carácter territorial que apunta no solo a la recolección de datos y aspectos relevantes del territorio, sino que reflejar las representaciones y significaciones profundas que los distintos actores hacen al territorio.

La cartografía participativa consistió en: i) preparar el equipo de trabajo de terreno y facilitadores para cada caso de estudio; ii) definir los propósitos del levantamiento cartográfico; iii) seleccionar y convocar a los actores locales; iv) realizar la reunión de información "Taller 0" llamado presentación y línea de tiempo; v) elaborar el mapa de la cuenca del río Loa y realizar el "Taller 1" llamado mapa cartográfico participativo; vi) analizar y evaluar la información recogida; vii) usar y comunicar la información espacial recogida de la comunidad en el "Taller 2" llamado devolución e insumos para la hoja de ruta.

A continuación, se detallará la selección del caso de estudio "cuenca del río Loa" y la realización de la cartografía participativa de este caso de estudio.

Río Loa

2. EL CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO LOA

El caso de estudio de la cuenca del río Loa está conformado por un equipo multidisciplinar y multi-institucional de investigadores que lideran líneas de investigación asociadas al estudio de procesos geológicos, hidrogeológicos, biológicos, microbiológicos, de energías renovables, agricultura, matemáticas/ estadísticas, y áreas comunicacionales y sociales enfocadas en estudios territoriales en el Desierto de Atacama.

Debido a su extensa longitud del río Loa, se definió dos equipos de investigadores para trabajar con los actores estratégicos del río Loa Alto y río Loa Bajo, agrupando a las personas desde inicio del río Loa hasta en Calama en el Museo de Historia Natural de Calama y, por otro lado, a las personas desde Calama a la desembocadura del río loa en la sede de la Junta de Vecinos en Quillagua.

El trabajo del caso de estudio "cuenca del río Loa" para Calama y Quillagua consistió en: i) preparar las actividades y llevar a cabo los objetivos de cada actividad de la CP (Taller 0, 1 y 2), ii) convocar a los representantes de los sectores anteriormente mencionados, iii) desarrollar la CP mediante una serie de instrumentos que permitan el diálogo con la comunidad y iv) recoger, analizar e integrar los co-

nocimientos locales en: áreas de interés relevantes para el territorio, visión futura, situación actual y brechas y las acciones de base científica que acortan las brechas.

Se llevaron a cabo 3 salidas a terreno de forma simultánea para Calama y Quillagua en los días 09/09/23 para taller 0, 05/10/23 para el taller 1 y 14/12/23 para el taller 2.

La operatividad para el trabajo del caso de estudio de la cuenca del río Loa se dividió en dos ya que tuvo reuniones simultáneas en Quillagua y en Calama con el fin de tener una mayor participación de los pobladores, actores municipales y empresarios mineros de sector río Loa Bajo y río Loa Alto, respectivamente. En particular, Calama y Quillagua se encontraban a 217 y 300 Km de Antofagasta, respectivamente, y los investigadores se trasladaban por auto desde Antofagasta y otros desde Santiago por avión al aeropuerto más cercano. La operatividad en Calama se consideró media-alta ya que se usó las dependencias del Museo de Historia Natural de Calama (Figura 1) ubicado al lado del río Loa. Este lugar tiene un buen auditorio y cuenta con todo lo necesario para tener a 40 personas en el lugar cómodamente y poder escuchar las presentaciones de forma presencial y telemática. Se contrató la alimentación local que llegaba oportunamente al museo. Por otro lado, la operatividad en Quillagua se consideró media-baja ya que se usó la sede de la Junta de Vecinos de Quillagua (Figura 2) que carecía de un sistema audiovisual (data, parlantes, micrófono, y telón) y de acomodación y limpieza de mesas y sillas. A pesar de la lejanía de Quillagua y de su escasez hídrica, tuvimos conexión de internet estable por Movistar y donde el profesor Luque estuvo conectado por 4 horas continuas. Además, el bebestible y la alimentación no fue difícil de reservar por lo que se requirió hacer contratos anticipados para el servicio de almuerzos con el Restaurant Food The House SPA con el representante legal David Ávila y casa de Doña Teresa Hoyos y tres servicios de coffee break de Sabores y Saberes de Quillagua con la representante legal Gloria Palape.

En el caso de la representatividad en el caso de estudio de la cuenca del río Loa tuvo una alta asistencia de los actores estratégicos del sector público, productivo, académico y sociedad civil. También, se tuvo una alta asistencia en los talleres con las comunidades contando a 19 (43% de asistencia), 36 (68 % de asistencia) y 18 (72 % de asistencia) personas en los talleres de presentación Landata y línea de tiempo (taller 0), mapa participativo (Taller 1) y de devolución (Taller 2), respectivamente. Además, el sector académico se agregó a los investigadores y académicos nacionales e internacionales de las actividades llamadas Focus Group y Webinar.

Los actores estratégicos del sector Público que estuvieron presente en las reuniones tanto en Quillagua como en Calama fueron:

- Gustavo Riveros Adasme, Seremi Medio Ambiente Antofagasta.
- Osvaldo Rojas Mondaca, director del Museo Historia Natural y cultural y parte de la Municipalidad de Calama.
- Yeri Luza Pizarro, director de Medio Ambiente de Aseo y Ornato, Municipalidad de Calama.
- Francisca Oliva, representante de Medio Ambiente de Aseo y Ornato, Municipalidad de Calama.
- Bellanira Guidotte, representante de la Municipalidad de San Pedro de Atacama.
- Leticia Gonzalez, directora del Medio Ambiente de Aseo y Ornato, Municipalidad de San Pedro de Atacama.
- Felipe Farías, Encargado de Medio Ambiente, CODELCO.
- Álvaro Casas representante de CORDENOR-CORFO.
- María Elena Rojas, delegada Municipal de Quillagua, Municipalidad de María Elena.
- Daniela Rivas, delegada Municipal de Quillagua, Municipalidad de María Elena.

Los actores estratégicos del sector Productivo que estuvieron presentes en los talleres de Quillagua y Calama, tales como:

- María Anderson, gerente Medio Ambiente, Minera El Abra.
- Vanesa Alfaro, jefa de Asuntos Comunitarios, Grupo Cerro.
- Claudia Zazzali, jefa de Asuntos Externos y Comunidades, Lomas Bayas.
- Camila Álvarez, Ingeniero Medio Ambiente, Lomas Bayas.
- Leonor Gonzales, representante de Relaciones Comunitarias, SQM-Yodo.

- Francisco Quiñones, representante de Relaciones Comunitarias, SQM-Yodo.
- Yin Yap, representante de Relaciones Comunitarias, SQM-Yodo.
- Olivia Pinto, representante de Relaciones Comunitarias, SQM-Yodo.
- Alejandra Soza, representante de Relaciones Comunitarias, SQM-Yodo.

Los actores estratégicos del sector Academia que estuvieron presente en las reuniones nacionales llamadas Focus Group e internacionales llamadas Webinar, tales como:

Investigadores de institutos de Investigación:
Alejandro Aguado Gómez, representante del Centro de Ecología Aplicada (CEA), sede Santiago.
Lorena Escudero, investigadora del Centro de Investigación Científico y Tecnológico de la Región de Antofagasta (CICITEM).
Nathalie Cabrol, astrobióloga y directora del Instituto SETI (Search for Extra Terrestrial Intelligence), Institute Carl Sagan de estudios de vida en el Universo.

Investigadores de universidades:
- Joseline Tapia, geóloga del departamento de Ciencias geológicas de la Universidad Católica del Norte.
- Iván Valdivia, Investigador en Ciencias de la Salud de la Universidad de Antofagasta.
- Alejandra Bustos, directora del Instituto de Investigación Antropológica de la Universidad de Antofagasta.
- Carlos Guerra, Investigador asociado del Centro Regional de Estudios y Educación Ambiental CREA de la Universidad de Antofagasta
- Adriana Aránguiz, investigadora asociada a la Universidad de Tarapacá.
- Gabriel Easton Investigador asociado a la Universidad de Chile.
- Teresa Jordan, investigadora del departamento de Ciencias geológicas de la Universidad de Cornell.

Los actores estratégicos de la sociedad civil estuvieron altamente presentes en las tres reuniones realizadas en ambos lugares.
En Quillagua se cuenta a:
- Héctor Hoyos, presidente de la Junta de vecinos de Quillagua N°7, parte de la Asociación Agroforestal y representante del Cuerpo de Bomberos Quillagua-María Elena.
- Adriana Sánchez, presidenta de Agua Potable Rural (APR) de Quillagua.
- Gloría Palape, Casa del Adulto Mayor Chakaizas.
- Miguel Palape, casa del Adulto Mayor El Valle.
- Marcia Soza, secretaria de la Junta de Vecinos de Quillagua.
- María Vicentelo, representante de la Junta de Vecinos de Quillagua.
- Alan Urquieta, profesor de la Escuela de Quillagua.
- María Hoyos, representante de Saberes y Sabores de Quillagua.
- Cesar Castro, representante legal de la Comunidad Aymara de Quillagua.
- Jessica Castro, parte de la directiva de la Comunidad Ayamara de Quillagua.
- Reinaldo Maldonado, parte de la directiva de la Comunidad Ayamara de Quillagua.
- Grimidalina Mirando, parte de la directiva de la Comunidad Ayamara de Quillagua.
- Mariel Castro, parte de la directiva de la Comunidad Ayamara de Quillagua.
- Margarita Palape, parte de la directiva de la Comunidad Ayamara de Quillagua.
- Robertino Coloma, consultor.
- Claudia Fernandez, consultora.
- Cinthya Gallardo, representante del comité de textiles y uso de materias primas.
- Margarita Cortés, integrante de la Congregación Católica de la Iglesia San Miguel.
- Pobladores interesados como: Marta Castro, Eliana Salazar, Onarte Delgado, Rolando Cuevas, Lina Tebes, Palape Suarez y Richard Burgos.

En Calama participaron:
- Iván Galleguillos, representante de la comunidad de Chíu-Chíu.

- Romer Urqueta, profesor del Liceo Radomiro Tomic de Calama.
- Aroldo Mendoza, representante del Consejo Pueblos Atacameños CPA.
- Jordán Jofré Lique, representante del Consejo Pueblos Atacameños CPA.
- Von Castro Barros, presidente de la Asociación de Agricultores de Calama, ASAC.
- Aldo Cruz, presidente de la Junta de Vecinos de Chíu-Chíu.
- Pedro Velásquez, vecino de Chíu-Chíu.
- Mario Álvarez Lopez, vecino de Chíu-Chíu.
- Fernando Millar, geomensor del Centro de Estudios de Montaña, CEM

2.1 Rol del equipo y levantamiento de la información

El rol del equipo de trabajo del caso de estudio "cuenca del río Loa" tanto en Calama como para Quillagua consistió en: Preparar las actividades de la CP, definir los objetivos de cada actividad de la CP, convocar a los representantes de los sectores anteriormente mencionados, desarrollar la CP mediante una serie de instrumentos que permitan el diálogo con la comunidad y recoger los conocimientos locales.

El equipo interno y de terreno estaba integrado por: Cecilia Demergasso, Guillermo Chong, Marco Méndez, Fernando Álvarez, Nicolás Guiliani, Rodrigo Palma, Marcia Montedonico, Cinthya Tebes, Fabián Araya, Ximena Retamal, José Luque y Susana Soto (ver anexo 11.1).

En terreno, se destacan las funciones de:
- Presentación del nodo LANDATA a los actores estratégicos por Cecilia Demergasso, Guillermo Chong, Fernando Álvarez, Nicolás Guiliani y Marco Méndez.
- Presentación y consultas del estado pasado y actual del río Loa por el profesor experto, José Luque (investigador).
- Facilitador o maestro de ceremonia de cada taller a cargo de Marco Méndez (investigador) en Calama y Cinthya Tebes (investigadora) en Quillagua.
- Explicación de la actividad de la línea de tiempo a cargo de Fabián Araya (sociólogo).
- Explicación de la actividad del mapa participativo por Marcia Montedonico (investigador) y Rodrigo Palma (investigador).
- Recolección de material audiovisual por Susana Soto (investigador) y Ximena Retamal y entrevistas por Ximena Retamal (periodista).
- Recolección de datos recogidos desde los actores estratégicos por todos los integrantes del equipo.
- Destacaremos la experiencia de cada uno de estos investigadores que trabajaron en el caso de estudio de la cuenca del río Loa en el anexo 11.1.

Los resultados del caso de estudio cuenca del río Loa en Calama fueron:

Durante el trabajo de línea de tiempo y cartografía participativa, se identificaron sitios relevantes por los actores estratégicos como: pueblos y volcanes de la zona alta y cumbres de alto Loa, San Francisco de Chíu-Chíu, Calama, tranque de relave Talabre, Salar de Rudolph, Quebrada Ojo de Apache, comunidad indígena Taira, Laguna Inka Coya, Parque fotovoltaico y parque eólico (Anexo 11.2).

El recurso hídrico que provee el río Loa, es uno de los principales elementos que suscitan interés y preocupación en la comunidad, tanto por la disminución de su disponibilidad, ya sea por causas climáticas o de uso, como por el deterioro de su calidad. En consecuencia, el resultado de la cartografía participativa es un mapa en el que la mayoría de los sitios de interés señalados reflejan la preocupación por el estado de este recurso. Estos sitios son las cumbres del Alto Loa, Chíu-Chíu, Calama, el tranque Talabre, el Salar de Rudolph, la quebrada Ojo de Opache, la laguna Inka Coya, la quebrada Tuina, Taira, Cerro Las Papas, el parque fotovoltaico y el parque eólico. La principal cuestión que surge es la pugna por el uso del agua, donde los principales antagonistas son los agricultores/ganaderos versus las empresas mineras, aunque este conflicto también se da entre comunidades de agricultores. Cabe decir que el discurso de los actores, respecto de las razones de la escasez hídrica, omite los factores climáticos, atribuyendo la causa a la actividad minera solamente, aun

Río Loa

cuando hay conciencia de que también existen factores naturales.

En segundo lugar, está el problema de la contaminación del agua por minerales y químicos, tanto de origen natural como antrópico. En este caso, el tranque de relaves Talabre es señalado como el causante de los desastres ecológicos, pasados y futuros, en la cuenca del río Loa, y como la gran amenaza que enfrenta la agricultura local. El río Salado, tributario del Loa y que contiene arsénico y boro en altas concentraciones, también se indica como un elemento perjudicial para la agricultura en Calama. Como se dijo al inicio, estas dos problemáticas son gravitantes, dado que afectan directamente la salud, la calidad de vida y las actividades económicas de casi todas las comunidades del polígono. Las empresas mineras han puesto en marcha programas para mitigar los efectos de sus operaciones en los ecosistemas, pero hay escepticismo de parte de la población.

En tercer lugar, los actores reconocen el potencial de la zona para el desarrollo de energías renovables. Sin embargo, hay preocupación por el posible impacto negativo de las nuevas tecnologías sobre el medio ambiente. Finalmente, se descubren varios puntos con gran potencial para el desarrollo científico y/o turístico, ya sea por su valor cultural e histórico, por su belleza escénica o su valor como patrimonio natural (alberga especies endémicas u otras especies de interés, hay desarrollo de microorganismos extremófilos, presenta una geología expuesta que abre una ventana hacia el pasado, etc.). Lamentablemente, algunos de estos lugares han sufrido daños o están en peligro por falta de mecanismos de protección. Los actores que participaron en esta actividad, son ciudadanos no organizados, representantes de organizaciones sociales, como el Consejo de Pueblos.

Los resultados del caso de estudio cuenca del río Loa en Quillagua fueron:

Durante el trabajo de línea de tiempo y cartografía participativa, se identificaron sitios relevantes por los actores estratégicos como: valle de meteoritos, Salar de Llamara, Quebrada de Arca, desembocadura del Loa, bajada de agua, museo antropológico de Quillagua, pueblo de Quillagua, tranque Sloman, estación de trenes, línea de transmisión y proyecto Sol del Loa (Anexo 11.2).

El primer efecto, tiene que ver con la relación de actores con servicios ecosistémicos, lo que puede dar cabida a diferentes interacciones y consecuencias. En el caso de Quillagua, el servicio ecosistémico en cuestión es el agua, un elemento escaso en el Desierto de Atacama, por lo que siempre será complicado sumar agentes interesados en su adquisición y/o uso. Un ejemplo que refuerza esta perspectiva sucedió en el Taller 0 de Calama, donde se indicó que el incremento demográfico en el sector afectó el caudal del río, pues, significó sumar una masa de gente interesada en el uso del recurso hídrico del río Loa. Los y las participantes del Taller 0 indicaron que el centro del conflicto hoy es el caudal del río, situación directamente relacionada con los modos de uso y apropiación del agua, que ya es complicada y con la llegada de plantas termo solares y fotovoltaicas se ve aún más tensionada.

El segundo efecto guarda relación con las consecuencias del trabajo productivo de la industria. Se hace referencia a un suceso de relevancia para la comunidad, la contaminación del río Loa el año 1997, suceso con fuentes confusas para la comunidad, pues, si bien se ha indicado que las causas de tales sucesos son naturales, parte de la comunidad desconfía de tales observaciones, y responsabiliza a la minera. La desconfianza de la comunidad está dirigida hacia las declaraciones de la ciencia y las responsabilidades de la minería en la contaminación del río, esto abre dos aristas necesarias de profundizar. Por un lado, se indica la desconfianza hacia la ciencia, que, sumado a la experiencia de los otros talleres, podría entenderse como una desconfianza a la institucionalidad en general, la legitimidad de estas entidades está en entredicho, lo que debe ser considerado a la hora de diseñar los talleres, la forma en que el equipo se aproximará al territorio y la hoja de ruta. Sobre la segunda arista, la imagen que se tiene de la minería es un factor que debe ser considerado para pensar la hoja de ruta, tanto para comprender las confianzas de la comunidad, como para incentivar a la industria a realizar actividades que ayuden a construir una imagen diferente hacia la comunidad.

Al hablar de la imagen no se hace referencia a una cuestión super-

ficial, la imagen que se genera de los actores surge de una serie de variables, y una de ellas son las acciones concretas, qué acciones realiza la gran industria y qué repercusiones tiene eso para la imagen que se construye de ella en la opinión pública y en las comunidades. La contaminación del 97 desencadenó una serie de sucesos que son vitales para comprender la historia del territorio, los más relevantes son:

i) Disminución de la capacidad del agua para ser empleada con fines agrícolas.

ii) Muerte de flora y fauna endémica.

iii) Venta de derechos de agua por parte de los pobladores y compra por parte de SQM (adquiere entre el 70% y 80% de tales derechos);

iv) Emigración de ciudadanos por la merma de la agricultura y contaminación del espacio. Según lo expresado durante el Taller 0, sucesos como este, que signifiquen un deterioro al ecosistema, no afectan a la comunidad solo por mermar su posibilidad de aprovechar los servicios ecosistémicos, además, genera malestar debido al cariño/amor que tienen las personas hacia su territorio. Diferentes sucesos del taller expresaron el profundo cariño y orgullo que guarda la población hacia el Desierto de Atacama, realidad que tiene consecuencias diversas, como el malestar por el daño sufrido, y a la vez, el interés por realizar acciones dirigidas a la protección del desierto.

2.2 Otros casos de estudio

Además del caso de estudio "cuenca del río Loa", LANDATA tiene otros casos de estudio tales como:

- Cuenca de Llamara (Región de Iquique).
- Península de Mejillones (Región de Antofagasta)
- Frontera Sur del Desierto de Atacama (Región de Atacama)

Fig 1. Sede de la Junta de Vecinos de Quillagua (A) y Dependencias del Museo de Historia Natural de Calama (B)..

Fig 2. Imágenes de las actividades realizadas en Calama (B, C y D) y en Quillagua (A, E y F) como el taller 0 sobre la presentación de LANDATA y línea de tiempo, taller 1 sobre la cartografía participativa y taller 2 sobre devolución y pasos a seguir con la hoja de ruta.

b

c

d

e

LanData

3. CUENCA DEL RÍO LOA: DESCRIPCIÓN Y SUS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

3.1 Ubicación geográfica

La cuenca hidrográfica del río Loa está situada entre los paralelos 21°00’ y 22°58’ de latitud Sur y entre los meridianos 70°05’ y 68°00’ de longitud Oeste, y está localizada en las regiones de Antofagasta y Tarapacá (Figura 3A). Además, la cuenca presenta una superficie total de 33570 km2, y alcanza un perímetro de 874 km de extensión. La cuenca hidrográfica se caracteriza por ser de tipo exorreica, la cual desemboca al mar en la comuna de Tocopilla (Figura 4). 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 cuenca hidrográfica es considerable, sólo es activa en un 20%, es 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 res-

ponde a los tres factores que generan condiciones de prácticamente nula precipitación, casi 0 mm/año (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). (Diagnóstico del caudal ambiental del río Loa, región de Antofagasta. Gobierno Regional de Antofagasta · 1 de julio de 2020 3-2).

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).

3.2 Definición de los límites del caso de estudio Cuenca del río Loa

La cuenca limita al Norte con la Cuenca Pampa del Tamarugal, al Sur con las Cuencas Quebrada Caracoles y Salar de Atacama, al Este con la cuenca Fronterizas Michincha, y al Oeste con las Cuencas Costeras Quebrada Caracoles (ARCADIS, 2016). La cuenca del río Loa se subdivide en los siguientes sectores: sector Alto, sector Medio y sector Bajo (Figura 3B). Por ende, existen principales centros poblados que están sujetos a la morfología del río Loa, desde su nacimiento hasta su desembocadura, que son: Conchi, Lasana, Lequena, Chíu-Chíu, Chuquicamata, Campamento Enaex, Calama, María Elena y Quillagua.

3.2.1 Sector río Loa Alto y sus poblados

Primero, el río Loa nace en la falda norte del volcán Miño en Ojos del Miño (5.651 m s.n.m.) en la Región de Antofagasta, cubriendo parcialmente el territorio de la Provincia de El Loa (Figura 3B, cuadrado rojo). La zona del 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. Luego, el río escurre en dirección sur en un profundo cañón por casi 105 km recibiendo las afluencias del río Blanco, río Chela y río San Pedro. Desde su nacimiento hasta el punto llamado el encuentro, donde le cae el afluente de mayor importancia de este sector, el río San Pedro (Ortiz, 2016).

Segundo, el río Loa recibe los afluentes del río Blanco, pero que disminuye ya que la Comunidad Quechua de Ollagüe tiene derechos del uso de agua de 13 L/s. También, el río Loa pasa por las comunidades de Indígena Atacameña de Taira y la Comunidad Atacameña de Conchi Viejo. El uso de agua de esas zonas tiene dedicación 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. Ambas comunidades, como las comunidades del río San Pedro, están regulando los derechos de uso de agua (Ortiz, 2016).

Tercero, el Loa recibe los afluentes del río San Pedro que nace en la alta Cordillera en la aguada de Inacaliri y escurre hasta que sus aguas se pierden en las Vegas de Inacalari, presentándose el cauce seco por más de 15 km, hasta Ojos de San Pedro y pasando por 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. A partir del río San Pedro, el Loa continua su recorrido por un cañón de grandes proporciones hasta Lasana, a 30 km de la junta, donde comienza a disminuir. En la zona aguas arriba de Conchi, a 6 km del San Pedro, existen numerosas vertientes menores. En este tramo del río se encuentra aproximadamente 180 hectáreas

cultivadas entre Lasana y Chíu-Chíu. Sin embargo, el río San Pedro ha tenido un aporte muy esporádico, no habiéndose observado escurrimiento al Loa en los últimos años (Ortiz, 2016).

Después de un recorrido de 45 km desde que recibió el San Pedro, el Loa recibe su segundo afluente importante, el río Salado que tiene sus orígenes en más de 30 vertientes frías y termales, a los pies de la Cadena del volcán Tatio, a unos 4.200 m s.n.m. Después de un breve recorrido, toma dirección al Oeste. En su curso medio recibe desde el norte el río Toconce, reunido con el Hojalar. Más abajo recibe por su costado izquierdo al río Caspana. Ligado a su curso se encuentran extensas vegas que constituyen lugares de pastoreo para el ganado de los habitantes de Toconce, Caspana, Turi, Ayquina y Cupo con una población rural de 381 personas. Las más conocidas de ellas son las vegas de Turi y de Ayquina. 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 (Ortiz, 2016).

3.2.2 Sector río Loa Medio y sus poblados

En este sector, el río Loa tendrá las afluencias de los ríos Salado y posteriormente el San Salvador (Figura 3B, cuadrado verde). Cercano al primer río se encuentran las localidades de Chíu-Chíu, Lasana y Calama, capital provincial, siendo esta última la ciudad con más población de la zona. Además, se localizan las faenas mineras Codelco Chuquicamata, Codelco Norte, El Abra, SQM y Ministro Hales al norte de la ciudad de Calama (de Antofagasta y col., 2021).

A partir del encuentro con el río Salado, el Loa comienza a girar y a tomar dirección Oeste – Este pasando por el extremo Sur de la Cordillera del Medio. A pocos kilómetros de ahí y casi habiendo desaparecido el cañón, se encuentran en la ribera Norte pequeños salares conectados hidrogeológicamente con el río. En Angostura a 23 km del Salado, el curso del río vuelve a adquirir las características de grandiosidad de otros lugares. Nuevamente se ensancha y disminuye en altura en las cercanías de Calama que con sus 1.000 hectáreas cultivadas es el mayor oasis que riega. En Chintoraste, al término de la zona de riego de Calama, nuevamente el río se presenta profundo y con laderas de calizas escarpadas. El Loa continúa atravesando la pampa manteniendo estas mismas características y recogiendo numerosas quebradas secas (Ortiz, 2016).

Paralelo al río Loa y sólo 5 km más al Norte lo acompaña el río San Salvador de características muy similares. El río San Salvador nace de la confluencia de varias quebradas secas, con cabeceras en las proximidades de los salares de la pampa. Después de un desarrollo de unos 25 km, se le reúne por su ribera izquierda la quebrada Opache y se considera el verdadero nacimiento.

3.2.3 Sector río Loa Bajo y sus poblados

En Chacance, situado a 112 km de la junta con el río Salado, el río Loa se encuentra con el San Salvador y simultáneamente toma la dirección Sur – Norte (Figura 3B, cuadrado amarillo). En esta zona de la cuenca del río Loa se localiza la comuna de María Elena, en donde se emplaza las zonas pobladas de la Pampa Salitrera, específicamente las oficinas de Pedro de Valdivia, María Elena y Coya Sur.

Luego, el río Loa continua su recorrido manteniendo el rumbo hacia el Norte con las mismas características topográficas del tramo anterior por 80 km, hasta llegar a Quillagua, última zona de riego. A esta zona el río Loa llega con escaso caudal, dado que sus aguas son capturadas aguas arriba por las empresas mineras y sanitarias. Las captaciones son tres, y corresponden a la captación Lequena a 3.313 m s.n.m, la de Quinchamale a 3.054 m s.n.m. y la de Toconce a 3.367 m s.n.m. En relación con la protección ambiental, la zona del Oasis de Quillagua es un sitio prioritario de conservación de la biodiversidad (Ortiz, 2016).

Aguas abajo de Quillagua comienza a doblar hacia el mar y recibe por el Norte aportes de aguas claras desde un cauce homogéneo de la Quebrada Amarga, ubicada en el sector centro oeste del Salar de Llamará. Finalmente, el río Loa continúa su recorrido hasta su desembocadura en el océano Pacifico, en Caleta Huelén, constituyendo la frontera entre las regiones de Antofagasta y Tarapacá.

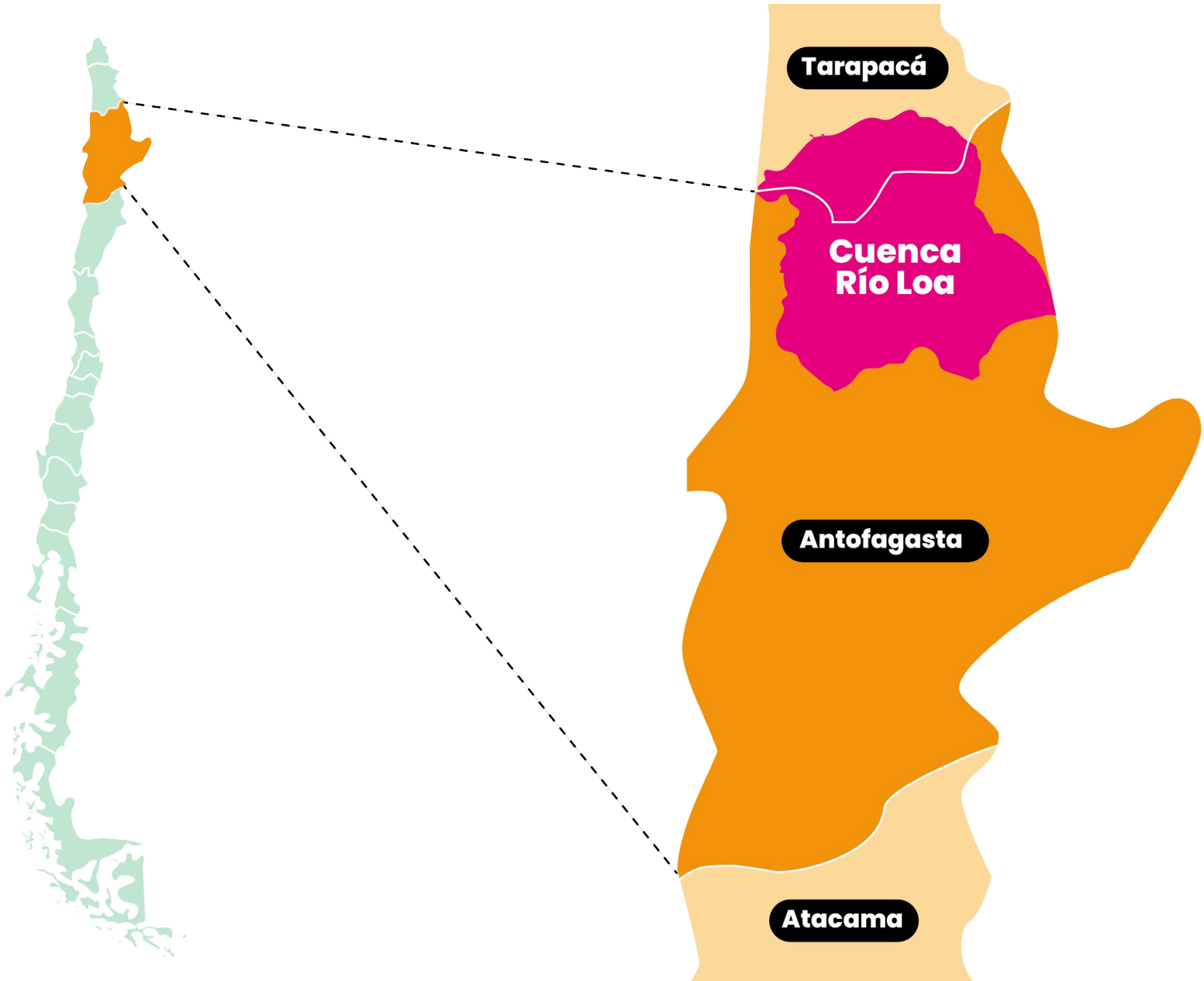


Fig 1. Ubicación geográfica y extensión del Desierto de Atacama y de los cuatro casos de estudio que, a la fecha, han sido abordados por el Nodo Landata, entre los que se encuentra la Cuenca de Llamara.

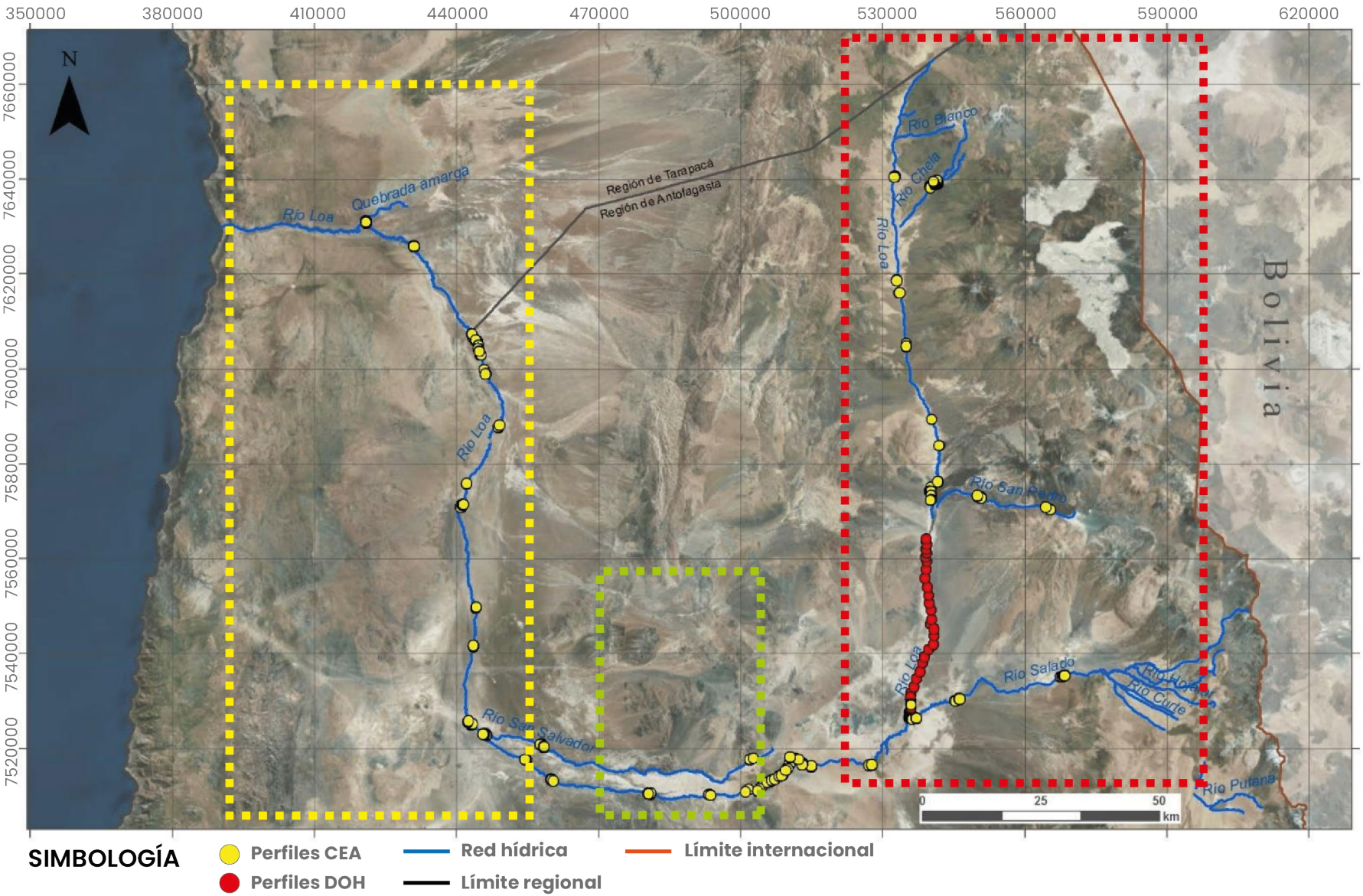


Fig 2. Polígono definido como caso de estudio Cuenca de Llamara. Las coordenadas del polígono son las siguientes: i) esquina superior izquierda: Latitud -2375791 y Longitud -7813264; ii) esquina superior derecha: latitud -2375571 y longitud -7730572; iii) esquina inferior izquierda: latitud -2449572 y longitud -7812435; iv) esquina inferior derecha: latitud -2449956 y longitud -7728957.

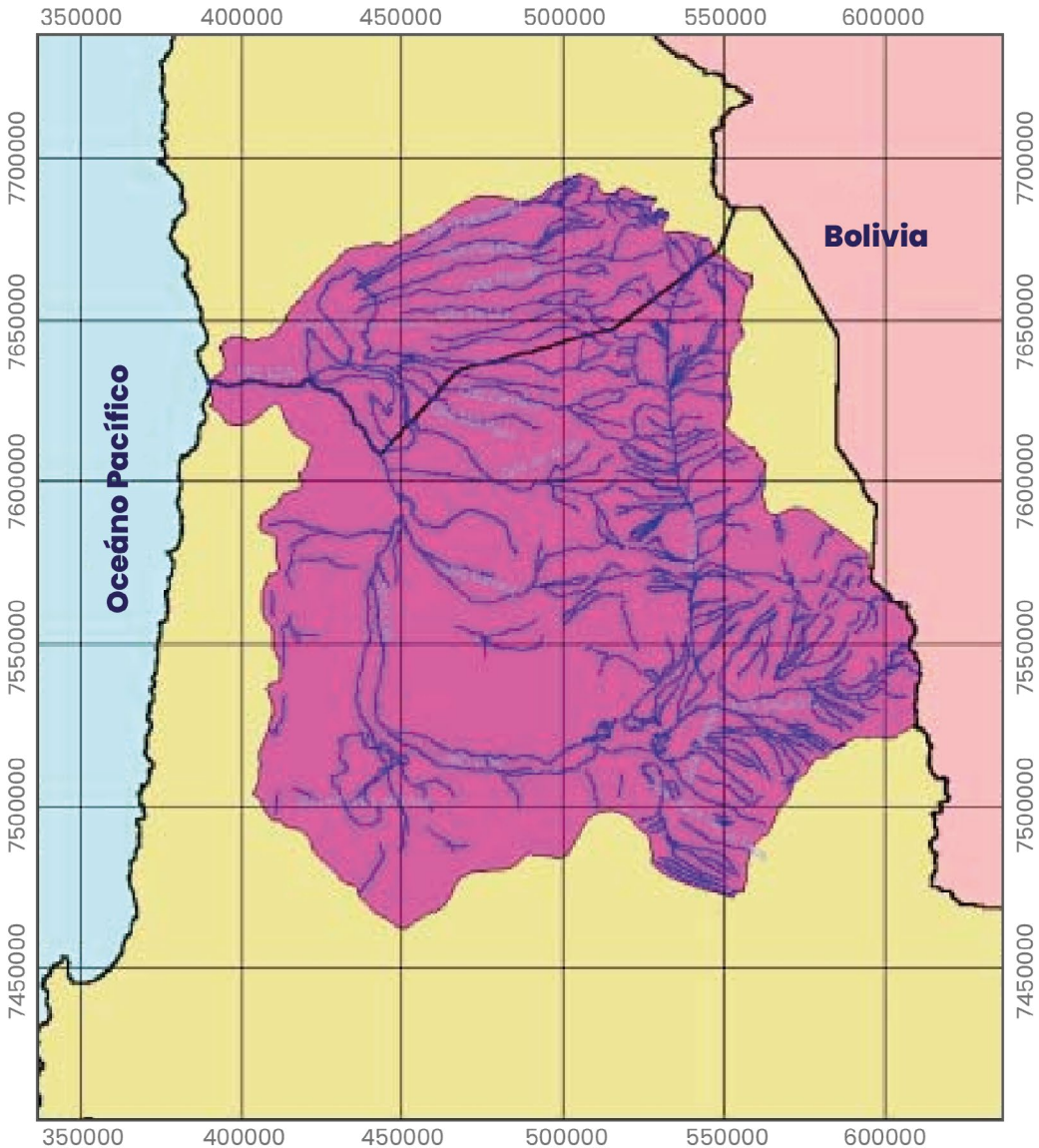


Fig 3. Se ubican algunos rasgos específicos de la CLl: Explotación de Nitratos: Un área en explotación para la obtención de yodo a través de pilas. Las áreas marcadas como Salar de Llamará corresponden principalmente a costras con sulfatos (yeso) dominantes. El Salar Grande aparece como una unidad separada, pero posee una clara relación con los materiales que provienen del este, desde el Salar de Llamará. Los sistemas de fallas aparecen claramente controlando la cuenca del Salar Grande, incluso atravesando el cuerpo salino. Se observa la conjunción de Quebrada Amarga y el cambio en las características del curso del Río Loa.

4. SINGULARIDADES

4.1 Geomorfología

El río Loa recorre un relieve constituido por 8 unidades morfológicas tales como:

- Cordillera de la costa: que conserva un carácter de cerros islas tales como Cerros de la Mica y cerros Tetas a 1.827 y 1.765 m s.n.m., respectivamente, situados al oeste de Quillagua, empinándose solo algunas centenas de metros por encima del plan alto de la pampa (Börgel, 1983).
- Cordillera pre altiplánica: que se extienden desde Charaña-Visviri hasta el volcán Licancabur caracterizadas por su gran altura y su carácter volcánico, revestidas y anegadas de sus propios derrames lávicos. Estos cordones nacen en los nevados de Chuquicamata de 2.386 m s.n.m. y en cerro Cosapilla de 5.386 m s.n.m. (Börgel 1983).
- Depresión del río Loa: presenta 95 Km de extensión y 20 Km de ancho ubicándose entre las faldas del volcán Miño por el Norte y la estación Conchi por el Sur (Börgel 1983).
- Llanos del desierto de Atacama: se encuentra ubicado 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 con unos 300 Km de extensión y 60 Km de

ancho medio (Börgel 1983).

- Pampa de Tamarugal: tiene características de meseta con una superficie estimada de 17.253 km2 entre la cota 600 y 1.500 m s.n.m. (Börgel 1983).
- Pediplanos, Glacis y piedmont: se desplaza en sentido Norte-Sur de 990 Km, interrumpidos en su desarrollo solamente por un accidente orográfico, el desplazamiento al Oeste de la precordillera de Domeyko. Las dislocaciones tectónicas que en el plioceno levantaron la precordillera de Domeyko y toda la bóveda altiplánica, produjeron simultáneamente por flexura, la disposición estructural del pediplano que conecta el ámbito cordillerano andino con las pampas de la depresión intermedia. Los planos inclinados han sido convencionalmente inscritos entre las cotas 1.500 y 3.000 m.s.n.m. (Börgel 1983).
- Planicie marina: es una costa de solevantamiento que tiene planicies de desarrollo breve, interrumpidas por estribaciones desprendidas de la cordillera de la Costa. La desembocadura del río Loa da lugar a una plataforma de abrasión de 11 Km de extensión, representando a una de las más extensas la zona septentrional del territorio chileno (Börgel 1983).
- Precordillera de Domeyko: se organiza en los cerros Limón Verde, luego tiene una interrupción cercana a 20 Km donde la orografía es estimada 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 platiforme 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 precordillerano (Börgel 1983).

4.2 Recursos hídricos y potenciales impactos ambientales

En primer lugar, la cuenca del río Loa constituye un lugar de interés excepcional para el estudio de la interacción entre el clima, la tectónica, el efecto de la erosión hídrica en el paisaje y las geoformas que se derivan a través de la historia geológica del Desierto de Atacama. Investigaciones recientes han evidenciado la existencia de evidencias geológicas en el sector de Quillagua que permiten comprender la disponibilidad de agua en el pasado, y su resultado como geoformas en el relieve del desierto (Jordan et al., 2022). Por este motivo, se hace especialmente importante proteger el relieve del desierto, y establecer planes de preservación de este patrimonio geológico de interés internacional. El origen y evolución del río Loa es producto de la influencia de la disponibilidad de agua en el sistema, la actividad tectónica de esta zona sísmicamente activa, y la evolución paleogeográfica del desierto (Jordan et al., 2022). En este sentido, la protección del relieve permite conservar la geomorfología asociada a esta evolución paleogeográfica de interés científico a nivel mundial.

4.2.1 Zona del Loa Alto-Medio (sector de Calama – Chíu-Chíu)

En el sector de Calama – Chíu-Chíu- el principal sitio de interés identificado es la existencia de un acopio de residuos mineros de gran extensión, que constituye el Tranque Talabre. Este tranque minero está relacionado con la explotación minera del Cobre, y pertenece al proyecto de CODELCO. El Tranque de Talabre está situado muy próximo a poblaciones y recursos protegidos, incluyendo recursos naturales renovables tales como el agua y suelos de tierras indígenas de producción agroganadera, milenaria reproducción cultural y gran potencial turístico (Barros y Pereira, 2013). Específicamente, en el sector se identifica un acuífero de significativa importancia (Figura 5), que alimenta el curso de las aguas superficiales del río Loa (constituye un sistema efluente, ya que el acuífero aporta agua al río), y está situado entre el área del río Salado, el embalse de Conchi y el sector de María Elena. En el margen derecho del río Loa, las aguas subterráneas de este acuífero presentan una dirección de flujo de Noreste a Suroeste (Figura 6). El área de influencia del proyecto de CODELCO no solo intercepta acuíferos protegidos, sino que se superpone a territorios indígenas protegidos, inscritos y no inscritos (Barros y Pereira, 2013). La sola ubicación del Tranque de Talabre en el ADI Alto El Loa conlleva un riesgo elevado de contaminación del área con material particulado. Además, CODELCO reconoce que el Tranque de Talabre contamina los acuíferos circundantes a sus operaciones más de lo que éstos ya se encuentran contaminados, aunque desconoce la eventual conexión de los mismos con el curso del río Loa (Barros y Pereira, 2013).

Pukará de Lasana

La calidad química de los recursos hídricos en la zona de la Cuenca Alta-Media varía en función del sector considerado. En la zona alta del curso fluvial, próxima al nacimiento del río Loa, la Dirección General de Aguas (DGA) califica las aguas de buena calidad (Figura 7), existiendo aguas de vertientes que son utilizadas para uso doméstico y agrícola. Sin embargo, en la confluencia del río Blanco, la calidad de las aguas es regular (adecuada para la bebida de animales y para riego restringido), con concentraciones elevadas de salinidad, Boro, Arsénico y Mercurio. En el sector del embalse de Conchi la calidad de las aguas es catalogada por la DGA también como regular y, ya en el sector de Calama, las aguas presentan una mala calidad (tienen altas concentraciones de Arsénico, Cloruro, y salinidad). Por lo tanto, existe una evolución de la calidad de las aguas de buenas a malas, desde la zona de aguas arriba del sistema de drenaje hacia la zona de aguas abajo. Cabe resaltar que un factor significativo en el deterioro de la calidad química de las aguas es el río Salado (que tiene su origen en el sistema hidrotermal de El Tatio) y, por lo tanto, a partir de la confluencia del río Salado con el río Loa (área de Chíu-Chíu) la calidad química evoluciona de regular a mala (Figura 7). Los estudios geoquímicos de las aguas realizado por Romero et al. (2003) evidencia la influencia química que ejerce el río Salado en el río Loa, demostrando la existencia de un factor natural en el deterioro de la calidad de las aguas. No obstante, los perfiles hidrogeoquímicos mostrados en la investigación de Romero et al. (2003) también muestra la existencia de máximas concentraciones de Arsénico en el sector del Tranque de Talabre y, en consecuencia, no hay que descartar potenciales factores antrópicos relacionados con la presencia de altos valores de Arsénico en el río Loa.

4.2.2 Zona de la Cuenca Baja (sector de Quillagua)

El sector considerado corresponde al tramo bajo de la cuenca del río Loa, específicamente, las áreas que comprenden la zona desde María Elena hasta la desembocadura del río. En este sector existen masas subterráneas asociados a acuíferos superficiales relacionados con el tramo del río Loa. La dirección de flujo de las aguas subterráneas es de Sur a Norte (Figura 8). Los estudios hidrogeológicos realizados evidencian que, a diferencia del tramo de Calama y Chíu-Chíu, el acuífero en el sector del tramo bajo del río Loa recarga al acuífero superficial (es decir, constituye un sistema influente). Esta zona se encuentra conectada hidrológicamente con el tramo de Calama y, por lo tanto, cualquier proceso hídrico que ocurra aguas arriba del sector de Quillagua afectará a esta zona de la Cuenca Baja de la red de drenaje.

Considerando los estudios realizados por la DGA (2016), la calidad química de las aguas en este sector es de mala calidad (Figura 9). Específicamente, el estudio determina que las aguas no son adecuadas para la conservación de comunidades acuáticas o su aprovechamiento para usos prioritarios sin adecuado tratamiento (para los parámetros de salinidad, Boro, Arsénico y Mercurio). Estos resultados son coherentes y consistentes con la investigación desarrollada por Romero et al. (2003).

En conjunto, en la Cuenca del río Loa existen acuíferos bien identificados y limitados por la DGA (Figura 9). Asimismo, también existen puntos de observación que permiten medir y controlar los niveles piezométricos y la calidad química de las aguas de los acuíferos existentes, con especial atención al río Salado, ya que constituye un afluente que aporta mala calidad química al río (Figura 10). También existen varios puntos de control de la calidad química de las aguas en el tramo del Loa Bajo (Figura 11). En la investigación de la DGA (2014) se establecen los dominios de todos los acuíferos existentes en la Cuenca del río Loa (Figura 12), y se establecen mapas piezométricos que permiten deducir la dirección de flujo de las aguas subterráneas (Figura 13). El mapa piezométrico permite observar que las aguas subterráneas tienen una dirección de Norte a Sur en el sector del embalse de Conchi, y de Noreste a Suroeste en el sector de Calama. En el sector intermedio del río Loa (entre Calama y María Elena) las aguas subterráneas presentan una dirección de Oeste a Este. Por último, en el sector comprendido entre María Elena y Quillagua las aguas subterráneas evidencian un flujo desde el Sur hacia el Norte.

4.2.3 Relación con La Cuenca Del Salar De Llamará

Cabe resaltar que el río Loa se encuentra conectado hidrogeológicamente con la Cuenca de Llamará, tal y como puede observarse en la

Figura 14, ya que los estudios hidrogeológicos demuestran un flujo de agua subterránea procedente del Noreste y que descargan en el río Loa aguas debajo de Quillagua. La Quebrada Amarga, ubicada en el sector centro Oeste del Salar de Llamará, presenta la particularidad de ser un lugar donde aflora agua subterránea proveniente del acuífero que subyace la zona, la cual actúa como afluente del río Loa. Se ha estimado (DGA, 2014) que hasta el 2007 el caudal se ha mantenido bastante constante, el cual se determina en un caudal promedio de 71 L/s en la Quebrada Amarga. Esta descarga representa una conexión hidrogeológica entre la Cuenca de Llamará y el sector bajo del Loa, específicamente aquel sector situado aguas debajo de Quillagua, y donde el río Loa adquiere una dirección de flujo superficial de Este a Oeste (hasta su desembocadura en la costa del Océano Pacífico). En la Cuenca del Salar de Llamará el agua subterránea, luego de ser fuertemente evaporada en el área central, sigue su trayectoria hacia el sur y, pasado el cerro Soledad, se junta con el agua proveniente de la recarga generada por las quebradas de Mal Paso y otras, para finalmente descargar a través de la quebrada Amarga y, directamente, hacia el río Loa.

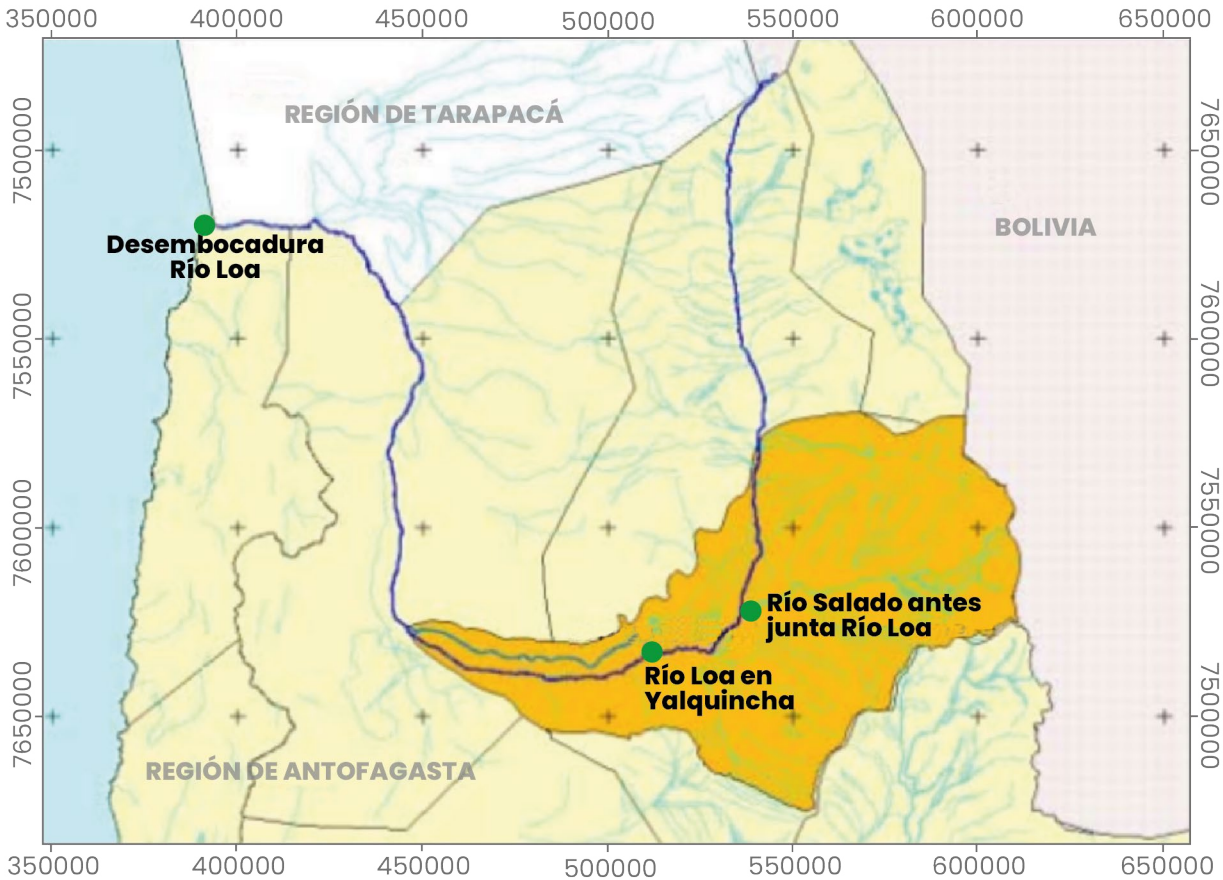


Fig. 5. Dominio del acuífero en la zona de Calama (DGA, 2005)

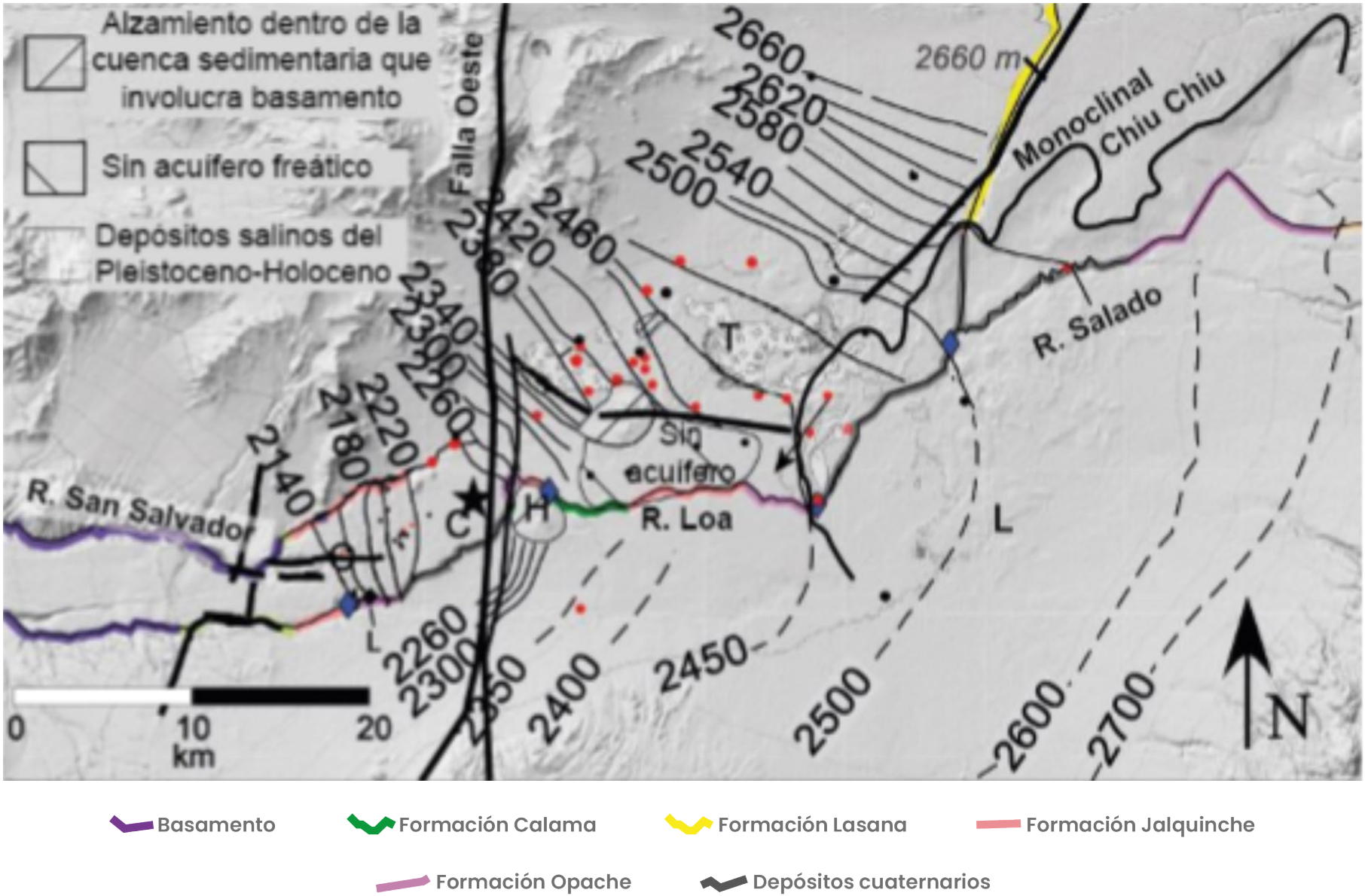


Fig. 6. Mapa piezométrico y flujo de las aguas subterráneas en el sector de Calama (Jordan et al., 2015).

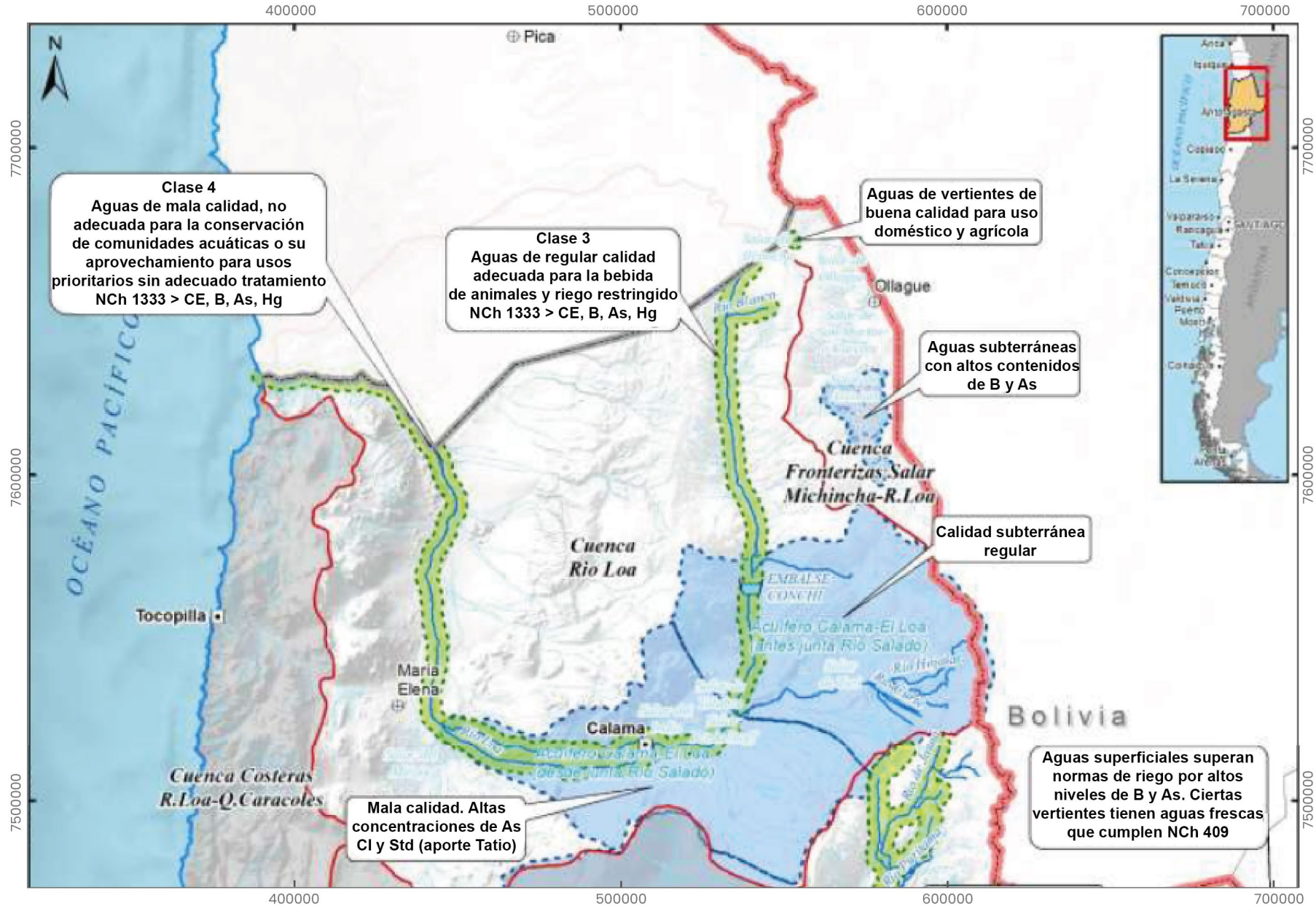


Fig. 7. Calidad química de las aguas del río Loa (DGA, 2016).

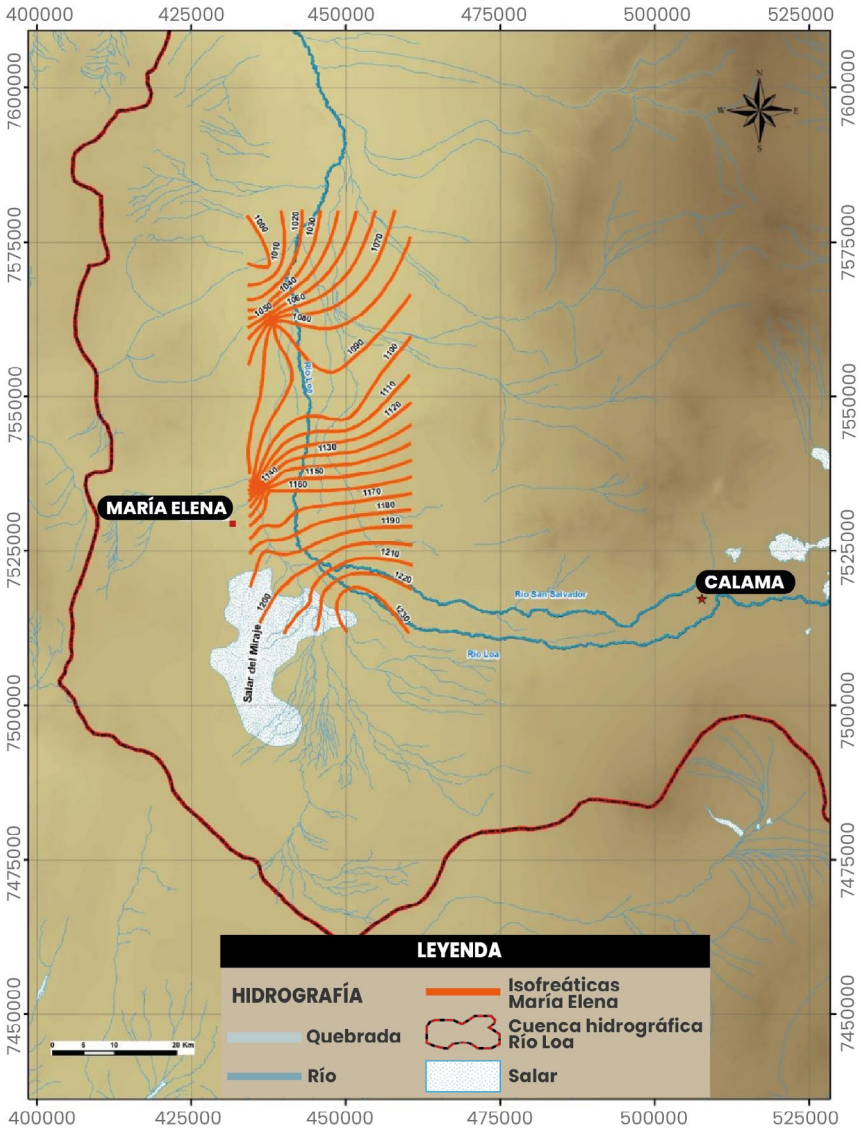


Fig. 8. Modelo conceptual que muestra los cambios físicos (flechas naranjas), químicMapa piezométrico y dirección de flujo de las aguas subterráneas en el tramo bajo del río Loa (DGA, 2014).

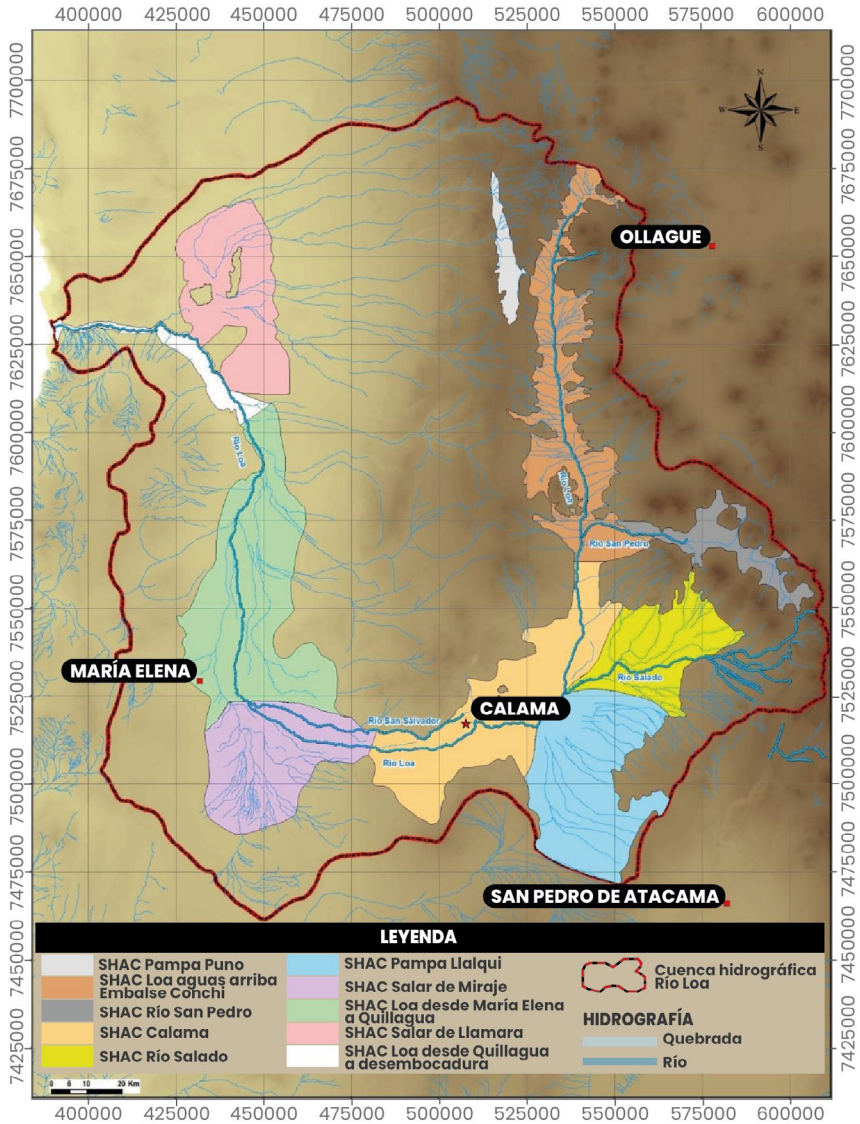


Fig. 9. Sistemas hidrogeológicos del río Loa (DGA, 2014).

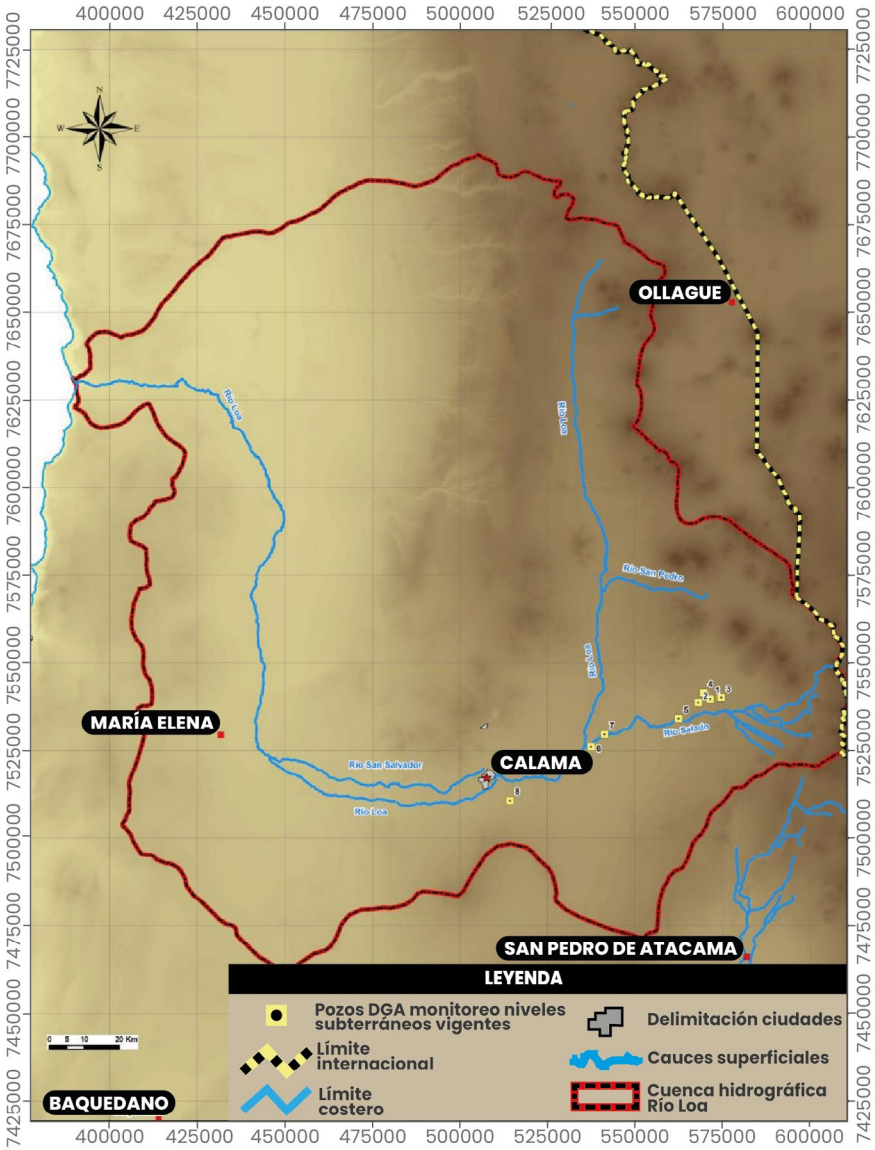


Fig. 10. Pozos de medición de las aguas subterráneas (DGA, 2014).

Fig. 11. Ubicación de las estaciones de medición de calidad de aguas en el Bajo Loa (García, 2018).

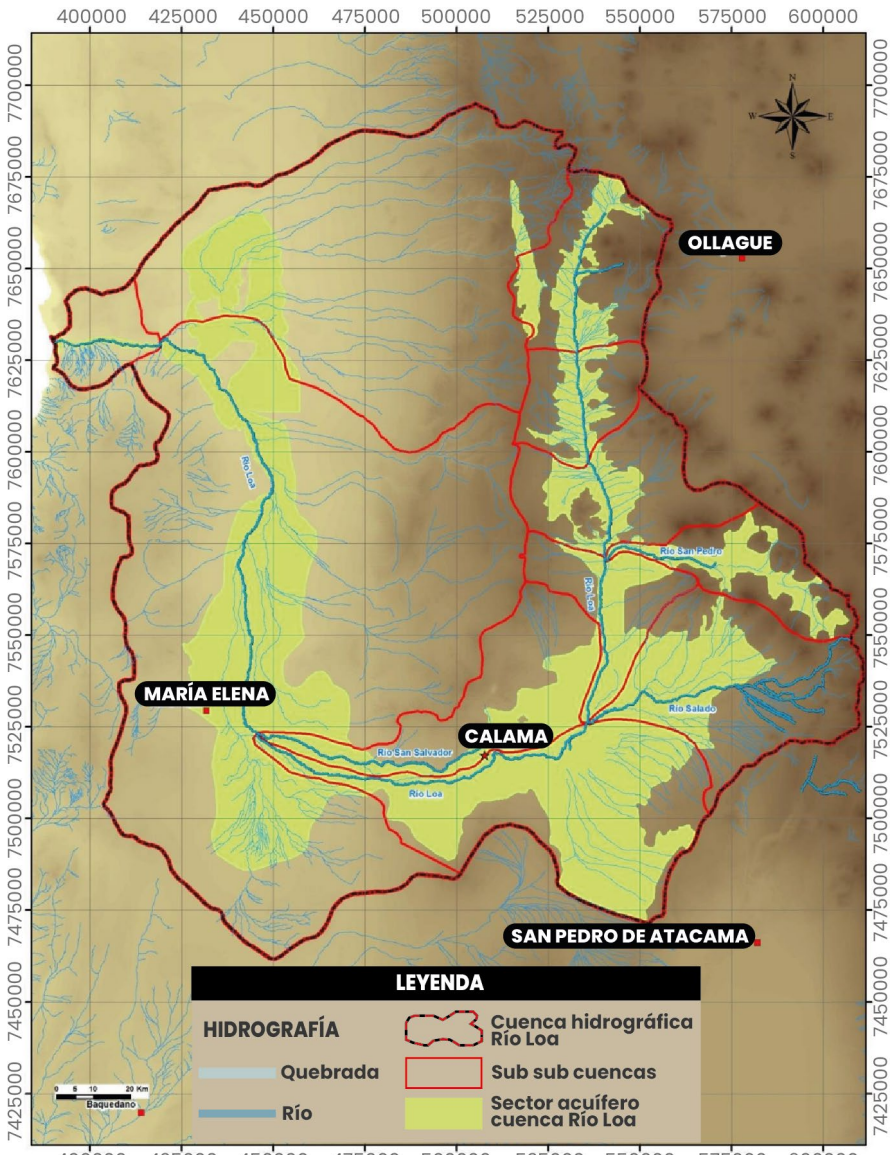


Fig. 12. Dominio de los acuíferos en el río Loa (DGA, 2014).

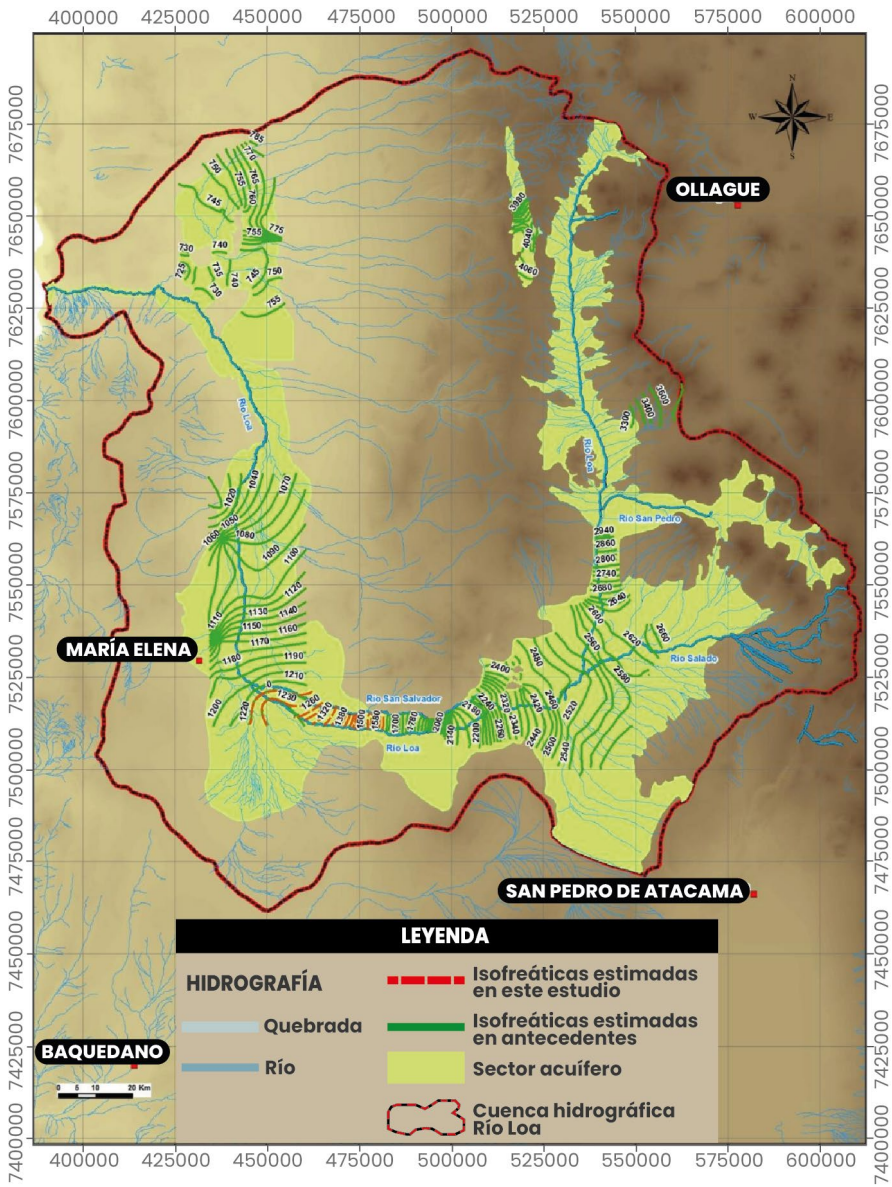


Fig. 13. Mapa piezométrico de los acuíferos del río Loa (DGA, 2014).

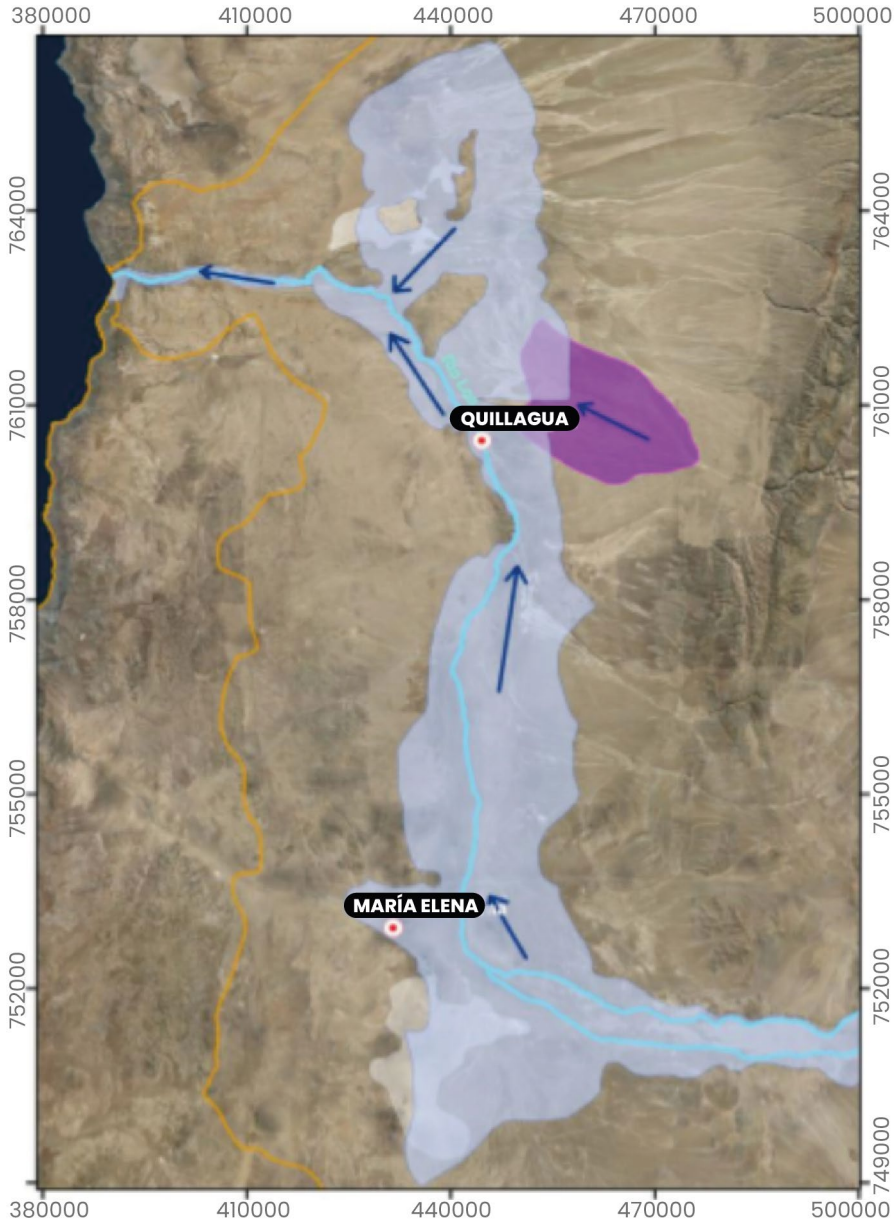


Fig. 14. Dominio de los acuíferos existentes y dirección de flujo de las aguas subterráneas en el sector comprendido entre María Elena y Quillagua. Se observa la relación entre la Cuenca de Llamará y el tramo bajo del río Loa (García, 2018).

4.3 Focos potenciales de contaminación

A lo largo del extenso cauce del río Loa y sus cercanías, se encuentra una serie de actividades industriales, principalmente relacionadas con la gran actividad minera metálica y no metálica que se desarrolla en la Región (Figura 15). Entre las más importantes se encuentran: Minera El Abra, Minera Radomiro Tomic, Complejo Minero CODELCO – Chuquicamata, Planta de Abatimiento de Arsénico de ESSAN S.A. en Cerro Topater Calama, Planta de Explosivos de ENAEX - Calama, Planta de boratos abandonada en sector Coya Sur – Crucero y Planta de producción de Salitre Potásico de María Elena - Coya Sur de Soquimich (SQM).

La mayoría de estas actividades utilizan las aguas del río Loa para faenas de beneficio de minerales que ellas extraen a través de extracciones en distintos puntos del río y sus afluentes, además algunas de estas actividades históricamente han vertido en forma directa los residuos industriales al río Loa y otras lo estarían haciendo en forma indirecta.

Las subcuencas río Loa Medio y río Loa Bajo, a diferencia de la parte alta de la cuenca del río Loa, no se caracterizan por la abundante actividad minera, sino que la actividad salitrera distribuida al occidente del río Loa fue la actividad dominante en el pasado. Actualmente, sólo la Oficina salitrera María Elena se encuentra en funcionamiento, estando el resto de las oficinas salitreras abandonadas conformando parte de los pasivos ambientales de la zona (García, 2018). Además de la aún activa Oficina salitrera María Elena, las oficinas Coya Sur y Pedro de Valdivia son las que presentan materiales residuales en piscinas de tratamiento de gran envergadura, además de tranques de relaves asociados a la actividad operativa de las plantas. Las oficinas salitreras Santa Isabel, Buena Esperanza, Rica Aventura y las otras oficinas que conforman el dominio salitrero de antaño, no presentan piscinas de tratamiento ni tranques de relave asociados que se puedan observar, el foco contaminante en dichas actividades corresponde a los botaderos de escombros conformados por los materiales no rentables de las operaciones. La situación de estas actividades se muestra en la Figura 16, y se desconoce el tipo de material acumu-

lado, por lo cual se recomienda realizar estudios de caracterización de los materiales existentes en las oficinas salitreras inactivas con la finalidad de determinar si estos son nocivos para la salud humana y animal, conformando así focos potenciales de contaminación (García, 2018).

La actividad minera en este sector de la cuenca está representada por la mina Antucoya. Sondajes realizados en la zona de la mina con profundidades entre 100 y 200 metros no reportan la existencia de aguas superficiales, lo cual concuerda con el dominio del acuífero superficial el cual está fuertemente ligado al curso del río Loa (García, 2018); sin embargo, no se descarta la existencia de aguas profundas, tal vez de carácter regional, las cuales podrían poner en contacto hidrogeológico la cuenca en estudio con la cuenca Costeras río Loa – Quebrada Caracoles.

En este sector de la cuenca el río Loa funciona como un sistema influente, aportando constantemente recarga al acuífero superficial (García, 2018). Por consiguiente, el río constituye un foco de contaminación, principalmente de arsénico, elemento químico tóxico y dañino para la salud. De acuerdo con Romero et al. (2003), la principal fuente de Arsénico en la cuenca se considera natural, es decir, está relacionada con las litologías del área; las emisiones de fundición y los desechos mineros, así como los efluentes ricos en arsénico de las plantas de tratamiento de agua, posiblemente representen fuentes adicionales. Además, existe aporte de arsénico proveniente del río Salado y las aguas termales del Tatio. La contaminación antrópica en este tramo de la cuenca está asociada más bien a la actividad minera generada aguas arriba, en las cercanías de la ciudad de Calama, donde precipitaciones y crecidas asociadas a estas, podrían causar el transporte de los materiales contaminantes hacia aguas abajo.

Asimismo, estudios realizados a partir de la crecida del río Loa en marzo de 1997 (Arroyo et al., 1999), aportan un análisis de la calidad química del río después del evento hidrometeorológico de dicho año. La investigación considera que las lluvias del "Invierno Boliviano" removieron material en semidescomposición de los sedimentos de los cauces. En este contexto, en el curso medio del río Loa este material entró en un proceso de descomposición bacteriana, el cual cubrió desde Puente Crucero a Sloman, con efectos adversos sobre la biota. Aguas abajo de Quillagua el río entró en la etapa de "aguas claras" que se manifiesta por la decoloración de sus aguas (ausencia de FeS, que imprime su coloración oscura) y aparición de color rojizo correspondiente a arcilla incorporada durante las lluvias (Arroyo et al., 1999).

La investigación de Arroyo et al. (1999) también concluye que existe oportunidad de ingreso de material en semidescomposición, un conocido mecanismo de autopurificación y, un proceso que ha sido reportado en este río en años anteriores. En adición a lo anterior las manifestaciones observadas, esta investigación muestra que los hallazgos hidroquímicos y la evaluación de estos parámetros se explican sin la necesidad de intervención antropogénica, con la sola excepción de los obstáculos físicos del cauce, Santa Fe y Sloman. Estos representan variables especiales y críticas con impactos hidroquímicos y sobre la biota durante crecidas, respecto del comportamiento normal del río. El estudio de Arroyo et al. (1999) finalmente concluye que el proceso de "autopurificación" está muy documentado en la literatura especializada y cuya descripción coincide con las características experimentadas por el Loa, en 1997.

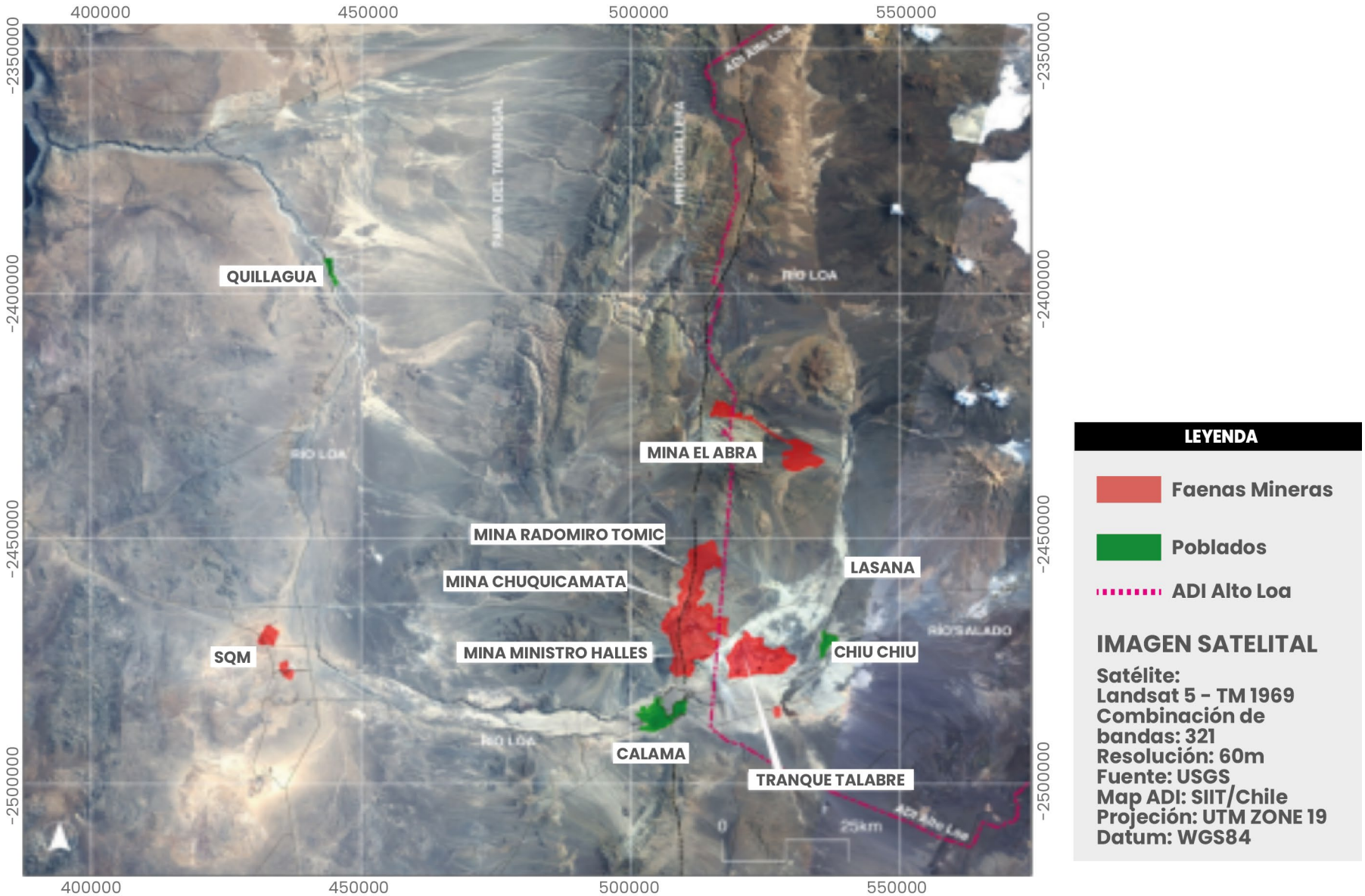


Fig. 15. Principales actividades mineras en el sector de Calama (Barros y Pereira, 2013).

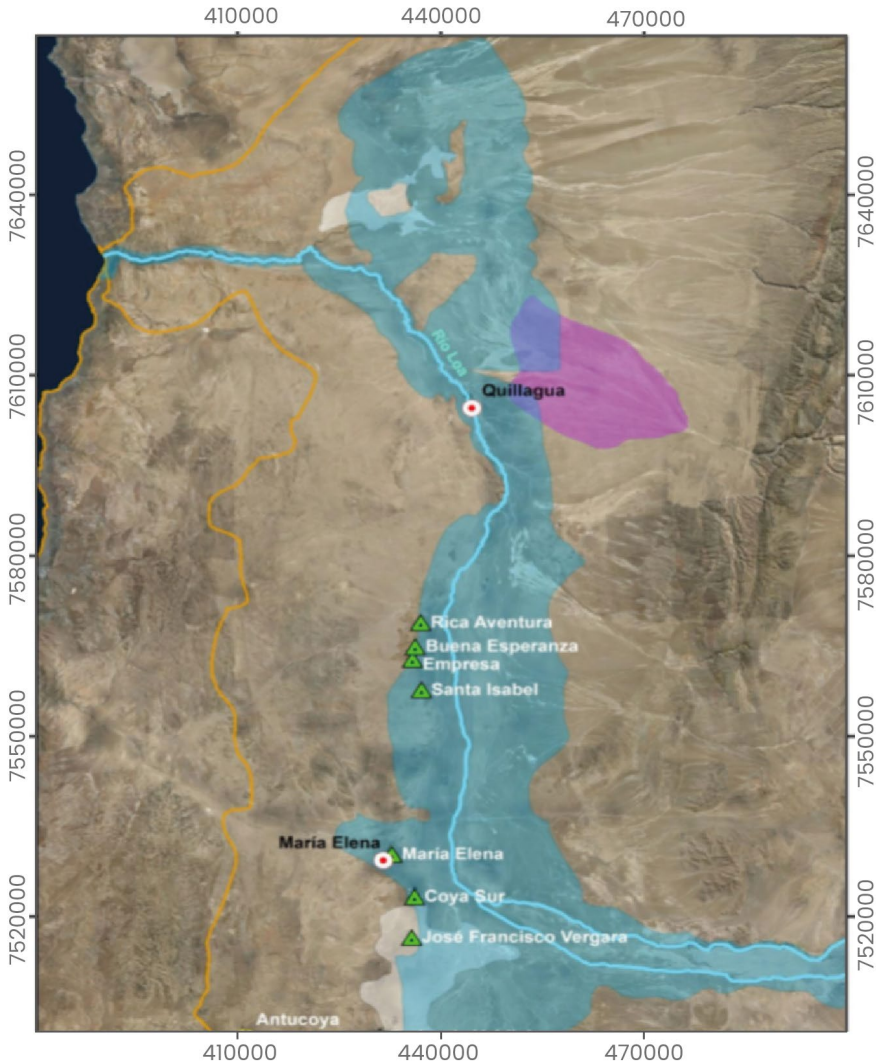


Fig. 16. Ubicación de potenciales focos de contaminación en el sector del Loa Bajo (García, 2018).

4.4 Vía de transmisión de la contaminación y receptores relacionados

El dominio del acuífero superficial está directamente ligado a la trayectoria del río Loa, debido a que están relacionados hidrogeológicamente. Por lo cual la dirección del flujo de las aguas subterráneas es paralela al cauce del río (Figura 15 y Figura 16). En la Cuenca del río Loa, los principales receptores de potenciales procesos de contaminación son los acuíferos y la actividad agrícola existentes en las cercanías de Calama y Chíu-Chíu (Figura 17), debido a la presencia del Tranque de Talabre. Los potenciales procesos de contaminación afectarán también aguas debajo de Calama, es decir, en el sector de María Elena y Quillagua. ya que estas localidades están ubicadas dentro del dominio del acuífero superficial. La localidad de María Elena, conocida por ser la única oficina salitrera en funcionamiento del país, es abastecida con agua potable por Aguas Antofagasta, la cual entrega el recurso hídrico a la comuna a través de SQM. La empresa Aguas Antofagasta tiene derechos de agua constituidos en la alta cordillera, principalmente desde afluentes del río Loa, por lo cual un proceso de contaminación en el área de estudio no conllevaría a un peligro directo por consumo de agua o contacto dérmico a los habitantes de la comunidad de María Elena (García, 2018). Además, entre el sector de las dependencias de dicha oficina salitrera y la oficina salitrera José Francisco Vergara, la Sociedad Química y Minera de Chile S.A. cuenta con derechos de aguas subterráneas y superficiales, dominando en los derechos extractivos. Asimismo, Baix Ebre S.A. cuenta con un derecho de agua subterránea en esta zona, al igual que la empresa Mineralia Sociedad Contractual Minera. En conjunto, focos contaminantes vertidos aguas arribas de dichos sectores podrían causar problemas en las operaciones de las distintas faenas involucradas (García, 2018).

Quillagua es otra de las localidades rurales dentro del dominio acuífero. Antiguamente conocida como un foco agrícola, el caudal de éste disminuyó considerablemente debido a la intervención del río por las empresas mineras que fueron instalándose aguas arriba del pueblo, cuyas aguas se extraen con fines industriales y de abastecimiento a las grandes ciudades (Figura 18); además, la operación de estas nue-

vas actividades mineras condujo a la contaminación aguas arriba del río, alcanzando a Quillagua poco caudal de agua y con una mala calidad química. Actualmente, aproximadamente 150 personas habitan el pueblo, siendo pocos los cultivos que se mantienen activos. Dichos cultivos son regados con aguas directamente del río Loa; el agua potable, anteriormente proporcionada al pueblo por medio de camiones aljibe a cargo de la municipalidad de María Elena, hoy es tratada por la planta de tratamiento de Agua Potable Rural (APR) instalada en las locaciones de Quillagua, la cual obtiene agua directamente desde el río Loa (García, 2018).

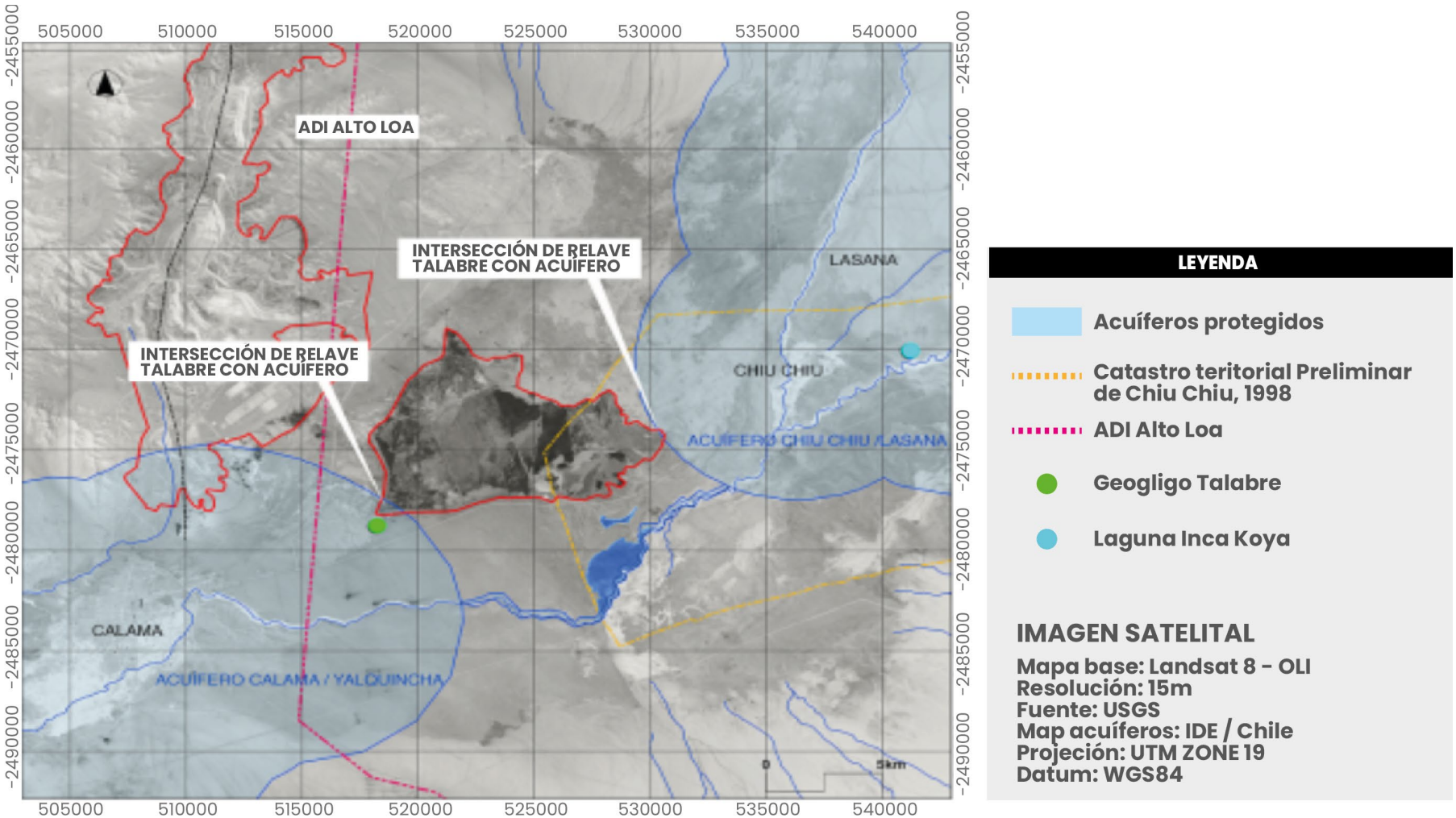


Fig. 17. Posibles fuentes de contaminación ambiental en el sector de Calama, con la potencial afección del Tranque de Talabre hacia las aguas subterráneas y la agricultura (Barros y Pereira, 2013).

Fig. 18. Ubicación de los puntos de extracción de aguas en el sector comprendido entre María Elena y Quillagua (García, 2018).

4.5 Tipología de la sustancia potencialmente contaminante

En la parte alta de la cuenca del río Loa, el río Salado constituye el inicio del deterioro de la calidad química de las aguas (Arroyo et al., 1999; Romero et al., 2003). Los ríos tributarios de esta zona aportan material inorgánico (especialmente Arsénico), biológico y sedimentario que se incorporan al cauce del Loa debido a la cantidad de lluvias y a la gran pendiente que presenta la cuenca del Salado. En el sector de Calama, y debido a las actividades mineras existentes, podrían existir potenciales procesos de movilización de metales pesados a partir de los pasivos ambientales depositados en las cercanías del río Loa. Estos procesos de movilización pueden ser físicos (transferencia de partículas en suspensión y/o en disolución de los residuos mineros a partir de crecidas del río) y químicos (procesos de Drenaje Ácido de Mina, que fomentan la disolución de metales pesados en condiciones ácidas de las aguas).

En la parte baja de la cuenca del río Loa, el principal contaminante de las aguas superficiales, y por ende las aguas subterráneas que son recargadas por las aguas del río Loa, es el Arsénico. La Norma Chilena Oficial establece el límite máximo de contenido de arsénico en el agua potable de 0,05 mg/l considerándose tanto para consumo humano y animal, mientras que el límite para el riego corresponde a 0,1 mg/l de arsénico en las aguas. Otro elemento que se encuentra altamente concentrado en las aguas del río Loa es el Boro, y la Norma Chilena Oficial no determinada un rango de Boro aceptable para agua potable. Para las aguas de riego el límite máximo de boro existente no debe sobrepasar 0,75 mg/l. En el río Loa, las concentraciones de ambos elementos exceden ampliamente los rangos permitidos para uso bebestible y de riego, y, es por ese motivo, que es importante establecer una red de medición y control de estos elementos geoquímicos en el tramo bajo del río Loa (Figura 13).

Tal y como se ha comentado, los procesos de crecida del caudal del río Loa puede ser un factor clave en la movilización de sustancias contaminantes aguas debajo de la red de drenaje. Por ejemplo, y considerando la investigación de Arroyo et al. (1999), una explicación a la cantidad de materia orgánica presente en Sloman a partir del día

11 de marzo de 1997 (crecida histórica del río) podría asociarse a que, en las cuencas de los ríos, durante todo el año se produce fotosíntesis de material microbiológico (fitoplacton) gracias a nutrientes como fósforo y nitrógeno en sus distintas formas.

Además del problema principalmente natural del arsénico y el boro, las actividades principales existentes en este sector de la cuenca estudiada correspondían a las salitreras. Como se expuso anteriormente, las salitreras María Elena y Pedro de Valdivia son las que cuentan con las mayores instalaciones de procesamiento (García, 2018). Estas dos salitreras fueron las únicas que apostaron antaño por implementar el sistema Guggenheim, sistema de producción más actual en los años 20. Este sistema utiliza principalmente nitrato de baja ley para su utilización, siendo este compuesto el principal contaminante generado por la actividad salitrera.

4.6 Acciones antrópicas que alteran la disponibilidad natural de agua del sistema

Considerando los aspectos descritos en los apartados anteriores, en la cuenca del río Loa existen acciones antrópicas que potencialmente alteran los parámetros físico-químicos y químicos de las aguas (tanto superficiales como subterráneas), y que, por lo tanto, disminuyen la disponibilidad de los recursos hídricos. Estas alteraciones están caracterizadas por un enriquecimiento de Arsénico, Boro y Zinc (tanto de origen natural como antrópico), la presencia de Xantato, y la contaminación desde las faenas mineras mostradas en la Figura 13. De forma adicional, es importante remarcar que el deterioro de las aguas puede comenzar a partir de emisiones atmosféricas, también asociadas a las actividades mineras, mediante emisiones de gases (SO2, CO2, CO) y material particulado en suspensión (MP 10). En este sentido, el control de las emisiones atmosféricas en la cuenca del río Loa es primordial para evitar deterioro de la calidad de los suelos, de los recursos hídricos, y de la salud humana, y, en consecuencia, se debe analizar en detalle los registros de emisiones atmosféricas del RETC (Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes). La base de datos del RETC es un completo registro de datos ambientales disponible a todo tipo de público (https://retc.mma.gob.cl/).

Recientemente, y en relación al tramo de Quillagua que se encuentra conectado hidrogeológicamente con la Cuenca de Llamará, se produjo un problema de sobreexplotación en el Salar de Llamara, protagonizado por la empresa SQM, y relacionado al proyecto Pampa Hermosa. En junio de 2016, la SMA formuló ocho cargos a SQM, según informó la autoridad, y entre los principales se encontraban la falta de implementación de barreras hidráulicas y la falta de activación de planes de alerta temprana (ambas medidas de mitigación complementarias), orientadas a minimizar los impactos ambientales asociados a la extracción de agua subterránea desde el Salar de Llamara, y a mantener los niveles de agua y calidad de los "puquíos". Estos cuerpos de aguas son ecosistemas únicos que albergan estromatolitos, entre otras diversas formas de vida microbiana, que también impactan en otros sistemas bióticos terrestres presentes en el área de influencia del proyecto. Lo anterior responde al resultado de denuncias que datan por lo menos de 2011. De acuerdo con lo revelado por un largo reportaje de Ciper, la Dirección General de Aguas detectó hace tiempo que había pozos que estaban registrando un preocupante decrecimiento de sus aguas. Otra acusación datada en noviembre de 2016 sostiene la existencia de una extracción ilegal y masiva de aguas, por sobre el caudal total autorizado ambientalmente, siguiendo la línea de los cargos de la SMA (fuente: El Mostrador). En diciembre de 2017, el Tribunal Ambiental de Antofagasta decidió suspender temporal y parcialmente los pozos de extracción de agua de la compañía ubicados en el Salar de Llamara.

4.7 Biodiversidad e impactos ambientales

4.7.1 Biodiversidad del río Loa: Flora y Fauna

El Convenio Para La Diversidad Biológica, es una instancia surgida de las Naciones Unidas y presentada en la Cumbre Mundial del Medio Ambiente en 1992, realizada en río de Janeiro, Brasil, que busca generar acciones para corregir o disminuir este hecho en vista a la preocupación mundial que genera, el cual fue firmado por Chile, siendo ratificado dicho convenio por el Parlamento Nacional. Los objetivos de dicho convenio son "la conservación de la diversidad biológica, el uso sostenible de sus componentes y la participación justa y equi-

Río Loa

tativa en los beneficios que deriven de la utilización de los recursos genéticos". Según el texto del convenio, se entiende por diversidad biológica o biodiversidad, la variabilidad existente de organismos vivos de cualquier fuente comprende además la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y entre los ecosistemas.

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. Esto genera alto niveles de endemismo y se puede identificar un alto número de especies de Flora y Fauna, principalmente aves y mamíferos.

El Ministerio del Medio Ambiente ha definido 6 sitios prioritarios para la conservación presentes en la cuenca del río Loa que 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):

Cuenca Alto Loa en la comuna de Calama y Ollagüe (207440 Ha): 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).

Geiseres del Tatio en la comuna de Calama (1533 Ha): 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).

Oasis de Calama en la comuna de Calama (4576 Ha): 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).

Oasis de Quillagua en la comuna de María Elena (1822 Ha): 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).

Desembocadura del río Loa en la comuna de Tocopilla (10857 Ha): 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. Asimismo, 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).

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.

En el documento de CONAMA 2002 llamado "ESTRATEGIA REGIONAL Y PLAN DE ACCIÓN PARA LA CONSERVACIÓN Y USO SUSTENTABLE DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA" describe cuatro formaciones vegetales para la cuenca del Loa: Estepa Alto-Andina, Estepa Arbustiva Pre-Puneña, Desierto de la cuenca superior del rio Loa y Desierto de Aluviones (Gajardo, 1994):
Estepa Alto-Andina: Formación vegetacional heterogénea, que se en-

cuentra ubicada inmediatamente al sur del Altiplano, con el cual comparte muchos de sus elementos florísticos y parcialmente su geomorfología de extensas mesetas, aunque aquí son frecuentes las formas montañosas. La diferencia fundamental que permite delimitarla como unidad propia y diferente está en la menor cantidad de precipitaciones que recibe, lo que provoca una fisonomía vegetal de carácter más árido, llegando a manifestar en ciertos lugares un aspecto de tipo desértico. Las asociaciones más características son: Llaretilla-ojo de agua (Pycnophyllum molle – Oxalis exigua), Tola- Lampayo (Baccharis incarum – Lampaya medicinalis); Paja Iro-Pata de Pizaca (Festuca chrysophylla – Fabiana bryoides).

Estepa Arbustiva Pre-Puneña: Formación donde predominan los arbustos bajos de escasa cobertura. Comparte muchos elementos florísticos con el desierto y presenta una amplia distribución. En su avance hacia el sur, recibe gradualmente una menor cantidad de precipitación, lo que define en las plantas un conjunto de rasgos morfológicos propios de la adaptación a la aridez, lo cual es un carácter específico de las formaciones propiamente puneñas respecto de aquellas próximas al altiplano. Las asociaciones más características son: Checal-Lejía (Fabiana densa-Baccharis boliviensis).

Desierto de la cuenca superior del río Loa: Formación vegetal que muestra características de composición que la relacionan con el piso inferior de la estepa alto-andina de la Puna. Está constituida por arbustos bajos xerófitos y en muchos lugares presenta extensas superficies sin vegetación alguna. Las asociaciones más características son: Rica – Petaloxa (Acantholippia punenis – Franseria meyeniana). Desierto de los Aluviones: Formación vegetal que muestra una típica fisionomía de arbustos bajos extremadamente xerófitos, con una cobertura muy rara, encontrándose amplios sectores desprovistos de vida vegetal. Su ubicación geográfica-ecológica corresponde a aquellos sectores que tienen influencia de los grandes aluviones y precipitaciones marginales provocadas por el invierno altiplánico. Las asociaciones más características son: Griasal Culchao (Philippiamra –pachyphylla – Hoffmanseggia ternata); Ojalar (Atriplex imbricata); Allaval – Quiaca (Adesmia atacamensis – Calandrinia salsoloides) y Ojalar-Malvilla (Atriplex imbricata – Cristaria andicola).

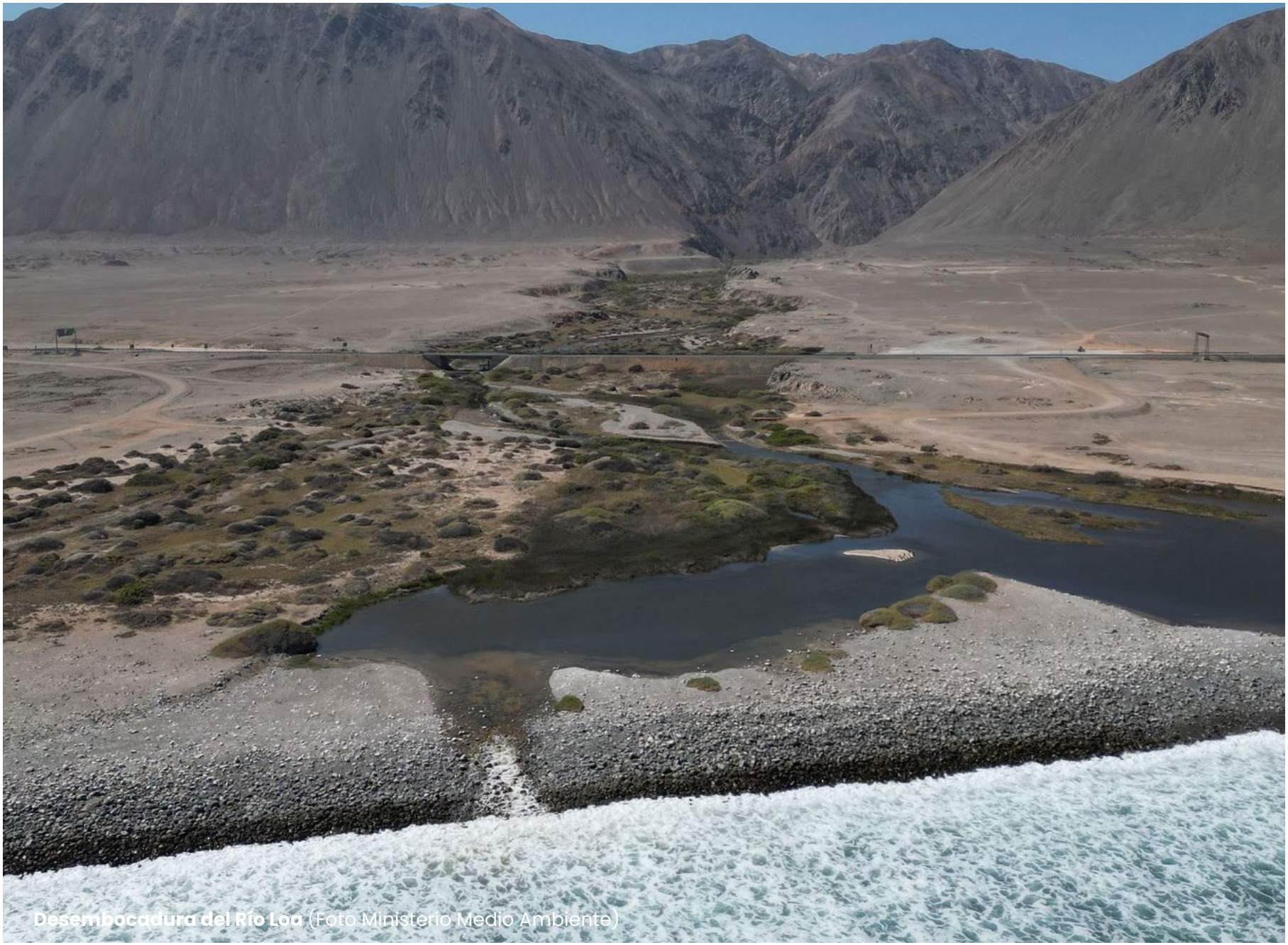
ESTRATEGIA REGIONAL Y PLAN DE ACCIÓN PARA LA CONSERVACIÓN Y USO SUSTENTABLE DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA. (CONAMA, 2002)

1) SITIO PROPUESTO	Valle de Quillagua
ENDEMISMO	Medio
PROPIEDAD	El oasis casi en su totalidad pertenece a privados, sobre todo en la zona del pueblo, con múltiples dueños, sin embargo, el mayor porcentaje de superficie está en pocas manos, principalmente SQM, también hay pequeños terrenos municipales y algunas servidumbres.
SUPERFICIE APROXIMADA	1821 hectáreas
IMPORTANCIA COMO SITIO REPRODUCCIÓN DE ESPECIES.	Baja
PERTENECE AL SNASPE	No
GRADO DE INTERVENCIÓN	Alto
OTRAS CARACTERÍSTICAS	• Lugar de tránsito de especies, corredor biológico entre mar y puna (único en la región). • Flora endémica. • Especies hidrobiológica endémicas. • Valle del río Loa (cuenca importante a conservar)
POSIBILIDAD DE DESTINAR A CONSERVACIÓN	Alta
POSIBILIDAD DE DESTINAR A CONSERVACIÓN	SI. Ejemplos: FLORA ALGARROBOS; Prosopis sp. (Vulnerable) FAUNA CAMARÓN; Cryphiops caementarius (Vulnerable) PEJERREY; Basilichthys semotilus (En peligro) AVES LOICA PERUANA; Sturnella belllicosa (Población reducida)

4) SITIO PROPUESTO	Cuenca Alta Río Loa
ENDEMISMO	Medio
PROPIEDAD	En su mayoría fiscal, con destinación a CONAF, también solicitudes territoriales indígenas.
SUPERFICIE APROXIMADA	207448 hectáreas
IMPORTANCIA COMO SITIO REPRODUCCIÓN DE ESPECIES.	Alta
PERTENECE AL SNASPE	En proyecto de incorporación
GRADO DE INTERVENCIÓN	Alto
OTRAS CARACTERÍSTICAS	• Sitio de importante concentración de fauna de la puna y pre-puna. • Formaciones vegetales no representadas en SNASPE. • Parte de la cuenca del río Loa, ecosistema importante de la región. • Próximo a ser declarado Reserva Nacional.
POSIBILIDAD DE DESTINAR A CONSERVACIÓN	Alta
POSIBILIDAD DE DESTINAR A CONSERVACIÓN	FAUNA CONDOR; Vultur griphus (Vulnerable) PIUQUÉN; Cloephaga melanoptera (Vulnerable) GAVIOTA ANDINA; Larus serranus (Vulnerable) PERDIZ DE LA PUNA; Tinamotis pentlandii (Vulnerable) PARINA GRANDE; Phoenicoparrus andinus (Vulnerable) PARINA CHICA; Phoenicoparrus jamesi (Vulnerable) FLAMENCO CHILENO; Phoenicopterus chilensis (Vulnerable) PERDICITA CORDILLERANA; Attagis gayi (Rara) FLORA CARDÓN; Echinopsis atacamensis (Vulnerable) COJÍN DE SUEGRA; Opuntia atacamensis (Rara) COJÍN DE SUEGRA; Opuntia conoidea (Rara) MAMIFEROS GUANACO; Lama guanicoe (En peligro) VICUÑA; Vicugna (En peligro) CHINCHILLA ANDINA; Chinchilla brevicaudata (En peligro) VIZCACHA; Lagidium viscacia (En peligro) PUMA; Puma concolor (En peligro) TUCO-TUCO; Ctenomys fulvus (Vulnerable) QUIQUE; Galictis cuja (Vulnerable) GATO ANDINO; Oreallurus jacobita (Rara) ZORRO CHILLA; Pseudalopex griseus (Inad. Conocida) ZORRO CULPEO; Pseudalopex culpaeus (Inad. Conocida)

5) SITIO PROPUESTO	Oasis de Calama
ENDEMISMO	Bajo
PROPIEDAD	Particular en su mayoría, el núcleo urbano de Calama se asienta en él.
SUPERFICIE APROXIMADA	4575 hectáreas
IMPORTANCIA COMO SITIO REPRODUCCIÓN DE ESPECIES.	Baja
PERTENECE AL SNASPE	No
GRADO DE INTERVENCIÓN	Alto
OTRAS CARACTERÍSTICAS	• Parte del corredor biológico de la cuenca del rio Loa. • Mayor oasis de la región.
POSIBILIDAD DE DESTINAR A CONSERVACIÓN	Baja
POSIBILIDAD DE DESTINAR A CONSERVACIÓN	SI FAUNA REPTILES LAGARTIJA DE PAULINA; Liolaemus paulinae (Rara) CORREDOR; Microluphus maminesis (Rara) DRAGÓN DE REICHE; Phrynosaura reichei (Inad. conocida) ANFIBIOS SAPO DE ATACAMA; Bufo atacamensis (En peligro) SAPO; Telmatobius halli (En peligro) MAMIFEROS ZORRO CHILLA; Pseudalopex griseus (Inad. conocida)

6) SITIO PROPUESTO	Desembocadura del río Loa
ENDEMISMO	Alto
PROPIEDAD	Se estima mayormente fiscal, pues no hay catastro en Bienes Nacionales, a pesar de la existencia de pequeñas caletas de pescadores.
SUPERFICIE APROXIMADA	10857 hectáreas (II Región)
IMPORTANCIA COMO SITIO REPRODUCCIÓN DE ESPECIES.	Alta
PERTENECE AL SNASPE	No
GRADO DE INTERVENCIÓN	Alto
OTRAS CARACTERÍSTICAS	• Único ambiente de estuario en la región. • Flora endémica. • Importante sitio de reproducción de especies, tanto acuáticas como avifauna. • Parte importante del ecosistema de la cuenca del río Loa.
POSIBILIDAD DE DESTINAR A CONSERVACIÓN	Alta
POSIBILIDAD DE DESTINAR A CONSERVACIÓN	SI FLORA COPIAPOA; Copiapoa tocopillana (En peligro) EULIGNIA; Eulychnia iquiquensis (En peligro) FAUNA ÁGUILA PESCADORA; Pandion haliaetus (Vulnerable) GUANAY; Phalacrocorax bouganvillii (Vulnerable) LILE; Phalacrocorax gaimardi (Inad. Conocido) PIQUERO; Sula variegata (Inad. Conocido) REPTILES DRAGÓN DE REICHE; Phrynosaura reichei (Inad. Conocida) DECÁPODOS CAMARÓN; Cryophiops caementarius (Vulnerable)



Desembocadura del Río Loa (Foto Ministerio Medio Ambiente)

4.7.2 Diversidad Microbiana de la cuenca del río Loa

El Mapa de la Diversidad de la Microbiota del Norte de Chile geolocaliza y describe los nichos ecológicos microbianos de la zona, junto con referenciar, concentrar y ordenar las principales investigaciones hechas en este territorio. Esta herramienta nos permite observar la ubicación de los sitios que hoy se están estudiando cercanos al río Loa (Figura 19) y se recomienda proteger de manera preliminar en función de sus potenciales servicios ecosistémicos, como también de aquellos con potencial de investigación.
En el sector Loa Alto se destaca los trabajos sobre la diversidad microbiana relacionados a los lagos altoandinos (Demergasso et al., 2003) y asociados al ciclo biogeoquímico del arsénico (Escudero et al., 2013) como también a la diversidad filogenética de eucariontes unicelulares (protistas) que resisten la alta radiación UV (Amdt et al., 2020).

En el sector Loa Medio hacia el lado Este se observan los trabajos de aplicaciones de biolixiviación del cobre derivada de microorganismos del Desierto de Atacama en la Mina Radomiro Tomic (Azua-Bustos et al., 2014), búsqueda de compuestos bioactivos para combatir la infección de plantas medicinales de la comuna de Taira (Ortiz et al., 2019) y búsqueda de potenciales farmacéuticas que se obtienen desde cultivos del género Streptomyces aislados desde suelos hiperáridos (Cortes-Albayay et al., 2019). Por otro lado, en el sector Loa Medio hacia el lado oeste se encuentran el estudio de la diversidad de microorganismos que son capaces de ser transportados en el polvo (Azua-Bustos et al., 2019) y sobrevivir en suelos hiperáridos (Azua-Bustos et al., 2014; Azua-Bustos et al., 2017; Schulze-Makuch et al., 2018) y en suelos ricos en Nitrato (Melchiorre et al., 2017; Shen et al., 2019). Además, otros estudios que hablan sobre los biomarcadores con implicaciones para la habitabilidad en Marte (Wilhelm et al., 2017; Shen et al., 2019) y, por otro lado, investigaciones sobre la diversidad de virus que transmiten genes de tolerancia extrema entre microorganismos en suelos hiperáridos (Hwang et al., 2021).

En el sector río Loa Bajo, hay estudios de la diversidad fúngica (Santiago et al., 2018) relacionada a las aguas provenientes de la Quebrada Amarga y otros que caracterizan la diversidad de microorganismos que viven en formaciones de costras de sal conocidos como endolitos (Gómez B. 2018; Finstad et al., 2016 y Rasuk et al, 2016).

Investigaciones han demostrado la capacidad de los microorganismos asociados a los sedimentos del río Loa de movilizar el arsénico contenido en los mismos mediante el consumo del O2 de las aguas, la reducción de As(V) a As(III) y de Fe(III) a Fe(II), los que se activan mediante el suplemento de materia orgánica (Demergasso et al., 2003). El rol de los microorganismos en fenómenos de movilización de As se ha reportado alrededor del mundo (Palmer et al., 2006). Está demostrado que As(III) se adsorbe menos que As(V) en los precipitados de Fe y Al, en tanto que la reducción de Fe(III) en los sedimentos contribuye a la movilización. Por otro lado, las investigaciones demuestran también la presencia de microorganismos capaces de precipitar el As presente en las aguas del río mediante la reducción de As(V) y de sulfato (Demergasso et al., 2007). Por lo tanto, la microbiota asociadas al río Loa juega un rol relevante en la concentración y distribución del As en el río y en la Región. Debe considerarse que estos estudios se realizaron con sedimentos del río Loa en 1998, es decir, cercanos al evento de contaminación del año 1997.

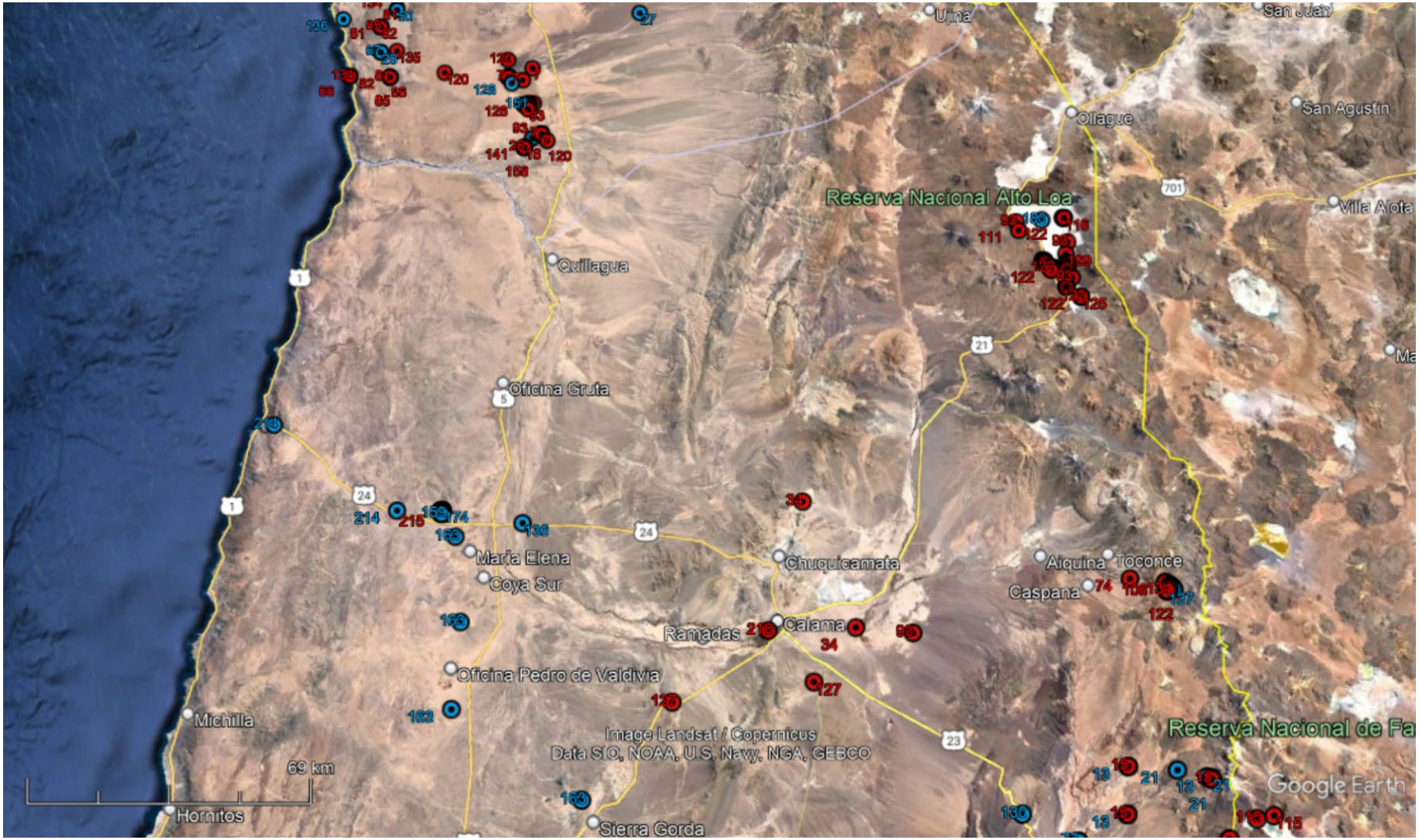


Fig. 19. Geolocalización de las investigaciones con al menos un investigador chileno (rojo) y solo investigadores internacionales (azul) que se realizan a lo largo del río Loa y sus afluentes (https://www.landata.cl/mapa-de-la-diversidad-de-la-microbiota-del-norte-de-chile/)

4.8 Agricultura y ganadería

Desde épocas precolombinas, asentamientos humanos se han emplazado en zonas aledañas al río, estableciendo un desarrollo cultural fuertemente ligado a la agricultura. Los principales núcleos agrícolas en el sector del río Loa son las actividades desarrolladas a lo largo del río Loa, Lasana, Chíu-Chíu, Calama, y Quiligua. 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, la 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.

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% (Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta. 2016. Ministerio de Obras Públicas). 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.

Según el "Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos", existe una disminución de la agricultura y la ganadería en los pueblos cercanos al río Loa:

- La comunidad de Taira se dedica principalmente a la ganadería para autoconsumo y pequeña producción de la lana de los animales en la localidad de San Pedro Estación, pero debido a la escasez del agua y, por ende, a la nula agricultura, han emigrado a Calama.

- Para las localidades de Caspana, Toconce, Turi, Ayquina y Cupo, la principal actividad de subsistencia es la agricultura con una superficie cultivada de 104 Ha, de las cuales cerca del 70% es ocupada por alfalfa.

- La principal actividad productiva es la agricultura para Lasana y Chíu-Chíu con 207 Ha de zonas cultivadas de alfalfa, 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 con el 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 Chíu-Chíu y Lasana. Asimismo, en Chíu-Chíu y en Calama, la existencia de potenciales procesos de contaminación, y el proceso de sequía, origina la existencia de un estrés hídrico que la actividad agrícola debe gestionar de forma eficiente.

En Quillagua se ha identificado que ha disminuido la agricultura desde 8,8 Ha a 1 Ha, debido a la falta de agua y al deterioro de la calidad química de los recursos hídricos de la zona.

4.9 Energías renovables

La Cuenca del río Loa es escenario del desarrollo de proyectos que generan energías renovables, debido a que el área es de primer orden toda vez que reúne la casi totalidad de los factores requeridos para su aplicación. En la Tabla 1 se identifican los proyectos relacionados con la energía eólica, la energía solar y la energía geotérmica, donde se especifica la ubicación de cada proyecto y el nombre. Los principales proyectos se encuentran situados en las comunas de Calama y María Elena.

TABLA N°1: Lista de proyectos relacionados con la energía eólica, la energía solar, e industria geotérmica

Caso de estudio	Nombre del proyecto	Energía	Región	Provincia	Comuna	Coord X	Coord Y
Río Loa - Calama	Parque Eólico Tchamma – 155 MW	Industria eólica	Antofagasta	El Loa	Calama	-69.08042213	-22.50053053
Río Loa - Calama	Parque Eólico Calama – 151 MW	Industria eólica	Antofagasta	El Loa	Calama	-68.78857025	-22.47863455
Río Loa - Calama	Parque Eólico Calama A – 108 MW	Industria eólica	Antofagasta	El Loa	Calama	-68.85331032	-22.49808438
Río Loa - Calama	Parque Fotovoltaico USYA	Industria solar	Antofagasta	El Loa	Calama	-68.84826827	-22.48567603
Río Loa - Calama	Parque Geotérmico Cerro Pabellón ENEL – 44 y 33 MW	Industria geotérmica	Antofagasta	El Loa	Ollagüe	-68.15044999	-21.85250734
Río Loa - Quillagua	Parques Fotovoltaicos Enfría – 5 y 24 MW	Industria solar	Antofagasta	Tocopilla	María Elena	-69.58052675	-22.26906543
Río Loa - Quillagua	Proyecto Eólico Quillagua – 100 MW	Industria eólica	Antofagasta	Tocopilla	María Elena	-69.49501933	-21.64914074
Cuenca de Llamará	Parque Fotovoltaico Atacama Solar – 250 MW	Industria solar	Tarapacá	Tamarugal	Pozo Almonte	-69.46658234	-20.50875113
Río Loa - Quillagua	Parque Eólico Loa – 528 MW	Industria eólica	Antofagasta	Tocopilla	María Elena	-69.85086014	-21.47745462
Río Loa - Quillagua	Parque Fotovoltaico Sol del Loa – 300 MW	Industria solar	Antofagasta	Tocopilla	María Elena	-69.56618020	-21.62673136
Río Loa - Quillagua	Parque Fotovoltaico Santa Isabel I – 170 MW	Industria solar	Antofagasta	Tocopilla	María Elena	-69.59631069	-22.04976066
Río Loa - Quillagua	Parque Fotovoltaico Santa Isabel II – 150 MW	Industria solar	Antofagasta	Tocopilla	María Elena	-69.57947275	-22.03194246
Río Loa - Quillagua	Parque Fotovoltaico Kimal Solar – 217 MW	Industria solar	Antofagasta	Tocopilla	María Elena	-69.48035485	-22.30307992
Río Loa - Quillagua	Parque Fotovoltaico Finis Terrae – 138 MW	Industria solar	Antofagasta	Tocopilla	María Elena	-69.52140864	-22.34139261
Río Loa - Quillagua	Parque Eólico Sierra Gorda	Industria eólica	Antofagasta	Antofagasta	Sierra Gorda	-68.98416667	-22.87944435
Río Loa - Quillagua	Parque Eólico Valle de los Vientos – 89 MW	Industria eólica	Antofagasta	El Loa	Calama	-68.81461189	-22.52353877
Río Loa - Calama	Parque Fotovoltaico Atacama I	Industria solar	Antofagasta	Tocopilla	María Elena	-69.58200531	-22.21698787
Río Loa - Quillagua	Parque Solar Cerro Dominador – 114 MW	Industria solar	Antofagasta	Tocopilla	María Elena	-69.47937797	-22.77176255
Río Loa - Quillagua	Parque Fotovoltaico Cerro Dominador – 100 MW	Industria solar	Antofagasta	Tocopilla	María Elena	-69.49582967	-22.77407906
Río Loa - Quillagua	Parque Fotovoltaico Frontera Solar – 105 MW	Industria solar	Antofagasta	Tocopilla	María Elena	-69.49961646	-21.68339348
Río Loa - Quillagua	Parque Fotovoltaico Nuevo Quillagua – 96.5 MW	Industria solar	Antofagasta	Tocopilla	María Elena	-69.50543779	-21.66182816
Río Loa - Quillagua	Parque Fotovoltaico María Elena – 470 MW	Industria solar	Antofagasta	Tocopilla	María Elena	-69.57526666	-22.22048089
Río Loa - Quillagua	Parque Eólico Ckani – 107 MW	Industria eólica	Antofagasta	El Loa	Calama	-68.59298400	-22.0435199
Río Loa - Quillagua	Parque Solar Lakana Solar – 450 MW (3960 ha)	Industria solar	Antofagasta	El Loa	Calama	-68.62693881	-22.70013888
Río Loa - Calama	Parque Fotovoltaico San Pedro III	Industria solar	Antofagasta	El Loa	Calama	-68.69393459	-22.57276942
Río Loa - Calama	Parque Fotovoltaico San Pedro I	Industria solar	Antofagasta	El Loa	Calama	-68.76155999	-22.55563829
Río Loa - Calama	Parque Fotovoltaico San Pedro IV	Industria solar	Antofagasta	El Loa	Calama	-68.76850473	-22.53218737
Río Loa - Calama	Parque Fotovoltaico San Pedro VI – 235 MW	Industria solar	Antofagasta	El Loa	Calama	-68.69451485	-22.58313233
Río Loa - Calama	Parque Fotovoltaico San Pedro III/V	Industria solar	Antofagasta	El Loa	Calama	-68.58889939	-22.5625889
Río Loa - Calama	Campamento Geotérmico CORFO	Industria geotérmica	Antofagasta	El Loa	Calama	-68.01341214	-22.37101571

4.10 Arqueología y antropología

4.10.1 Arqueología: Evidencia fósil de cocodrilos marinos

Recientes campañas realizadas en la localidad de Cerritos Bayos, Región de Antofagasta, han permitido recuperar varios ejemplares de metriorrínquidos (cocodrilos marinos) provenientes de niveles Oxfordianos de la Formación Cerritos Bayos. Esta evidencia fósil de cocodrilos marinos en Chile proviene principalmente de rocas del Jurásico Medio en el Norte chileno. El estudio de estos ejemplares aporta nueva información a la diversidad conocida de talattosuquios que habitaron el margen occidental de Gondwana, reforzando la hipótesis de una apertura temprana de un corredor biogeográfico entre el mar de Tetis y el Caribe durante el Jurásico (Soto-Acuña y col., 2015).

4.10.2 Arqueología: Yacimientos paleoicnológicos asociados al río Loa

Desde 1962 se han descubierto diversos sitios con huellas de vertebrados mesozoicos en Chile (Figura 20) (Galli y Dingman, 1962; Casamiquela y Fasola, 1968; Bell y Suárez, 1989; Moreno et al., 2004; Moreno, 2007), evidenciando la presencia en el país de una interesante diversidad de especies de dinosaurios y otros vertebrados contemporáneos. La información obtenida a partir de estos fósiles es de alta importancia científica, tanto a nivel del continente como mundial, siendo motivo de varias comunicaciones científicas (Rubilar-Rogers et al., 1998; Moreno et al., 2000; Moreno y Pino, 2002; Moreno et al., 2004; Moreno y Benton, 2005; Moreno, 2005; Moreno, 2007; Rubilar-Rogers et al., 2008). Lamentablemente, ha sido poco divulgada y se han presentado algunos proyectos de desarrollo orientados a su conocimiento y protección, pero, no obstante, la conciencia sobre su valor patrimonial continúa siendo escasa en la población. Esto conlleva a dos problemáticas: su desaprovechamiento como enorme potencial educativo y turístico, y de forma asociada, los peligros de deterioro a los que estos sitios están sujetos (Moreno K., 2008).

A unos 20 Km al oeste de Calama existen afloramientos del Jurásico Superior de la Formación San Salvador, que contienen decenas de pistas de dinosaurios pequeños a medianos, consistentes en icnitas de 12-40 cm de largo (Moreno et al., 2004). Conocida como Quebrada San Salvador, hay diversas huellas de terópodos medianos y pequeños, a veces sugiriendo movimientos de natación (Moreno et al., 2004). También en las proximidades, la Quebrada Arca preserva las marcas de dinosaurios saurópodos de caderas anchas (titanosaurimorfos) y una huella aislada de terópodo (Rubilar-Rogers y Otero, 2008).

Fig. 20. Mapa general de ubicación de 5 sitios paleo icnológicos del Mesozoico en Chile, destacando a San Salvador (Moreno et al., 2004).

Tranque Sloman

4.10.3 Antropología: Reliquias e historias precolombinas del territorio relacionada al río Loa

Los suelos del desierto de Atacama han sido excavados en búsqueda de antigüedades desde tiempos inmemoriales, reliquias de otra era que resucitan de la mano del coleccionismo y la pasión por los objetos exóticos para convertirse en mercancías o fetiches (Ballester, 2022). James Clifford (1988) define como el sistema arte-cultura, estas obras precolombinas se exhiben en escaparates privados y vitrinas de museos en todo el mundo, contribuyendo así al modelado de la identidad de Occidente gracias a un juego de contrastes donde la otredad se ensambla como un mosaico compuesto de cultura material de las más diversas y lejanas procedencias. Ballester (2020) declara que no existen investigaciones que ahonden en las técnicas de carga y descarga de objetos precolombinos de este desierto o sobre el extractivismo de bienes culturales.

Hoy es innegable la existencia de abundantes restos de la presencia del Inka en Atacama, los que se distribuyen diferencialmente a través de tambos, canchas, collcas, usnos, santuarios de altura, aríbalos, tejidos, miniaturas y adornos de metal y arte rupestre (Rodríguez, 2004). La secuencia cultural de San Pedro de Atacama, elaborada fundamentalmente a partir de alfarería y cementerios, continúa siendo el principal referente para la arqueología del territorio atacameño. No obstante, desde la década de 1960 en adelante el incremento de las investigaciones en la cuenca del río Loa, centradas en sitios de carácter habitacional, diversifican y amplían la percepción de la prehistoria tardía, revelando un quiebre en la continuidad de la cultura San Pedro debido a una presencia altiplánica post-Tiwanaku y cierta particularidad que adquiere lo "atacameño" en el Loa.

A lo largo del río Loa se reconocen varios sitios arqueológicos:

- La alfarería de un tramo del Camino del Inca identificado en el sector río Loa Alto, sector considerado dentro de la investigación arqueológica del sistema vial del Tawantinsuyo (Cabello and Baettig, 2005). El estudio contempla el análisis de 4.245 fragmentos de cerámica obtenidos en distintas campañas de campo. La primera de ellas comprende la prospección del tramo entre las localidades de Lasana y Lequena; la segunda, la excavación y recolección superficial de dos instalaciones o asentamientos de paso ubicados en este mismo segmento, denominados CG-09 —Incahuasi-Bajada del Toro— y LR-01—Incahuasi-Risopatrón—; mientras que la tercera etapa corresponde a la prospección del camino entre Lequena y el volcán Miño (Figura 21). Berenguer et al. (2005) entrega resultados de una prospección pedestre y de cobertura total de 125 km de camino inca en el Alto Loa, entre las localidades de Miño por el norte y Lasana por el sur (21° 39'- 22° 20' Lat. S). Este artículo describe: 1) el derrotero y características constructivas del camino inca con relación a la topografía y el tipo de superficie del terreno por el que atraviesa; 2) los sitios con recintos y los marcadores camineros localizados a su vera; 3) sus conexiones con evidencias viales anteriores, contemporáneas y posteriores, y 4) su relación con el arte rupestre.

- El Pukará de Lasana, declarado Monumento Nacional, se encuentra ubicado sobre un acantilado contra el río Loa, aledaño al pueblo del mismo nombre. Edificado hacia el siglo XII como un pueblo-fortaleza, actualmente conserva su antigua arquitectura: callejuelas angostas, edificios rectangulares y circulares construidos en piedra cuya techumbre, se piensa, fue de madera y barro. Desde el 2009, este sitio es parte del Museo Indígena Atacameño Alto Loa es un espacio de gran valor para sus habitantes y se constituye en el epicentro de la puesta en valor de la ruta patrimonial de Alto El Loa: Chíu-Chíu, Lasana, Caspana (http://observatorio.cultura.gob.cl/index.php/2018/10/02/oc-13-articulo-5/).

- El Museo Geológico san Francisco de Chíu-Chíu tiene una colección de rocas, fósiles y minerales de la zona, además de aportes y muestras provenientes de la Universidad Católica del Norte, pero actualmente se encuentra cerrado (https://www.elabra.cl/museo-de-chiu-chiu-reabrio-sus-puertas).

- La localidad de Quillagua, pueblo agro-alfarero-ganadero, data aproximadamente del 700 AC formada por indígenas tarapaqueños y atacameños. A través de investigaciones arqueológicas de

cementerios, restos de tejidos y alfarería, se ha podido constatar que Quillagua era un territorio donde coexistieron distintos grupos humanos y por ende de diferentes tradiciones culturales y expresión étnica. Entre Calama y Quillagua existía una distancia de 110 km de movilidad e intercambio que configuró una de las conexiones más significativas entre sociedades andinas de la precordillera y changas costeras. En ese recorrido de la época prehispánica se encuentra un área arqueológica de gran valor patrimonial conocido como Geoglifos de Chug-Chug. Hay otros geoglifos siguiendo la ruta 5, llamados Geoglifos de Cartaloco y Geoglifos La encañada.

4.10.4 Arqueología de asentamientos salitreros en la región de Antofagasta

El desarrollo de la industria del salitre produjo un gran impacto entre fines del siglo XIX y comienzos del XX, no sólo a nivel mundial, sino que localmente en la pampa desértica, desarrollo de oficinas salitreras (Figura 22). Junto con introducir un nuevo sistema de producción de carácter capitalista, generó un nuevo sistema de relaciones sociales que produjo materialidades particulares. Los estudios arqueológicos sistemáticos del ciclo salitrero se reducen a esfuerzos esporádicos en la década de 1980 y otros más recientes en los últimos cinco años, todos en la región de Antofagasta (Vilches et al., 2008). Los restos del asentamiento salitrero y la riqueza del material documental escrito y oral puede generar en la arqueología una línea de investigación complementaria.

Las características del asentamiento salitrero significaron un fuerte impulso para el crecimiento urbano, pero hoy en día tienen calidad de ruinas, dado su abandono, saqueo y desmantelamiento y debido también, a su escasa protección patrimonial. Estas características son:

- El poblamiento salitrero se asienta en un lugar vacío que es la pampa, sin responder a una planificación del territorio, sino que estuvo asociada con la posición de los yacimientos, situación

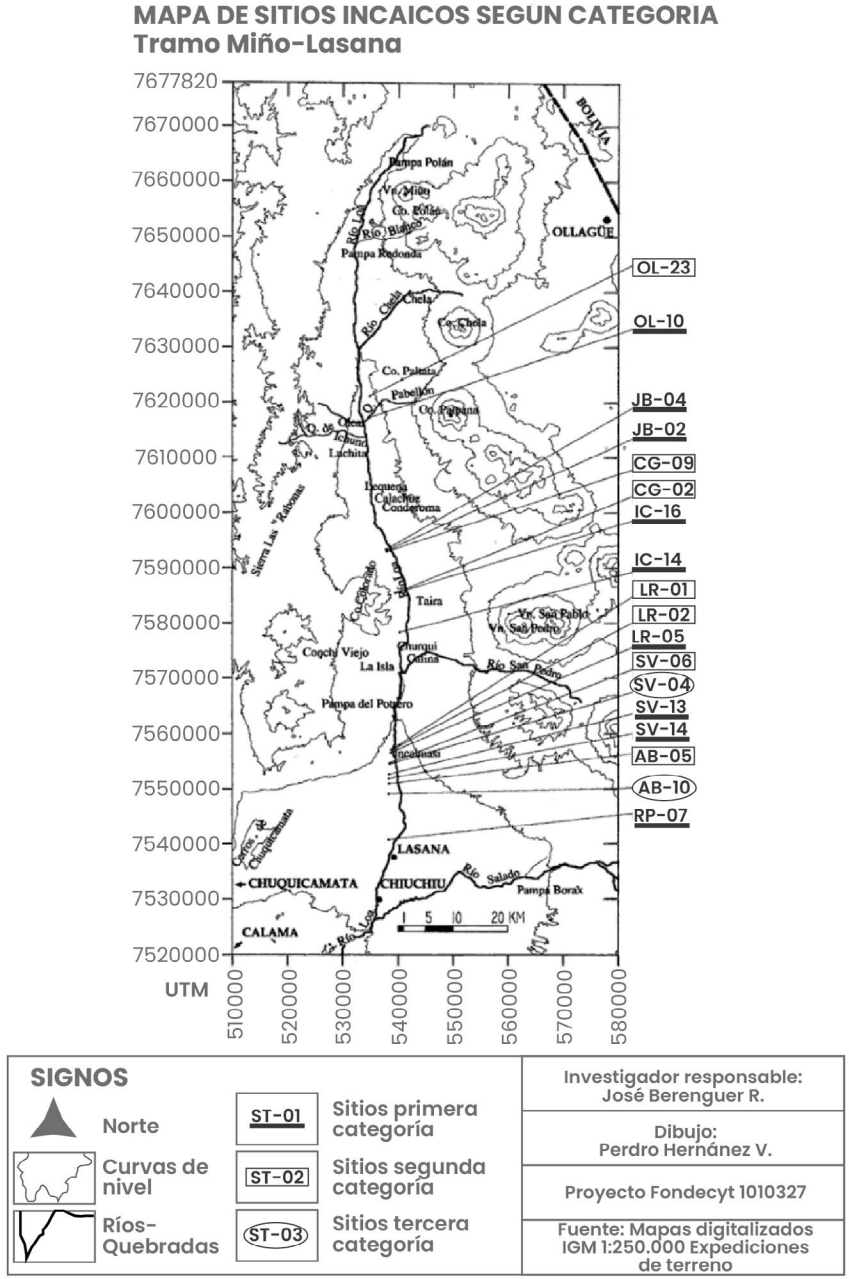


Fig. 21 Mapa de sitios incaicos (Cabello y Baettig, 2005).

que derivó en el desarrollo de los cantones salitreros" (Garcés 1999:25).

- Estas oficinas salitreras se comunican por vía férrea desde Antofagasta-Bolivia, y Toco Anglo-Tocopilla (Figura 22) que en ambos casos atraviesan el río Loa.

- Las infraestructuras relacionadas al abastecimiento energético, como fueron los sistemas de andariveles y los tranques Santa Fe y Sloman, los cuales constituyeron no solo gigantescas inversiones extranjeras para sustentar la extracción calichera, sino que también situaron tecnologías únicas en el mundo en nuestro país durante sus años de funcionamiento.

- Tranque Santa Fé (Figura 22), ubicado a 6 km de la Oficina Santa Fe (Ex oficina Pampa Virginia), el Tranque Santa Fe consiste en la primera infraestructura hidroeléctrica que hace uso de la energía motriz de las aguas del río Loa.

- Tranque Sloman (Figura 22) consiste en una gran represa hidroeléctrica que contiene el río Loa, ubicada a 125 km de Tocopilla y 18 km de la localidad de Quillagua. Sirvió al abastecimiento hídrico y eléctrico de lo que fueran sus principales oficinas salitreras (Buena Esperanza, Rica Aventura, Prosperidad, Grutas y Empresa). Posteriormente, sería declarado Monumento Nacional en el año 1980. Actualmente, sufre deterioros producto del saqueo, el descuido y su situación de abandono generalizado, a lo que se suman los problemas de contaminación ambiental de sus zonas vegetales y el lago, causada por la actividad minera de la zona.

- Sistema de Paradas es un sistema rudimentario de extracción del caliche de alta ley (70% de nitrato) y, por ende, tenía grandes pérdidas entre sus componentes. Este sistema fue utilizado por las oficinas salitreras ubicadas de norte a sur: Santa Fe, San Andrés, Iberia, Grutas, Prosperidad, Rica Aventura, Buena Esperanza, El Toco, Empresa, Peregrina, Santa Isabel y Santa Ana, pero actualmente son vestigios.

- Algunas de estas oficinas (Figura 22), como Santa Fe, Rica Aventura y Santa Isabel, cuentan con bellos cementerios cuyas tumbas, construidas en madera tallada, han resistido el embate del desierto y los saqueos.

- Sistema Shanks es un sistema de extracción de salitre de baja ley (13% de nitrato) que evita grandes pérdidas. Este método fue usado por la oficina Chacabuco, Coya Sur, y José Francisco de Vergara.

- Sistema Guggenheim es un sistema que reduce al mínimo el consumo de energía y aprovechaba el caliche de muy baja ley (menos del 7% de nitrato). Este sistema fue utilizado por María Elena (Ex Coya Norte) y Pedro de Valdivia.

- Locomotoras. La empresa británica operaba primeramente con locomotoras a vapor Kitson-Meyer, del tipo "articuladas" para el tramo más escarpado entre Tocopilla - Barriles y "semiarticuladas" para el tramo comprendido entre Barriles y El Toco. Luego, las locomotoras a vapor fueron sustituidas por locomotoras eléctricas General Electric tipo "Boxcab", las cuales corrían a 12 km/h. Por último, locomotoras Diesel-eléctricas apodadas los "gigantes de la pampa", debido a su peso de 87 toneladas y su importante fuerza de tracción reemplazaron a las Boxcab. Tras el cierre, las locomotoras fueron dadas de baja y convertidas en chatarra, muchas de las locomotoras aquí nombradas aún pueden ser encontradas abandonadas en las dependencias de SQM.

- Dada su condición de valle, durante el periodo salitrero comprendido entre fines del siglo XIX y la primera mitad del siglo XX, la localidad se dedicará en su totalidad a la siembra, convirtiéndose en una zona estratégica para los mercados y oficinas salitreras circundantes, ubicadas en el Cantón del Toco. La presencia del tren también favoreció a que Quillagua se consolidase como un asentamiento agrícola y pastoril. Durante el año 1911 comienza la construcción de la Estación Quillagua (Figura 22), la cual formaría parte del "Ferrocarril Longitudinal Norte", una de las dos redes ferroviarias centrales que conectan actualmente desde Tarapacá

al puerto de Valparaíso. Lamentablemente, las dependencias de la estación Quillagua fueron desmanteladas y sus edificios, construidos en pino Oregón, fueron saqueados.

En nuestros días, la oficina salitrera María Elena cuenta con una declaratoria de Zona Típica realizada en 2008, la cual abarca una superficie total de 256 Ha. Se valoran en dicha declaratoria el valor arquitectónico y urbanístico de sus viviendas, edificios y trazados de influencia británica. La conservación y el rescate patrimonial de estos lugares resultan de vital importancia ya que las oficinas salitreras forman parte importante de la historia política, social, cultural y económica de nuestro país.

4.11 Turismo y Patrimonio

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 Ojos de Opache, Las Cascadas 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). El tercer balneario se encuentra en Quillagua y tiene un uso local y dependiente al nivel del caudal, pero durante la mayoría de los días del año se encuentra seco.

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.

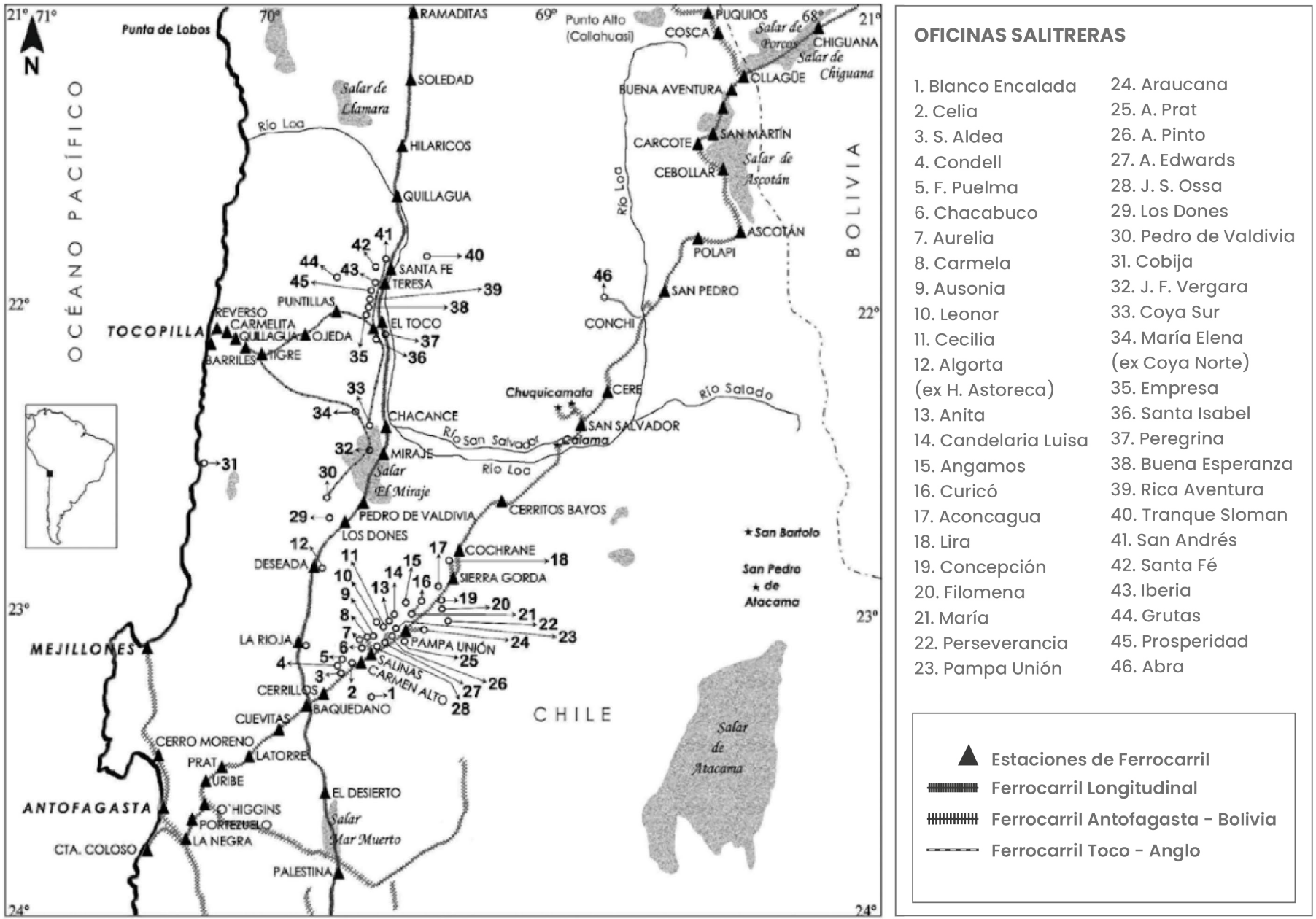
De acuerdo con la revisión de antecedentes teóricos, se plantea como definición conceptual de los servicios ecosistémicos (SE) del río, a aquellos que brindan los ecosistemas: protección de la biodiversidad y conservación de los hábitats acuáticos, belleza escénica o paisajismo y el turismo asociado. La clasificación CICES propone tres categorías de servicios ecosistémicos, los cuales corresponden a: Servicios de aprovisionamiento, Servicio de mantención o regulación y Servicios culturales.

4.12 Historia e identidad

4.12.1 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 Fernández, 2009).



OFICINAS SALITRERAS

1. Blanco Encalada
2. Celia
3. S. Aldea
4. Condell
5. F. Puelma
6. Chacabuco
7. Aurelia
8. Carmela
9. Ausonia
10. Leonor
11. Cecilia
12. Algorta (ex H. Astoreca)
13. Anita
14. Candelaria Luisa
15. Angamos
16. Curicó
17. Aconcagua
18. Lira
19. Concepción
20. Filomena
21. María
22. Perseverancia
23. Pampa Unión
24. Araucana
25. A. Prat
26. A. Pinto
27. A. Edwards
28. J. S. Ossa
29. Los Dones
30. Pedro de Valdivia
31. Cobija
32. J. F. Vergara
33. Coya Sur
34. María Elena (ex Coya Norte)
35. Empresa
36. Santa Isabel
37. Peregrina
38. Buena Esperanza
39. Rica Aventura
40. Tranque Sloman
41. San Andrés
42. Santa Fé
43. Iberia
44. Grutas
45. Prosperidad
46. Abra

▲ Estaciones de Ferrocarril
Ferrocarril Longitudinal
Ferrocarril Antofagasta - Bolivia
Ferrocarril Toco - Anglo

Fig. 22. Mapa de oficinas salitreras en el norte grande (Vilches et al., 2008).

4.12.2 Celebraciones relacionadas al río Loa

Los poblados a lo largo del río Loa tienen celebraciones tradicionales y religiosas relacionadas con la prosperidad de la Madre Tierra (Pacha Mama), tales como: Aniversario Patrono San José en Cupo, Viernes Santo, La Cruz de Mayo, Aniversario del Patrono de San Isidro de Lasana, entre otros. En el caos de río Lao Bajo, Quillagua celebra el patrón de Quillagua a San Miguel de Arcángel, La Cruz de Mayo, Carnaval, el año Nuevo Aymara, la canción del niño Jesús, el día de todos los santos y el día de la comunidad Aymara de Quillagua.

Iglesia de Chiu Chiu

5. OPORTUNIDADES PARA EL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD CIENTÍFICA

El diagnóstico de Landata incluye un análisis estadístico de la literatura científica relacionada con el Desierto de Atacama (DA), tanto producida en el territorio como enfocada en él. Este análisis se orienta a evaluar el volumen de investigaciones, las redes de colaboración y a caracterizar líneas de investigación vigentes. Para ello, en WoS se identificaron topónimos presentes dentro del polígono definido como caso de estudio, los cuales se combinaron con diversos conceptos clave, permitiendo un análisis bibliográfico que incorpora publicaciones sobre territorios o fenómenos contenidos en dicho polígono. La base de datos fue construida a partir del siguiente algoritmo de búsqueda:

TS=((("Loa" OR "Chiuchiu" OR "Chiu Chiu" OR "Calama" OR "Chuquicamata" OR "María Elena" OR "Salado river" OR "río salado" OR "Quillagua") AND "Chile") OR (("Lasana" OR "Conchi") AND "Atacama"))

Este enfoque presenta una limitación, ya que excluye investigaciones realizadas en el polígono que no mencionan explícitamente los topónimos seleccionados en sus títulos, resúmenes o palabras clave. Por ello, para una comprensión integral de las investigaciones en el DA, este análisis debe complementarse con la información disponible en la ficha extensa de Landata disponible para descarga aquí:

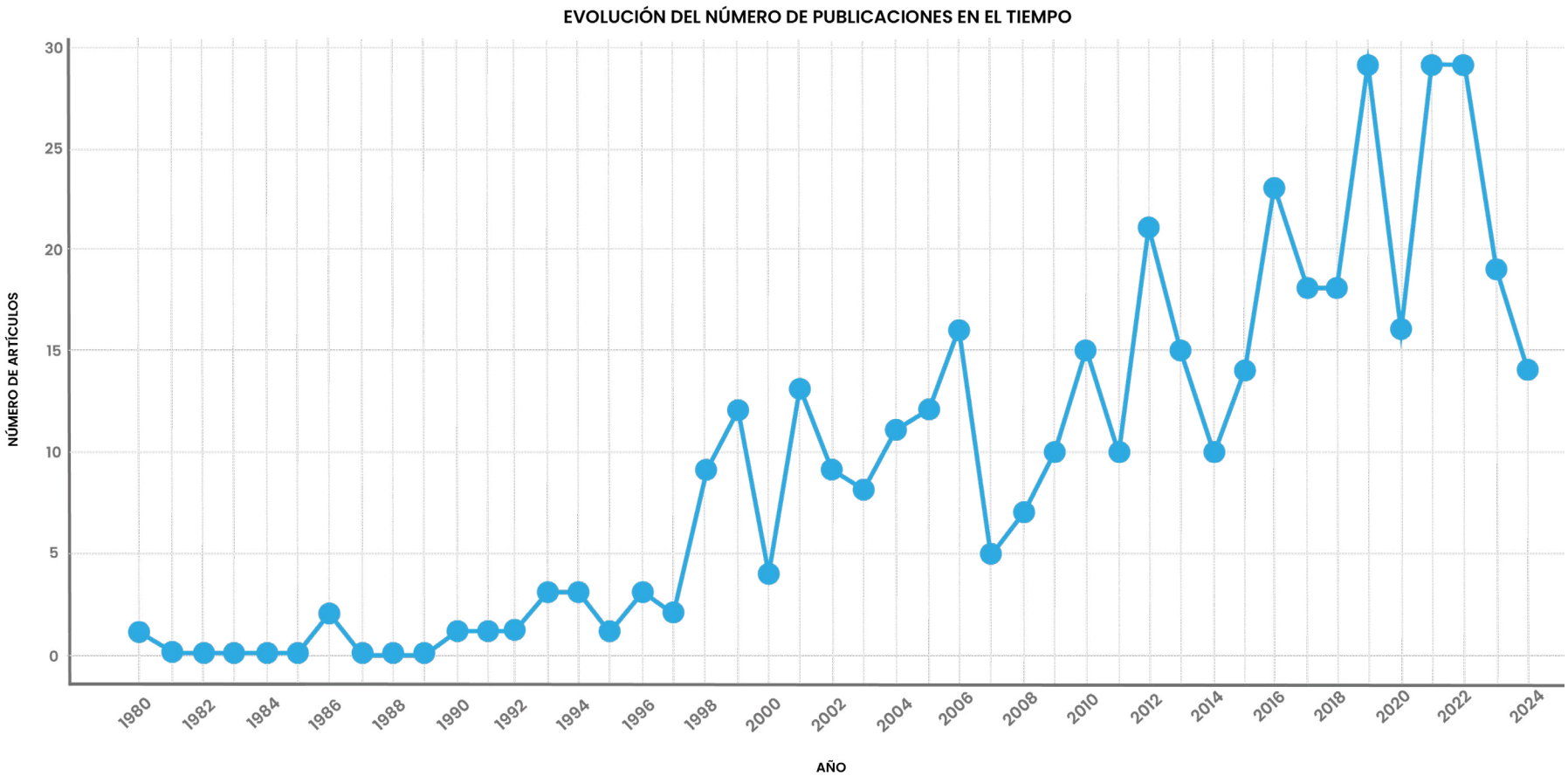


Fig 43. Número de publicaciones identificadas en este caso de estudio a través del análisis bibliométrico del mismo.

Con esta búsqueda se identificaron 414 publicaciones científicas, abarcando desde 1980 hasta 2024. La tasa de crecimiento anual es de 6,18 papers por año (Fig. 43), con un promedio de 20 citas por publicación. Las instituciones con mayor producción en el territorio incluyen la U. de Chile, la U. Católica del Norte, la Pontificia U. Católica de Chile, la U. de Tarapacá y la U. de Antofagasta. Respecto a la colaboración internacional, el 43,48% de las investigaciones en la BBDD fueron publicadas en cooperación entre dos o más países. Según la Fig. 44, los países con mayor número de publicaciones en el polígono son Chile, Estados Unidos y Argentina.

Se realizó también un análisis de co-ocurrencias de palabras clave para identificar y caracterizar las líneas de investigación, en colaboración con investigadores de Landata expertos en el caso de estudio, lo cual permitió contextualizar los datos. Cada línea se clasificó en función de dos variables: su conexión con el resto del área científica y su cohesión interna, facilitando así la medición de su centralidad y densidad. En la tabla Nº 2, se presentan los nombres de las líneas de investigación, una breve descripción, el número de publicaciones categorizadas y una interpretación de su centralidad y densidad.

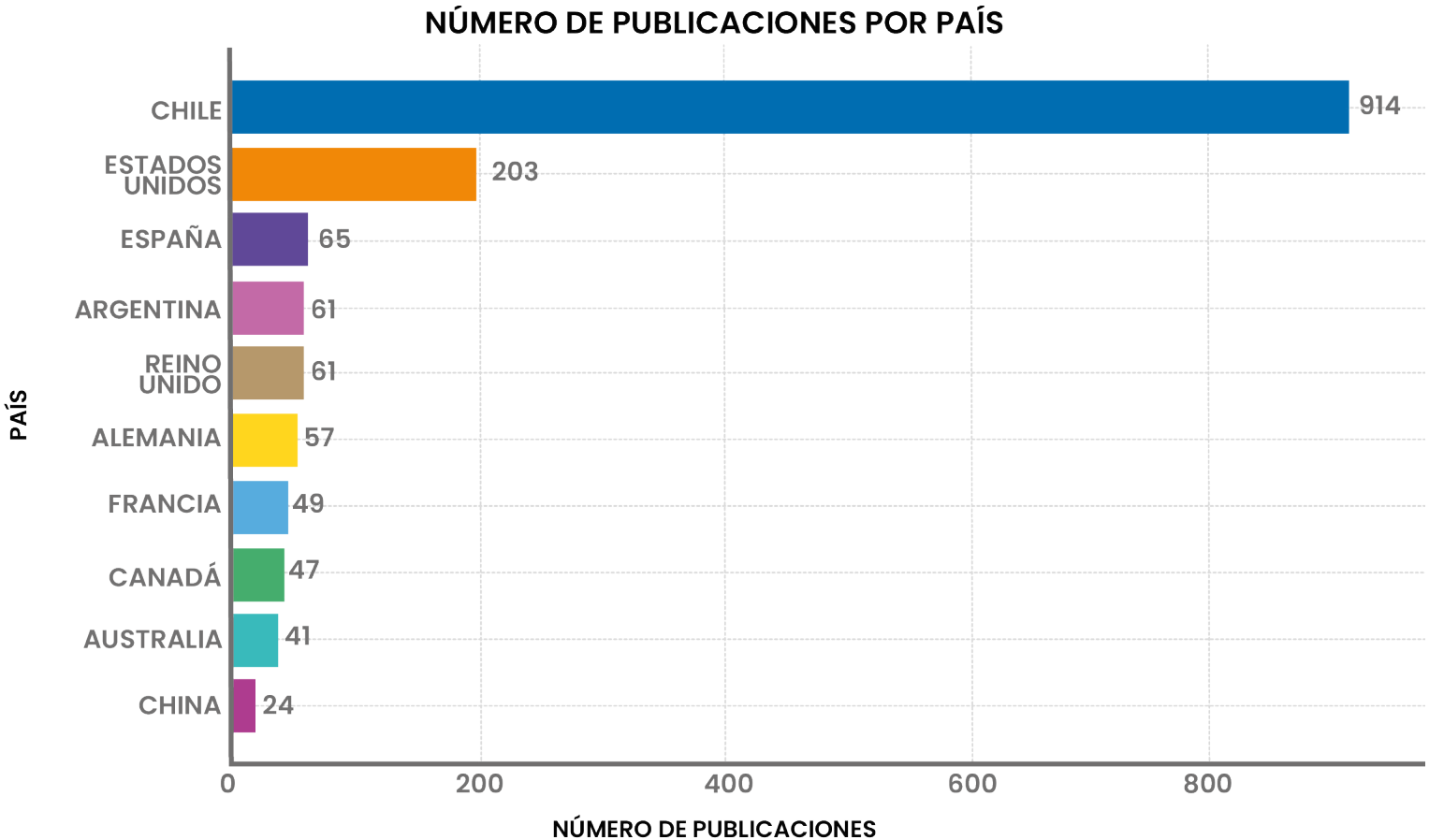


Fig 44. Número de publicaciones por país identificadas en este caso de estudio a través del análisis bibliométrico del mismo.

TABLA N°2			
Nombre de la línea de investigación	**Descripción general de la línea**	**N° de publicaciones**	**Posición en la red de clústeres (centralidad y densidad e interpretación)**
Extractivismo, Recarga de Acuíferos y Arte Rupestre en el Desierto de Atacama y los Andes Centrales	Esta línea investiga las interrelaciones entre el extractivismo minero, la recarga y gestión de aguas subterráneas, y el patrimonio cultural en forma de arte rupestre. Aborda el impacto de la minería en la calidad del agua, estudios sobre la recarga de acuíferos en zonas áridas y el análisis de sitios de arte rupestre asociados al Qhapaq Ñan en el Alto Loa.	14	**Centralidad alta (0,525):** Está bien conectado con otros clústeres, indicando su relevancia interdisciplinaria y su influencia en múltiples áreas de estudio. **Densidad moderada (55,83):** Existe una buena cohesión entre las publicaciones, aunque hay margen para aumentar las interconexiones y colaboración entre estudios.
Enriquecimiento Supergénico y Formación de Atacamita en Depósitos de Cobre Porfírico del Norte de Chile	Se enfoca en los procesos de enriquecimiento supergénico y la formación de minerales como la atacamita en depósitos de cobre porfírico. Explora anomalías geoquímicas y transformaciones mineralógicas en superficie y subsuperficie, analizando cómo los cambios climáticos han influido en estos procesos.	3	**Centralidad baja (0):** No presenta conexiones con otros clústeres, lo que sugiere que es un área muy especializada o un nicho de investigación. **Densidad alta (125):** Las publicaciones están altamente interconectadas, indicando una fuerte cohesión temática y un enfoque muy específico dentro del clúster.
Geología y Tectónica del Antearco en el Norte de Chile y su Influencia en Depósitos de Cobre Porfírico	Estudia la geología y evolución tectónica del antearco en el norte de Chile, analizando cómo las estructuras preexistentes han influido en el desarrollo de la cordillera de los Andes y en la formación de depósitos de cobre porfírico. Incluye métodos de datación U-Pb y análisis estructural para comprender la historia tectónica de la región.	10	**Centralidad media (0,2708): Tiene conexiones moderadas con otros clústeres, reflejando su importancia en el contexto geológico y tectónico.** **Densidad moderada (58,93): Las publicaciones están bien conectadas entre sí, mostrando una cohesión temática sólida.**
Aplicaciones de Isótopos en Estudios Paleoclimáticos, Hidrológicos y Arqueológicos en el Desierto de Atacama	Utiliza análisis de isótopos estables y radiogénicos para estudiar el paleoclima, la evolución hidrogeoquímica y prácticas culturales en el Desierto de Atacama. Incluye investigaciones sobre el inicio de la hiperaridez, reconstrucción de dietas y movilidad humana durante el Período Formativo y el Período Intermedio Tardío, y aportes volcánicos al Salar de Atacama.	9	**Centralidad baja (0,1875):** Las conexiones con otros clústeres son limitadas, indicando una especialización en el tema. **Densidad alta (81,53):** Existe una alta interconexión entre las publicaciones, reflejando una fuerte cohesión y enfoque temático.

Nombre de la línea de investigación	Descripción general de la línea	Nº de publicaciones	Posición en la red de clústeres (centralidad y densidad e interpretación)
Descubrimiento de Nuevos Minerales y Diversidad Genética de Especies Nativas en el Desierto de Atacama	Se enfoca en el descubrimiento y caracterización de nuevos minerales en la mina Alcaparrosa, así como en estudios sobre la diversidad genética de especies vegetales nativas como Geoffroea decorticans y Prosopis. Utiliza técnicas mineralógicas y marcadores moleculares para profundizar en la geodiversidad y biodiversidad de la región.	7	**Centralidad baja (0):** Sin conexiones con otros clústeres, lo que sugiere un área muy especializada. **Densidad moderada (69,68):** Buena cohesión interna entre las publicaciones del clúster, indicando un enfoque temático bien definido**.**
Desarrollo de Técnicas Voltamperométricas para la Detección de Arsénico en Aguas Naturales	Se centra en desarrollar y optimizar métodos voltamperométricos para la detección sensible y selectiva de arsénico en muestras de agua. Incluye la modificación de electrodos con materiales como hidrogel de carragenina y mezclas de hongos comestibles con Nafion, y el uso de agentes quelantes y surfactantes para mejorar la señal electroquímica y prevenir interferencias.	3	**Centralidad baja (0): No presenta conexiones con otros clústeres, indicando que es un área muy específica.** **Densidad baja (33,33):** Poca interconexión entre las publicaciones, lo que sugiere que podría fortalecerse la cohesión temática y promover mayor colaboración.
Aplicación de Técnicas Arqueométricas en el Estudio del Período Formativo en el Desierto de Atacama	Utiliza técnicas arqueométricas avanzadas para analizar materiales arqueológicos del Período Formativo. Incluye estudios osteométricos y paleopatológicos de camélidos, modelado de prácticas de lactancia y destete mediante análisis isotópicos, caracterización mineralógica de minerales de cobre y aplicación de mineralogía automatizada en cerámicas.	4	**Centralidad baja (0):** Sin conexiones con otros clústeres, indicando especialización en un nicho específico. **Densidad moderada (50):** Cohesión temática adecuada entre las publicaciones, aunque hay espacio para aumentar la interconexión.
Evolución Geológica y Biodiversidad de la Cuenca de Calama y el Desierto de Atacama	Estudia la evolución geológica, estratigráfica y tectónica de la Cuenca de Calama y el Desierto de Atacama desde el Eoceno hasta el Pleistoceno. Incluye investigaciones sobre cambios climáticos del Neógeno, procesos de levantamiento andino, eventos hidrológicos significativos y estudios sobre biodiversidad y sistemática de nuevas especies.	13	**Centralidad baja (0):** No presenta conexiones con otros clústeres, sugiriendo especialización temática. **Densidad moderada (68,06):** Buena cohesión interna entre las publicaciones, indicando un enfoque temático consistente.

Nombre de la línea de investigación	Descripción general de la línea	Nº de publicaciones	Posición en la red de clústeres (centralidad y densidad e interpretación)
Clima y Tectónica en el Norte de Chile: Impacto en Geomorfología, Agricultura y Sismicidad	Comprende la interacción entre el clima y la tectónica en el norte de Chile y su influencia en la evolución geomorfológica, la agricultura y la actividad sísmica. Incluye estudios sobre paleosuperficies, adaptaciones agrícolas en suelos salinos y análisis de eventos sísmicos intraplaca para comprender la sismicidad asociada a procesos tectónicos.	4	**Centralidad baja (0):** Sin conexiones con otros clústeres, indicando un enfoque específico. **Densidad moderada (50):** Cohesión temática adecuada entre las publicaciones, aunque podría fortalecerse.
Ecosistemas y Biodiversidad en el Desierto de Atacama y Zonas Costeras del Norte de Chile	Se centra en el estudio de los ecosistemas y la biodiversidad en el Desierto de Atacama y las áreas costeras adyacentes. Incluye análisis de la estructura y función de ecosistemas en gradientes altitudinales, dinámica de comunidades biológicas en zonas de surgencia costera, especiación y distribución de flora y fauna, y estudios sobre la presencia de arsénico en organismos acuáticos.	16	**Centralidad baja (0,1667):** Presenta algunas conexiones con otros clústeres, reflejando cierta interdisciplinariedad. **Densidad alta (65,51):** Alta cohesión temática y fuerte interconexión entre las publicaciones, indicando un área de investigación bien establecida.
Dinámica de Surgencia Costera y Variabilidad Oceanográfica en el Sistema de Corriente de Humboldt en el Norte de Chile	Se enfoca en el estudio de la dinámica de surgencia costera y la variabilidad oceanográfica en el Sistema de Corriente de Humboldt. Incluye modelos numéricos tridimensionales, análisis de la influencia de fenómenos como El Niño y La Niña, estudio de la composición bioquímica del seston y evaluación de la distribución de especies marinas y riesgo de captura incidental en pesquerías.	6	**Centralidad baja (0):** Sin conexiones con otros clústeres, indicando especialización. **Densidad alta (115,63):** Muy alta cohesión interna, con publicaciones estrechamente relacionadas y un enfoque temático sólido.
Biorremediación de Metales Pesados en Sistemas Acuáticos mediante Microalgas y Cianobacterias	Evalúa y optimiza el uso de microalgas y cianobacterias para la biorremediación de metales pesados y metaloides en sistemas acuáticos contaminados. Investiga el impacto de la materia orgánica y la adición de CO_2 en la capacidad de especies como Chlorella vulgaris y Scenedesmus almeriensis para remover metales en matrices multimetálicas.	3	**Centralidad baja (0):** Sin conexiones con otros clústeres, indicando un nicho de investigación. **Densidad moderada (62,5):** Buena cohesión temática entre las publicaciones, aunque podría beneficiarse de mayor interconexión.

Nombre de la línea de investigación	Descripción general de la línea	Nº de publicaciones	Posición en la red de clústeres (centralidad y densidad e interpretación)
Cazadores-Recolectores del Holoceno Medio y Transición Arcaico-Formativo en la Puna de Atacama	Estudia las sociedades de cazadores-recolectores que habitaron la Puna de Atacama durante el Holoceno Medio (ca. 8000-5500 años cal AP). Analiza cronología, tecnología lítica y subsistencia, destacando su movilidad y estrategias adaptativas en un entorno árido, así como la transición hacia modos de vida más sedentarios en el Período Formativo Temprano.	3	**Centralidad baja (0)**: Sin conexiones con otros clústeres, indicando especialización temática. **Densidad alta (83,33)**: Alta cohesión interna y fuerte interrelación entre las publicaciones, reflejando un enfoque especializado y consistente.

El análisis de las líneas de investigación relacionadas con el río Loa en el Desierto de Atacama revela una actividad científica diversa y significativa, con un equilibrio entre estudios altamente conectados e interdisciplinarios y áreas especializadas con fuerte cohesión interna.

Las investigaciones sobre los impactos ambientales y sociales de la minería en la cuenca del río Loa destacan por su alta centralidad, reflejando su importancia crítica y amplia conexión con temas como la contaminación por arsénico, la gestión de recursos hídricos y la implementación de energías renovables. Esta centralidad subraya la necesidad de abordar los desafíos asociados a la actividad minera mediante enfoques integrados que influyan en políticas públicas y prácticas sostenibles.

Por otro lado, áreas especializadas como los estudios geológicos y mineralógicos del yacimiento porfirítico de Chuquicamata y las aplicaciones de isótopos en investigaciones paleoclimáticas y arqueológicas aportan conocimientos profundos en nichos específicos, aunque con menor centralidad. La baja centralidad en varias líneas sugiere oportunidades para fortalecer las conexiones interdisciplinarias. Fomentar estas colaboraciones podría enriquecer las investigaciones, permitiendo abordar los desafíos ambientales y sociales de la región desde perspectivas más integrales y potenciando el impacto científico y el desarrollo sostenible en el Desierto de Atacama.

Quebrada Ojo de Opache

6. OPORTUNIDADES PARA EL SECTOR PRODUCTIVO

A continuación, se enlistó las áreas de interés por el sector productivo que tiene el caso de estudio Cuenca del río Loa:

- Energías renovables no convencionales
- Uso de servicios para el turismo
- Minería
- Restaurante con comida típicas

Por ejemplo, en Quillagua, se señaló el interés en potenciar el turismo mediante la construcción de domos para observar las estrellas y de un restaurante de comidas típicas de la zona. Además, impulsar el turismo del Valle de Meteoritos, el Museo Antropológico y otros atractivos señalados previamente, para que Quillagua sea un pueblo turístico.

Por lo tanto, el potencial turístico producto de diversas singularidades del territorio de Quillagua, se perfila como una opción clara de desarrollo: los petroglifos, el Valle de Meteoritos, el tranque Sloman, el patrimonio arqueológico, la estación de ferrocarriles, el Monte de Oro, el Camino del Inca y lugares de observación astronómica.

Similarmente en Calama descubrieron varios puntos con gran potencial para el desarrollo científico y/o turístico, ya sea por su valor cultural e histórico, por su belleza escénica o su valor como patrimonio natural (alberga especies endémicas u otras especies de interés, hay desarrollo de microorganismos extremófilos, presenta una geología expuesta que abre una ventana hacia el pasado, etc.).

7. OPORTUNIDADES PARA LA SOCIEDAD

A continuación, se enlistó las áreas de interés por la sociedad que tiene el caso de estudio Cuenca del río Loa:

- Valoración del Patrimonio e identidad cultura
- Agricultura en el Desierto
- Educación
- Generación de museos e investigaciones ligadas a la ciencia en el desierto

Por ejemplo, en Quillagua, se mostró interés por mejorar los servicios del pueblo, en particular, por la instalación de un liceo de enseñanza media. Además, los habitantes del pueblo de Quillagua manifiestan el deseo de conservar la historia del pueblo y de sus habitantes y transmitirla a las futuras generaciones como patrimonio cultural inmaterial. Por otro lado, los habitantes de Calama declaran habitar un territorio dañado por la producción y sus consecuencias, pero al mismo tiempo, se mantienen esperanzados por el aumento de la conciencia medioambiental y por el desarrollo de instituciones y entidades legales que protejan al DA y a sus habitantes.

En el caso de Calama, los actores estratégicos buscan la generación de museos y de investigaciones ligadas al uso de suelos similares a Marte y avances de la investigación de microorganismos extremófilos.

Desembocadura del Río Loa (Foto Ministerio Medio Ambiente)

8. NECESIDADES HABILITANTES

A lo largo de la Cuenca del río Loa se identifican las siguientes contingencias ambientales (o necesidades) que derivan en conflictos (Ver tabla Nº 3).

Los actores involucrados en estos conflictos son los siguientes:

- Comunidad Aymara de Quillagua
- Junta de Vecinos de Quillagua
- Junta de Vecinos de Chíu-Chíu
- Empresas mineras (ej.: Codelco)
- Empresas de Energía Eólica, Fotovoltaica, y Solar
- Dirección General de Aguas (DGA)
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA)
- Corfo
- Minsal
- Ministerio de Economía
- Corporación Municipal de Educación
- Agua Potable Rural (APR) de Quillagua
- Sernageomin
- Municipalidad de María Elena
- Municipalidad de Calama
- Municipalidad de Ollagüe
- Consejo de Pueblos Atacameños (CPA)
- Conadi
- Organizaciones Civiles (ej.: Centro de Estudio de Montaña, Asociación de Agricultores de Calama)
- Colegios de Quillagua y Calama
- Centro de Ecología Aplicada (CEA)
- Agretur
- SAG, Aduanas, Carabineros (zona limítrofe entre Región Antofagasta y Tarapacá)
- Universidad de Antofagasta
- Ceitsaza
- Enel Greenpower Chile (Geotermia)

TABLA N°3	
NECESIDAD	**CONFLICTO**
Agua	Uso de recursos hídricos de la cuenca por parte de la actividad minera
Conservación y rescate patrimonial e histórico	La falta de recursos para la conservación y rescate patrimonial e histórico
Paisaje más limpio	Potenciales impactos en el paisaje
Medioambiente menos contaminado	Residuos mineros que afectan potencialmente el medioambiente
Seguridad e información	Potencial riesgo volcánico
Especies en peligro de extinción	Recursos hídricos con biodiversidad frágil a impactos ambientales
Agricultura local	Recursos hídricos con biodiversidad frágil a impactos ambientales
Salvaguardar los recursos hídricos y la biodiversidad	Existencia de potenciales procesos de contaminación hacia el medioambiente (recursos hídricos y biodiversidad)
Protección de los sitios arqueológicos chilenos	La falta de protección de los sitios arqueológicos chilenos (sufren de abandono, saqueo y desmantelamiento)
Eliminar los agentes tóxicos de las aguas como el Arsénico	Potenciales receptores de agentes tóxicos procedentes del sistema natural y de la actividad minera
Mayor conocimiento del arsénico	Potencial aporte natural de Arsénico a los recursos hídricos y suelos
Apropiación indebida de la tierras	Inseguridad en la tenencia de la tierra

8.1 Sector de Calama y Chiu Chiu

El primer sector identificado en la Cuenca donde se generan conflictos es el Tranque o Salar de Talabre, ya que se encuentra muy próximo a poblaciones y recursos protegidos, incluyendo recursos naturales renovables tales como el agua y suelos de tierras indígenas de producción agroganadera, milenaria reproducción cultural y gran potencial turístico (DGA, 2016). El área de influencia del proyecto de CODELCO no solo intercepta acuíferos protegidos, sino que se superpone a territorios indígenas protegidos, inscritos y no inscritos. La sola ubicación del Tranque de Talabre en el ADI Alto El Loa conlleva un riesgo elevado de contaminación del área con material particulado (Barros y Pereira, 2013). Además, CODELCO reconoce que el Tranque de Talabre contamina los acuíferos circundantes a sus operaciones más de lo que éstos ya se encuentran contaminados, aunque desconoce la eventual conexión de estos con el curso del río Loa.

Los Ojos De Opache es un oasis al sur de Calama (Figura 23) y un reservorio de una especie endémica como Telmatobius dankoi. 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. Además, también se ha identificado el Pejerrey del Norte (Basilichthys semotilus). Hoy en día Ojos de Opache ha sido impactado por campamentos irregulares (Figura 23) que conllevan problemas de acceso y potencial contaminación del suelo, agua y aire.

Fig. 23. Foto del campamento ubicado en Ojos de Opache (fotos cedidas por Dr. Marco Méndez)

8.2 Sector de Quillagua

El primer sector identificado en la Cuenca donde se generan confLa zona de Quillagua es el principal punto de recepción de la contaminación, principalmente a partir del uso de las aguas superficiales del río Loa, y tal vez el uso de aguas de noria no identificadas oficialmente, por lo cual, acorde a la dirección de flujo de las aguas subterráneas, cualquier foco de contaminación antrópica aguas arriba del pueblo, generaría en primera instancia problemas en el funcionamiento de la planta de tratamiento de agua potable, conllevando a un problema en el abastecimiento del recurso hídrico de uso diario en el pueblo y posibles daños a los cultivos regados con aguas contaminadas. La existencia de elevados niveles de Arsénico en las aguas del río Loa, no se consideran dañinas para el uso como bebestible, debido a la que la planta de potabilización de agua trata el contenido de arsénico en dichas aguas, sin embargo, las aguas utilizadas directamente para riego podrían causar daños en los cultivos aún existentes en la zona de Quillagua.

Son pocos los derechos de agua subterránea otorgados en las subcuencas, estos son utilizados para usos en minería no metálica y otros. Debido al poco estudio realizado sobre la hidrogeología de la zona, es complejo determinar el estado del balance hídrico del acuífero, no conociéndose si este se encuentra en un estado de equilibrio, déficit o sobreexplotación.

Parque eólico cercano a Calama

9. QUÉ VAMOS A HACER: HOJA DE RUTA

Se recogió la información entregada por los actores estratégicos en las actividades de la línea de tiempo (taller 0) y mapa cartográfico (taller). Luego, se validó la información en un taller 2 mediante la confección de fichas llamada "Visión-Brechas-Acciones" que contienen: i) los temas de interés de los actores locales, ii) la visión del futuro, la proyección y los sueños; iii) situación actual y brechas que define la distancia entre la situación actual y la visión; y iv) acciones que serían propuestas de acciones con una base científica.

Los actores estratégicos que participaron en los talleres de Calama determinaron 8 temas en relación a la cuenca del río Loa y que son relevantes para el territorio, de mayor a menor interés: 1) Agua, 2) agricultura y ganadería, 3) biodiversidad, 4) educación, 5) energía, 6) minería, 7) turismo y patrimonio y 8) transversal (ver anexo 11.3). Por otro lado, en el taller de y Quillagua se determinó 9 temas en relación a la cuenca del río Loa de mayor a menor interés: 1) Agua, 2) agricultura, 3) biodiversidad, 4) educación, 5) energía, 6) turismo y patrimonio, 7) historia e identidad, 8) transversal y 9) Geodiversidad (ver anexo 11.3).

En particular, en cada mesa de trabajo en Calama se destacaron algunas temáticas que son de especial relevancia para la comunidad, tanto por ser fuente de conflictos como también por tener potencial turístico o patrimonial. Estos temas fueron:

Pueblo Lickanantay: se identifica esta cultura en todo el territorio del caso de estudio y más allá. Tiene un alto valor patrimonial.

- Agricultura: es una actividad que se ha visto fuertemente afectada debido a la escasez y contaminación del agua proveniente del río Loa y también a la contaminación del suelo, causada principalmente por la actividad minera. El impacto ha sido tal que se ha reducido a una agricultura de subsistencia. Los asociados de la ASAC son 250 personas, todos adultos mayores. Si les ofrecen suficiente dinero por sus terrenos los venden. Hay 1300 agricultores, la mayoría produce para su autoconsumo. No tienen suficiente terreno como para producir comercialmente. Dice que la gente de Chíu-Chíu usa más agua del río Loa de la que les corresponde,

por lo que los agricultores de Calama riegan con 30% de agua del río Loa y 70% del río Salado. Este último río tiene altos niveles de arsénico y boro, por ende, en Calama no se pueden cultivar árboles frutales, ni zanahorias, entre otros. Hay investigaciones que sugieren que existe una cierta adaptación de las plantas de cultivo locales debido a que no brotan semillas externas, sino solamente aquellas obtenidas de las plantaciones de los mismos agricultores. Además, se requiere casi el triple de semillas que las utilizadas en otros territorios para obtener una producción similar. Sólo algunos agricultores de Calama producen semillas (adaptadas a la zona), por lo tanto, dominan el mercado. Eso tiene como consecuencia un costo altísimo de las semillas. Pone como ejemplo que 1 kilo de alfalfa cuesta $15.000 a $20.000 en Santiago, pero en Calama cuesta de $40.000 a $70.000.

Un agricultor comenta la situación de Ovalle, que frente a la sequía ha visto amenazada su producción de queso de cabra. Dice que, si Ovalle deja de ser una zona productora de quesos, Calama puede convertirse en la nueva zona productora de queso de cabra. Ya tienen una producción a partir de la raza Saanen. No ha conseguido financiamiento para instalar una planta procesadora de queso, aunque ha postulado a fondos. Otra dificultad que enfrenta esta actividad agropecuaria, es el alto costo del fardo de pasto, que alcanza los $15.000. El representante de los agricultores explica que en Calama hay sólo 8 meses para cultivar. Los 4 meses restantes no crece nada, porque las heladas no lo permiten. Por lo tanto, Calama no produce alfalfa en invierno, les hace falta la alfalfa que producía Quillagua en el pasado.

- Minería: Un miembro de la ASAC reconoce que la minería es importante para el desarrollo, agregando la observación de que el supuesto "sueldo de Chile" se va para Santiago y no queda para los habitantes del territorio. Indica que es posible la existencia de buenas relaciones con la minería, pone como ejemplo a la minera Lomas Bayas, con quien la ASAC mantiene vínculos desde hace unos 12 años, que ha realizado acciones en beneficio de los agricultores, a pesar de ser una empresa de capitales extranjeros. Lomas Bayas usa agua río abajo, donde no hay desarrollo de agricultura, por lo tanto, su impacto es mínimo. Cabe resaltar que, para cada uno de los lugares y temas identificados, más allá de las problemáticas o potenciales levantadas, los asistentes revelaron el profundo vínculo que los une a su territorio, señalando historias y anécdotas que muestran una fuerte conexión con su entorno.

- Educación: Los asistentes al taller exponen la educación ambiental como una necesidad, los habitantes del territorio deben conocer su territorio.

Por otro lado, en cada mesa de trabajo en Quillagua se destacaron algunas temáticas que son de especial relevancia para la comunidad, tanto por ser fuente de conflictos como también por tener potencial turístico o patrimonial. Estos temas fueron:

- Agua: se señala que el Loa alto no está contaminado, pero sí lo está el Loa bajo, lo que afecta directamente este sector. Además, la escasez hídrica se evidencia durante casi seis meses al año cuando el río Loa está casi seco. Este fenómeno se atribuye al uso que le da la minería al recurso hídrico, a la venta de los derechos de agua, pero no se atribuye a causas naturales. En este sentido se señala que el nacimiento del río Loa, en el Miño, no ha sufrido cambios relacionados con escasez hídrica. También se menciona la falta de control y fiscalización por parte de la DGA. Sienten que, por estar el pueblo ubicado cerca de la desembocadura del río, son los últimos en usar el río y resultan perjudicados.

- Arsénico (As): Las aguas del río Loa se caracterizan por su alta concentración natural de sales y elementos químicos como el arsénico, cuyos mayores aportes provienen del río Salado y de las aguas termales del Tatio. Esto restringe el uso de su agua, porque el arsénico es muy tóxico, además de la salinidad presente. Lamentablemente, la disminución actual del caudal del río, cuyas aguas se extraen con fines industriales y de abastecimiento a las grandes ciudades, concentra aún más las sales. Con ello se ha afectado la vida acuática y la productividad del valle. A pedido de la comunidad, el hidrogeólogo Dr. José Luque ha entregado infor-

mación sobre la concentración de arsénico en diferentes puntos del caudal del río Loa5. Frente lo cual los actores de la comunidad han quedado interesados en tener más información sobre el tema, aclarando el punto sobre que no existe abandono de tierras cultivables, sino que se han visto forzados a irse a la ciudad por la pérdida de tierras y de aguas a causa de la contaminación.

- Agricultura: En el pasado los productos principales de Quillagua eran el choclo, la alfalfa y el camarón. Dicen que el choclo era grande y dulce. El pueblo abastecía a Calama y había ganadería. Se manifiesta nostalgia por ese pasado donde la agricultura era el principal motor de desarrollo del pueblo y, además, era una forma de vida. El fin de la actividad agrícola se atribuye a la contaminación del río y de la tierra, como también al cierre de la estación ferroviaria. Hace poco hicieron un ensayo: regaron el suelo, sin tratar, con una mezcla de agua del río y agua potable y creció la alfalfa.

- Energía: se indica que desde hace dos meses el pueblo de Quillagua tiene luz 24/7, gracias a la insistencia por parte de la comunidad. Existe una planta pequeña que genera 300 kW. Ellos ocupan 150 kW. Cuando la población aumenta en época de fiestas, colapsan el agua, la luz y el teléfono. Por otro lado, les preocupan las consecuencias de la instalación de placas solares, que pueden significar enfermedad y contaminación. Piensan que las placas cambian el color del suelo, que parte de la energía que llega del sol a los paneles es absorbida, entonces se genera más calor. Si se hace un mal manejo de los residuos de las plantas solares, podría generarse un gran daño ambiental. De un buen manejo depende que el desierto no se transforme en un "cementerios de celdas solares".

- Minería: a pesar del entendimiento de que la minería es necesaria para el desarrollo del país, se muestra una aversión a esta actividad productiva, por ejemplo, en declaraciones como "a nosotros nos mató la minería. Éramos un pueblo productivo, agrícola y ahora no se puede cultivar nada ni tener ganadería porque la tierra y el agua están contaminadas". Se plantea la exigencia de que monitores culturales acompañen a las empresas en la toma de decisiones dado el gran patrimonio cultural que existe y que debe ser resguardado. Además, Sumado a lo anterior, desde la Comunidad Aymara, se comenta que tienen conversaciones activas con SQM para recibir ayuda. A los habitantes les gustaría que sus hijos tuvieran prácticas en la minera Antucoya.

- Turismo: Se destacan los petroglifos y el Valle de Meteoritos, el tranque Sloman, museos, el río Loa, la estación de ferrocarriles, el Monte de Oro, el Camino del Inca. También se señala el potencial para el turismo astronómico. Se señala el apoyo recibido por SQM para levantar pymes turísticas, gastronómicas y agrícolas.

- Información científica: Se comenta que a pesar de que saben que existe información relativa a su territorio, ésta no está disponible para la población en forma simple y pedagógica.

- Patrimonio- el Saqueo de los Sitios y la Protección del Patrimonio Cultural. El saqueo de los sitios patrimoniales, ya sean estos habitacionales, cementerios o ceremoniales, compromete la integridad de los sitios arqueológicos de Quillagua. También hay otras actividades que, no teniendo como objetivo este propósito, generan graves daños al patrimonio, por ejemplo, los trabajos camineros y otras actividades que incluyen movimientos de tierra. En la mayoría de los sitios, sobre todo en los cementerios, es posible constatar los saqueos en pozos de tipo circular en el que se ha dejado material cultural fracturado y esparcido alrededor de los mismos. Por ejemplo: "La máquina despedazó varios entierros dejando al descubierto tres individuos adultos que se encontraban cubiertos con esteras de fibra vegetal, algunos cestos planos, gruesas mantas de lana, además de una bolsa chuspa, sandalias, botellas y tiestos de cerámica". El hallazgo indicaba que el cementerio encontrado correspondía al Período Formativo (Agüero et al. 1995). Todos los materiales obtenidos de estos rescates fueron depositados en el museo local, sin embargo, actualmente no son parte de la exposición.

- Educación: Solo hay una Escuela de enseñanza básica. Los ha-

bitantes de Quillagua demandan la instalación de un liceo que tenga enseñanza media. Además, plantean la necesidad de tener formación/educación respecto del patrimonio cultural existente en el territorio, dirigida hacia personas que tengan o no una vinculación profesional (arqueólogos) o afectiva (comunidades indígenas) con éste, para promover la protección del patrimonio.

Los actores estratégicos de las mesas de trabajo de Calama y Quillagua comentaron sobre la visión de futuro con respecto al estado del río Loa. La mayoría de los habitantes en Calama entregó su visión futura sobre:

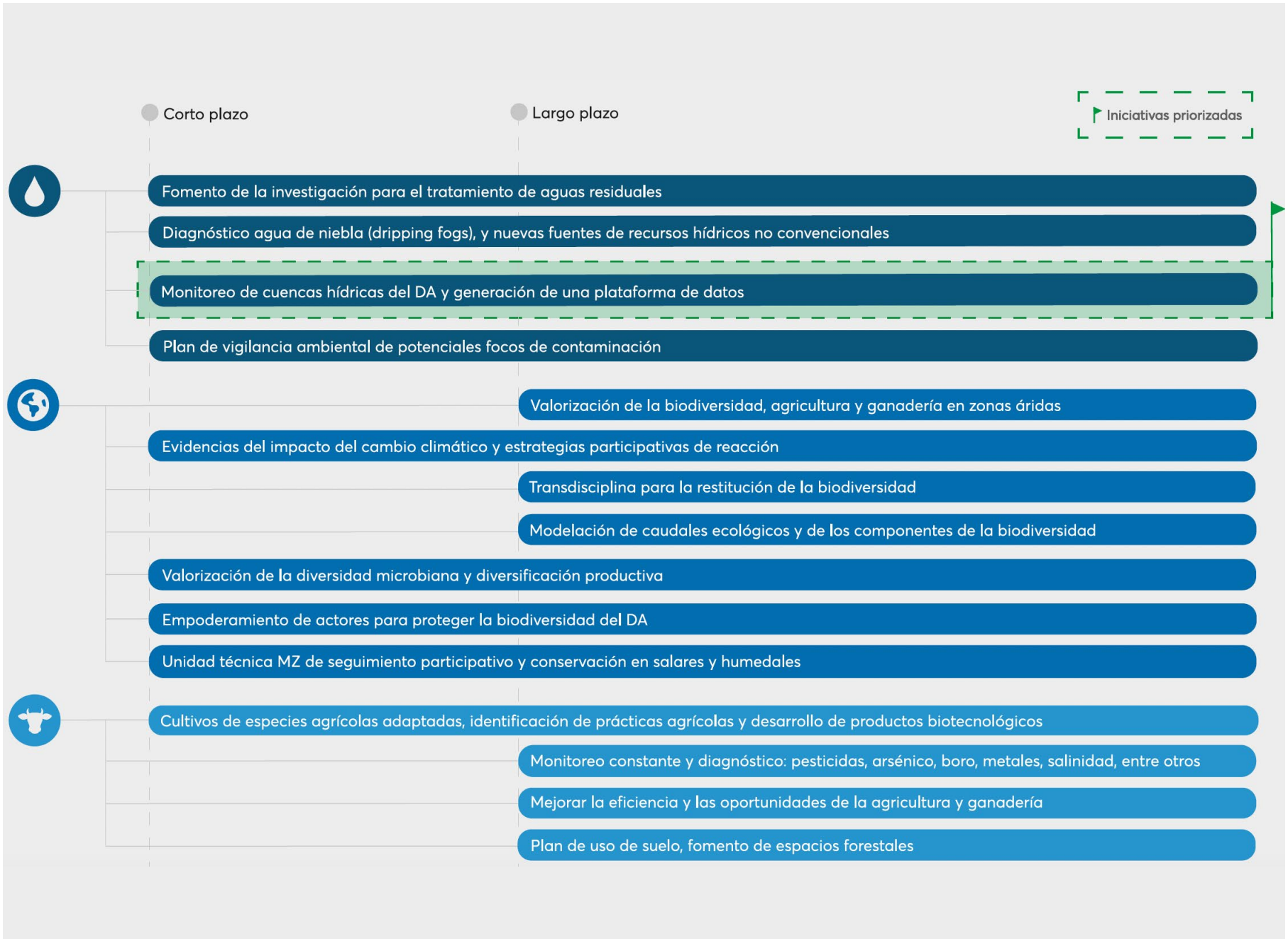
i. Estudiar la cuenca del río Loa para estimar el estado del recurso hídrico y poder declarar la cuenca del río Loa como agotada (por su parte la DGA argumenta que hacen falta estudios para poder tomar esa determinación). Se espera recuperar las aguas termales de Chíu-Chíu.
ii. Diversificar la actividad agropecuaria de manera de enfrentar la escasez hídrica. Se propone que la minería utilice el agua del mar y no del río Loa.
iii. Concientizar a la comunidad sobre la producción de la energía renovable, que es un vértice del triángulo del Litio. Se comenta que habría energía acumulada en nuestro litio, lo que permitiría una independencia energética del resto del país. La producción de energía se puede convertir en la nueva minería, pero se debe poner atención a los efectos de las nuevas tecnologías en el desierto. Se debe tener en consideración la reutilización de residuos de las renovables para que su impacto sea mínimo. Se requiere tener mayor conocimiento del tema.
iv. Transferir los resultados de las investigaciones a la educación escolar. Que las escuelas acerquen a los niños al mundo natural en que viven, que les enseñen sobre el patrimonio local, la historia local y la biodiversidad local.
v. Proyectar a Calama desarrollada, con turismo y buen vivir. Se señala que el capital humano que tiene Calama es muy pobre, no hay universidades en Calama, por lo que toda la gente profesional viene de afuera.

La mayoría de los habitantes en Quillagua entregó su visión futura sobre:

i. Descontaminar las aguas del Loa y que el agua vuelva al río para usarla en cultivos agrícolas (choclo quillagueno, alfalfa) y en la cría de camarones y truchas. Esperan que esta actividad pueda ser el sustento de las familias, tal como lo era en el pasado.
ii. Potenciar el turismo mediante la construcción de domos para observar las estrellas y de un restaurante de comidas típicas de la zona. Además, impulsar el turismo del Valle de Meteoritos, el Museo Antropológico y otros atractivos señalados previamente, para que Quillagua sea un pueblo turístico.
iii. Poner atención sobre la instalación de parques de paneles fotovoltaicos debido al desconocimiento del efecto que éstos puedan causar en el medio ambiente y en la salud humana. Por ejemplo, quisieran tener información sobre el aumento de la temperatura del suelo, el cambio en el microclima, el impacto en los animales, el manejo de los desechos, entre otros. Se requiere caracterizar el territorio para anteponerse a estos eventuales impactos.
iv. Mejorar los servicios del pueblo, en particular, por la instalación de un liceo de enseñanza media.
v. Conservar la historia del pueblo y de sus habitantes y transmitirla a las futuras generaciones como patrimonio cultural inmaterial.

Finalmente, con la información de los temas de relevancia para el territorio sobre el río Loa y las proyecciones futuras, se presentó la estructura de una hoja de ruta tipo mediante fichas de Visión-Brecha-Acciones elaboradas para Calama y para Quillagua (ver Anexo 10.3).

Ejes estratégicos:


Corto plazo
Largo plazo
Iniciativas priorizadas
Fomento de la investigación para el tratamiento de aguas residuales
Diagnóstico agua de niebla (dripping fogs), y nuevas fuentes de recursos hídricos no convencionales
Monitoreo de cuencas hídricas del DA y generación de una plataforma de datos
Plan de vigilancia ambiental de potenciales focos de contaminación
Valorización de la biodiversidad, agricultura y ganadería en zonas áridas
Evidencias del impacto del cambio climático y estrategias participativas de reacción
Transdisciplina para la restitución de la biodiversidad
Modelación de caudales ecológicos y de los componentes de la biodiversidad
Valorización de la diversidad microbiana y diversificación productiva
Empoderamiento de actores para proteger la biodiversidad del DA
Unidad técnica MZ de seguimiento participativo y conservación en salares y humedales
Cultivos de especies agrícolas adaptadas, identificación de prácticas agrícolas y desarrollo de productos biotecnológicos
Monitoreo constante y diagnóstico: pesticidas, arsénico, boro, metales, salinidad, entre otros
Mejorar la eficiencia y las oportunidades de la agricultura y ganadería
Plan de uso de suelo, fomento de espacios forestales

Desarrollo de procesos industriales alternativos y sustentables (nivel concepto a industrial)
Diversificación productiva sustentable: biotecnología microbiana (nivel concepto a industrial)
Diversificación productiva sustentable: nuevos minerales, valor agregado y fortalecimiento C&T
Proyecto de integración de información disponible y de monitoreos participativos de impacto ambiental
Construcción de un mecanismo de gobernanza de datos para todos los actores del territorio
Diseño e implementación de una estrategia de democratización del conocimiento científico
Oportunidades de retiro y reconversión de unidades de generación a base de combustibles fósiles
Investigación sobre línea base e impacto de proyectos energéticos en el territorio
Planificación territorial del DA con proyectos de energía en zonas previamente intervenidas
Diseño, implementación y operación de proyectos con enfoque de desarrollo sostenible
Realizar campañas participativas de monitoreo de los impactos de la industria energética
Material escrito y audiovisual para la difusión y divulgación
Estimación del uso y la capacidad de carga de los sitios turísticos
Construcción participativa de un relato turístico para el DA
Identificación y caracterización de sitios con potencial turístico, para preservación del patrimonio y protección de Geositios
Generación de programas participativos de rescate y preservación patrimonial y protección de Geositios
Estrategia de comunicación, valoración y formación de capital humano

Fomentar la investigación en biomedicina y en clínica
Investigación sobre fisiología en condiciones de hipoxia
Plataforma MZ de Datos en Salud
Fortalecer el curriculum formativo incorporando el conocimiento del patrimonio sociocultural y natural del DA
Elaboración de guías educativas de las singularidades del DA
Diseño de una estrategia de difusión efectiva del conocimiento científico
Innovación en instancias de divulgación (campamentos científicos, turismo subvencionado y talleres educativos, entre otros) del conocimiento sobre las singularidades del DA
Generación de una ruta de museos y muestras itinerantes
Fortalecimiento de la identidad mediante el estudio y rescate del patrimonio cultural ancestral junto a actores locales
Observatorio de geo y biodiversidad
Ampliación del imaginario del DA que considere las singularidades y complejidad del territorio

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arroyo A., Alonso, H., Vera, L., y Ortega P. (1999). Análisis de los eventos ocurridos en río Loa marzo de 1997. XIII CONGRESO DE INGENIERIA SANITARIA AMBIENTAL AIDIS CHILE, Antofagasta, octubre de 1999.

Azua-Bustos, A., González-Silva, C., & Corsini, G. (2017). The hyperarid core of the Atacama Desert, an extremely dry and carbon deprived habitat of potential interest for the field of carbon science. Frontiers in microbiology, 8, 993

Azua-Bustos, A., González-Silva, C., Fernández-Martínez, M. Á., Arenas-Fajardo, C., Fonseca, R., Martín-Torres, F. J., ... & Zorzano, M. P. (2019). Aeolian transport of viable microbial life across the Atacama Desert, Chile: Implications for Mars. Scientific reports, 9(1), 11024.

Arcadis. 2016. Plan estratégico para la gestión de los recursos hídricos, Región de Antofagasta. S.I. T. N° 379, Dirección General de Aguas. Santiago, Chile: DGA. 356 pp.

Ballester, B. (2022). Así cargaron a los que aquí vivieron: excavación, embalaje y transporte de cuerpos y objetos precolombinos en la desembocadura del río Loa (1962).

Barros, A. y Pereira, G (2013). Informe Pericial - El impacto del tranque de Talabre en la comunidad Lickanantai de San Francisco de Chíu-Chíu. Forensic Architecture, Atacama Desert Project.

Berenguer, J., Cáceres, I., Sanhueza, C., & Hernández, P. (2005). El Qhapaqñan en el Alto Loa, norte de Chile: Un estudio micro y macromorfológico. Estudios atacameños, (29), 7-39.

Börgel, R. 1983. Geografía de Chile, Instituto Geográfico de Chile. Tomo II Geomorfología. Santiago, Chile. Editorial del Instituto Geográfico Militar de Chile 178 pp.

Cortés-Albayay, C., Silber, J., Imhoff, J. F., Asenjo, J. A., Andrews, B.,

Nouioui, I., & Dorador, C. (2019). The polyextreme ecosystem, Salar de Huasco at the Chilean Altiplano of the Atacama Desert houses diverse Streptomyces spp. with promising pharmaceutical potentials. Diversity, 11(5), 69.

de Antofagasta, E. S., de Atacama, G. R., & Bazaes, C. A. (2021). Plan de Inversiones Estratégicas en Recursos Hídricos para la Competitividad Meso-región Norte Chico.

Demergasso, C., Chong, G., Galleguillos, P., Escudero, L., Martínez-Alonso, M., & Esteve, I. (2003). Tapetes microbianos del Salar de Llamará, norte de Chile. Revista chilena de historia natural, 76(3), 485-499.

Demergasso, C., Escudero, L., Galleguillos, P., Zepeda, V., and Chong, G. (Year). Análisis de factores microbiológicos que participan en el control de la concentración, distribución en especies y movilidad del arsénico en aguas superficiales de la Región de Antofagasta, in: XXV Congreso Chileno de Microbiología).

Demergasso, C.S., Chong D, G., Escudero G, L., Pueyo Mur, J.J., and Pedros-Alio, C. (2007). Microbial precipitation of arsenic sulfides in Andean salt flats. Geomicrobiology Journal 24(2), 111-123. doi: 10.1080/01490450701266605.

Diagnóstico del caudal ambiental del río Loa, región de Antofagasta. CODIGO BIP 30130919-0. Centro de Ecología Aplicada Ltda. · Julio 2020.

Diagnóstico del caudal ambiental del río Loa, región de Antofagasta. Gobierno Regional de Antofagasta · 1 de julio de 2020 3-2

DGA (2005). Evaluación de los recursos hídricos superficiales en la cuenca del rio Loa. Informe técnico realizado por: departamento de administración de recursos hídricos S.D.T. Nº 192 Santiago, enero del 2005.

DGA (2014). Sectorización de los acuíferos de la cuenca del río Loa. Realizado por: Knight Piésold s.a. s.i.t. nº 358.

DGA (2016). Modelo Hidrológico y de Constitución Química de la Cuenca del río Loa.

Escudero, L. V., Casamayor, E. O., Chong, G., Pedrós-Alió, C., & Demergasso, C. (2013). Distribution of microbial arsenic reduction, oxidation and extrusion genes along a wide range of environmental arsenic concentrations. PLoS One, 8(10), e78890.

Finstad, K., Pfeiffer, M., McNicol, G., Barnes, J., Demergasso, C., Chong, G., & Amundson, R. (2016). Rates and geochemical processes of soil and salt crust formation in Salars of the Atacama Desert, Chile. Geoderma, 284, 57-72.

García-Cevecich, P. 2015. Control de la Erosión y Recuperación de Suelos Degradados.Denver, Colorado. Oitskirts Press. Inc. 469 pp.

García, D. (2018). Trabajo académico interno. Universidad Católica del Norte (UCN).

Jordan, T., CH Lameli, N Kirk-Lawlor… (2015). Architecture of the aquifers of the Calama Basin, Loa catchment basin, northern Chile. Geosphere (2015) 11 (5): 1438–1474.

Jordan, T., Quezada, A., Blanco, N., Jensen, A., Vásquez, P., & Sepúlveda, F. (2022). Paleoenvironmental Evolution of a Forearc in Response to Forcings by Drainage, Climate, Volcanism, and Tectonics: The Quillagua Depocenter, Chile. GeoScienceWorld, Lithosphere, Volume 2022, Article ID 1024844, 27 pages, https://doi.org/10.2113/2022/1024844.

Melchiorre, E. B., Sickman, J. O., Talyn, B. C., & Noblet, J. (2018). Isotope stratigraphy: Insights on paleoclimate and formation of nitrate deposits in the Atacama Desert, Chile. Journal of Arid Environments, 148, 45-53.

Moreno K, Blanco N, Tomlinson A. (2004). New dinosaur footprints from the Upper Jurassic of northern Chile. Ameghiniana 41:535-544.

Moreno, K. (2008). Valoración y estado de conservación de huellas de vertebrados mesozoicos en Chile. In I SIMPOSIO-PALEONTOLOGÍA EN CHILE-LIBRO DE ACTAS (Vol. 2, No. 3, p. 13).

Ortíz, C. (2016). Plan estratégico para la gestión de los recursos Hídricos Región de Antofagasta.

Ortiz, S., Lecsö-Bornet, M., Bonnal, C., Houze, S., Michel, S., Grougnet, R., & Boutefnouchet, S. (2019). Bioguided identification of triterpenoids and neolignans as bioactive compounds from anti-infectious medicinal plants of the Taira Atacama's community (Calama, Chile). Journal of ethnopharmacology, 231, 217-229.

Palmer, N.E., Freudenthal, J.H., and von Wandruszka, R. (2006). Reduction of arsenates by humic materials. Environmental Chemistry 3(2), 131-136. doi: 10.1071/en05081.

Pérez Soto, F. (2014). Sectorización de los acuíferos de la cuenca del río Loa.

Rodríguez, M. U., & Baettig, G. C. (2005). Cerámica en el camino: los materiales del río Loa (Norte Grande de Chile) y sus implicaciones tipológicas y conductuales para la comprensión de la vialidad y la expansión del Tawantinsuyo. Revista española de antropología americana, 35, 75-98.

Rasuk, M. C., Ferrer, G. C., Moreno, J. R., Farías, M. E., & Albarracín, V. H. (2016). The diversity of microbial extremophiles. Molecular Diversity of Environmental Prokaryotes, 1st ed.; Rodriguez, TB, Silva, AE, Eds, 87-126.

Romero, L, et al. (2013). Arsenic enrichment in waters and sediments of the Rio Loa (Second Region, Chile). Applied Geochemistry. Volume 18, Issue 9, September 2003, Pages 1399-1416.

Hwang, Y., Schulze-Makuch, D., Arens, F. L., Saenz, J. S., Adam, P. S., Bornemann, T. L., ... & Probst, A. J. (2020). Leave no stone unturned: the hidden potential of carbon and nitrogen cycling by novel, highly adapted Thaumarchaeota in the Atacama Desert hyperarid core. BioRxiv, 2020-07.

Santiago, I. F., Gonçalves, V. N., Gómez-Silva, B., Galetovic, A., & Rosa, L. H. (2018). Fungal diversity in the Atacama Desert. Antonie Van Leeuwenhoek, 111, 1345-1360.

Gómez-Silva, B. (2018). Lithobiontic life:"Atacama rocks are well and alive". Antonie Van Leeuwenhoek, 111(8), 1333-1343.

Schulze-Makuch, D., Wagner, D., Kounaves, S. P., Mangelsdorf, K., Devine, K. G., de Vera, J. P., ... & Zamorano, P. (2018). Transitory microbial habitat in the hyperarid Atacama Desert. Proceedings of the National Academy of Sciences, 115(11), 2670-2675.

Shen, J., Zerkle, A. L., Stueeken, E., & Claire, M. W. (2019). Nitrates as a potential N supply for microbial ecosystems in a hyperarid Mars analog system. Life, 9(4), 79.

Shen, J., Wyness, A. J., Claire, M. W., & Zerkle, A. L. (2021). Spatial variability of microbial communities and salt distributions across a latitudinal aridity gradient in the Atacama Desert. Microbial ecology, 82, 442-458.

SA, K. P. (2014). Sectorización de los Acuíferos de la cuenca del río Loa.

Soto-Acuña, S., Otero, R. A., Alarcón, J., Ossa-Fuentes, L., & Rojas, O. (2015, October). Presencia de cocodrilos marinos (Thalattosuchia: Metriorhynchidae) en la Formación Cerritos Bayos (Oxfordiano), Cuenca de Tarapacá, Región de Antofagasta. In Actas del XIV Congreso Geológico de Chile (Vol. 3, pp. 690-693).

SERNATUR (2012) "Barómetro Mensual Marzo 2012". Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR). Estadísticas de Turismo Subdirección de Estudios. Santiago.

Villablanca Montaño, R., & Ibarra Cariola, J. (2013). Diagnóstico y evaluación: Estrategia Regional y Plan de Acción para la Conservación y Uso Sustentable de la Diversidad Biológica de la Región de Antofagasta.

Laguna Inka Coya

11. ANEXOS

11.1 Presentación de sitios priorizados

Durante el trabajo de línea de tiempo, se identificaron sitios de interés que son lugares de potencial desarrollo económico, turístico, cultural como también por ser espacio de eventual generación de conflictos y amenazado por actividades mineras.

A continuación, se presenta esos sitios de interés para río Loa Alto y Calama (Figura 24):

- Zona alta y Cumbres del Alto Loa: Existen varios puntos relevantes como el volcán Paniri, el volcán Poruña y, también, los volcanes que superan los 6.000 msnm que son el volcán San Pedro y el volcán San Pablo. Se indica como un lugar de interés para el patrimonio natural en el que pueden desarrollarse actividades científicas, divulgativas, deportivas y turísticas. En general, poca gente conoce bien estas cumbres y se releva la importancia de conocer el territorio que se habita. Se describe como una "escuela de la geología", ya que en esta zona se han encontrado rocas muy antiguas. Son lugares muy apreciados por los aficionados a las caminatas de alta montaña por su accesibilidad desde la carretera a Ollagüe y por sus cualidades paisajísticas, entre otros valores. Está relacionado con la formación de toda la zona y muy de la mano con la minería. Por otra parte, la explotación de áridos está llegando a estos lugares (a la altura del cerro Cascada y de Cumuri Blanca), los que se ven amenazados ya que todavía no están consolidadas las normativas de áridos. Otra amenaza es que hay caminos ligados a rutas de narcotráfico.

- San Francisco de Chíu-Chíu: Localidad ribereña, de población principalmente Lickanantay. Tiene alrededor de 350 habitantes.

La principal actividad económica es la agricultura. Su iglesia, la más antigua de Chile, es monumento nacional. Un vecino de la comunidad de Chíu-Chíu enfatiza que el principal problema en la zona es la disminución del caudal del río Loa, estima que actualmente los humedales representan el 7% u 8% de lo que solían ser. Por esta razón ya no hay humedales en Chíu-Chíu. Indica como principal responsable a la empresa Codelco y su explotación en Chuquicamata, ya que utilizan agua del río Loa para sus operaciones, provocando la disminución y deterioro del recurso. Dice que al noreste de Chíu-Chíu hay un poblado en el que quedan sólo 10 personas, los demás han dejado el pueblo por la falta de agua. Propone conversaciones de buena voluntad con Codelco, con el objetivo de que la minera use agua de mar en sus operaciones y libere las aguas del Loa. Por otra parte, señala que las siembras de hortalizas están amenazadas por la cercanía del tranque Talabre. Otro vecino, adulto mayor, cuenta que cuando era niño bebía agua directamente del río, de las acequias, y que también se podía pescar truchas exóticas, las que fueron introducidas en la década de 1950. Agrega que en las cercanías del pueblo había un lugar de aguas termales hasta la década de 1980. El lugar ya no es visible, pues está cubierto de tierra y piedras, posiblemente por acción humana.

- Calama: Capital de la provincia del Loa. Tiene alrededor de 180.000 habitantes. Se reconoce como zona contaminada debido a la actividad minera. Por otra parte, un integrante del CPA indica que se ha determinado un radio de contaminación por plomo de 50 km, que afecta a Calama y a la comunidad indígena de Yalquinche, causada por el Proyecto Complemento Módulo RAM (RECIMAT), que pretende producir cátodos y ánodos de plomo para la gran minería. Se señala el crecimiento urbano: la zona sigue en expansión, se indica la generación de tomas para la construcción de viviendas. Miembros de la ASAC relatan que en Calama había 8000 hectáreas de tierra cultivable en 1920, ahora sólo quedan 400 hectáreas. Los sec ores se fueron secando y se usaron para urbanización. En Calama un pequeño agricultor tiene apenas media hectárea. Indica, además, que Codelco tiene abducciones de agua más arriba del embalse Conchi. Ya se declaró agotado el recurso superficial de la Cuenca del Loa. La ASAC propone que se declare agotado el recurso de toda la cuenca, sin embargo, las mineras continúan solicitando permisos de exploración. La ASAC se ha opuesto repetidas veces a esas solicitudes de exploración, pero la DGA responde que, sin un estudio de cuenca, no pueden pedir que se declare agotado el recurso. Agrega que 5 años atrás, Codelco secó 12 pozos que tenía en Pampa Puno.

- Tranque de relaves Talabre: Se halla a 9 km de Calama y a 5 km de Chíu-Chíu y ocupa una superficie de 62 km2. Se instaló en una depresión natural (un salar) y entró en operación el año 1952. Tanto vecinos de Chíu-Chíu como de Calama, señalan que el tranque es una fuente de contaminación para sectores circundantes, que es y ha sido siempre una tremenda amenaza para la agricultura. Miembros de la ASAC indican que, inicialmente, fue construido directamente sobre el suelo. El tranque está en etapa de expansión (Proyecto RT Sulfuros), lo que preocupa mucho a los agricultores de Calama y Chíu-Chíu, y a los habitantes de Chíu-Chíu en general. La ASAC le exigió a Codelco que el tranque tenía que tener una carpeta, para que los químicos y metales no percolen a las napas, pero no obtuvieron respuesta satisfactoria. Además, desde Codelco hicieron notar que cuando se hizo dicha solicitud (antes del año 2.000) informaron que el tranque había sido construido sobre las gravas de Atacama, las que son impermeables. Las dimensiones que alcanzará el tranque y la interacción con las napas, los hace temer un mayor deterioro de la calidad del agua, que ya es malísima. Investigadores que han estudiado los cultivos en Calama recientemente, no se explican cómo aún pueden desarrollar agricultura. Habitantes indican que la contaminación ha afectado también a la salud de la población, teniendo consecuencias tan graves como el fallecimiento de niños producto del cáncer.

- Salar de Rudolph: Se encuentra a 10 km al noreste de Calama. Los vecinos de Chíu-Chíu indican que está siendo usado como basurero clandestino, por lo que existe un riesgo para su ecosistema. Se indica como una zona que debería ser protegida (existen avances en la materia: comunidad de Chíu-Chíu y Fridays for

Future). Se comenta que es parte de un corredor biológico, recibe aves migratorias, y ahí habita una especie de lagartija que es endémica (lagartija de Paulina).

- Quebrada Ojo de Opache: Se encuentra a 11 kilómetros al oeste de Calama y es un lugar donde crecen chañares y tamarugos. Es hábitat de especies amenazadas como el Pejerrey del Loa y la Ranita del Loa. Fue declarado Santuario de la Naturaleza en 2024 y contempla 351 hectáreas, siendo el principal objeto de protección el humedal de la Quebrada. Contiene vestigios arqueológicos de un pueblo Inca y también un sector para realizar escalada. Tiene valor natural, arqueológico, paleontológico, turístico y paisajístico. Los actores relatan que hay tomas ilegales de los terrenos (con problemas como perros abandonados, basura, lavado de ropa, delincuencia, acoso, etc). Ya ha dejado de ser un lugar de esparcimiento. Por causa de las tomas ya no es factible acceder al sector de escalada de ojos de Opache.

- Taira: es una comunidad Indígena Atacameña que se encuentra en el sector denominado Alto El Loa a unos 90 kilómetros de Calama hacia el noreste. Se ubica a la altura de Cumuri Blanco al oeste del río Loa. El Alero de Taira, una pared rocosa de aproximadamente 3 metros de altura, presenta pictograbados de alto valor arqueológico. El lugar tiene potencial turístico.

- Laguna Inka Coya: conocida también como Laguna Chíu-Chíu. Se señala como un sitio de interés patrimonial. Se encuentra en un estado de abandono y contaminación antrópica notable. También se indica que se han encontrado vehículos sumergidos en esta laguna.

- Parque Fotovoltaico: Está en medio del Camino del Inca y de un corredor biológico de aves. El ruido y la vibración generados afectan a las aves aturdiéndolas y causando su muerte. Participantes indican que se utiliza ilegalmente agua del río Loa para lavar los paneles. Parque eólico: Participantes del taller indican repercusiones generadas por el funcionamiento del parque: i) Se informa sobre los conflictos producidos por el tamaño de sus desechos, comentan que han buscado utilizar el basurero general para tirar aspas de 86 toneladas; ii) Afectan el recorrido de las aves, insectos, otros. Con menor detalle se resaltan los sitios de interés: Cerro Las Papas, ubicado en Alto el Loa, se indica que contiene petroglifos; Quebrada Tuina, donde existe minería y se constata contaminación de aguas subterráneas. Habría, además, información sobre la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA); y Ojos de San Pedro, que habría sido secado por las actividades de Codelco. Está disponible la caracterización hídrica realizada por la DGA.

Por otro lado, la cuenca del río Loa (bajo Loa), desde la perspectiva de los actores de la zona de Quillagua, presenta sitios de interés relacionados con la disponibilidad y calidad del recurso hídrico y con la explotación y uso de energía, como también sitios de alto potencial turístico, por ser lugares con patrimonio geológico, paleontológico, histórico y natural. Concretamente, estos sitios corresponden al Valle de Meteoritos, el Salar de Llamara, la quebrada de Arca, desembocadura del Loa, el pueblo de Quillagua, bajada de agua, el museo local, el tranque Sloman, la estación de trenes, la línea de transmisión eléctrica y el proyecto solar Sol del Loa.

Al igual que en el Alto Loa, la preocupación se centra en el uso y contaminación de las aguas por parte de la gran minería. Se añora poder recuperar la actividad agropecuaria de Quillagua, motor de desarrollo del pueblo, centrada en la producción de choclo, alfalfa y camarón, pero también había ganadería. Si bien se valora el acceso a la energía eléctrica (24/7 desde hace dos meses), se ve con preocupación el impacto que tienen los proyectos eléctricos (solares, eólicos, líneas de transmisión).

En particular, se levanta la alarma del posible daño causado por el zumbido de la línea de transmisión eléctrica a la especie de ave garuma. En 2014 hubo un episodio de aves desorientadas que murieron en gran número. El potencial turístico producto de diversas singularidades del territorio, se perfila como una opción clara de desarrollo: los petroglifos, el Valle de Meteoritos, el tranque Sloman, el patrimonio arqueológico, la estación de ferrocarriles, el Monte de Oro, el Camino del Inca y lugares de observación astronómica. Asimismo,

se reconoce la falta de información sobre estas potencialidades. Los actores que participaron en esta actividad, son vecinos del pueblo, representantes de organizaciones sociales, como la Comunidad Indígena Aymara de Quillagua y la Junta de Vecinos de Quillagua, trabajadores de la empresa SQM y consultores independientes.

Los lugares de intereses por los actores estratégicos entre Loa Bajo y Quillagua (Figura 25) fueron:

- Valle de Meteoritos: Zona destacada por la comunidad como zona de alto potencial turístico. Se describe como un valle que pareciera tener múltiples impactos de meteoritos, pero, al parecer, este paisaje se debe a un fenómeno geológico. Las comunidades valoran conocer la perspectiva científica sobre este lugar y les gustaría tener más información para poder compartirla con la gente del pueblo. La Comunidad Aymara de Quillagua expresa su malestar por la contaminación visual del Valle de Meteoritos causada por la presencia de torres de alta tensión. Quisieran que las torres fueran reubicadas en otro lugar.

- El Salar de Llamara: se menciona que la empresa SQM extrae agua de pozos ubicados en Llamara para utilizar en sus procesos. Se señala que la empresa está construyendo más pozos, a pesar de que dicen que el agua es re-inyectada en los pozos. En este sector había una plantación de olivos, la que actualmente no está en condiciones productivas a causa del desecamiento de los pozos (presumiblemente por parte de la empresa SQM) que se usaban para el riego. En contraposición a esta suposición se explica que el año 2013, mediante decreto, Bienes Nacionales incorporó esta zona a la Reserva Nacional Pampa del Tamarugal, que es administrada por CONAF, por lo que los propietarios de los olivos tuvieron que retirarse y abandonar las plantaciones. En conjunto con lo anterior se menciona que este lugar tiene potencial turístico por su riqueza geológica.

- Quebrada de Arca: zona con potencial turístico. Se mencionan las huellas de dinosaurios encontradas en el lugar.

- Zona cercana a la desembocadura del Loa: Los vecinos indican que no hay camarones en el tramo del río que cruza el pueblo, pero que hay un sector río abajo que siempre ha tenido camarón. Indican que recientemente han visto nuevamente poblarse de camarones en zonas que antes no había, por lo tanto, habría que protegerlo para asegurar el restablecimiento de la especie en el territorio.

- Bajada de agua: se identifica una zona cercana a Quillagua por donde ocurre la bajada de agua cuando crece el caudal debido al llamado "invierno boliviano", cada febrero. Este fenómeno, al inundar y "cortar" la carretera, deja aislado al pueblo.

- Museo Antropológico de Quillagua: la Comunidad Aymara de Quillagua mantiene el museo cerrado porque existe oposición a mostrar los restos de sus ancestros. Manifiestan que es irrespetuoso. Sin embargo, no tienen problema con la exhibición de artefactos. Por otra parte, agregan que el museo no tiene la infraestructura mínima para considerarse como tal. La Fundación Atacama colaboró hace unos años con la comunidad aymara para rescatar el patrimonio. Existe un proyecto de museo, pero no tienen el financiamiento para realizarlo.

- Pueblo de Quillagua: En los últimos años se ha visto que el tramo del río que cruza el pueblo está sin agua durante meses. Los vecinos dicen que hay agua antes del tranque y luego se pierde para reaparecer más abajo. Quieren saber por qué el agua desaparece. Sospechan que hay robo de agua. Desde hace sólo dos meses tienen luz toda la noche. Esto se consiguió tras mucha insistencia por parte de la comunidad. Hay 200 a 240 habitantes permanentes, pero cuando hay fiesta en el pueblo el número aumenta a más de 600. Se ha visto un aumento de la población, el que se intensificó durante la pandemia. Volvieron a vivir familias completas. Mencionan que se sentían más protegidos en Quillagua y han decidido permanecer, porque el pueblo ha crecido y hay provisión de agua potable. Es un pueblo para descansar, la mayoría tiene casa fuera. Además, las empresas han generado trabajo y traen gente de afuera. El colegio creció también, ahora

hay 25 alumnos, y eso requiere de más profesores/as. Este aumento de población originó tomas de terreno. Alrededor de 70 familias hicieron su casa en terrenos tomados. Se percibe una reactivación del pueblo.

- Tranque Sloman: es monumento nacional. La comunidad indica que lo quisieron recuperar, es decir, quitar el barro y usarlo, pero no ha sido posible, porque es propiedad privada y será rematado. La gente piensa que existe una canalización de agua en el tranque, que explicaría por qué desaparece el agua en el sector bajo del río. A los habitantes de la zona les interesa saber el porqué de este fenómeno. Antiguamente, se podía pescar pejerreyes en el tranque.

- Estación de trenes: está abandonada y deteriorada. El Estado la entregó en concesión a Ferronor. Al ser privada, no se puede rescatar ni utilizar. La Comunidad Aymara había pensado instalar el museo en la estación de trenes, pero ya no es posible.

- Línea de transmisión: la presencia de torres de alta tensión estropea el paisaje del Valle de Meteoritos (contaminación visual). Por otra parte, los vecinos piensan que el zumbido de la electricidad que emiten los cables de alta tensión, afecta a las aves, específicamente a la garuma (gaviotín), que anida en el desierto. Se piensa que esto último las desorienta y caen al suelo. Hace unos años, se divisaron garumas que andaban perdidas en el pueblo y murieron muchas. Se comenta que la empresa río Tinto hizo un levantamiento ambiental sobre las amenazas existentes en las zonas de anidación.

- Proyecto Sol del Loa: se planea la ejecución de un proyecto de paneles solares en las cercanías de Quillagua. La población indica su temor hacia las consecuencias medioambientales y al impacto visual que esta infraestructura pudiera causar, tanto a la población en general como al turismo.

A continuación, se presenta gráficamente el mapa cartográfico sobre el cuál se indican los lugares de interés identificados.

Tranque Sloman

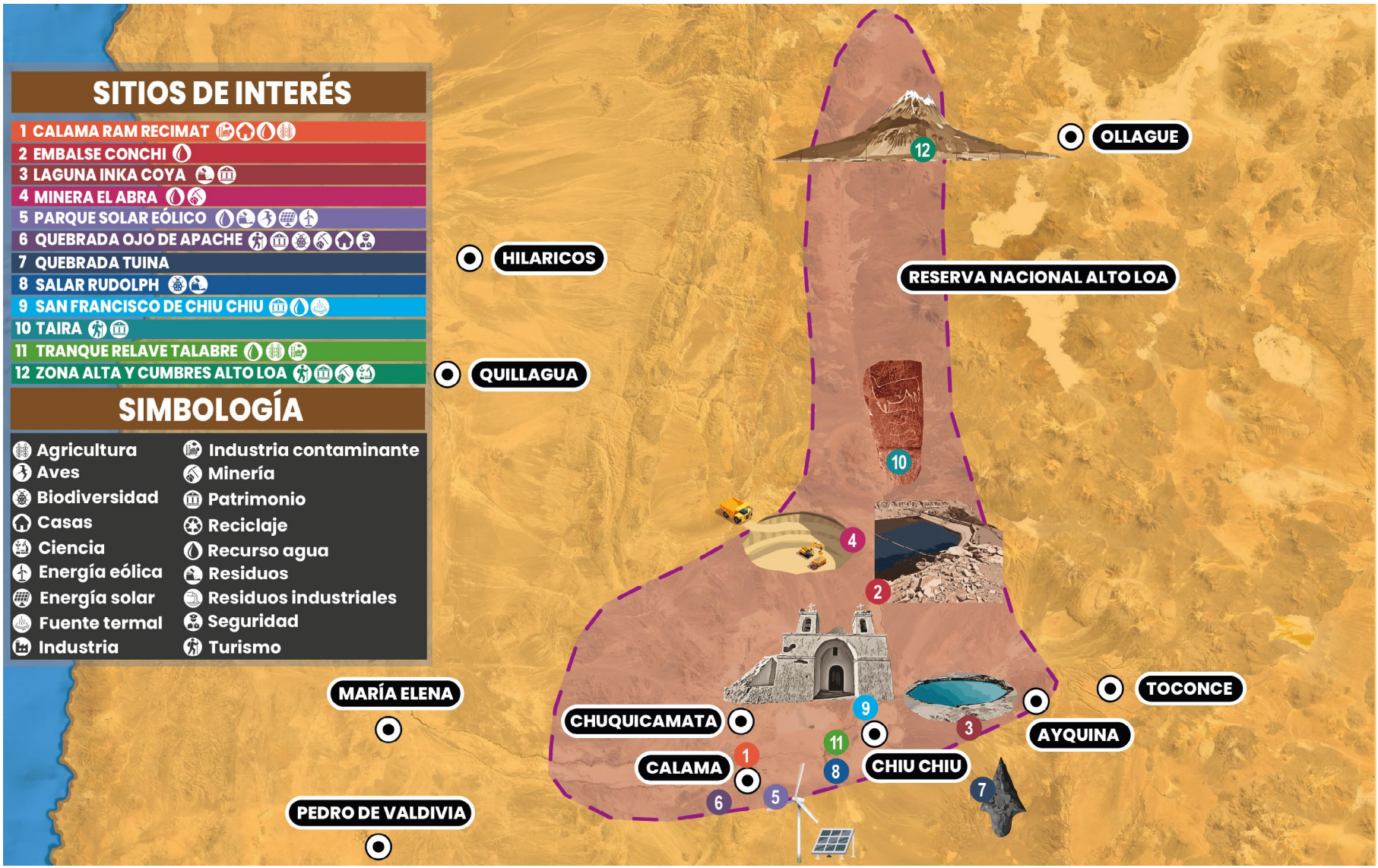


Fig. 24. Mapa participativo del caso de estudio río Loa por los actores estratégicos de Calama.

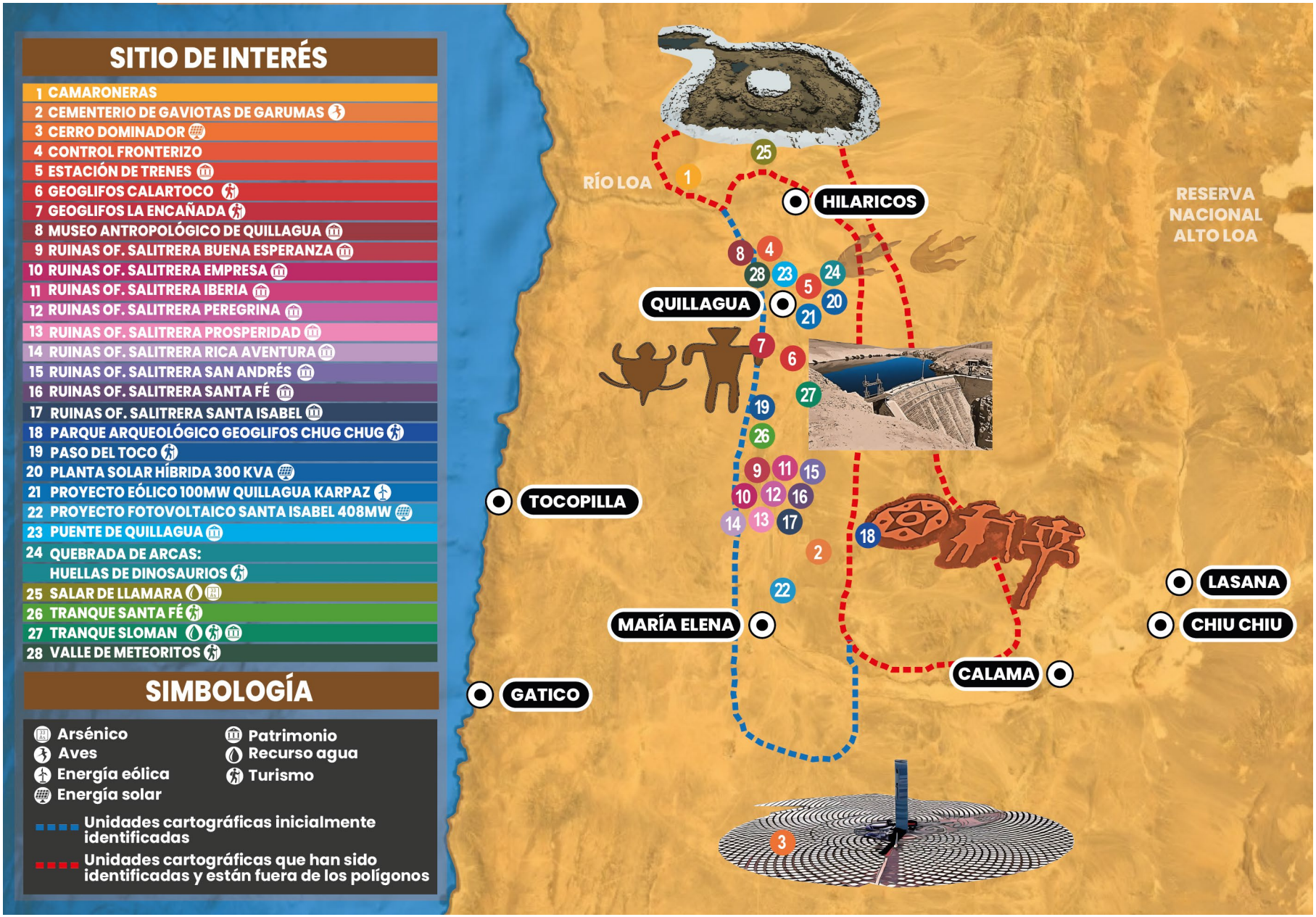


Fig. 25. Mapa participativo del caso de estudio río Loa por los actores estratégicos de Quillagua.

11.2 Presentación de Visión-Brecha-Acciones

11.2.1 A continuación, se muestran las fichas de Visión-Brecha-Acciones para Calama:

TEMA	1. AGUA
VISIÓN El futuro, la proyección, los sueños	Recuperar el caudal y la calidad del río Loa.
SITUACIÓN ACTUAL Y BRECHAS Distancia entre la situación actual y la visión	**Agua no apta para consumo humano.** Presencia de minerales y químicos tanto de origen natural como antrópico. Destaca relaves de Talabre. Falta de información respecto de las causas de contaminación y escasez del agua. **Escasez de agua.** Existe pugna por el uso del agua entre agricultores/ganaderos versus las empresas mineras, o bien entre comunidades de agricultores. **Falta de transparencia y fiscalización.** No se informa siempre las pérdidas.
ACCIONES Propuesta de acciones de base científica	1.1. Desarrollo/complemento de línea base combinado con un sistema de monitoreo integral de la cuenca río Loa (estaciones de pluviometría, medición del caudal, extracciones, medición de los niveles piezométricos de los acuíferos, análisis químicos). Se requiere de comparación de parámetros constante en el tiempo (monitoreo integral). Se requiere entender y definir la idea de línea base de comparación, la que a su vez se combina con la visión. El monitoreo se concentra en parámetros como por ejemplo la calidad de agua, el pH. ¿Pero qué pasa con las algas, los juncos, los peces, los mismo reptiles, toda la biodiversidad del río? Incorporar los tres elementos de calidad: zooplancton, fitoplancton, bentos, y microbiota. 1.2. Investigación en tratamiento (biotratamiento) de agua para ser reutilizada. Uno es el agua residual y otro el tratamiento de las mismas aguas potables para abatimiento del arsénico. Sobre lo segundo, hay bacterias que buscan reducir el arsénico (yo sacaría esto; las bacterias se pueden usar para el tratamiento de aguas de desecho, no me animaría a decir que se pueden usar para potabilizar el agua. Cuando nosotros hablamos de reducir, muchas veces usamos el término en el ámbito de la química donde reducir es lo contrario de oxidar y no es sinónimo de eliminar o abatir). 1.3. Establecer un Plan de Vigilancia Ambiental para el Tranque de Talabre, y para todos los pasivos ambientales existentes. Ejemplo: diversidad y actividad microbiana del ciclo biogeoquímico del arsénico (este ejemplo se planteó para el curso del río, no para el tranque).

TEMA	2. AGRICULTURA Y GANADERÍA
VISIÓN El futuro, la proyección, los sueños	Volver a desarrollar la agricultura para abastecimiento local, considerando tanto las técnicas ancestrales como desarrollos tecnológicos recientes.
SITUACIÓN ACTUAL Y BRECHAS Distancia entre la situación actual y la visión	**Dificultad en el desarrollo de cultivos:** "Yo veo muy difícil volver a practicar la agricultura comercial. La contaminación del suelo y la calidad del agua, es difícil llevarla a cabo." **Potencial agricultura y ganadería:** Se lleva trabajando dichas prácticas en un entorno extremo, que en el contexto climático actual, podría generar una ventaja estratégica gracias al conocimiento generado. Lo anterior permite potenciar agricultura local o bien exportar conocimiento a otras regiones.
ACCIONES Propuesta de acciones de base científica	2.1. Aprovechar la eficiencia y oportunidades de la agricultura y ganadería del desierto como foco de desarrollo local. 2.2. Sistematizar y validar conocimiento adquirido, desarrollo de planes piloto/proyectos demostrativos, creación de oportunidades de financiamiento con un foco en la adaptación a los nuevos contextos y condiciones. 2.3. Investigar presencia de As en suelos, y productos agrícolas.

TEMA	3. BIODIVERSIDAD
VISIÓN El futuro, la proyección, los sueños	Preservación y promoción de la biodiversidad local.
SITUACIÓN ACTUAL Y BRECHAS Distancia entre la situación actual y la visión	Lugar que alberga especies endémicas u otras de interés, microorganismos extremófilos, etc. se encuentra amenazado por la actividad humana (antrópica).
ACCIONES Propuesta de acciones de base científica	3.1. Regulación (marcos normativos o regulatorios) y preservación de la biodiversidad. Desarrollar estudios al respecto. Desarrollar las bases de los principios precautorios y de proactividad necesarios. 3.2. Visualizar la importancia de mejorar/actualizar las normativas ambientales. Los impactos ambientales se minimizan cuando la normativa ambiental del país (o la Región) se funda en la mejor evidencia científica respecto de la continuidad de los servicios eco-sistémicos. 3.3. Desarrollar un monitoreo y fiscalización eficiente y de base científica de todos sus componentes. 3.4. Bioprospección de actividad y compuestos biológicos de interés biotecnológico. 3.5. Revisión y actualización de la “Guía para la conservación y seguimiento de Ecosistemas Microbianos Extremófilos” en base a los registros de su aplicación. 3.6. Complementar la información existente, considerando un todo: La ranita está en crisis, algo pasó con el agua; ¿Qué le pasó al agua?

TEMA	4. EDUCACIÓN
VISIÓN El futuro, la proyección, los sueños	Construir una sociedad empoderada y con conocimiento profundo de acuerdo a las características del territorio.
SITUACIÓN ACTUAL Y BRECHAS Distancia entre la situación actual y la visión	Escasa transferencia de conocimiento científico desarrollado y disponible en grupos de investigación (privados, públicos, empresas) e instituciones de educación superior. Falta de instituciones en el territorio al servicio de la minería. Existe un desconocimiento del trabajo científico en el sector privado. Servicios académicos insuficientes. La investigación queda en manos de privados. No hay canales de comunicación activos. Ciencia sólo en las mineras.
ACCIONES Propuesta de acciones de base científica	4.1. Preparar material didáctico para usar en la enseñanza. Promover que el Mineduc desarrolle textos educativos con características de lo local. La educación formal debe adaptarse a la formación local con los incentivos adecuados a los profesores. 4.2. Promover asignaturas específicas en la Malla Curricular de los escolares que fomenten el patrimonio cultural. Se requiere de definición clara a nivel central para que esto realmente se concrete. Lo curricular es clave. 4.3. Difusión de videos educativos. Hay que adaptarse a las nuevas tecnologías. Son formas de comunicar. ¿Cómo hacemos para llegar a la población: Documentos, infografías, RRSS, podcast, etc.? 4.4. Fomentar la publicación de libros para su distribución al mercado. 4.5. Campañas de monitoreo participativo u otras actividades que permitan el empoderamiento de la comunidad. 4.6. Difundir resultados específicos de LANDATA a través de medios idóneos.

TEMA	5. ENERGÍA
VISIÓN El futuro, la proyección, los sueños	Territorio capaz de autoabastecer sus necesidades energéticas basado en sus propios recursos renovables (solar, eólico) e incluso exportar a otras regiones, en forma responsable, respetuosa y sustentable.
SITUACIÓN ACTUAL Y BRECHAS Distancia entre la situación actual y la visión	Falta de información respecto de los impactos de la industria renovable y sus desechos genera desconfianza. Preocupación por co-impactos de las nuevas tecnologías (solar, eólico) y el uso del recurso hídrico para su operación. Falta de señales de respeto por el patrimonio local en el desarrollo de proyectos, más allá de cumplir con la normativa, se convierte en una fuente de tensión y conflicto. Falta de espacios para el depósito de basura relacionada con la industria de energía (aspas, paneles fotovoltaicos, estructuras, etc.).
ACCIONES Propuesta de acciones de base científica	5.1. Generación de la evidencia científica para abordar las preocupaciones identificadas. Lo anterior requiere ser abordado de forma interdisciplinaria (aspectos éticos, ambientales, sociales, tecnológicos, etc.). 5.2. Necesidad de campañas de información que atiendan las dudas de la comunidad y tengan el respaldo científico requerido. 5.3. Definir políticas públicas asociadas a la instalación de nuevas tecnologías de generación de energía que incluya espacios adecuados para disposición de residuos, exigencia de plantas de reciclaje, recuperación de materiales de valor como subproducto de la industria energética y planes de cierre. Complementar la información existente: investigar quién pensó que el botadero municipal era el espacio autorizado, qué información tenía disponible para tomar esa decisión y qué le faltó. 5.4. Planificación territorial para proyectos de manera de optimizar desempeño y ojalá reutilizar territorios ya intervenidos (ej: relaves, desmontes, etc.), e impedir la fragmentación del territorio.

TEMA	6. MINERÍA
VISIÓN El futuro, la proyección, los sueños	Lograr una nueva minería sin uso de recurso hídrico local (aguas continentales) y de bajo impacto en el medioambiente. Establecer buenas relaciones con la comunidad y aportes directos al territorio. Fomentar una minería que promueva el bienestar humano y de la naturaleza.
SITUACIÓN ACTUAL Y BRECHAS Distancia entre la situación actual y la visión	Las empresas mineras han puesto en marcha programas para mitigar los efectos de sus operaciones en los ecosistemas, pero hay escepticismo de parte de la población. Dificultad de diálogo y poca transparencia en temas ambientales y de impactos de los proyectos mineros. Se suma un tema de falta de consecuencia entre lo declarado y la realidad. Se menciona la demora en la aprobación de normativa y acciones. Las multas parecen más bajas que los beneficios. La brecha para una minería sustentable es entre un ambiente no impactado y un ambiente impactado. La normativa no es suficientemente estricta, debería ser revisada para cerrar esta brecha. Existen conceptos laxos, por ejemplo: ¿qué se entiende por sustentable? Impactos en la salud de sus habitantes (niños fallecidos por cáncer). Opiniones divididas sobre calidad de la evidencia disponible en esta materia.
ACCIONES Propuesta de acciones de base científica	6.1. Sistematizar, analizar y divulgar información disponible sobre factores de riesgo para la salud asociados a procesos mineros y generar nueva evidencia científica necesaria. 6.2. Desarrollar acciones para la creación de una nueva minería con el menor uso de recurso hídrico local, bajo impacto en medioambiente y mayor valor agregado: diseño, tecnologías, procesos, planes piloto, monitoreo, participación de comunidades y conocimiento local, evaluación ambiental, etc. 6.3. Investigación sobre nuevos recursos minerales económicos primarios y secundarios, su explotación y procesamiento sustentable.

TEMA	7. TURISMO Y PATRIMONIO
VISIÓN El futuro, la proyección, los sueños	Desplegar el gran potencial turístico del territorio (geositios, patrimonio) asegurar su preservación, proyectarlo al mundo y ponerlo en valor desde la cosmovisión andina de los pueblos que habitan el territorio.
SITUACIÓN ACTUAL Y BRECHAS Distancia entre la situación actual y la visión	-Falta de mecanismos de protección para lugares de desarrollo turístico y científico. Desconocimiento de sitios de valor cultural e histórico, belleza escénica o valor patrimonial. -Falta de conocimiento de base que sostiene el relato turístico y cultural, como asimismo evidencia requerida para asegurar la sustentabilidad. -Falta de conocimiento de base que sostiene el relato turístico y cultural, como asimismo evidencia requerida para asegurar la sustentabilidad.
ACCIONES Propuesta de acciones de base científica	7.1. Completar identificación/descripción de sitios con potencial turístico (geositios, patrimonio, biodiversidad, ambientes análogos a Marte, entre otros). 7.2. Realizar estudios para generar la evidencia científica que construya el relato y aseguren la sustentabilidad de los sitios identificados. 7.3. Realizar campañas de difusión y formación de competencias para personas que trabajan en las actividades turísticas.

TEMA	8. TRANSVERSAL
VISIÓN El futuro, la proyección, los sueños	Calama desarrollada. Turismo y buen vivir con mayor seguridad ciudadana. Patrimonio natural en el que pueden desarrollarse actividades científicas, divulgativas, deportivas y turísticas. Calama libre de desechos.
SITUACIÓN ACTUAL Y BRECHAS Distancia entre la situación actual y la visión	Altos niveles de contaminación por factores antrópicos. El escaso conocimiento de los lugares de interés revela la importancia de conocer el territorio que se habita. Se describe como una "escuela de la geología" ya que en esta zona se han encontrado rocas muy antiguas. Población calameña empoderada y comprometida con el territorio y población flotante que promueve poco arraigo con el territorio, lo que induce un bajo compromiso de la población. Hay una imagen de Calama negativa. La seguridad es algo que hay que tratar.
ACCIONES Propuesta de acciones de base científica	8.1. Desarrollar estudios, planes y acciones que permitan mejorar las condiciones de seguridad para ciudadanía. 8.2. Acciones de promoción de la cultura local basada en el conocimiento profundo del territorio (ejemplo acción 4.5). Promover prácticas identitarias del territorio. 8.3. Desarrollo de mecanismos de coordinación y procesos entre instituciones públicas y privadas tendientes a evitar impactos nocivos en el medioambiente y maximizar la participación y compromiso de los distintos actores. 8.4. Utilización de tecnologías avanzadas para mejorar los procesos productivos y dar soporte a las acciones de sostenibilidad. 8.5. Lo anterior requiere de una comprensión y apropiación de los impactos en todo el ciclo de vida de las tecnologías (ej. aspas de centrales eólicas).

Quillagua

11.2.2 Fichas de Visión-Brecha-Acciones para Quillagua:

TEMA	1. AGUA
VISIÓN El futuro, la proyección, los sueños	Recuperar el caudal y la calidad del río Loa.
SITUACIÓN ACTUAL Y BRECHAS Distancia entre la situación actual y la visión	**Contaminación del agua** Causada por minerales y químicos tanto de origen natural como antrópico. Destaca relaves de Talabre. Falta de información respecto de las causas de contaminación y escasez del agua. Cuando la procesan el agua es rica, es purita, pero cuando pasa por el rajo como que se pone amarillenta. Existe preocupación sobre el posible impacto de este cambio de color. **Escasez de agua** Existe pugna por el uso del agua entre agricultores/ganaderos versus las empresas mineras, o bien entre comunidades de agricultores. **Bajo caudal del río y contaminación del agua** Derechos de agua en manos de SQM. Desastres ambientales de 1997 y 2000.
ACCIONES Propuesta de acciones de base científica	1.1. Proponer la existencia de una plataforma web (o fuente de información compartida) de los datos ambientales de la Cuenca del río Loa. Los datos del sector público, académico y privado deberían estar integrados en una base de datos compartida e integral. Desarrollar el concepto de monitoreo permanente. Se requiere más y mejor medición, junto con impulsar la transparencia en su uso y su difusión. 1.2. Identificar actores vinculados al uso de recursos hídricos y sus intereses. 1.3. Generar espacios de comunicación y acuerdo para coordinar el uso de los recursos. 1.4. Desarrollo de línea base y sistema de monitoreo integral de la cuenca Loa (estaciones de pluviometría, medición del caudal, medición de los niveles piezométricos de los acuíferos, análisis químicos).

1.5. Identificar con detalle la profundidad de cada acuífero (acuífero libre, acuífero confinado) y su interrelación con el río (definición de acuífero: formación geológica que permite la circulación de agua subterránea a través de sus poros o grietas, en cantidades económicamente apreciables para cubrir sus necesidades).

1.6. Investigación en tratamiento de agua para reuso. Lo anterior con una conexión directa con mejora de normativas, procesos y material local disponible.

1.7. Establecer un Plan de Vigilancia Ambiental para todos los pasivos ambientales existentes.

1.8. Controlar el balance hídrico, de forma anual, para identificar qué factores (naturales y humanos) están determinando la escasez hídrica.

1.9. Promover un uso responsable del agua de todos los actores del sector de Quillagua.

1.10. Se necesita mejorar mecanismos de comunicación en temáticas relacionadas con los recursos hídricos.

1.11. Se remarca la importancia de contar con un levantamiento de estudios existentes, principalmente relacionados, por ejemplo, con la DGA (Dirección General de Aguas), Municipios, MMA (Ministerio del Medio Ambiente) y SEIA (Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental), con el fin de determinar una línea base y un diagnóstico completo del sistema hídrico de la Cuenca del Río Loa. En este sentido, las RCA (Resoluciones de Calificación Ambiental) emitidas para las actividades mineras serán lo más completas posible para proteger el medio ambiente.

1.12. Es importante garantizar la disponibilidad de agua potable en el sector de Quillagua, y fomentar proyectos para abastecer a la comunidad de este recurso (APR – Agua Potable Rural). En este sentido, se recomienda fomento de distribución de agua potable mediante camiones aljibe, y el desarrollo de plantas de tratamiento de aguas para mitigar la concentración de determinados elementos y/o características hidrogeoquímicos (Arsénico, Boro, salinidad, entre otros).

1.13. Siguiendo la línea del punto anterior, es necesario desarrollar el APR mediante plantas de desalinización. Estas plantas (principalmente de ósmosis inversa), necesitan un mantenimiento adecuado, y, a este respecto, se recomienda establecer acciones que garanticen la operabilidad del sistema a largo plazo. En este sentido, se recomienda también generar capacitaciones a la comunidad sobre el proceso de desalinización, articulado también con la DGA.

1.14. Controlar el vandalismo hídrico. Este concepto está asociado a la existencia de extracciones de agua de camiones aljibe, y de usos sin permiso del río Loa. En esta línea, es importante generar una fiscalización de los usos de agua en el río, con el fin de garantizar un uso responsable de los recursos hídricos de la cuenca hidrográfica.

1.15. Promover un uso responsable del agua, para todos los actores del sector de Quillagua.

TEMA	2. AGRICULTURA
VISIÓN El futuro, la proyección, los sueños	Volver a desarrollar la agricultura comercial. Diversificar
SITUACIÓN ACTUAL Y BRECHAS Distancia entre la situación actual y la visión	**No hay desarrollo de agricultura** Ya no se cultiva alfalfa ni maíz de forma comercial. Falta de agua y mala calidad de la misma imposibilitan desarrollar los cultivos. Se presume que asimismo existe un problema con el suelo (experiencia de cultivo fallido con agua dulce). Alto porcentaje de tierras cultivables en manos de SQM. Averiguar los desarrollos específicos sobre agricultura que están siendo realizados por SQM en y para el pueblo.
ACCIONES Propuesta de acciones de base científica	2.1. Es necesario mejorar la eficiencia hídrica. En este sentido, se remarca la importancia de mejorar el sistema de riego en la agricultura, mediante la identificación de métodos más eficaces. 2.2. La reutilización del agua en las viviendas (reciclar el agua residual doméstica) ayudará a aprovechar de una manera más sostenible la disponibilidad de agua en el sector de Quillagua. 2.3. Se considera de especial relevancia aprovechar el recurso hídrico procedente de las lluvias en la cuenca de drenaje. En este sentido, se recomienda la generación de proyectos y estudios hídricos que generen sistemas de captura y/o retención de las aguas superficiales durante eventos de lluvia. De esta forma, se aumenta la disponibilidad de agua en el sector de Quillagua a través de las aguas de escorrentía superficial durante eventos hidrometeorológicos extremos. Para este fin, se debe mejorar un sistema de canalización pluvial de las aguas superficiales. 2.4. Investigar calidad del suelo y del agua y los niveles de resistencia de maíz y alfalfa a los potenciales inhibidores del cultivo. 2.5. Es necesario controlar el uso de pesticidas en las aguas de riego, con el fin de evitar un deterioro en la calidad química de las aguas disponibles para la agricultura. 2.6. Potenciar la obtención de agua a través de los recursos hídricos no convencionales (RHNC), como la obtención de agua mediante el agua de niebla (Camanchaca) y/o el agua de rocío. 2.7. Se recomienda la construcción de tranques (depósitos) de agua para abastecer de recurso hídrico en la agricultura. 2.8. Es importante fomentar pruebas piloto para purificar el agua. 2.9. Se recomienda desarrollar proyectos donde se haga entrega de bosque en el sector de Quillagua, con el fin de preservar la biodiversidad y generar futuras ayudas públicas para su gestión.

TEMA	3. BIODIVERSIDAD
VISIÓN El futuro, la proyección, los sueños	Buscar, identificar y preservar las semillas ancestrales (Alfalfa, choclo) y las especies del río (camarón y pejerrey).
SITUACIÓN ACTUAL Y BRECHAS Distancia entre la situación actual y la visión	La biodiversidad es sensible a los cambios ambientales en los parámetros físico-químicos de los recursos hídricos (pH, temperatura, conductividad eléctrica, Potencial Redox y Oxígeno Disuelto). Estos ecosistemas son frágiles ante cualquier cambio en estos parámetros, y las actividades antrópicas generan potenciales impactos ambientales en la biodiversidad. Impacto industria energética: existe preocupación por los posibles impactos de la industria solar, eólica y sistemas de transmisión en la biodiversidad. No se sabe si se están tomando las precauciones necesarias.
ACCIONES Propuesta de acciones de base científica	3.1. Visualizar la importancia de mejorar las normativas ambientales. Los impactos ambientales se minimizan cuando la normativa ambiental del país (o la Región) es lo más estricta y completa posible. 3.2. Establecer Planes Hidrológicos que fomenten la protección de los ecosistemas con sus distintos componentes, minerales, flora, fauna y microbiota. 3.3. Evaluar el potencial impacto ambiental asociado a los eventos hidrometeorológicos extremos. 3.4. Definir planes de monitoreo que incluyan los distintos componentes. 3.5. Evaluar pertinencia y operatividad de la Guía para la conservación y seguimiento de estos elementos, y recomendar los cambios considerados como necesarios. 3.6. Es necesario fomentar estudios donde se determine el Caudal Ecológico del Río Loa. De esta forma, se comprenderán de mejor forma las causas que provocan la variabilidad en el caudal del río y su consiguiente afectación a la biodiversidad del sistema acuático. Por consiguiente, se podrá entender qué factores (naturales y/o antrópicos) han provocado fluctuaciones en el caudal del río y/o en su calidad química

TEMA	4. EDUCACIÓN
VISIÓN El futuro, la proyección, los sueños	Desarrollar una educación continua para los escolares (básica a media) y para los habitantes respecto del Patrimonio Natural y Cultural.
SITUACIÓN ACTUAL Y BRECHAS Distancia entre la situación actual y la visión	Se necesita fomentar más acciones de educación para realizar el patrimonio natural de la zona. Estas acciones deberían ser aplicadas a todos los actores existentes, desde los escolares y habitantes, hasta los actores del sector público y privado. No existe la posibilidad de estudiar enseñanza media en Quillagua. Se ha perdido interés por aprender la lengua.
ACCIONES Propuesta de acciones de base científica	4.1. Se debe valorar más lo que se conoce del territorio. El sentido de pertinencia se fortalece cuando se difunde el conocimiento natural, histórico y patrimonial de Quillagua, favoreciendo el respeto al patrimonio cultural y natural. Esta educación debe realizarse para el sector privado, sector público y para la comunidad. 4.2. Es importante aumentar la difusión del conocimiento de la biodiversidad. 4.3. La difusión es más efectiva con el uso de las RRSS. Asimismo, la creación de una plataforma web permitirá compartir la información de la Cuenca del Río Loa (y, en especial, del sector de Quillagua), donde cualquier usuario puede consultar y retroalimentar la base de datos. 4.4. La generación y difusión de Tesis de Grado favorecerá fortalecer la base de datos sobre el territorio del sector de Quillagua. 4.5. Generar Diplomados para realizar enseñanza sobre la naturaleza y la puesta en valor del patrimonio natural. En esta línea, se recomienda generar programas educativos en Quillagua. 4.6. Desarrollar formas de difundir la lengua, un espacio con su lengua. Generar nuevo interés conectado con el sentido de pertenencia. 4.7. Promover iniciativa de radio online. Con frecuencia, es preferible usar una emisora de radio para difundir y comunicarse con la comunidad, más que establecer una plataforma web. La plataforma web necesita un conocimiento mínimo de uso que una parte de la comunidad; en cambio, la existencia de una emisora de radio facilita más la difusión de información a la comunidad.

TEMA	5. ENERGÍA
VISIÓN El futuro, la proyección, los sueños	Potencial importante para el país (Litio). Preocupación por co-impactos de las nuevas tecnologías (solar).
SITUACIÓN ACTUAL Y BRECHAS Distancia entre la situación actual y la visión	Impacto de plantas solares, eólicas y sistemas de transmisión en la zona. Preocupación por aumento de temperatura atribuible a la planta y uso de agua para limpiar paneles. Se presumen otros impactos en la salud de acuerdo a testimonios recibidos. Preocupación por los residuos que se generarán. Nueva industria puede atraer delincuencia por hurto de paneles.
ACCIONES Propuesta de acciones de base científica	5.1. Mecanismos de comunicación entre entidades a cargo del desarrollo de nuevas plantas de energía y las comunidades que habitan el territorio para prevenir potenciales conflictos socio-medioambientales. Se necesita generar talleres donde se evalúen los Riesgos y Oportunidades, con el fin de diseñar de forma óptima planes de mitigación. 5.2. Generar estudios de impacto ambiental asociados a las plantas solares, parques eólicos y sistema de transmisión. Los resultados deben transformarse en normativa, procesos y guías que permitan resguardar la salud de los habitantes y el estado de la naturaleza (testimonio que grafica el concepto: "Yo pienso que lo que se debería hacer es hacer algo a las poblaciones, donde estamos rodeados de estas, darle la información a la gente, decirnos si hará más calor, pero que no es dañino, decimos 'no salgan a esta hora', cosas así."). No basta con los estudios convencionales! Tienen que recoger las preocupaciones de la comunidad. Asimismo, debería ser en un marco de comunicación y vinculación, una cosa es que se comunique y otra que se haga caso. 5.3. Se requiere de medición de variables ambientales relacionadas con los proyectos de energía: temperatura ambiente, biodiversidad, entre otras. 5.4. La normativa sobre energía no es suficiente: se debe mejorar y enriquecer, con el objetivo de cubrir de forma satisfactoria el escenario energético actual. 5.5. El ciclo vital de un proyecto sobre energía debe seguir los estándares internacionales. 5.6. Se necesita generar talleres donde se evalúen los Riesgos y Oportunidades, con el fin de diseñar de forma óptima planes de mitigación. 5.7. El desarrollo de proyectos sobre energía deben incluir los temas relacionados con la Salud, Seguridad, Medio Ambiente, Derechos Humanos y Comunidades.

TEMA	6. TURISMO Y PATRIMONIO
VISIÓN El futuro, la proyección, los sueños	Desarrollar el turismo. Valle de Meteoritos, patrimonio arqueológico.
SITUACIÓN ACTUAL Y BRECHAS Distancia entre la situación actual y la visión	**Cierre del Centro turístico en Quillagua y deterioro de lugares turísticos.** Edificaciones de carácter histórico y patrimonial dentro del pueblo (estación de trenes y museo), pero que no hay concesión para la restauración. **Paisaje local con torres de alta tensión.** Se estropea el Paisaje del Valle de Meteoritos y el zumbido de la electricidad afecta a las aves. **Turismo** Falta de financiamiento para proyectos. El patrimonio y los sitios de interés no están siendo cuidados. **Cierre del Museo Antropológico y Arqueológico de Quillagua**: El museo de acá está muy mal. No tiene conservación. Ese museo prácticamente está a cargo de la municipalidad (María Elena).
ACCIONES Propuesta de acciones de base científica	6.1. Fomentar el estudio de la capacidad de carga turística en la cuenca del río Loa. 6.2. Posicionar a la cuenca del río Loa y los puntos edificados (tranques como Sloman, Santa Fé, otros) como un imperdible del Desierto de Atacama. 6.3. Generar turismo responsable y sustentable. A modo de ejemplo, generar talleres para recuperar y valorizar técnicas artesanales del sector (por ejemplo, rescate del telar andino y aprender a teñir, que ya se está realizando por parte de SOM). Estas acciones fortalecen el sentido de pertenencia del sector de Quillagua. En definitiva, es importante apoyar iniciativas que fomenten la recuperación del rescate patrimonial. Promover un relato turístico histórico coherente con todo el territorio y con el conocimiento científico. Entregar información a las asociaciones turísticas sobre la mirada de la ciencia sobre el turismo. 6.4. Potenciar agentes turísticos de Quillagua. En este sentido, es importante generar Zonas de Interés Turístico (ZOIT). El ZOIT es una herramienta reconocida por la Ley del Turismo N°20.423 para priorizar la ejecución de programas y proyectos públicos de fomento al desarrollo de la actividad turística, como la asignación de recursos destinados a obras de infraestructura y equipamiento necesarios. 6.5. Preparar guías del pueblo por profesionales mediante un tour de visitas a todos los lugares que tengan un contexto arqueológico (Geoglifos La Encañada, Calarcoto y Chug Chug) y antropológico (valoración de los objetos y materiales usados por la comunidad Aymara ancestral e historia de las Oficinas Salitreras del distrito ubicadas al sur del pueblo).

6.6. Para este contexto 6.5, es clave que el Museo tenga una calidad superior para incluir una colección y explicación de las salitreras. El costo para mejorar la infraestructura del Museo podría ser asumido por SOM ya que no serían muy altos y por ende, los recursos obtenidos por la gestión del Museo irían en beneficio del pueblo. Se requiere de acción de rescate de museo local y vincularlo con estudios y preservación de cultura local. Idea de desarrollar dos museos (ancestral y otro de la historia de la agricultura).

6.7. Fomentar la construcción de restaurantes en el sector de Quillagua.

6.8. Generar talleres para recuperar y valorizar técnicas artesanales del sector (por ejemplo, rescate del telar andino y aprender a teñir, que ya se está realizando por parte de SOM). Estas acciones fortalecen el sentido de pertenencia del sector de Quillagua. En definitiva, es importante apoyar iniciativas que fomenten la recuperación del rescate patrimonial.

6.9. Potenciar agentes turísticos de Quillagua. En este sentido, es importante generar Zonas de Interés Turístico (ZOIT). El ZOIT es una herramienta reconocida por la Ley del Turismo N°20.423 para priorizar la ejecución de programas y proyectos públicos de fomento al desarrollo de la actividad turística, como la asignación de recursos destinados a obras de infraestructura y equipamiento necesarios.

TEMA	7.- HISTORIA 7 IDENTIDAD
VISIÓN El futuro, la proyección, los sueños	**No dejar morir el pueblo. Comunidad Aymara organizada en los últimos años. Proceso de reetnificación.**
SITUACIÓN ACTUAL Y BRECHAS Distancia entre la situación actual y la visión	**Disminución de la población** Éxodo de los pobladores por falta de actividades productivas. Hay alrededor de 200 hab. Los niños se mantienen acá hasta 4to medio porque pueden ir a estudiar a María Elena; cuando son estudios universitarios se tienen que ir, y no regresan. Por el trabajo, o tienen familia. Mayor presencia de jubilados.
ACCIONES Propuesta de acciones de base científica	7.1. Potenciar zonas de cultivo para recuperar la agricultura. 7.2. Generar turismo responsable y sustentable. 7.3. Creación de un Centro de Interpretación en Quillagua. Mostrar paneles informativos y difusión de trípticos y videos de formación geológica de la cuenca del río Loa, flora y fauna del lugar. 7.4. Generar una estrategia de divulgación científica efectiva, dirigida a todos los actores del río Loa. 7.5. Activar instancias para mejorar la arquitectura y el reciclaje de materiales, respetando el patrimonio arquitectónico del lugar. 7.6. Recuperar espacios abandonados en Quillagua. Existen ejemplos ya realizados por SQM en María Elena.

TEMA	8. TRANSVERSAL
VISIÓN El futuro, la proyección, los sueños	Capacidad de trabajo conjunto entre distintos actores con el fin de conservar y cuidar, reduciendo la conflictividad.
SITUACIÓN ACTUAL Y BRECHAS Distancia entre la situación actual y la visión	Existencia de tensiones generadas por cruce de información. Tensiones generadas por el uso productivo de los recursos naturales versus el cuidado ambiental.
ACCIONES Propuesta de acciones de base científica	8.1. Proponer mecanismos de comunicación entre la Ciencia y los actores relacionados con la toma de decisiones, que alerten de forma rápida de procesos ambientales que requieran remediación. 8.2. Mejorar el monitoreo de los pasivos ambientales y establecer un Sistema de Vigilancia Ambiental con un Sistema de Alerta Temprana. 8.3. Proponer la generación de una plataforma de acceso a la información científica actualizada, asociada a temas relevantes en el territorio. 8.4. Investigar enfermedades relac ionadas a las altas concentraciones de metales pesados. 8.5. Promover estrategias de creación de valor social en el territorio. 8.6. Con frecuencia, es preferible usar una emisora de radio para difundir y comunicarse con la comunidad, más que establecer una plataforma web. La plataforma web necesita un conocimiento mínimo de uso que una parte de la comunidad; en cambio, la existencia de una emisora de radio facilita más la difusión de información a la comunidad. 8.7. Al momento de difundir/divulgar información, se recomienda evitar el uso de papel impreso, promoviendo el uso de material audiovisual.

TEMA	9. OTROS (GEODIVERSIDAD)
VISIÓN El futuro, la proyección, los sueños	Geodiversidad relevante para el desarrollo científico y turístico, entre otros.
SITUACIÓN ACTUAL Y BRECHAS Distancia entre la situación actual y la visión	. Falta de conocimiento de las singularidades geológicas. Saber las características geológicas específicas sobre la calidad de oasis del sector y ser la población más cercana a la Cuenca de Llamara. Escasa mantención y descripción de los lugares geológicos como: • El campo de geoglifos ubicado a unos 8 km al oeste del pueblo. • Las instalaciones hidroeléctricas del Tranque Sloman en el río Loa, ubicado a 12 km del pueblo. • Formación del campo de Meteoritos. • Las hipótesis del origen del salitre en el Desierto de Atacama. • La historia y el funcionamiento de las Oficinas Salitreras del distrito ubicadas al sur del pueblo.
ACCIONES Propuesta de acciones de base científica	9.1. Hacer folletos que completen el conocimiento o proporcionen una explicación más detallada de las singularidades geológicas del territorio y de los lugares de interés cercanos. El material generado debe ser entregado a la junta de vecinos, comunidad Aymara, guías turísticos del pueblo, al museo antropológico de Quillagua y al colegio. 9.2. En el caso del Tranque Sloman, solo se puede recomendar su recuperación parcial, digna, y que se ofrezca como una visita en condiciones similares al párrafo anterior. 9.3. Hacer folletos con la explicación correspondiente sobre el campo de Meteoritos y que se prepare una visita pagada al lugar con guías a los que se puede entregar el conocimiento adecuado. 9.4. Generar un material audiovisual sobre las hipótesis del origen del salitre en el Desierto de Atacama y la historia y el funcionamiento de las Oficinas Salitreras del distrito ubicadas al sur del pueblo. 9.5. Investigación sobre nuevos recursos minerales primarios y secundarios económicos, su explotación y procesamiento.

Trópico de Capricornio

LanData

Laboratorio Natural Desierto de Atacama

landata.cl

/ landata@ucn.cl

+56 55 2 355496

INSTITUCIONES ASOCIADAS

Universidad Católica del Norte

UNIVERSIDAD DE TARAPACÁ
Universidad del Estado

UNIVERSIDAD DE CHILE

UA Universidad de Antofagasta

UNIVERSIDAD DE ATACAMA

BIOCIENCIA
FUNDACIÓN CIENTÍFICA Y CULTURAL