



Corporación
Capital
Biodiversidad

DELIMITACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE USOS DEL HUMEDAL DESEMBOCADURA DEL RÍO ELQUI Y SUS SUBCUENCAS APORTANTES, REGIÓN DE COQUIMBO

INFORME FINAL
Mayo 2021



El proyecto GEFSEC ID:9766 *“Promoviendo la conservación y el manejo sostenible de los humedales costeros y sus cuencas aportantes, a través de la mejora en la gestión y planificación de los ecosistemas de borde costero de la zona centro sur de Chile, hotspot de biodiversidad”* solicita hacer un estudio para la ***“Delimitación y caracterización de usos del Humedal Desembocadura del Río Elqui y sus Subcuencas Aportantes, Región de Coquimbo”***.

Equipo consultor:

Equipo responsable

- Alejandra Figueroa
- Daniela Tapia
- Carolina Rojas
- Elisabeth Lictevout
- Ricardo Cáceres
- Solange Daroch
- Renzo Vargas
- Gustavo Chiang

Equipo asistente

- Tiara Rodriguez
- Juan Munizaga
- Victor Pasten

Responsables edición:

- Alejandra Figueroa
- Daniela Tapia

Agradecemos la participación de todas y todos los integrantes del Comité, a quienes acogieron nuestras solicitudes de información, respondieron amablemente las encuestas y participaron en los talleres. A la contraparte del proyecto, representada por Carolina Vega, coordinadora del Proyecto GEF Humedales y de Rodrigo Jorge Baquedano, encargado de Recursos Naturales de la SEREMI de Medio Ambiente de la región de Coquimbo, agradecemos su dedicación, lo que hizo posible avanzar en el desarrollo de esta consultoría, así como la participación de la Seremi Claudia Rivera y de la Coordinadora Nacional del Proyecto GEF Humedales, Carolina Silva.

Sugerencia para citar el estudio: Figueroa, A., Lictevout, E., Rojas, C., Tapia, D., Daroch, S., Cáceres, R. 2021. Delimitación y caracterización de usos del Humedal Desembocadura del Río Elqui y sus Subcuencas Aportantes, Región de Coquimbo. Informe Final. Ministerio del Medio Ambiente- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Resumen ejecutivo	1
1. Introducción	4
2. Objetivos del estudio	5
3.1. Objetivo general	5
3.2. Objetivos específicos	5
3. Metodología de trabajo	5
3.1. SISTEMATIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	5
3.1.1. Antecedentes del humedal y subcuencas aportantes	5
3.1.2. Caracterización hidrológica e hidrogeológica del humedal de la Desembocadura del río Elqui	8
3.1.3. Sistematización de la biodiversidad en el humedal del río Elqui.	10
3.1.4. Revisión bibliográfica para el análisis sobre servicios ecosistémicos	12
3.1.5. Revisión bibliográfica sobre las amenazas, contexto global y del río Elqui	14
3.1.5.1. Eventos naturales y amenazas. Alcances específicos para el caso de la región de Coquimbo	15
3.1.6. Análisis de la información sobre límites de bien de uso público y privado	18
3.1.6.1. Análisis de la normativa vigente aplicable sobre delimitación de cauce, bien de uso público y privado.	18
3.1.6.1.1. Normativa Aplicable	18
3.2. CONCEPTUALIZACIÓN Y DESARROLLO	21
3.2.1. Monitoreo de Intrusión salina y variables fisico-químicas	21
3.2.1.1. Campañas de terreno	21
3.2.1.2. Recopilación de series de datos de estaciones de monitoreo	26
3.2.1.3. Análisis de datos	26

3.2.2. Criterios de delimitación	28
3.2.2.1. Delimitación para elaborar la cartografía	29
3.2.2.2. Modelo de elevación	30
3.2.2.3. Geomorfología	30
3.2.2.4. Inundación por Tsunami	31
3.2.2.5. Inundación por crecidas del río Elqui	33
3.2.3. Metodología de análisis para la determinación de áreas de alto valor por biodiversidad	34
3.2.3.1. Zonificación del área de evaluación	34
3.2.3.2. Delimitación de tipos vegetacionales	35
3.2.3.3. Criterios de priorización de áreas de alta biodiversidad	38
3.2.3.4. Procesamiento de criterios	42
3.2.3.5. Selección de áreas prioritarias	43
3.2.3.6. Biodiversidad basada en hábitat fluvial	43
3.2.4. Marco conceptual y metodológico sobre los servicios ecosistémicos y avances en el área de estudio	44
3.2.4.1 Identificación de Servicios Ecosistémicos	45
3.2.4.2 Valoración de Servicios Ecosistémicos	46
3.2.4.2.1 Provisión potencial y mapeo de Servicios Ecosistémicos	46
3.2.5. Marco conceptual y metodológico sobre amenazas al humedal y subcuencas aportantes	47
4. RESULTADOS	50
4.1. Detección del humedal de la Desembocadura del Elqui en base a imágenes de satélite	51
4.1.1. Correcciones Delimitación del Humedal	53
4.1.2. Delimitación Final Humedal Desembocadura río Elqui	53

4.1.3. Usos de suelo en el sistema humedal	56
4.1.3.1. Delimitación de usos de suelo de las subcuencas	58
4.2. Resultados monitoreo y variables físico-químicas	62
4.2.1. Análisis hidrológico temporal	62
4.2.2. Análisis de correlación entre variables	68
4.2.3. Relaciones molares del agua superficial y subterránea	70
4.2.4. Análisis hidrológico espacial	71
4.2.5. Propuesta de modelo conceptual del funcionamiento hidrogeológico	75
4.3 Resultados sobre propiedad fiscal y privada de los límites del humedal	76
4.3.1. Información de propietarios rieranos al cauce del río Elqui en la desembocadura	80
4.4 Resultados sobre áreas de alta biodiversidad en el área de la desembocadura del río Elqui	81
4.4.1. Diversidad de especies por sección	81
4.4.2. Diversidad de especies prioritarias por sección	83
4.4.3. Presencia de especies endémicas y nativas por hábitat	89
4.5. Resultados sobre Servicios Ecosistémicos	92
4.5.1. Identificación de Servicios Ecosistémicos	92
4.5.2. Valoración de Servicios Ecosistémicos	94
4.6. Resultados sobre las amenazas priorizadas en el área de la desembocadura	101
4.6.1. Amenazas directas	101
4.6.2. Amenazas indirectas	102
4.7. Actividades desarrolladas con el Comité Técnico Local	106
5. DISCUSIÓN	106

6. CONCLUSIONES	107
7. RECOMENDACIONES	108
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
ANEXOS	123
Índice de figuras	124
Índice de tablas	126
Índice de gráficos	128



ÍNDICE DE ABREVIATURAS

CAACH = Corporación de Ambientes Acuáticos de Chile
CR2 = Centro para el Clima y la Resiliencia
CEAZA = Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas
CDB = Convención de Diversidad Biológica
CEHUM = Centro de Humedales de Valdivia
CICES = *Common International Classification of Ecosystem Services*
CIREN = Centro de Información de Recursos Naturales
CSE = Cascada de los Servicios Ecosistémicos
DGA = Dirección General de Aguas
DMC = Dirección Meteorológica de Chile
D.S. = Decreto Supremo
ECELS = Índice del Estado de Conservación de Ecosistemas Lénticos Someros
EDGE = *Evolutionarily Distinct and Globally Endangered*
EE = Especies Exóticas
EEI = Especies Exóticas Invasoras
GEE = *Google Earth Engine*
GBIF = *Global Biodiversity Information Facility*
IDE = Infraestructura de Datos Espaciales
IPBES = Plataforma Intergubernamental sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos
MINVU = Ministerio de Vivienda y Urbanismo
MMA = Ministerio del Medio Ambiente
NDVI = *Normalized Difference Vegetation Index*
NDWI = *Normalized Difference Water Index*
NSCA = Norma Secundaria de Calidad de Aguas
Pi = Frecuencia relativa
PNUMA = Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PRC = Plan Regulador Comunal
RCE = Reglamento de Clasificación de Especies
SAG = Servicio Agrícola y Ganadero
SERNAGEOMIN = Servicio Nacional de Geología y Minería
SHOA = Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada
SISS = Superintendencia de Servicios Sanitarios
SS.EE = Servicios Ecosistémicos
TDR = Términos de Referencia
UICN = Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto GEF “Conservación de humedales costeros de la zona centro-sur de Chile, a través del manejo adaptativo de los ecosistemas de borde costero”, conocido por su nombre abreviado como proyecto GEF Humedales Costeros, busca la conservación y uso sostenible de los ambientes acuáticos costeros, desde la perspectiva de cuencas. Dicho proyecto, ha licitado el estudio “Delimitación y caracterización de usos del Humedal Desembocadura del río Elqui y sus Subcuencas Aportantes, Región de Coquimbo” y ha sido desarrollado por la Corporación Capital Biodiversidad. En el Informe Final, se presentan los resultados para cada objetivo, los que en su conjunto deben ser comprendidos e interpretados como insumos para un futuro proceso de conservación y gestión sostenible del sistema costero y fluvial del río Elqui, donde no solo se ha considerado el humedal de la desembocadura sino otros humedales integrados a la cuenca del río Elqui, lo que queda representado en la delimitación del área de estudio desarrollada en este mismo estudio.

En este Informe se presentan los resultados para responder a los siguientes objetivos: OE1) Determinar los usos y coberturas de suelo del humedal y de sus subcuencas aportantes; OE2) Determinar límites ecológicos del humedal de la desembocadura del río Elqui; OE3) Determinar el bien de uso público del río Elqui en el humedal de su desembocadura y OE 4) Priorizar puntos con alta presencia de biodiversidad y servicios ecosistémicos del humedal y de sus subcuencas aportantes.

Se han estudiado las características y comportamiento hidrológico actual del sistema fluvial y laguna costera del río Elqui en su tramo final, incluyendo la desembocadura. Se estudiaron y describieron las amenazas al sistema humedal costero y fluvial dentro del casco urbano, incluyendo un mapeo de amenazas y de servicios ecosistémicos, así como la propuesta de un modelo conceptual del humedal. Se incluye un análisis de actores que permite ser considerado en un proceso siguiente. Los resultados son producto del trabajo de terreno, gabinete y de las reuniones y talleres con el Comité Técnico Local entre los meses de septiembre 2020 y abril 2021.

El presente estudio permitió definir los límites ecológicos del humedal de la desembocadura del río Elqui, con 568,1 hectáreas, considerando criterios como: la hidrología, vegetación, geomorfología y edafología, más un proceso participativo del Comité Técnico Local del proyecto. Los límites de la propiedad fiscal y privada han sido informados de acuerdo a datos públicos del SII y CIREN, aunque existe cierto grado de discordancia entre ambas fuentes, cabe señalar que los límites jurídicos de dominio privado o público, no necesariamente se corresponden con los límites ecológicos del humedal, ya que el dominio privado se encuentra sobre el humedal o en parte de éste, tal como ha quedado reflejado en los resultados de este informe. Se han propuesto áreas de mayor biodiversidad con singularidades específicas y se identifican los servicios ecosistémicos potenciales que podrían o está entregando el sistema del humedal de la desembocadura y sus cuencas aportantes, utilizando para esto la metodología *Common International Classification of Ecosystem Services* (CICES, 2020).

Proponemos estos resultados para que el Comité Técnico Local junto al Ministerio del Medio Ambiente, en el marco del Proyecto GEF, puedan conducir un proceso de planificación de conservación para el humedal de la Desembocadura del río Elqui.

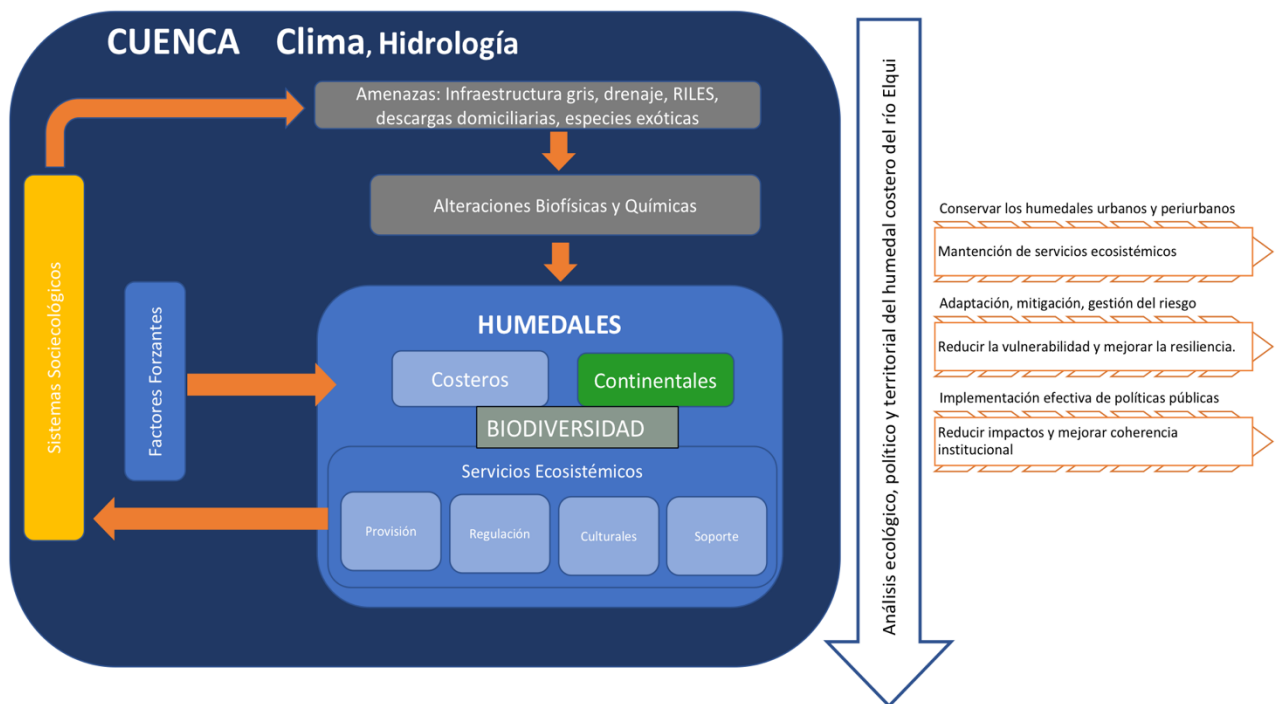
El humedal del río Elqui

Se propone una zonificación del sistema del humedal del río Elqui que incluye el área de la Desembocadura y el sistema léntico (fluvial), a saber: temporal (278,9 ha), permanente (135,9 ha), laguna costera (6,7 ha), vegetación ripariana (106,4 ha) y playas y dunas (30 ha). Adicionalmente, se incluyó el sistema intermareal (10,2 ha), aunque responde a una dinámica marina más que continental y sugerimos su caracterización y delimitación para evaluar y considerar la continuidad ecológica del sistema costero.

El humedal está inserto en un sistema socio-ecológico urbano en constante cambio, lo que ha desencadenado la alteración en los componentes estructurales (características físicas, químicas y biológicas que definen el hábitat) y funcionales del sistema (los procesos que ocurren dentro de un hábitat y entre hábitats), y en los múltiples beneficios que el humedal costero podría entregar a sus habitantes.

En la figura 1 se presenta conceptualmente la relación entre el humedal de la desembocadura, la cuenca, amenazas y servicios ecosistémicos, ejemplificando la interacción entre los componentes de este sistema socio-ecológico urbano que han sido estudiados en el presente proyecto.

Figura 1. Modelo conceptual que representa interacciones entre el sistema socioecológico y los humedales insertos en la matriz urbana.



Fuente: Elaboración propia, basada en Figueroa A. & Valdés, A.2020 (no publicado)

Biodiversidad y amenazas en el humedal

A pesar de los cambios y amenazas persistentes en el área del humedal y subcuencas, se evidencia la presencia de biota acuática como peces, anfibios, aves y macrófitas nativos. La presencia de vegetación acuática, palustre y ribereña debe ser conservada para dar espacio a otros grupos dependientes. Las

especies exóticas son una amenaza importante para el humedal, así como otras que alteran la estructura y funcionalidad del ecosistema.

Las amenazas han sido clasificadas a partir de un proceso jerárquico y participativo, lo que permitirá establecer medidas específicas para revertirlas. Los factores de amenaza indirectos parecen estar ejerciendo efectos sinérgicos, con alto impacto sobre el río Elqui. Un componente determinante para la permanencia del humedal son los caudales superficiales y subterráneos, los que están sufriendo una fuerte demanda y modificación en el área del humedal y la cuenca, lo que supone una evolución negativa para todo el ecosistema.

El informe está estructurado en 6 Capítulos. En los dos primeros se presenta una introducción y los objetivos del estudio, luego en el capítulo 3 se detalla la información utilizada y un breve análisis de la misma. Presenta además detalladamente la metodología usada para cada tema de estudio y en el capítulo 4 se presentan los resultados en relación a la hidrología del área; la delimitación del área, usos del suelo a nivel del humedal y cuenca, resultados sobre propiedad de uso público y privada, las áreas de alta biodiversidad e identificación de servicios ecosistémicos y amenazas priorizadas. El capítulo 5 presenta conclusiones y finalmente el capítulo 6 algunas recomendaciones.

1. INTRODUCCIÓN

Los humedales costeros entendidos como las desembocaduras de ríos o esteros, forman estuarios o lagunas costeras y se localizan a lo largo de la costa continental. Muchos de estos humedales están desconectados del mar estacionalmente, sin embargo, en situaciones de “mega-sequía” como la vivida en Chile desde hace más de una década (MMA, 2018), esto se ha vuelto habitual, especialmente en la zona centro-sur del territorio, a lo que se suman los procesos erosivos de las marejadas, cada vez más habituales (MMA 2019). El humedal costero del río Elqui, uno de los tres ríos principales que existen en la región de Coquimbo, permite el desarrollo de todas las actividades que se dan desde la cabecera hasta la desembocadura de éste en el mar, dando viabilidad a la ciudad de La Serena.

A pesar de las contribuciones que aportan el río Elqui y el humedal costero a las personas, estos parecen no ser valorados por el conjunto de la sociedad, río y humedal, corresponden a una unidad ecológica integrada, siendo el humedal un subsistema límnic integrado a la cuenca hidrográfica (Vila et al., 2006). Su recorrido por la ciudad de La Serena parece estar en agonía, desapareciendo y con ello la biodiversidad que aporta este sistema, pequeñas lagunas y canales se dispersan en el casco urbano, y hacia la zona costera un paisaje singular en una zona semiárida, conformado de vegas, dunas y laguna costera invita a los visitantes a disfrutar de un pequeño refugio natural. Sin embargo, las evidentes alteraciones, a lo largo de la cuenca, marca una triste tendencia global, la pérdida de estos ecosistemas se acelera con consecuencias negativas en la calidad de vida de las personas.

Los humedales son ecosistemas complejos, en estos se almacena carbono, se libera oxígeno, se procesan nutrientes, en los sedimentos se almacenan elementos que pueden ser tóxicos para la vida humana. La interacción entre la vegetación terrestre, acuática, los suelos y el agua, constituye el pilar para que la vida sea posible. La presencia del río Elqui y del humedal costero en la ciudad, es una singularidad que hace parte de su patrimonio natural y un privilegio no valorado. Su recuperación y conservación permitiría disfrutar de una ciudad amable y resiliente ante las amenazas del cambio climático.

La pérdida de los ecosistemas nos hace más vulnerables a las múltiples amenazas, antrópicas y de origen natural, por ello es urgente acelerar esfuerzos público-privados para detener la pérdida de humedales. Los humedales saludables, resultan ser una buena solución para la mitigación y adaptación ante cambio climático.

Nuestro objetivo, más allá de los resultados de esta consultoría, fue aproximarnos a la causa de los fenómenos observados, de forma integrada y que pusiera en evidencia la complejidad de los sistemas naturales, y aportar con información que sustente la delimitación ecológica del humedal. Esperamos que estos resultados sean un complemento al conocimiento local, y un punto de partida para el diseño de nuevos proyectos que integren a un ecosistema frágil y degradado, en la planificación urbana de la ciudad de La Serena, su pérdida, tendrá costos para la región y el país, no evaluados. Esto, exige intervenciones innovadoras y pertinentes, un desafío para todos los involucrados.

Esperamos que en este estudio contribuya a la conservación del río Elqui y sus humedales.

Corporación Capital Biodiversidad

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

2.1. OBJETIVO GENERAL

Se requiere un equipo consultor para el proyecto GEF Humedales Costeros, con el propósito de determinar los límites ecológicos y el bien nacional de uso público del humedal de la Desembocadura del río Elqui, Región de Coquimbo.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- OE 1) Determinar los usos y coberturas de suelo del humedal y de sus subcuencas aportantes.
- OE 2) Determinar límites ecológicos del humedal de la desembocadura del río Elqui.
- OE 3) Determinar el bien de uso público del río Elqui en el humedal de su desembocadura.
- OE 4) Priorizar puntos con alta presencia de biodiversidad y servicios ecosistémicos del humedal y de sus subcuencas aportantes.

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El enfoque para llevar a cabo la presente consultoría fue el siguiente:

- **Sistematización y análisis de la información.** En esta etapa identificamos la información relevante para los objetivos de la consultoría, las brechas de información, aquella que debía ser complementada, así como la sistematización de la misma.
- **Conceptualización y Desarrollo.** En esta etapa se procesó la información, discriminando los criterios que guiaron la delimitación del humedal y áreas con alta biodiversidad, así como la identificación de amenazas y de servicios ecosistémicos.
- **Resultados.** Propuesta elaborada y validada con contraparte y Comité Técnico Local.

3.1. SISTEMATIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Se analizaron los antecedentes entregados por la contraparte técnica que corresponden a estudios realizados por diversos organismos sectoriales, literatura especializada y fuentes de información primaria, es decir, fuentes de información científica como revistas indexadas, así como informes técnicos aprobados por alguna institución del Estado, o bases de datos internacionales y nacionales.

Adicionalmente a la bibliografía citada, toda la información consultada durante esta consultoría se ha sistematizado en una matriz única que se detalla en el [Anexo 1](#).

3.1.1. Antecedentes del humedal y subcuencas aportantes

Como elemento preliminar nos referiremos a las definiciones de humedal y características de interés para esta consultoría.

Definiciones sobre los humedales

De acuerdo con la Convención Ramsar los humedales son: “las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina

cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros” (párrafo 1 del art. 1 de la Convención de Ramsar). Esta definición ha sido adoptada por el D.S. N° 771 de 1981, norma que aprueba la ley sobre la Convención Ramsar.

Respecto a humedales costeros, estos son las unidades que interactúan con el ambiente marino, viéndose fuertemente influenciados por las mareas, los vientos, la salinidad, entre otros factores físicos (Mitsch & Gosselink 2009; MMA 2010). A nivel global se reconocen distintos tipos, lo más conocidos son: marismas, estuarios y manglares. En Chile se identifican principalmente lagunas costeras, marismas, pantanos salinos y estuarios, estos últimos abundan al sur de la latitud 35° y al sur de los 40° de latitud S abundan los fiordos y deltas (Figueroa et al., 2018). Los humedales costeros se caracterizan por presentar una cubeta o cauce somero, que recibe los aportes de los ríos y el mar y en algunos casos es posible encontrar una llanura de inundación lateral (MMA, 2010; Mitsch et al., 2009).

De acuerdo al estudio encargado por el MMA en 2010 (MMA-CEA 2010) los humedales costeros presentan un cauce y/o una cubeta canalizada, así como planicies de inundación”(p.6). Las riberas en general están cubiertas de vegetación, y las planicies de inundación presentan alturas de escurrimiento menores que en el centro de la cubeta o cauce. En estas áreas se presentan condiciones especiales de intercambio de masa entre los sedimentos y la columna de agua. Sin embargo, estos procesos se ven más o menos influenciados dependiendo de la dinámica hidrológica entre el caudal de agua continental y el agua de mar que ingresaría al estuario (MMA-CEA 2010).

Los humedales costeros corresponden a la interacción entre ecosistemas terrestres y marinos, donde se combinan masas de agua marina y continental, que entran y salen (Niering 1985). Dicho lo anterior y para conocer la hidrodinámica del humedal costero, hemos utilizado las definiciones clásicas referidas al comportamiento de mareas y agua continental, en que la intrusión marina corresponde al transporte de masa de agua salada desde el mar hacia aguas adentro y se diferencia del efecto de marea:

- a) Límite basado en la salinidad (Pritchard, 1967): el estuario queda limitado por el área en el cual la salinidad se encuentra en el rango de 0.1 g/l a 30-35 g/l.
- b) Límite basado en la onda de marea (Fairbridge, 1980): el límite de aguas arriba del estuario se encontraría en la zona hasta donde se percibe efecto de la marea.
- c) Límite basado en los sedimentos (Dalrymple, 1992): los límites del estuario son función del transporte de sedimentos, el estuario es toda el área inundada que recibe aporte sedimentario tanto de parte del río como del mar.

El mismo estudio del MMA (2010), describe los tipos de clasificaciones para estuarios desde el punto de vista físico, que corresponden a: a) grado de estratificación, b) por marea, c) por su geomorfología. También existen factores físicos que estarían influyendo en la mezcla del estuario, tales como: las mareas, los caudales del río y factores meteorológicos, como el viento que, aunque en menor medida, puede tener algunos efectos en lagunas costeras. Por último, el límite entre el estuario y el río queda definido por el lugar en que el efecto de marea deja de percibirse (DGA 2010; MMA 2010).

Finalmente, debemos referirnos a las características locales que hacen del humedal de la desembocadura del río Elqui, un humedal urbano, cuya definición se establece en la Ley 21.202, que reconoce a los humedales urbanos y modifica diversos cuerpos legales con el objetivo de proteger dichos ecosistemas, y los define como: “Todas aquellas extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes,

dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina, cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros y que se encuentren total o parcialmente dentro del límite urbano”¹.

Dicho lo anterior, el concepto de **humedal urbano** no está definido por sus características ecológicas, sino por estar inmerso en la zona urbana. Esto hace que estos ecosistemas sean mucho más frágiles y dependientes del metabolismo urbano, como por ejemplo, los flujos de agua, descarga de nutrientes, incremento de temperatura, contaminación, combustibles, entre otros, en una relación local y global. La pérdida de humedales por expansión urbana ha sido reportada en Chile desde hace más de una década (Figueroa et al., 2007; Figueroa et al., 2009; Pauchard et al., 2006).

a) Localización y características del humedal de la desembocadura del río Elqui

Las desembocaduras de ríos responden a un fenómeno físico, que permite explicar la conexión superficial o descarga de un río con el mar o en un lago, y para este caso la desembocadura responde a una laguna que esta abierta. Para efectos de esta consultoría, entenderemos entonces, que la desembocadura corresponde al humedal costero del río Elqui.

El humedal costero del río Elqui presenta un cauce, una cubeta y zona de inundación, con una laguna costera muy bien delimitada. Sin embargo, no presenta una interacción permanente entre agua salada y flujos continentales, fenómeno que se explica en los resultados del presente estudio (ítem 4.2). Este humedal es un subsistema límnic integrado a la cuenca hidrográfica del río Elqui, corresponde a un sistema localizado en una zona semiárida, ubicado aproximadamente a 3 Km al noroeste del casco fundacional de La Serena (29° 53' S, 71° 16' O) (MMA-GEF, 2019). El humedal costero del río Elqui está inserto en el límite urbano de la comuna de La Serena según el plan regulador comunal vigente del 2004, ya que la actualización del 2020 (<http://laserena.cl/planregulador/index.html>) aún no ha sido publicada en el diario oficial. Asociado a la laguna existen predios agrícolas hacia el norte, playa y dunas y un sistema de vegas hacia el sur, remanentes de un sistema antiguo que dejó como herencia un sistema de terrazas marinas, cuyo origen data del Pleistoceno al Holoceno, descrito por Paskoff (1970) (citado por Soto et al. 2015), que formó la actual morfología de la ciudad de La Serena y la bahía de Coquimbo. El límite sur de vegas limita con el desarrollo inmobiliario que se expande sobre la zona de vegas remanentes, drenando el agua subterránea. Este sistema de vegas es colindante con la laguna costera de la desembocadura, cuya superficie descrita por esta consultoría considera 6,7 hectáreas, vegas y laguna costera conforman, en su conjunto, el humedal de la desembocadura del río Elqui.

El humedal costero, se ve fuertemente influenciado por la dinámica fluvial y de aportes subterráneos del río Elqui, por lo que ha sido analizado el sistema de drenaje en su conjunto, tanto aportes superficiales como subterráneos, así como sus alteraciones, lo que define una dinámica diferente a lo esperado, que se explica en detalle en los resultados del presente estudio.

b) Paisaje y morfología del área de estudio.

La cuenca del río Elqui tiene un régimen de alimentación principalmente nival. En primavera y verano, el caudal del río Elqui está alimentado principalmente por los derretimientos de nieve acumulada en la alta cordillera, mientras que en invierno se alimenta principalmente por el escurrimiento de las precipitaciones

¹ Publicada en el Diario Oficial, 24 de noviembre de 2020.

en forma de lluvia. Los otros aportes al río Elqui son las vertientes y los retornos de los canales de riego al río. Las variaciones de caudal más importantes ocurren entre los meses de octubre y marzo, siendo el mes de diciembre donde se presentan los máximos. En los periodos secos, los caudales tienden a ser homogéneos a lo largo del año, sin mostrar variaciones importantes (DGA, 2003; DGA, 2012). Aguas abajo del embalse Puclaro, el régimen del río Elqui es el deshielo que aporta mayor volumen de escorrentía. Sin embargo, los caudales de crecida (caudales máximos instantáneos) más importantes se producen para eventos de origen pluvial y durante los meses de invierno. Durante eventos de crecida, los escurrimientos de las quebradas de Santa Gracia y Marquesa presentan alta carga de sedimentos (DOH 2019).

La literatura describe diversos tipos de suelos para la zona costera estudiada, cuyas características son producto de la geomorfología del sistema, Soto et al., (2015) hacen referencia a cuatro tipos de suelos, que incluye la zona de vegas y río Elqui, denominados grupos hidrológicos, describiendo el Grupo A como suelos con bajo potencial de escorrentía y alta infiltración, otros del Grupo B son suelos con capacidad moderada de infiltración y el Grupo C suelos con baja infiltración, con capas que impiden el escurrimiento de agua y el Grupo D que son suelos con alta capacidad de escorrentía (Sarricolea 2004, citado por Soto et al., 2015). Estas condiciones explican la presencia de un sistema con agua subsuperficial y con anegamiento temporal a permanente en el sistema costero y fluvial.

- c) Asimismo, Squeo et al. (2006) postula que la recarga del acuífero costero de la zona de La Serena proviene esencialmente del acuífero regional costero del río Elqui, recargado en las zonas altas de la cuenca del río Elqui. Esta información se basa en el estudio de un solo punto en la zona costera, un pozo localizado al norte de La Serena denominado pozo Santa Elvira. La característica más relevante del acuífero costero era la existencia de vegas que la cubrían casi integralmente producto de afloramientos de agua subterráneas del acuífero superficial de unos 20 m de espesor compuesto fundamentalmente por arena media y gruesa con alguna presencia de gravas y bolones.

3.1.2. Caracterización hidrológica e hidrogeológica del sistema costero y fluvial del río Elqui

La definición del criterio hidrológico para la delimitación del humedal costero y fluvial del río Elqui, en el área urbana de la ciudad de La Serena, consiste en la caracterización de los aportes de agua al humedal costero (que lo confirman las vegas y la laguna costera) y al río en el área urbana, que permiten mantener las condiciones del sistema hidrológico, tanto en cantidad como en calidad. Esta caracterización consiste en describir los aportes continentales superficiales y subterráneos, la intrusión marina e influencia de la marea.

El estudio espacial de la hidrología consideró toda el área requerida en los Términos de Referencia del presente estudio, entre la estación Las Rojas y la desembocadura del río Elqui. Se realizó en una primera etapa la revisión de todos los antecedentes disponibles, y en una segunda etapa, la generación de datos en terreno, en dos campañas distintas.

Se recopiló la siguiente información:

- Estudios, artículos científicos, tesis, presentaciones que abarcan temas relacionados con los recursos hídricos en la zona baja de la Cuenca del río Elqui y zona costera de La Serena.
- Datos de monitoreo disponibles en las distintas plataformas (DGA, Explorador CR2, CEAZAMET, SHOA, SISS, etc.)
- Datos solicitados en el marco de la ley de transparencia (SHOA, DGA)

- Cartografía

Se recopilaron las series de datos históricas:

- Datos de precipitación en la zona baja del río Elqui y subcuencas aportantes (DGA y Dirección Meteorológica de Chile)
- Datos de caudal en la zona baja del río Elqui y subcuencas aportantes (DGA)
- Nivel del agua subterránea en la zona del humedal y zona costera (DGA y estudios)
- Altura del mar (SHOA)

Se registraron los siguientes datos in situ durante las campañas de terreno:

- Puntos de descarga y aportes superficiales al humedal
- Nivel del agua subterránea en la zona del humedal y zona costera
- Parámetros físico-químicos del agua superficial y subterránea, en particular la conductividad eléctrica y salinidad.

Fueron revisados los monitoreos de la red de monitoreo de ecosistemas de humedales, con énfasis en costeros, que maneja el Ministerio de Medio Ambiente desde 2011 al 2019 (MMA 2013; MMA 2017; MMA 2018; MMA 2019), lo que permite realizar un análisis histórico, sobre el estado de salud de la Desembocadura del río Elqui, caudales y variables esenciales como temperatura, oxígeno, pH y conductividad.

Se consideraron las definiciones internacionalmente aceptadas sobre estuarios y humedales costeros, como la de Pritchard 1967; Fairbridge 1980; Dalrymple 1992, así como la definición desarrollada por DGA (2010) y MMA (2011).

Se revisaron dos estudios sobre la calidad de aguas del río Elqui desde cabecera a desembocadura, a partir de bioindicadores en el marco del anteproyecto de Norma Secundaria de Calidad de Agua, uno del año 2011 (CEAZA 2011) y otro del 2019 (Urrutia et al., 2020). Los muestreos en la cuenca del río Elqui se realizaron en 12 puntos, coincidentes con las estaciones de monitoreo de la Dirección General de Aguas. Ambos estudios se desarrollaron en el marco del anteproyecto de Norma Secundaria de Calidad de Agua (NSCA), proceso que cumple 16 años, sin concretar aún una norma para la protección de los ecosistemas acuáticos del río Elqui y calidad del agua. Las estaciones de interés específico en el contexto del presente estudio son PEL-D; PEL-50 (Las Rojas), esta última corresponde al punto posterior a la confluencia de Quebrada Marquesa con el río Elqui, y la estación PEL-D señala su ubicación en desembocadura, pero en estricto rigor se encuentra bajo el puente Fiscal y no en la desembocadura del río Elqui. Los estudios citados en párrafo anterior utilizaron macroinvertebrados y macrófitas respectivamente como indicadores de calidad de agua de la cuenca, utilizando para esto índices de calidad. Para el caso de macroinvertebrados, el estudio señalado con antelación, realizó una descripción de las familias de macroinvertebrados bentónicos y se aplicaron 4 índices de calidad biológica, y para el caso de macrófitas se utilizó el Índice Trófico Fluvial basado en Macrófitas (ITFM).

Los índices de calidad utilizados en el estudio del CEAZA (2011) reflejan la relación entre los tipos de taxa (a nivel de familia) y la calidad de agua en los diversos tramos del río Elqui bajo el Embalse Puclaro, “estaría caracterizada por una mala calidad ambiental”, donde son comunes de acuerdo al estudio de CEAZA (2011) oligoquetos (asociados a mala calidad de agua) y ciertos microcrustáceos y moluscos, principalmente en las estaciones de la parte baja de la cuenca (relacionados a aguas estancadas). Finalmente, el índice SIGNAL-2 (índice de calidad biológica), muestra consistencia con los resultados entregados por el ITFM, donde la estación PEL-D, que corresponde a la última estación de la DGA antes de la desembocadura,

registra mala calidad de agua, con altas concentraciones de nutrientes (Ver Tabla 12 del estudio CEAZA 2011). Esto es consistente con los monitoreos sobre trofía que realiza el MMA ([Anexo 2](#)).

3.1.3. Sistematización de la biodiversidad en el humedal del río Elqui.

Para construir la base de datos sistematizada se realizó una búsqueda de información bibliográfica, por componente ecosistémico y por grupos directamente relacionados con el humedal como: vegetación acuática y palustre; anfibios, aves acuáticas, peces. Fue revisada la información entregada por la contraparte y bases de datos electrónicas. Se consultaron catálogos, claves dicotómicas, sinopsis, guías de campo y otros recursos bibliográficos. En el caso de la flora vascular, tanto la información nomenclatural como la relativa al origen geográfico y forma de vida de las especies se tomó del Catálogo de la flora vascular de Chile (Rodríguez et al., 2019), el Catálogo de plantas vasculares del Cono Sur (Zuloaga et al., 2008) y la base de datos del sitio web del International Plant Names Index (www.ipni.org). La información sobre la taxonomía e historia natural de los vertebrados se obtuvo de las guías de Jaramillo (2005), Iriarte-Walton (2008), Couve et al. (2016), Herzog et al. (2019) y Martínez-Piña (2020), así como también de las bases de datos actualizadas de la Global Biodiversity Information Facility (GBIF), eBird, el sitio Aves de Chile y BirdLife International.

La información ha sido sistematizada y tabulada, la falencia de datos, y la dispersión de los mismos se evidencia claramente. No han existido monitoreos sistemáticos, los objetivos de los estudios realizados tanto en el río Elqui como para el humedal son diversos, aunque para el caso de los estudios en el humedal el objetivo último puede que sea aportar al conocimiento, educación y estado de salud del humedal, no es posible llevar a cabo ningún análisis consistente con los datos actuales. El único monitoreo que ha sido sistemático desde el año 2011 a la fecha dice relación con el monitoreo que lleva a cabo el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) en el área de la laguna costera y que evalúa trofía, los otros datos dicen relación con el monitoreo de aves que ocupan el hábitat de playas y dunas. En la mayoría de los casos analizados la información sobre especies se remite a listados. En los estudios encargados por entidades sectoriales, a saber, Ministerio del Medio Ambiente, Servicio Agrícola y Ganadero para fauna y flora, acuática y terrestre, no se registran datos de monitoreo, fechas, estaciones, parcelas o coordenadas, datos de hábito, si es nativo o endémico, lugar del registro, ni estado de conservación, información que ha sido complementada dentro de lo posible por esta consultoría.

En relación con el registro de información, en particular para aves, se registran datos de CAACH (2005) y del Servicio Agrícola y Ganadero (2012), luego en 2016, Ecoterra para el Ministerio del Medio Ambiente, bajo el programa del Fondo de Protección Ambiental es el que presenta el mayor listado de especies, lo que debió ser complementado para esta consultoría a partir de las bases de datos que manejaba Ecoterra para dicho estudio. Le siguen los datos levantados para aves por CEAZA (2016). No se registra nueva información posterior a esta fecha. Sin embargo, la base de datos de eBird cubre de manera satisfactoria los registros de aves para el área de estudio.

Para el grupo de peces de aguas continentales y estuarinas, la información es escasa y no ha habido una continuidad en el esfuerzo de monitoreo, existiendo datos para el área en 2009 de Figueroa et al., luego en MMA - Ecoterra (2016) que informa presencia (ver estudios en [Anexo 1](#)), pero sin registro de puntos o coordenadas. Se requirió al equipo de Ecoterra antecedentes adicionales para alimentar el análisis de especies acuáticas sensibles y amenazas. El Centro de Ecología Aplicada hace un muestreo de peces en 2018, que permite identificar ejemplares de *Cheirodon pisciculus* (pocha), *Basilichthys microlepidotus* (pejerrey del norte), *Cyprinus carpio* (carpa), *Gambusia holbrooki* (gambusia), *Cryphiops caementarius* (camarón de río) (MMA-GEF, 2018).

En el grupo de mamíferos, el único registro se obtiene del estudio desarrollado por CAACH (2005), sin embargo, no se registra punto de muestreo, ni datos de monitoreo. Cabe destacar que este estudio revela la presencia de especies exóticas muy dañinas para humedales, como guarén, rata, lauchas, liebres y conejos, informados por SAG (SAG, 2000 en CAACH, 2005).

Finalmente, para el grupo de macrófitas, un estudio desarrollado por Urrutia et al., (2020), informa un listado exhaustivo de las macrófitas identificadas en el río Elqui, desde la cabecera a la desembocadura. Dicho estudio se realiza con el objetivo de “Identificar especies de plantas acuáticas que pueden ser utilizadas como bioindicadores de la calidad de agua en la cuenca del río Elqui, y analizar su respuesta ante estresores ambientales” (Urrutia et al., 2020, p.11), esto en el marco de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas (NSCA) del río Elqui.

Dicho estudio informa que las familias más importantes son Asteraceae y Cyperaceae. La primera de ellas, uno de los grupos botánicos más numerosos a nivel mundial, tienen la capacidad de colonizar diversos tipos de hábitats, siendo exitosos competidores (Rejmánek 1996, Dukes & Mooney 1999 citados por Urrutia et al., 2020). Asteraceae es la familia más numerosa en Chile y aporta la mayor riqueza de especies introducidas a la flora del país (Jiménez et al. 2008 citado por Urrutia et al., 2020). Cyperaceae por su parte, también es una familia numerosa, pero más restringida a ambientes húmedos, a orillas de cuerpos de agua lacustres, fluviales (Smith et al. 2004). Destacan *Hydrocotyle* y *Juncus*, como géneros con requerimientos hídricos, lo que es consistente con lo identificado para el humedal del río Elqui en la desembocadura. Otro elemento de interés de dicho estudio dice relación con la diversidad de plantas acuáticas identificadas (en las áreas de vigilancia de la NSCA), con un total de 78 especies: 44 locales (4 endémicas y 40 nativas) y 34 introducidas. Esta información se ha incluido en el [Anexo 3](#) del presente informe. Sin embargo, cabe señalar que estas estaciones de vigilancia no incluyen la desembocadura en su parte terminal.

La información para macroinvertebrados levantada por CEAZA (2011) también fue revisada pero no permite considerarla para tomar acciones concluyentes, ya que los registros de dichos monitoreos solo se llevan a cabo en las 12 estaciones de monitoreo de la DGA, esto porque el objetivo de dicho estudio fue entregar antecedentes en el marco de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del río Elqui a través de bioindicadores, seleccionando para ello a los macroinvertebrados. En este sentido, el estudio realizó una descripción a nivel de familias de macroinvertebrados bentónicos, lo que dificulta su uso para la propuesta desarrollada para los sitios de alta biodiversidad (ver ítem 3.2.3 de este Informe).

Sin perjuicio de lo anterior, rescatamos lo indicado por el estudio, que señala “la gran diversidad de macroinvertebrados presentes en el río Elqui, con presencia de especies endémicas para Chile, como *Penaphlia chilensis* y *Smicridea chilensis* (Jara 2002; Donoso 2007 citados por CEAZA 2011).

Adicionalmente, para clasificar las aves migratorias según sus patrones de desplazamiento, se utilizó una versión modificada de los criterios seguidos por Herzog et al. (2017), la UICN (2020), BirdLife International (2020) y GBIF (2020). Se analizó la distribución espacial de las especies en las distintas secciones del humedal, así como su uso de hábitats, con base en registros de campo, bibliografía especializada y el conocimiento de los autores sobre la historia natural del sitio de estudio.

Con respecto a las categorías de conservación, se tomaron como principales referencias el Reglamento de Clasificación de Especies del Ministerio del Medio Ambiente (RCE) y la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). En el caso específico de la flora vascular, se consultó de manera complementaria el criterio seguido por Marticorena et al. (2001).

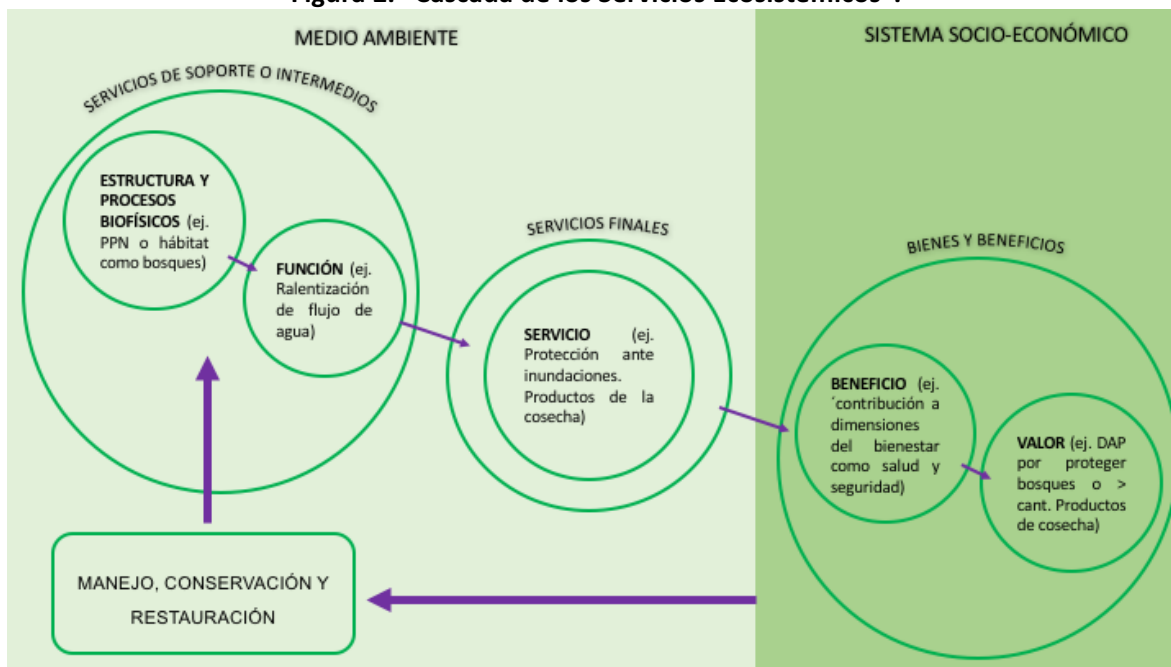
3.1.4. Revisión bibliográfica para análisis sobre Servicios Ecosistémicos.

Se analizó la información entregada por la contraparte que tenía relación con la biodiversidad, funciones ecológicas del humedal o aspectos más socio-ecológicos de este. Adicionalmente, se realizó una búsqueda de literatura a través del buscador de google académico y Scielo utilizando palabras clave como “humedales” “servicios ecosistémicos” “río Elqui” “Chile. La información revisada ha sido incorporada a la matriz de sistematización detallada en el [Anexo 1](#).

En relación con la identificación de servicios ecosistémicos (SS.EE), nos hemos basado en el marco conceptual, definición y clasificación adoptada por el MMA. El marco conceptual propuesto está basado en lo reportado por Haines-Young and Potschin (2012), conocido como la Cascada de los Servicios Ecosistémicos (CSE). La CSE conecta las estructuras y procesos del ecosistema con los elementos que inciden sobre el bienestar humano, distinguiendo entre servicios ecosistémicos intermedios y SS.EE Finales (figura 2).

La definición adoptada por el MMA como referencia para sus labores define los servicios de los ecosistemas como “la contribución directa e indirecta de los ecosistemas al bienestar humano” (TEEB, 2014), donde aquellos servicios de contribución directa son reconocidos como servicios finales, mientras que los servicios de contribución indirecta son clasificados como servicios intermedios.

Figura 2. “Cascada de los Servicios Ecosistémicos”.



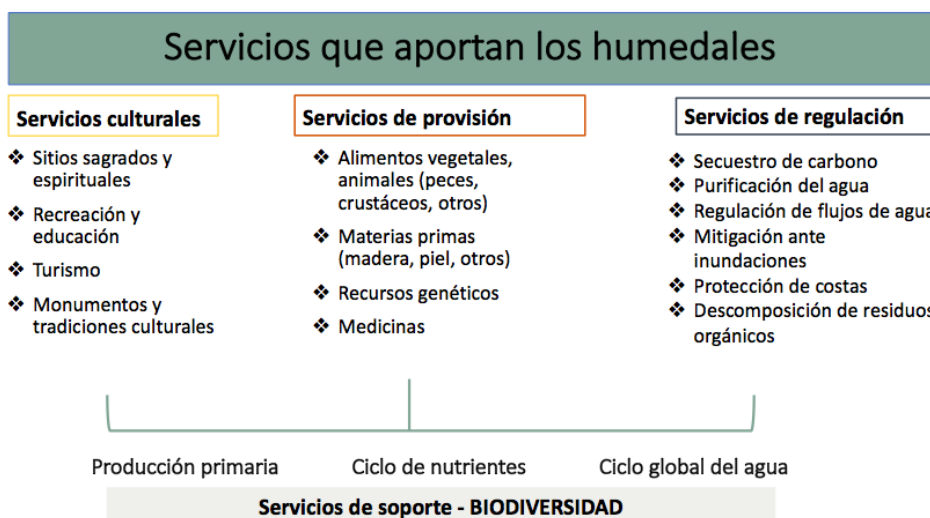
Fuente: Elaboración propia a partir de HainesYoung and Potschin (2012). (PPN = Productividad Primaria Neta; DAP = Disposición a pagar)

Si bien la clasificación propuesta por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005) es la referencia mundial y clasifica los SS.EE en cuatro categorías: servicios de provisión, servicios de regulación, servicios culturales y servicios de soporte, y la Convención Ramsar realiza un análisis sobre la misma (Figura

3), esta definición no atiende a la diferenciación propuesta por la CSE que considera los SS.EE de soporte como intermedios.

Ante esto, el MMA sugiere la clasificación denominada *Common International Classification of Ecosystem Services* (CICES, 2020)². Para CICES, los servicios ecosistémicos se agrupan en tres categorías (Haines-Young y Potschin, 2018): servicios de aprovisionamiento, servicios de regulación y mantenimiento, y servicios culturales. La categoría de servicios de soporte, si bien es reconocida como todos aquellos servicios necesarios para la provisión de los otros SS.EE, ha sido eliminada de la clasificación, con el objetivo de evitar el doble conteo en la valoración de los servicios ecosistémicos (Fu et al., 2011), ya que una serie de autores (Boyd and Banzhaf 2007, TEEB 2010, Haines-Young and Potschin 2012) han destacado el hecho de que deben valorizarse sólo aquellos servicios que son directamente consumidos o aprovechados por el ser humano para evitar sobrestimar su valor.

Figura 3. Servicios ecosistémicos que entregan los humedales



Fuente: Elaboración propia, a partir de "Perspectiva Mundial sobre los Humedales. Estado de los Humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas" (Ramsar, 2018).

En el caso de los servicios de regulación y mantenimiento consideramos aquellos beneficios que son obtenidos de funciones ecosistémicas que están relacionadas con la regulación de procesos que actúan a diferentes escalas espaciales y temporales como, por ejemplo, el mantenimiento de la calidad del aire o el suelo. En la categoría de servicios culturales se consideraron los beneficios no materiales que se obtienen de los ecosistemas asociados a valores espirituales, religiosos, educacionales o recreacionales como, por ejemplo, el turismo o la educación ambiental, mientras que en los servicios de provisión fueron considerados los beneficios materiales que se obtienen de los ecosistemas como el agua o el alimento.

Sobre servicios de regulación, un estudio desarrollado en la cuenca del río Elqui, por Bascuñan (2010), estima el impacto negativo que tiene la pérdida de cubierta vegetal y el cambio de uso de suelo rural a causa del desarrollo urbano, estudio que permitió relacionar las emisiones de CO₂ producto de esta expansión urbana, así como el aporte de emisiones de cada grupo social. Esta información permitiría relacionar la fijación de CO₂ con la posibilidad o no de aumentar la superficie de construcción en áreas

² <http://cices.eu>

clave de la cuenca que aportan en la fijación de CO₂, elemento clave como aporte a cambio climático. Los humedales resultan ser una solución costo-efectiva para la mitigación y adaptación ante cambio climático cuando su estado de salud es bueno. Por lo tanto, su pérdida, especialmente en la cuenca del río Elqui y sistemas costeros tendrán costos para la región y el país, no evaluados.

3.1.5. Revisión bibliográfica sobre las amenazas, contexto global y del río Elqui

Uno de los impulsores de cambio directo de mayor impacto sobre la naturaleza, es el cambio climático (Rockström 2009; MMA 2019; IPBES 2018; IPCC 2019), principalmente porque los cambios observados en los patrones de precipitaciones y temperatura sobrepasan el umbral natural de los cambios climáticos observados en la historia del planeta (IPCC, 2018). Ya existe evidencia científica sobre los efectos amplificadores (forzantes) que tiene la acción antrópica sobre los eventos o fenómenos extremos, como tormentas, precipitaciones intensas e inundaciones (IPCC, 2019). Los eventos esporádicos se ven intensificados por la variabilidad climática, lo que ha sido reportado para las zonas áridas y semiáridas, como la región de Coquimbo (Holmgren et al., 2006). Comprender estos fenómenos para diseñar políticas públicas e implementar instrumentos de planificación territorial marcan la diferencia entre efectos devastadores y manejo adaptativo. Esto porque los fenómenos extremos y la complejidad de la naturaleza actúan de manera no lineal, con resultados inesperados (Liu et al., 2007) y otros que no se integran en la planificación, ni en la gestión del riesgo, perdiendo la capacidad adaptativa y de resiliencia en un sistema socio-ecológico.

Las amenazas al humedal de la desembocadura del río Elqui fueron identificadas en visitas a terreno en los meses de noviembre y enero, adicionalmente se analizó la información científica publicada, informes y proyectos desarrollados en el área, información levantada por SERNAGEOMIN sobre relaves mineros, se estudió el plan regulador comunal de la ciudad de La Serena, entre otros. Evaluamos los factores directos e indirectos que impulsan la pérdida del humedal o cambian su estado de salud. También tuvimos a la vista para nuestro análisis, la determinación de amenazas en el contexto urbano y socio-ecológico en el que está inserto el humedal, por ello analizamos algunos instrumentos con alta incidencia como el Plan Regulador Comunal de la ciudad de La Serena y el estudio de la Dirección de Obras Hidráulicas sobre manejo de cauces. La descripción de los estudios revisados se detalla en el [Anexo 1](#) y a continuación describimos de manera sucinta los elementos más relevantes de alguno de estos.

En el año 2005, Corporación de Ambientes Acuáticos también realiza una descripción de las amenazas a los humedales costeros de la región de Coquimbo, sin una descripción detallada para cada uno, ni registros puntuales. En 2009 un estudio de Figueroa et al. realizado a 20 humedales costeros en las regiones de Coquimbo y Valparaíso, describe para el humedal costero del río Elqui tres amenazas (que denomina “impactos”): agricultura, ganadería y presión antrópica, pero no desarrolla este último, ya que el objetivo principal del estudio era analizar el estado de conservación de los humedales a través de un índice del estado de conservación (Índice del Estado de Conservación de Ecosistemas Lénticos Someros, ECELS).

Se revisó también la información descrita por el estudio “Aplicación piloto del estudio Protección y manejo sustentable de Humedales integrados a la cuenca hidrográfica: humedales costeros” (MMA-CEA, 2010), el que describe en términos globales las principales amenazas para los humedales costeros.

A su vez otro estudio realizado por ECOTERRA (2016) en el humedal identificó las amenazas asociadas a los basurales, a los cuales les asignó una categoría: a) Basurales dominados por residuos tipo domiciliario; b) Basurales de residuos orgánicos proveniente con material vegetal; c) Basurales de residuos proveniente

de actividades de construcción, que según el informe incluye “residuos potencialmente peligrosos como restos de solventes, metales oxidados y objetos cortantes”³ (s/p). No fue posible espacializar esta información por no estar disponible bases de datos con coordenadas o puntos, en el Ministerio del Medio Ambiente.

El más reciente es el estudio realizado por el Centro de Humedales de Valdivia (CEHUM) junto a otras entidades denominado “Criterios mínimos de sustentabilidad de humedales urbanos”, para el Ministerio del Medio Ambiente (Rodríguez-Jorquera y otros 2020), que se concentra en la identificación de amenazas sobre los humedales dentro de los límites urbanos. El mencionado estudio identificó los tipos de amenazas que se expresan en los humedales urbanos, para esto, realizaron una encuesta a diversos actores locales, de cada una de las regiones implicadas en el estudio (detalles en Informe denominado “Criterios mínimos de sustentabilidad de humedales urbanos”. De acuerdo con este estudio las amenazas directas más importantes que se repiten por los encuestados son: relleno, basura y residuos sólidos (promedio más alto, con una calificación de 1 a 5, donde 5 es el mayor grado de amenaza), le siguen el drenaje, cambio climático y especies invasoras. Para el caso del río Elqui, la encuesta practicada por CEHUM arroja que las amenazas priorizadas por los actores locales son: basura, desarrollo inmobiliario, aguas servidas y especies exóticas. Todas las anteriores son, en su conjunto, amenazas producto de la urbanización sin adecuada regulación, con una rápida expansión.

En ese sentido, la actualización del plan regulador comunal (PRC) del 2020, mantiene, al igual que el PRC de 2004, la posibilidad de expansión urbana en zonas de vegas (ZEX-1 Zonas de Expansión Vegas sur y norte), las que, como ya se ha explicado con anterioridad forman parte del sistema de humedal de la desembocadura del río Elqui. El PRC del 2020, aunque reconoce zonas de vegas y parques, no adoptó criterios ecológicos, hidrológicos, ni dio cabida a la gestión del riesgo (preventiva), esto podría corregirse si la delimitación aquí propuesta es declarada como Humedal Urbano, bajo la Ley 21.202. Esto ha creado condiciones de riesgo para la población que vive en las zonas de inundación del humedal de la desembocadura del río Elqui, producto de inundaciones y remoción en masa, así como por eventos de tsunamis.

3.1.5.1. Eventos naturales y amenazas. Alcances específicos para el caso de la región de Coquimbo

Las perturbaciones físicas antrópicas sobre los sistemas fluviales, como: alteraciones de cauces, deterioro o limpieza de vegetación de riberas, y embalses, afectan a todos los subsistemas límnicos que dependen de los flujos hidrológicos en la cuenca hidrográfica, tanto superficiales como subterráneos, desde cabecera a hasta la desembocadura. Las perturbaciones descritas modifican la estructura y el funcionamiento de los sistemas ecológicos fluviales y lóticos, alterando incluso el ciclo hidrológico.

Los pulsos de inundación, por ejemplo, han generado efectos adversos para la población de Coquimbo (relatos detallados en el estudio DOH 2019). Sin embargo, en condiciones sin intervención, las crecidas de los ríos permiten la recarga de agua de acuíferos y son un factor determinante para recargar de materia y energía a los ecosistemas fluviales y subsistemas límnicos integrados a la cuenca hidrográfica, como los humedales ribereños o riparianos, quebradas temporales y vegas que se expresan en el sistema hidrográfico de las cuencas, como en el caso del río Elqui. Los ríos se recuperan de aquellas perturbaciones

³ “Monitoreo de basura en el humedal costero del río Elqui”.

naturales, las necesitan, se acomodan, adaptan y así también la biota acuática que se expresa en los diversos hábitat (Montes 2003; Zedler et al.,2005). En este sentido es importante reconocer que las perturbaciones antrópicas sobre los caudales altera calidad y cantidad y con ello se abre la puerta a las especies exóticas invasoras, entre otros fenómenos, como describe Zedler et al., (2005) citando a Bunn (2002). Los humedales son la expresión de las características geomorfológicas, químicas y físicas del territorio, y su biología es la expresión de ese conjunto de características abióticas. Cualquier intervención humana sobre estos elementos genera transformaciones y en algunos casos irreversibles.

Al respecto, la información levantada por el estudio “Estudio de Vulnerabilidad y definición de un Plan de Manejo de Cauces para Cuenca Río Elqui, Región Coquimbo” (DOH 2019) deja de manifiesto que la condición del área de estudio corresponde a una zona de inundación, y que a través de las diversas alteraciones antrópicas, éstas se han perdido, pero no así la dinámica hidrológica y geomorfológica del río. De los relatos revisados en el citado estudio de la DOH destacamos el siguiente:

“Las crecidas del río Elqui y las ocurridas en las quebradas que desembocan a lo largo de éste, suelen afectar a los predios aledaños, generando problemas de inundación y arrastre de material, los que producen daño tanto en paños agrícolas como en sectores poblados” p.22

Este proyecto, en su capítulo de Estudio de Análisis Ambiental (EAA) define que sus objetivos son:

“realizar un diagnóstico actualizado de los cauces considerados en el área de estudio, que exponga la condición existente en cuanto a problemas de: (i) inundabilidad de riberas, (ii) erosión, (iii) extracción de áridos, (iv) inestabilidad de taludes y (v) otras intervenciones del cauce, sobre la base de la recopilación y análisis de información, y de la realización de estudios básicos de ingeniería. Complementariamente se requiere caracterizar algunos tramos de quebradas en aspectos específicos” (EAA, p.1).

Adicionalmente, se analizó el estudio desarrollado por un consorcio de instituciones académicas del país para el Ministerio del Medio Ambiente (MMA, 2019) cuyo objetivo general fue *“Generar información de proyecciones respecto de la amenaza del cambio climático en las costas de Chile y sus impactos, a escala regional, y determinar el riesgo asociado a este fenómeno, para el diseño de políticas e implementación de medidas de adaptación”*(p.10). Uno de los capítulos estudió la vulnerabilidad de los humedales ante cambio climático, por disminución de caudales y avance o retroceso de playas e incremento de marejadas. Sin embargo, no se levantaron los mismos datos para el universo de humedales incluidos en el estudio (n=44). En el humedal costero del río Elqui solo se estudió la tasa de cambio del espejo de agua del estuario, sin embargo, para otros análisis se incluyó El Culebrón, Pachingo, Salinas Chica y Limarí, en el contexto regional, lo que permitiría extrapolar algunos resultados globales.

Para el caso de la zona de estudio, una investigación que llevaron adelante Soto et al., (2015) analizan las condiciones de “amenazas naturales” en el entorno urbano de la ciudad de La Serena, región de Coquimbo. Este estudio deja de manifiesto dos elementos principales, el primero dice relación con la información científica existente para la toma de decisiones en los territorios, en particular en lo que a ocupación de infraestructura y expansión urbana se refiere y el otro a la brecha que aún persiste para integrar la información de diversas disciplinas que permitirían actuar de forma responsable y preventiva,

especialmente cuando se trata de condiciones de amenazas para la población humana, como es el caso de eventos de tormentas e inundaciones bajo determinadas características geomorfológicas e hidrológicas.

La bahía de Coquimbo presenta condiciones naturales de inundación, provocadas por períodos de intensas precipitaciones y “desborde fluvial” (Soto et al., 2015, p.213), como ha quedado de manifiesto en 2015 y 2017 (Tabla 1). Estos eventos se convierten en amenazas al conjugarse dos elementos: el primero de carácter antrópico, cuando la acción antrópica incide e invade los espacios naturales de crecidas, las llanuras de inundación o en ocasiones denominadas como zonas de amortiguación de eventos “catastróficos”. El segundo elemento dice relación con condiciones endógenas relacionadas con la topografía, geomorfología y condiciones del suelo que se dan en la ciudad de La Serena. Los eventos “catastróficos” se expresan cuando la población humana está en riesgo, éste se ve amplificado en la ciudad de La Serena dada la expansión urbana e intervención que ha sufrido el río a lo largo de la cuenca hidrográfica, lo que consecuentemente modifica la capacidad del río de absorber las perturbaciones y recuperar su condición natural. La ocupación y alteración antrópica de las áreas de inundación fluvial descritas por Sarricolea (2004), citado por Soto et al., (2015) y las zonas de vegas, que de acuerdo al estudio de Paskof (1970), citado en Soto et al.,(2015), contribuyen a la pérdida de la estructura y funcionamiento ecológico del río y humedales integrados a la cuenca hidrográfica del río Elqui, especialmente aguas abajo del río Puclaro, lo que aumenta la exposición al riesgo de la comunidad.

Los eventos de fuertes precipitaciones e inundaciones en la ciudad de La Serena y en la región, son eventos aislados pero con cierta frecuencia, como se refleja en la Tabla 1.

Tabla 1. Precipitaciones caídas en la ciudad de La Serena entre 1983 y 2017

Año	Precipitaciones (eventos El Niño)
1983	160,1 mm total anual 69,5 mm/24 horas, Julio
1984	148,8 mm total anual 40 mm/24 horas, Julio
1997	221,8 mm total anual 30 mm/24 horas, 11 Julio 30 mm/24 horas, 12 de Julio 40 mm/24 horas, 15 de Julio
2011	70 mm/13 horas, Junio 96 mm/24 horas, Junio
2015	60 mm /24 horas. Marzo
2017	104 mm/ 11-13 de mayo

Fuente: Elaboración propia en base a datos Soto et al., 2015, estaciones de monitoreo DGA y registros de prensa⁴.

Respecto al riesgo, un estudio de Ortiz et al., (2011) demostró que la comunidad de la ciudad de La Serena tenía baja o escasa percepción del riesgo ante amenazas como terremotos, tsunamis, inundaciones o remoción en masa. Estas situaciones quedan de manifiesto en el estudio realizado por Arrau Consultores SpA, para la Dirección de Obras Hidráulicas, denominado “Estudio de Vulnerabilidad y definición de un Plan de Manejo de Cauces para Cuenca Río Elqui, Región Coquimbo”, en el cual se llevaron a cabo una

⁴ <http://www.diarioeldia.cl/region/tiempo/asi-han-sido-lluvias-que-han-afectado-region-en-ultimos-60-anos>

serie de entrevistas con actores involucrados en el área de estudio (Capítulo Participación Ciudadana), y se expresan diversas opiniones basadas en la experiencia, vivencias o relatos, se sintetiza aquí uno de estos:

“...se debe hacer un encausamiento del río en los sectores poblados, ... personas externas las que vienen de otras regiones, no perciben el riesgo, que corren al bajar el río y compran terrenos en lugares no habitables, piensan que aquí ya no va a volver a llover. Ahí habitan dos tipos de pobladores: el antiguo versus los nuevos residentes. Generalmente el antiguo está en la parte alta retirado del riesgo y son los nuevos loteos que han invadido prácticamente el río sin saber las consecuencias o la magnitud de lo que puede suceder”. (DOH 2019, p.75)

Asimismo, se repiten en las entrevistas realizadas a habitantes de los sectores del río Elqui, los siguientes argumentos: “...explotación de los áridos, que produce que cuando hay bajada cambia de dirección el río y afecta a las casas que están cerca del río y la segunda, son los loteos brujos del sector” (DOH 2019, p.75). Ambos relatos dejan de manifiesto la compleja relación que se establece con el río, el cauce, los predios y las acciones para “encauzar” el río, lo que amplifica amenazas y reduce capacidad de adaptación ante eventos extremos como lluvias torrenciales en un corto período (ver Tabla 1).

3.1.6. Análisis de la información sobre límites de bien de uso público

Inicialmente, para el cumplimiento de este objetivo específico, se realizó la consulta a la Unidad de Catastro del Ministerio de Bienes Nacionales, al Conservador de Raíces competente y a la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas.

Lamentablemente, las respuestas no fueron muy alentadoras, dado que el Ministerio de Bienes Nacionales no ha delimitado el cauce del río Elqui en la zona en cuestión, ni se han realizado solicitudes al respecto. Por su parte, la información disponible del Conservador de Bienes Raíces no permite definir ni delimitar la propiedad privada y pública en el humedal.

Al respecto cabe señalar que las competencias de los Conservadores de Bienes Raíces, se enmarcan en llevar el Registro de Propiedad de los bienes raíces y los gravámenes sobre los mismos, tal como lo señala el artículo 446 del Código Orgánico de Tribunales.

Algunos Conservadores poseen información cartográfica detallada, y/o otorgan la posibilidad de analizar sus registros, en base a nombre y número de calles, situación que en este caso concreto no ocurrió, motivo por el cual inicialmente se había considerado este medio.

Para dar cumplimiento al objetivo y de acuerdo a los TdR del estudio, se amplió el campo de búsqueda, dirigiendo consultas entre los meses de octubre del 2020 y enero del 2021 a diferentes organismos tales como Ministerio de Bienes Nacionales, Servicio de Impuestos Internos, Ministerio de Agricultura y CIREN, entre otros, lo que se detalla en el [Anexo 4](#).

3.1.6.1. Análisis normativa vigente aplicable sobre delimitación de cauce, bien de uso público y privado.

Respecto de la información analizada y en marco de los objetivos que persigue este estudio, se considera pertinente exponer algunas definiciones legales vigentes en Chile por el marco institucional con responsabilidad en la materia. Para los efectos del citado objetivo, la normativa aplicable al caso en estudio es la que se detalla a continuación.

3.1.6.1.1. Normativa aplicable

a) Bienes nacionales de uso público y bienes fiscales.

En primer lugar, debemos analizar la normativa existente en el Código Civil, vigente desde 1857; el Artículo 589 del referido Código señala:

“Se llaman bienes nacionales aquellos cuyo dominio pertenece a la nación toda. Si además su uso pertenece a todos los habitantes de la nación, como el de calles, plazas, puentes y caminos, el mar adyacente y sus playas, se llaman bienes nacionales de uso público o bienes públicos.

Los bienes nacionales cuyo uso no pertenece generalmente a los habitantes, se llaman bienes del Estado o bienes fiscales”.

A su vez, el artículo 595 del Código Civil

“Todas las aguas son bienes nacionales de uso público”.

Por su parte el Código de Aguas, vigente desde 1981, establece:

Del dominio y aprovechamiento de las aguas.

“Las aguas son bienes nacionales de uso público y se otorga a los particulares el derecho de aprovechamiento de ellas, en conformidad a las disposiciones del presente código.

Luego el mismo código establece:

De los álveos o cauces naturales

30°- Álveo o cauce natural de una corriente de uso público es el suelo que el agua ocupa y desocupa alternativamente en sus crecidas y bajas periódicas.

Para los efectos de este Código, se entiende por suelo desde la superficie del terreno hasta la roca madre.

Este suelo es de dominio público y no accede mientras tanto a las heredades contiguas, pero los propietarios riberanos podrán aprovechar y cultivar la superficie de ese suelo en las épocas en que no estuviere ocupado por las aguas

Por su parte el artículo 32 señala;

32°- Sin permiso de la autoridad competente, no se podrá hacer obras o labores en los álveos, salvo lo dispuesto en los artículos 8°, 9°, 25, 26 y en el inciso 2° del artículo 30.

Dichos artículos hacen referencia a las facultades que tienen un titular de un derecho de aprovechamiento de aguas para utilizarlo.

A su vez, el artículo 33 establece:

33°- Son riberas o márgenes las zonas laterales que lindan con el álveo o cauce.

De esta forma, y en base a la normativa previamente expuesta, el cauce natural del río Elqui y sus riberas, parte integrante del Humedal río Elqui, es un bien nacional de uso público.

b) Facultades y competencias sobre bienes nacionales de uso público.

Administración de Bienes Nacionales de Uso Público.

En virtud de lo dispuesto en el Artículo 5° de la Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades N° 18.695, se establece que los Municipios deben administrar los bienes municipales y nacionales de uso público, incluido su subsuelo, existentes en la comuna respectiva, salvo que en atención a su naturaleza y fines y de conformidad a la ley, la administración de estos últimos corresponda a otros órganos de la Administración del Estado.

Administración de Bienes Nacionales de Uso Público.

En este contexto legal y administrativo, el cauce del río Elqui es un bien nacional de uso público, bajo la administración de la I. Municipalidad de La Serena.

En virtud de lo dispuesto en el Decreto Supremo 609 de 1978 del Ministerio de Tierras y Colonización, antecedente del Ministerio de Bienes Nacionales, corresponde a este Organismo fijar los deslindes de un cauce natural mediante Decreto Supremo, estableciendo a su vez un procedimiento reglado para dicho efecto. Dicha facultad se encuentra delegada en la Secretaría Regional Ministerial respectiva, en virtud del Decreto Supremo Nº 79 de 2010, del Ministerio de Bienes Nacionales.

En el caso específico del río Elqui, el cauce fue definido desde el puente Fiscal 10 kilómetros aguas arriba, por medio de Decreto Exento N°1135 del año 2009 (Figura 4).

Figura 4. Decreto Exento N.º 1135 de 2009 del Ministerio de Bienes Nacionales.

REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE BIENES NACIONALES
DIVISION JURIDICA
Expte. 044000003
SOLICITUD NÚM.

RECEPCION

SECT. JURIDICA

PLAZA DESLINDE CAUCE RIO ELQUI EN
LA REGION DE COQUIMBO

SANTIAGO, 31 DIC. 2009

Ministerio de Bienes Nacionales

Registro

Vº Bº Jefe.

MINISTERIO DE HACIENDA
OFICINA DE PARTES

RECIBIDO

CONTRALORIA GENERAL
TOMA DE RAZON

EXENTO N° 1135.

VISTOS:

Los antecedentes, lo solicitado por la T. Municipalidad de Coquimbo, lo informado por la Dirección de Obras Públicas, la Dirección de Bienes Nacionales y por la Secretaría Regional Ministerial de Bienes Nacionales de la Municipalidad de Coquimbo, y la autorización otorgada por la Ministra de Bienes Nacionales, mediante oficio GDM. N° 390, del 27 de agosto, de su Jefe de Gabinete, todos de 2009; en virtud de lo dispuesto en el artículo 19º, inciso 1º, del D.L. N° 1.939, de 1977, y sus modificaciones; el D.S. N° 19, de 2001, del Ministro Secretario General de la Presidencia y la Resolución N° 1.600, de 2008, de la Contraloría General de la República.

CONSIDERANDO:

Que mediante Oficio N° SE04-966, de 9 de junio de 2009, la Secretaría Regional Ministerial de Bienes Nacionales de la Región de Coquimbo informa que el Ministerio de Obras Públicas ha solicitado la fijación de los deslindes que determinan el cauce del Rio Elqui, en el tramo comprendido entre el Puente El Libertador y 10 Km. aguas arriba, con el objeto de dilucidar oficialmente la relación espacial entre el cauce fluvial y las propiedades ribereñas concurrentes a la faz fiscal, que es sector y para el ordenamiento de la actividad extractiva de material de construcción se desarrolla en ese lugar.

DECRETO :

Ministerio de Bienes Nacionales
Ministerio de Tomos de Razón

I.- Fijarse como deslindes de las
riberas Sur y Norte del cauce del Rio Elqui, en el tramo
Km. 10,00, aguas arriba, del Puente El Libertador, la
Serena, provincia de Elqui, Región
extensión de 10,0 kilómetros y Cauce Secundario del Rio
Elqui: Cauce Km. 0,00 Puente El Libertador hasta el
1,211 aguas arriba, canalizarizados el Plano N°
04101-1636 C.U., láminas 1 y 2; que abarca una
superficie total de 359,33 Hectáreas y diecinueve
nueve coma treinta y tres hectáreas, los siguientes:

REFERENDACION

REP. FOMC

IMPUSAT

AMOT. FOR

SECT. MUNICI.

DECUC. DITO.

ASES. JUR.

En forma gráfica, la delimitación del referido Decreto N° 1135 (Figura 4), se aprecia en la Figura 5 en el área delimitada de amarillo; a su vez, el tramo color rojo corresponde a propiedad fiscal fijada por Decreto Exento N° 685 de fecha 19 de octubre de 1982 del Ministerio de Bienes Nacionales. Sin embargo, en el área en estudio, es decir aguas abajo del puente fiscal, no existe delimitación, ni solicitudes de delimitación de cauce en tramitación.

Figura 5. Delimitación del cauce del río Elqui



Fuente: Decreto Nº 1135. En amarillo los límites referidos al decreto y en rojo la propiedad fiscal.

En el capítulo de resultados ítem 4.3 se entrega el detalle sobre la existencia de bien de uso público y privado en el área de interés, de acuerdo con la información disponible.

3.2. CONCEPTUALIZACIÓN Y DESARROLLO

3.2.1. Monitoreo de Intrusión salina y variables físico-químicas

3.2.1.1. Campañas de terreno

Fueron seleccionados un total de 29 puntos de agua superficial y subterránea para la medición de parámetros fisicoquímicos y/o nivel piezométrico: afloramientos de agua, drenes, canales, calicatas, descargas, noria, río Elqui y laguna de la desembocadura (Figura 6 y Tabla 2).

Campaña de terreno 12 al 15 de noviembre 2020: se visitaron y registraron un total de 31 puntos de agua superficial y subterránea. Se midió la conductividad eléctrica y salinidad en 15 puntos de agua, de los cuales cinco puntos correspondían a agua subterránea (afloramiento, calicatas y noria) y 10 puntos correspondían a agua superficial (desagüe, canal, río, laguna).

Campaña de terreno 14 al 17 de enero 2021: se midieron 22 puntos de agua superficial y subterránea, de los cuales ocho puntos eran de agua superficial y 14 puntos eran de agua subterránea.

Se midió el nivel del agua subterránea en un total de 12 pozos, incluyendo pozos de monitoreo de la Dirección General de Aguas (DGA), acompañadas por Iván Pizarro, hidromensor de la DGA de La Serena. Se observó el nivel somero de agua subterránea en ocho puntos adicionales de la desembocadura especialmente en la zona sur y también en las zonas de extracciones de áridos: En calicatas con presencia de agua somera, en canales, en zona más hondas en las cuales aflora naturalmente el agua, en el suelo con presencia de sal que muestra que el nivel de agua subterránea es somero.

Se midieron los parámetros fisicoquímicos (conductividad eléctrica, temperatura, pH y oxígeno disuelto) en el humedal de la desembocadura del río Elqui, en el río Elqui y en pozos localizados al norte de la desembocadura del río Elqui (Vegas Norte), al sur (Vegas Sur) y al este (hasta Las Rojas).

En las dos campañas se realizaron mediciones de los parámetros fisicoquímicos del agua de la laguna de la desembocadura del río Elqui en fecha y hora con coeficiente de marea muy alto:

- Para el mes de noviembre: el 14 de noviembre a las 8:50 con altura del mar en la estación SHOA de Coquimbo de 1.39 metros.
- Para el mes de enero 2021: el 16 de enero a las 13:30 con altura del mar en la estación SHOA de Coquimbo de 1.14 metros.

En cada punto se midieron los parámetros fisicoquímicos a nivel de superficie (profundidad de la medición 0.1 m) y en el fondo, cuando la profundidad del sistema era mayor a 0.5 metros.

Los parámetros fisicoquímicos del agua se midieron con un equipo multiparamétrico de marca WTW, modelo MultiLine® 3510 IDS, sensor de conductividad TetraCon® 925-P, sensor de Oxígeno Disuelto FDO® 925-P, y electrodo de pH SenTix® 940-P. El nivel de agua subterránea se midió con una sonda piezométrica WLM1. Se registraron las coordenadas y altura con GPS acompañadas de una foto de cada punto. Todos los datos fueron organizados en una base de datos Excel y Sistema de Información Geográfica. Para cada medición se registra la fecha, la hora y las coordenadas del punto. Todos los puntos de agua registrados y medidos se pueden visualizar en la Figura 6, sus características en la Tabla 2, y los datos medidos en el [Anexo 5](#).

Figura 6. Localización de los puntos de agua con medición de parámetros fisicoquímicos y/o nivel piezométrico durante las dos campañas de terreno



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Características de los puntos de agua medidos

ID	Sector	Zona	UTM E	UTM N	Altitud (m.s.n.m)	Tipo punto	Tipo agua
			28063	669035			
AFL-1	Humedal desembocadura Río Elqui	Zona sur	7	0	4	Afloramiento	Subterráneo
			28051	669037			
AFL-2	Humedal desembocadura Río Elqui	Zona sur	4	5	3	Afloramiento	Subterráneo
			28363	669114			
AFL-3	Río Elqui ribera norte	Lagunas áridos	3	0	22	Afloramiento	Subterráneo
			28050	669025			
DES-1	Humedal desembocadura Río Elqui	Zona sur	1	2	4	Desagüe	Superficial
			28072	669075			
DES-2	Humedal desembocadura Río Elqui	Zona sur	8	7	4	Desagüe	Superficial
			28078	669067			
DES-3	Humedal desembocadura Río Elqui	Zona sur	1	1	6	Desagüe	Superficial
			28075	669040			
CAL-1	Humedal desembocadura Río Elqui	Zona sur	0	2	5	Calicata	Subterráneo
			28055	669046			
CAL-2	Humedal desembocadura Río Elqui	Zona sur	9	9	5	Calicata	Subterráneo
			28061	669042			
CAL-3	Humedal desembocadura Río Elqui	Zona sur	9	4	2	Calicata	Subterráneo
			28081	669039			
CAN-1	Humedal desembocadura Río Elqui	Zona sur	9	4	4	Canal	Superficial
			28075	669035			
CAN-2	Humedal desembocadura Río Elqui	Zona sur	3	7	4	Canal	Superficial
			28052	669088			
CAN-3	Humedal desembocadura Río Elqui	Zona norte	8	8	5	Canal	Superficial
			28049	669081			
ELQ-1	Desembocadura Río Elqui	Río Elqui	6	8	3	Laguna	Superficial
			28060	669082			
ELQ-2	Desembocadura Río Elqui	Río Elqui	2	4	4	Laguna	Superficial
			28103	669077			
ELQ-3	Desembocadura Río Elqui	Río Elqui	2	6	5	Laguna	Superficial
			28165	669079			
ELQ-4	Desembocadura Río Elqui	Río Elqui	2	3	6	Río	Superficial
			28217	669075			
ELQ-5	La Serena	Puente fiscal	2	3	7	Río	Superficial

Noria	Vega Norte	Zona norte	28075 3	669204 8	7	Pozo	Subterráneo
El Rosario	Las Rojas	Zona Rosario	30110 9	668066 4	221	Pozo	Subterráneo
Río Elqui en La Rojas	Las Rojas	Zona Las Rojas	30108 5	668151 4	204	Río	Superficial
APR Las Rojas	Las Rojas	Zona Las Rojas	30126 6	668180 7	207	Pozo	Subterráneo
A.P.Piedra C-3	Punta Piedra	Zona C-3	29822 7	668339 6	170	Pozo	Subterráneo
A.P.Piedra C-17	Punta Piedra	Zona C-17	29676 5	668327 5	158	Pozo	Subterráneo
A.P.Piedra C-12	Punta Piedra	Zona C-12	29607 7	668369 5	153	Pozo	Subterráneo
Alfalfares	Alfalfares	Zona Alfalfares	29105 2	668745 5	94	Pozo	Subterráneo
El Islón	El Islón	Zona Islón	28845 5	669039 0	61	Pozo	Subterráneo
Parcela 164	Vega Norte	Zona norte	28227 5	669339 7	14	Pozo	Subterráneo
Parcela 117	Vega Norte	Zona norte	28211 4	669536 8	12	Pozo	Subterráneo
Pozo 484	Vega Sur	Zona Esquinas	28087 2	668799 4	7	Pozo	Subterráneo

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.2. Recopilación de series de datos de estaciones de monitoreo

Se recopilaban las siguientes series de datos de estaciones de monitoreo de la Dirección General de Aguas (DGA), del SHOA y de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) (Tabla 3):

- Precipitación de la estación meteorológica La Serena de la DMC
- Caudal de la estación fluviométrica río Elqui en la Serena de la DGA
- Nivel del agua subterránea en pozos de monitoreo de la DGA en la zona costera – Vega Norte y Vega Sur – y río Elqui bajo entre Las Rojas y la desembocadura
- Altura del mar en la estación de Coquimbo de la SHOA.
- Calidad del agua subterránea en pozos de monitoreo de la DGA (Vega Norte, Vega Sur y río Elqui bajo entre Las Rojas y la desembocadura)
- Calidad de agua superficial en estación de calidad de agua de la DGA (río Elqui en Las Rojas y río Elqui en La Serena).
- Monitoreos de calidad de agua del Ministerio de Medioambiente (MMA) en la desembocadura del río Elqui ([Anexo 2](#))

Tabla 3. Estaciones de monitoreo con series de datos históricas utilizadas en este trabajo

Nombre	Código	Admin.	Tipo	UTM E	UTM N	Vigencia	Desde
Coquimbo		SHOA	Nivel del mar	274600	6684276	Si	01/01/1980
La Serena		DMC	Meteorológica	286963	6688649	Si	01/01/1950
Río Elqui La Serena	04335001-3	DGA	Fluviométrica	282472	6690625	Si	01/01/1970
Río Elqui en Puente Las Rojas	04331003-8	DGA	Fluviométrica	348857	6681980	Si	01/02/1997
Pozo Parcela 484 Esquina C-13	04335012-9	DGA	Fluviométrica	280923	6688018	Si	01/01/2000
Pozo Parcela 164 Vega Norte	04335011-0	DGA	Piezométrica	282158	6693464	Si	01/01/2000
Pozo AP Islón	04334003-4	DGA	Piezométrica	289025	6691165	Si	17/10/2016
Pozo Alfalfares	04331008-9	DGA	Piezométrica	291052	6687455	Si	01/01/1900
Pozo Punta de Piedra C – 12	04331017-8	DGA	Piezométrica	296077	6683695	Si	01/07/1965
A.P. Piedra C – 3	04331006-2	DGA	Piezométrica	298227	6683396	Si	01/01/1900
A.P. Piedra C – 17	04331010-0	DGA	Piezométrica	296765	6683275	Si	01/01/1900
El Rosario	04331013-5	DGA	Piezométrica	301109	6680664	Si	01/01/1900
Parcela 117 Vegas Norte	04200009-4	DGA	Piezométrica	282114	6695368	Si	01/01/1981
APR Las Rojas	04331005-4	DGA	Piezométrica	301266	6681807	Si	01/03/1972

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.3. Análisis de datos

El análisis de los datos generados y recopilados del agua superficial y subterránea de la desembocadura del río Elqui, zona costera norte y sur, y río Elqui entre La Serena y Las Rojas tiene un objetivo doble:

- Caracterizar los flujos superficiales y subterráneos que controlan la presencia del humedal de la desembocadura del río Elqui y así determinar los aportes hídricos al humedal;
- Definir y caracterizar la intrusión marina en el humedal.

Los parámetros de base para estudiar los procesos de salinización del agua son la conductividad eléctrica del agua y la concentración en cloruros. La conductividad refleja la mineralización bajo forma iónica, es esencialmente determinada por los iones cloruros Cl^- , y en un menor grado por otros iones. Los cloruros son un índice indirecto de la salinización, aunque existen aguas muy mineralizadas no cloruradas (sulfatadas, por ejemplo).

La salinización de una masa de agua puede tener varios orígenes: la intrusión marina, la evaporación del agua superficial y subterránea somera, la contaminación (en particular agrícola) o la interacción entre el agua subterránea y formaciones geológicas evaporíticas. En función del contexto hidrogeológico y de la fuente supuesta de salinidad, los indicadores geoquímicos ayudan a identificar el origen de la salinización. Combinando diferentes elementos químicos con el Cl en diagramas binarios, y analizando las relaciones molares de elementos (Na, Ca, B, Br, SO_4) con los Cloruros, se puede hacer una distinción entre sales con origen en la disolución de sales marinas, salmueras residuales de la evaporación del agua de mar, o por contaminación (Kloppmann, 2011).

Las series de datos históricos de calidad de agua de las estaciones de monitoreo de la DGA han permitido analizar la evolución histórica de la conductividad eléctrica y de la concentración de cloruros en la desembocadura, zona costera sur y norte y río Elqui bajo. Se analizaron las relaciones molares entre la concentración en cloruros y el sodio, el calcio, el boro y el sulfato del agua superficial y subterránea de la zona costera (río Elqui en La Serena, pozo parcela 164 Vega Norte y pozo 484 Esquinas Vega Sur)

Se realizaron los siguientes análisis:

a) Análisis temporal (§2.1.-)

Evolución de diferentes variables en función del tiempo en puntos de agua superficial (río Elqui) y de agua subterránea (pozos):

- Nivel de agua subterránea
- Caudal del río Elqui en La Serena
- Conductividad eléctrica y de la concentración en cloruros del agua superficial y subterránea
- Conductividad y salinidad en la desembocadura del río Elqui: Análisis de los monitoreos históricos en la desembocadura del río Elqui:
 - Monitoreos del Ministerio de Medio Ambiente (2012, 2013, 2015, 2016, 2018 y 2019)
 - Campañas de terreno de este trabajo (nov. 2020 y ene. 2021)
 - Datos medidos en la estación DGA río Elqui en La Serena.

b) Análisis de correlación entre variables (§2.2.-)

- Conductividad eléctrica y caudal del Río Elqui
- Nivel del mar y conductividad; nivel del mar y concentración en cloruros del agua superficial y subterránea
- Precipitación en La Serena y conductividad eléctrica; Precipitación en La Serena y concentración en cloruros del agua superficial y subterránea
- Niveles piezométricos y conductividad eléctrica del agua subterránea

c) Relaciones molares del agua superficial y subterránea de la zona costera (§2.3.-)

- Río Elqui en La Serena, pozo parcela 164 vega norte y pozo 484 esquinas vega sur.
-

d) Análisis espacial (§2.4.-)

- Análisis espacial de los niveles de agua subterránea
- Elaboración de un mapa de distribución espacial de la conductividad eléctrica con el método de interpolación IDW y la herramienta ArcHydro del programa ArcGIS

3.2.2. Criterios de delimitación

A nivel internacional países como Estados Unidos, establece la delimitación de humedales a través del Clean Waters Act (1972), y se expresan en una guía para la delimitación de humedales, Wetlands Delineation Manual (1987), lo que ha sido replicado para algunos Estados (The Florida Wetlands Delineation Manual (1994). Otros ejemplos como el de Andalucía, España, y Colombia han adoptado criterios similares para delimitar los humedales.

Las características físicas de los humedales que se consideran para su identificación son en general las siguientes (NCR, 1995; Tiner 1999; Ramsar 2010):

- El suelo o sustrato debe ser fundamentalmente hidromórfico, no drenado.
- La presencia de una lámina de agua poco profunda o agua subterránea próxima a la superficie del terreno, ya sea permanente o temporal.
- El terreno (suelo) debe mantener predominantemente una vegetación acuática o hidrófita (temporal o permanente).
- La presencia de vegetación u organismos adaptados a las condiciones húmedas.
- Zonas de transición entre la tierra y los sistemas acuáticos, el agua constantemente interactúa con la tierra y de esa manera controla el ambiente, y la biología asociada.

En esta propuesta, se contemplan los criterios utilizados por el Fish and Wildlife Service (1979) de EEUU, Tiner, 1999, el Plan Andaluz (2004) y el Instituto de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt de Colombia (Vilardy et al., 2014), estos son:

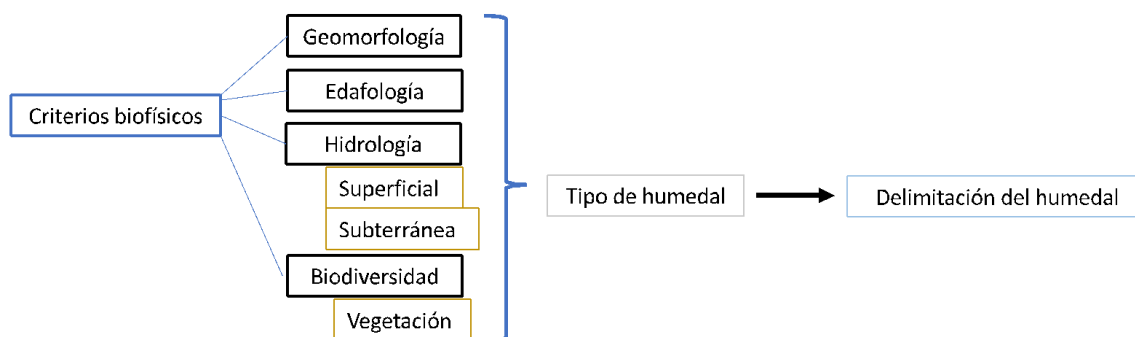
a) Geomorfología: dará cuenta del relieve o morfología del área inundada permanente o temporal, es decir la llanura de inundación. La geomorfología del humedal está referida a la forma de dicho sistema, pudiendo ser un canal o cubeta, esta morfología permite el desarrollo de tipos vegetales y procesos biogeoquímicos específicos al tipo de humedal, así como la presencia de uno u otro tipo de diversidad biológica.

b) Hidrología: agua superficial y subterránea. La hidrología es el factor determinante y que controla la presencia de los ecosistemas de humedales. Como el funcionamiento del humedal depende jerárquicamente de la hidrología, es fundamental conocer el comportamiento hidrológico superficial y subterráneo.

c) Edafología: se refiere a las características del suelo, siendo determinante la humedad del suelo. En el caso de humedales se consideran los suelos asociados a la presencia de agua.

d) Biodiversidad: Se considerará la vegetación que limita y depende del agua, permanente y no permanente (en el caso del sistema desembocadura del río Elqui). La diversidad biológica determinada por la vegetación acuática e hidrófila es la expresión de los factores anteriores: hidrología (superficial y subterránea) y geomorfología.

Figura 7. Criterios de delimitación del humedal Desembocadura del río Elqui



Fuente: Elaboración propia.

Estos criterios, representados en la Figura 7, permiten realizar una delimitación funcional de los humedales, es decir, variables que consideren la integridad ecológica del sistema (Mitsch y Gosselink, 2009; Gosselink et al., 1990). Los criterios biológicos consideran la presencia de vegetación hidrófila o suelos saturados o nivel sub-superficiales de agua. Para otro tipo de sistemas que carezcan de vegetación hidrófila se sugiere considerar otros tipo de biota acuática (Reglamento Agua, Suelos y Humedales N°82. Julio 2010).

3.2.2.1. Delimitación para elaborar la cartografía

Para cumplir con los criterios de delimitación de los TdR, se revisaron antecedentes del área de estudio como la clasificación de coberturas de usos de suelo existentes, realizada por el Laboratorio GEP de la Universidad de Chile (Hernández et al., 2016), e información geográfica base de instituciones públicas. La clasificación de suelos permitió una mejora en el entrenamiento visual del terreno, y la información base, permitió contar con datos respecto de factores biofísicos que influyen en la delimitación como: topografía, geomorfología y áreas de inundación. Además, un requisito de los TDR es revisar el reciente Inventario nacional de humedales del año 2020, elaborado por el Ministerio de Medio Ambiente (MMA, 2020).

La información base, se describe en la Tabla 4, esta fue referenciada en el *Huso 19 Sur, Datum WGS84* y procesada en el software *QGIS 3.14*, utilizando formatos vectoriales (.shapefile) y raster (.tiff).

Tabla 4. Información Base

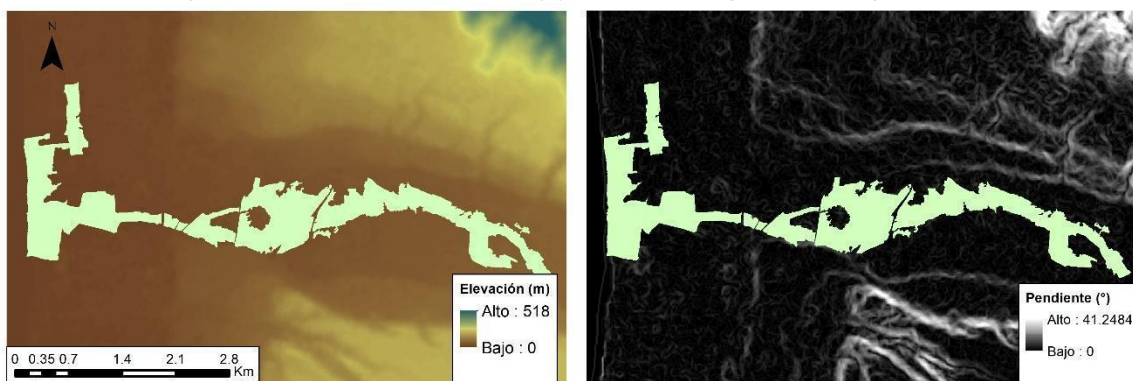
Nombre	Descripción	Fuente
Límites político-administrativos	Señala los límites comunales y provinciales de la región de Coquimbo.	IDE, 2020. Descarga de datos disponibles online
Modelo de Elevación (MDT)	Relieve del área de estudio	IDE, 2020. Descarga de datos disponibles online
Geomorfología	Descripción de las principales unidades geomorfológicas del área de estudio.	MINVU, 2017. Estudio DESE
Modelo de inundación por Tsunamis	Área de inundación por tsunami, elaborado por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada.	SHOA, 2015- SERNAGEOMIN, 2015, GORE 2011.

Modelo de inundación por crecidas	Amenaza de inundación por zonas inundable y quebradas aluvionales	DESE, 2017.
Imagen Multiespectral - Ortofoto	Imagen compuesta por cuatro bandas, Rojo, verde, azul e infrarrojo, con una resolución espacial de 0.8 metros.	MMA, 2020. Proporcionada por contraparte.
Inventario Nacional de Humedales 2020	Catastro de humedales a nivel nacional, cortado para la región de Coquimbo.	MMA, 2020. Descarga disponible online

3.2.2.2. Modelo de Elevación

El modelo de elevación (Figura 8), fue utilizado para obtener las curvas de nivel y las principales unidades fisiográficas de relieve del área de estudio. Se descargó un modelo digital de elevación, desde la plataforma de Infraestructura de Datos Espaciales (IDE, 2020⁵) *Alos Palsar*⁶, de tamaño de píxel de 12.5 metros. Sobre este modelo de elevación se calculó la respectiva pendiente en grados, para así poder observar espacialmente los sectores de planicies y de cajas de ríos, y asociarlas al sistema humedal.

Figura 8. Modelo de elevación y pendiente en grados sexagesimales



Fuente: Alos Palsar (2011) disponible online en IDE (2020).

3.2.2.3. Geomorfología

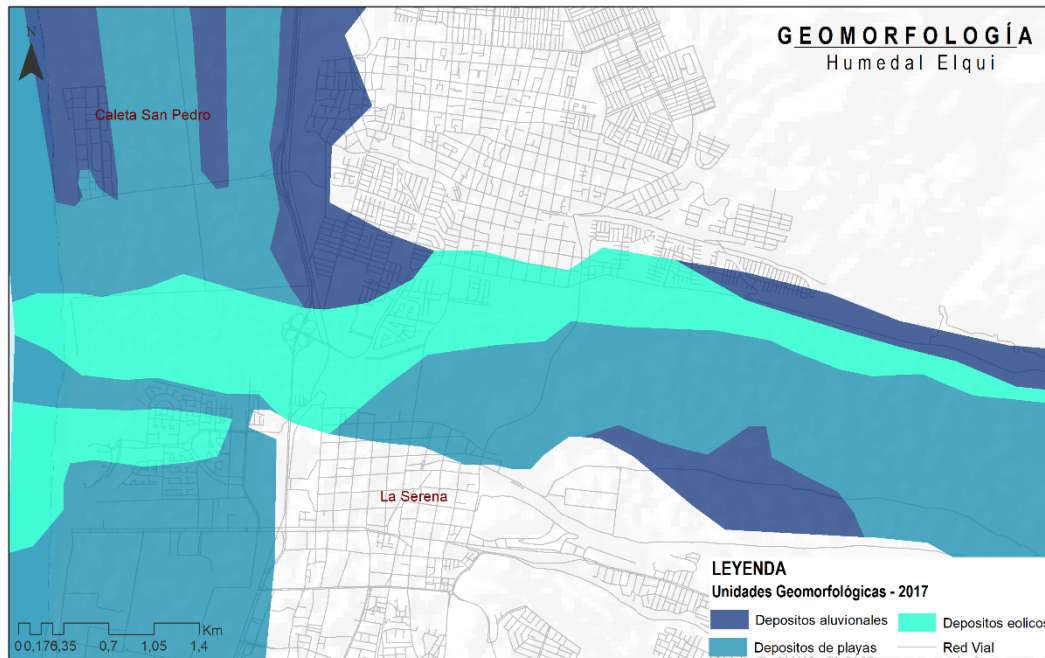
La geomorfología de la bahía de Coquimbo se caracteriza por terrazas marinas plio-cuaternarias con materiales como gravas, limos y arcillas, estos últimos propios de un sistema de vegas de nivel palustre (Paskoff, 1999). Como la zona hoy se encuentra muy intervenida por urbanización y uso agrícola, se consultaron los antecedentes del estudio de “Actualización estudios de riesgos de la Bahía de Coquimbo”, elaborado para el MINVU por DESE (2017), dónde a través de un análisis del Mapa Geológico de Chile: Versión Digital, Publicación Geológica Digital, No. 4, 2003, Versión 1.0, Base Geológica Escala 1:1.000.000, de SERNAGEOMIN, determinan tres grandes unidades de depósitos asociadas al sistema humedal, las cuales se presentan en el mapa geomorfológico (Figura 9), discriminando:

⁵ Disponible en <http://www.ide.cl/index.php/imagenes-y-mapas-base/item/1565-dem-alos-palsar-region-de-coquimbo>

⁶ ASF – 2020, <https://asf.alaska.edu/data-sets/derived-data-sets/alos-palsar-rtc/alos-palsar-radiometric-terrain-correction/>

- i. **Depósitos Aluvionales:** Se encuentran en el piedemonte y tienen una granulometría de arena gruesa hasta grava y otros clastos.
- ii. **Depósitos de Playas:** Son los principales registros de la morfología litoral, estos depósitos se encuentran en gran parte del sector del humedal de la desembocadura del Elqui, caracterizada por arenas medias a finas.
- iii. **Depósitos Eólicos:** Principalmente asociados a dunas y barras dentro la zona de inundación fluvial se destaca por arenas medias a muy finas. Las tres unidades geomorfológicas muestran procesos de acumulación de material sedimentario.

Figura 9. Geomorfología del Humedal desembocadura del río Elqui



Fuente: MINVU (2017).

3.2.2.4. Inundación por Tsunami

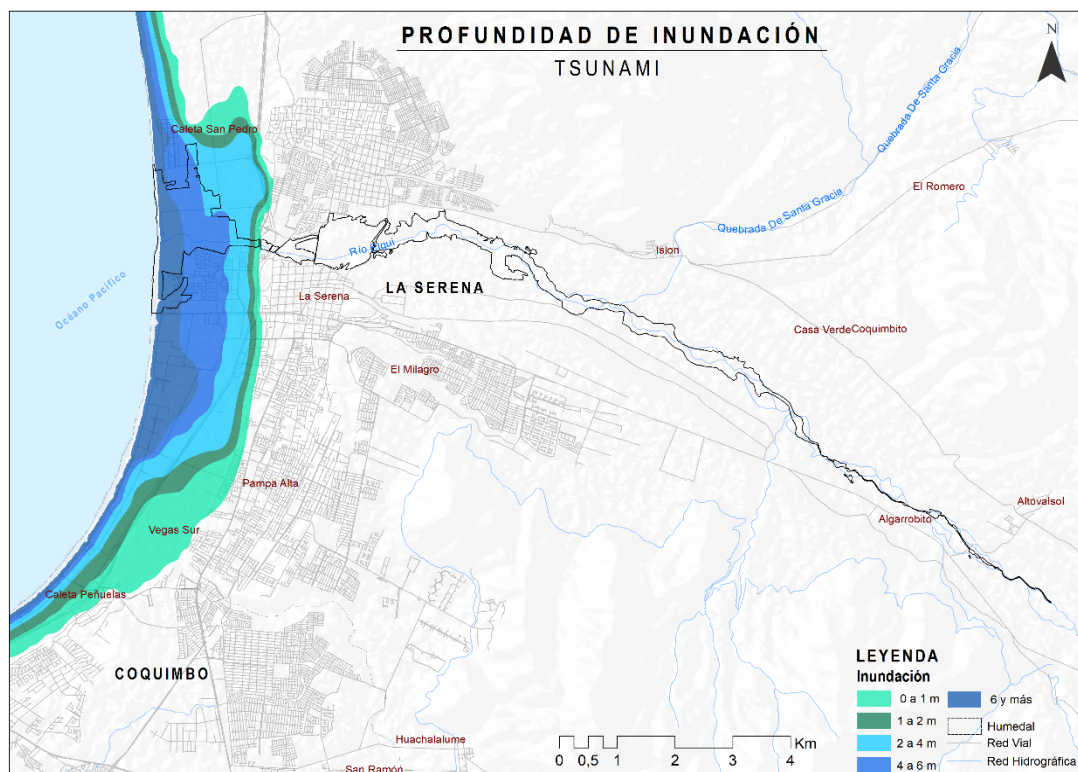
Los tsunamis, son definidos como eventos naturales extremos, relacionados generalmente a movimientos telúricos, poco frecuentes, pero de rápida generación. Este fenómeno natural ha sido responsable de numerosas pérdidas de vidas y de una extensa destrucción en zonas costeras del país. Por consiguiente, resulta relevante considerar el área que puede verse afectada por un tsunami sobre las costas de la desembocadura del río Elqui, considerando que el humedal puede ejercer una amortiguación ante los impactos de las olas. Su intervención incide sobre el grado de amenaza para la infraestructura y las personas que pueden hacer ocupación de esta zona.

En el año 2015 el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), elaboró una carta de inundación que define las áreas máximas que potencialmente podrían inundarse en caso de que ocurriera un evento sísmico tsunamigénico de gran tamaño en Coquimbo – La Serena.

Este estudio determinó que en las costas de Coquimbo–La Serena (Ver tabla 5) un total de 2.956,8 hectáreas se encuentran expuestas a sufrir inundación por tsunami. En este escenario, un 6,2% de

la superficie del humedal -184,2 hectáreas- se encuentra en peligro por esta condición, principalmente en la desembocadura del río Elqui (Figura 10).

Figura 10. Inundación por Tsunami



Fuente: SHOA, 2015

También, el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, delimitó áreas de inundación desde 0 metros hasta sobre los 6 metros, afectando a más de 1000 hectáreas, dentro de las que se puede encontrar, desde 0 a 1 metro a 1,03 hectáreas, por otro lado, la inundación desde 1 a 2 metros alcanza unas 1,11 hectáreas, de 2 a 4 metros aumenta considerablemente a 514,5 hectáreas, de 4 a 6 metros 446,18 hectáreas y superiores a 6 metros se muestra un total de 73,6 hectáreas. El humedal recibiría principalmente en la desembocadura una inundación de 4 a 6 metros, por tanto, la inundación en el sector del humedal, alcanza un total de 1.036,17 hectáreas que también incluyen los sectores urbanos y agrícolas de los alrededores del humedal (Tabla 5) que han sido construidos.

Tabla 5. Inundación por Tsunami

Profundidad	Superficie en hectáreas	Profundidad en Humedal (Ha)
0 – 1 metro	1,03	1,1
1 – 2 metro	1,11	1,1
2 – 4 metros	514,5	23
4 – 6 metros	446,18	87
6 y más	73,6	72

Fuente: SHOA, 2015

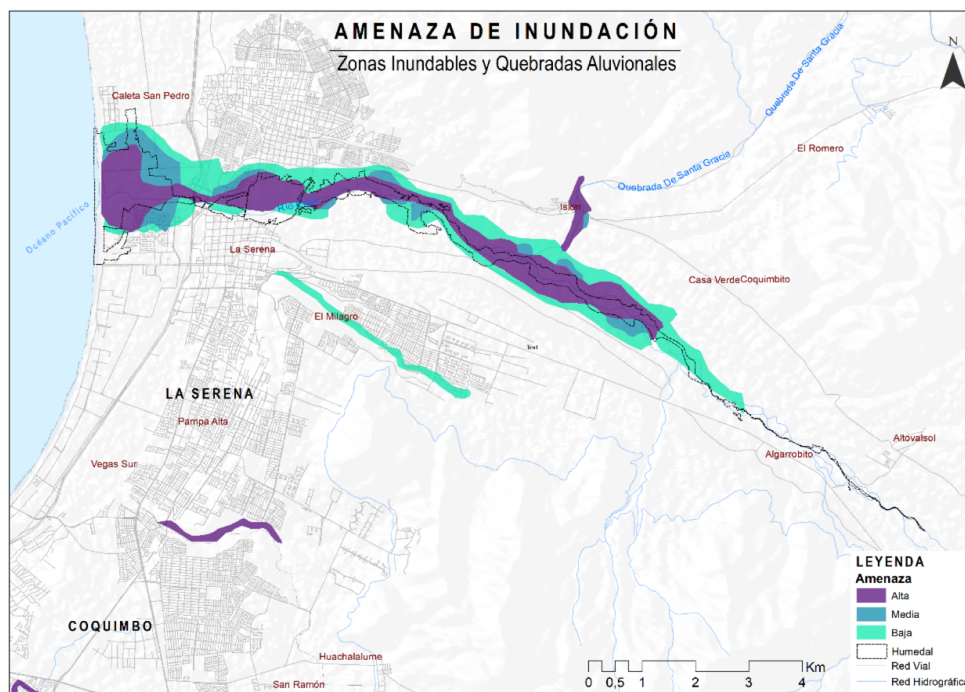
3.2.2.5. Inundación por crecidas del río Elqui

La crecida, también conocida como riada, es un proceso natural sin periodicidad y puede generar grandes consecuencias ambientales, como el riesgo de inundación. En la Bahía de Coquimbo la variación de precipitaciones y temperaturas en cuencas andinas, generaría un aumento de la probabilidad de inundaciones fluviales (Soto et al., 2015), esto se debe a un incremento importante de caudal en el sistema fluvial, además durante eventos “El Niño” aumentan los volúmenes de precipitación (Soto et al., 2015). Entonces, cada crecida presenta distinta progresión o evolución en el espacio y en el tiempo, un distinto desarrollo desde su origen hasta el final del proceso, reflejados en su hidrograma. Dos parámetros son fundamentales: la velocidad de la crecida y su duración en el tiempo (Ollero, 1997).

En el estudio “Actualización Estudio de Riesgos Bahía de Coquimbo” del año 2017, para determinar el grado de amenaza por crecidas del río, se expone un modelo de 10, 25, 50 y 100 años de período de retorno. Se considera que un evento de período de retorno igual a 100 años define un grado de amenaza bajo, un evento de período de retorno igual a 25 años define un grado de amenaza medio, y un evento de período de retorno igual a 10 años define un grado de amenaza alto.

En la Bahía de Coquimbo 1.635,4 hectáreas se encuentran en peligro de inundación. Como se observa en la Figura 11, la exposición se concentra principalmente en el sector del humedal en toda su extensión -1.201,7 hectáreas-, que incluye la zona costera y la zona léntica (río aguas arriba) como se observa en la figura 10, concentrando el 73,5% del peligro por inundación. Dentro de la superficie del humedal, la amenaza alcanza 428,6 hectáreas. Esto implica que el 81% de la superficie del humedal se encuentra expuesta a inundación por precipitaciones y aluviones, lo que es consistente con el estudio de Soto et al., (2015) que describe la condición geomorfológica de la bahía Coquimbo. La Serena y características de las terrazas aluvionales, características detalladas con antelación en este informe. (Revisar en el punto 4.1.2. la descripción detallada de la superficie de humedal contemplada).

Figura 11. Amenaza de inundación por zonas inundables y quebradas aluvionales.



Fuente: MINVU (2017).

3.2.3. Metodología de análisis para la determinación de áreas de alto valor por biodiversidad

Para describir las áreas prioritarias de BD se utilizó el área que poseía la mayor información, propuesta que fue presentada en talleres al CTL. Para el análisis de priorización de áreas de alta biodiversidad, se utilizó una modificación del procedimiento propuesto por Chavéz-Gonzales et al. (2014), el cual comprende 4 etapas: (1) definición del objetivo de priorización, (2) selección de criterios e indicadores, (3) Procesamiento de criterios, (4) selección de áreas prioritarias (Figura 12). Las áreas de alta biodiversidad se establecieron a través de la riqueza específica, estimada mediante datos de presencia, de las divisiones Magnoliophyta, Pinophyta, y Pteridophyta (plantas superiores) y del subphylum Vertebrata; así como también siguiendo criterios cualitativos basados en atributos identitarios de las mismas. De acuerdo con esos criterios, se realizó la priorización de los sitios de alta biodiversidad seleccionando las áreas con los mayores valores de riqueza de especies nativas y prioritarias.

Asimismo, la definición utilizada para determinar los sitios con alta biodiversidad considera los valores de riqueza de especies como índice representativo de la diversidad (Moreno 2001). Las unidades espaciales mínimas para determinar las áreas de alta diversidad del humedal fueron las secciones identificadas dentro del radio urbano de la ciudad de La Serena, y en cuanto al criterio de vegetación se utilizó los tipos vegetacionales, zonificados en diferentes secciones del área de estudio y son las siguientes:

3.2.3.1. Zonificación del área de evaluación

Para priorizar las áreas de alta biodiversidad, el área evaluada del humedal se zonificó en las siguientes secciones, cuyas coordenadas geográficas se detallan en el [Anexo 6](#):

Dunas y playa. Es la franja comprendida entre la zona intermareal y el cordón dunar e incluye el canal de la desembocadura. Se caracteriza por tener suelos arenosos y vegetación baja de tipo psamófito. Reviste especial importancia para las aves migratorias, sobre todo boreales, australes (p. ej., gaviota de Franklin, playeros, zarapitos) e intratropicales (p. ej., rayador), y aves residentes como chorlo nevado, pilpilén, colegial, bailarín chico.

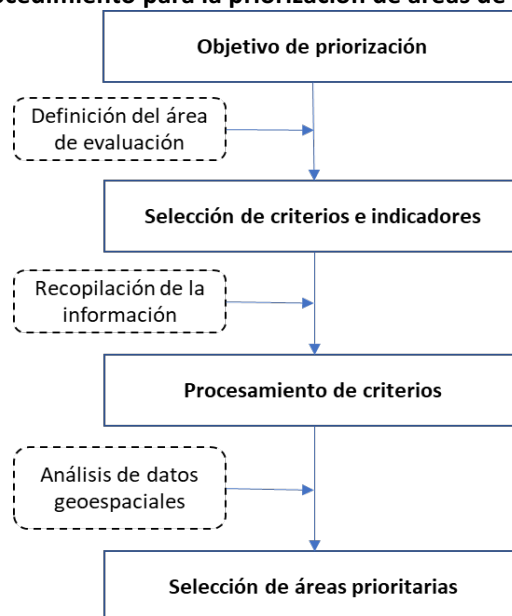
Laguna costera y vegas. Comprende el cuerpo de agua léntico contiguo a la desembocadura del río y toda la vegetación palustre y riparia asociada a sus márgenes y riberas. En términos relativos, esta sección presenta una alta cobertura de helófitas introducidas, como, p. ej., totora (*Typha angustifolia*) y carrizo (*Phragmites australis*).

Curso bajo. Corresponde a la franja que se extiende entre la laguna costera y el nuevo puente de la carretera Panamericana. En esta sección, el humedal se ha reducido fuertemente por la expansión urbana y el curso fluvial tiene flujo permanente.

Curso medio. Zona que se extiende entre los puentes de la carretera Panamericana y El Libertador. Incluye dos brazos fluviales y un canal de regadío, el que, antes de verter parte de sus aguas en el brazo norte, sigue su curso de forma subterránea en dirección a la Compañía Baja. El brazo fluvial sur fluye continuamente hacia la desembocadura.

Curso alto (lagunas). Se sitúa entre los puentes El Libertador y Vicente Zorrilla. Cuenta con numerosas lagunas derivadas de una intensa extracción de áridos, además de un laberinto de montículos de ripio colonizados por vegetación riparia degradada.

Figura 12. Procedimiento para la priorización de áreas de alta diversidad.



Fuente: Modificado de Chavéz-Gonzales et al. (2014).

3.2.3.2. Delimitación de tipos vegetacionales.

Para cartografiar y calcular las superficies de cada unidad, se realizó una conversión de formato utilizando el software Global Mapper 20. A cada uno de los KML obtenidos, se le asignó una proyección UTM (huso -19 y Datum WGS-84) y luego se exportó en formato shapefile. La cartografía y los cálculos de superficies de cada tipo vegetacional se realizaron con el software Arcgis 10.7 (Figura 13). Para determinar los tipos vegetacionales se siguió el criterio de Luebert y Plischoff (2017), se identificaron cinco formaciones intrazonales, las cuales se adscriben al piso del matorral desértico mediterráneo costero de *Oxalis gigantea* y *Heliotropium stenophyllum*. Dichas unidades son las siguientes:

- a) **Vegetación acuática.** Se compone de hidrófitas radicales y natantes y se observó en todos los cuerpos de agua inspeccionados, a excepción del canal de la desembocadura. Entre sus especies más características están la flor del pato (*Azolla filiculoides*), la tembladera (*Hydrocotyle bonariensis*), el pasto de la rana (*Ludwigia peploides*) y la espiga de agua (*Stuckenia filiformis*).
- b) **Vegetación palustre.** Agrupa a pastizales y herbazales semiacuáticos asociados a ambientes ribereños o afloramientos de agua de los márgenes fluviales. En esta categoría se incluyen los totorales de *Typha angustifolia*, los pajonales de batros (*Schoenoplectus californicus* y *S. pungens*) y asociaciones de menor altura, como las dominadas por *Eleocharis* spp.
- c) **Vegetación riparia (o ripariana).** Comprende tres tipos de formaciones leñosas distribuidas en las riberas y márgenes fluviales, a saber: matorral arbustivo de brea (*Tessaria absinthioides*), matorral arbustivo de *Baccharis* spp. y matorral arborescente. Las primeras dos alcanzan una altura máxima de 3 m y se componen exclusivamente de arbustos, mientras que la tercera presenta al menos un 10 % de cobertura arbórea, en especial de *Salix humboldtiana*.
- d) **Vegetación halófila.** Formación freatófila que se desarrolla en una estrecha franja predunar caracterizada por suelos salinos. Entre sus principales especies figuran la grama salada (*Distichlis spicata*), la hierba del salitre (*Frankenia salina*), la sosa (*Sarcocornia neri*) y el junco espinoso (*Juncus acutus*).
- e) **Vegetación costera.** Asociación psamófila rastrera, de distribución discontinua, que se desarrolla en suelos arenosos de la franja supramareal, sobre todo en dunas. Sus principales especies son el chinquihue (*Ambrosia chamissonis*), la malvilla (*Cristaria glaucophylla*) y el esparto (*Solanum trinominum*).

La distribución y cobertura relativa de las unidades vegetacionales en cada una de las secciones del humedal (desde el curso alto y lagunas artificiales, proximidades del puente Vicente Zorrilla hasta la desembocadura, incluyendo dunas costeras y playa) se representan en la Tabla 7, donde se puede observar que la vegetación riparia es la más representativa del área de estudio con 84,8 ha, y la unidad vegetacional dominante de la sección del curso alto del humedal, donde se expresan lagunas y un sistema fluvial disminuido. La vegetación acuática, por su parte, tiene una superficie de 12,39 ha y también se concentra la última sección (13,3 %). Una de las formaciones más especializadas del humedal es la halófila, compuesta por especies dependientes de los suelos salinos o muy tolerantes a estos. Este tipo de vegetación solo se encuentra en la sección terminal del río, en la zona conocida

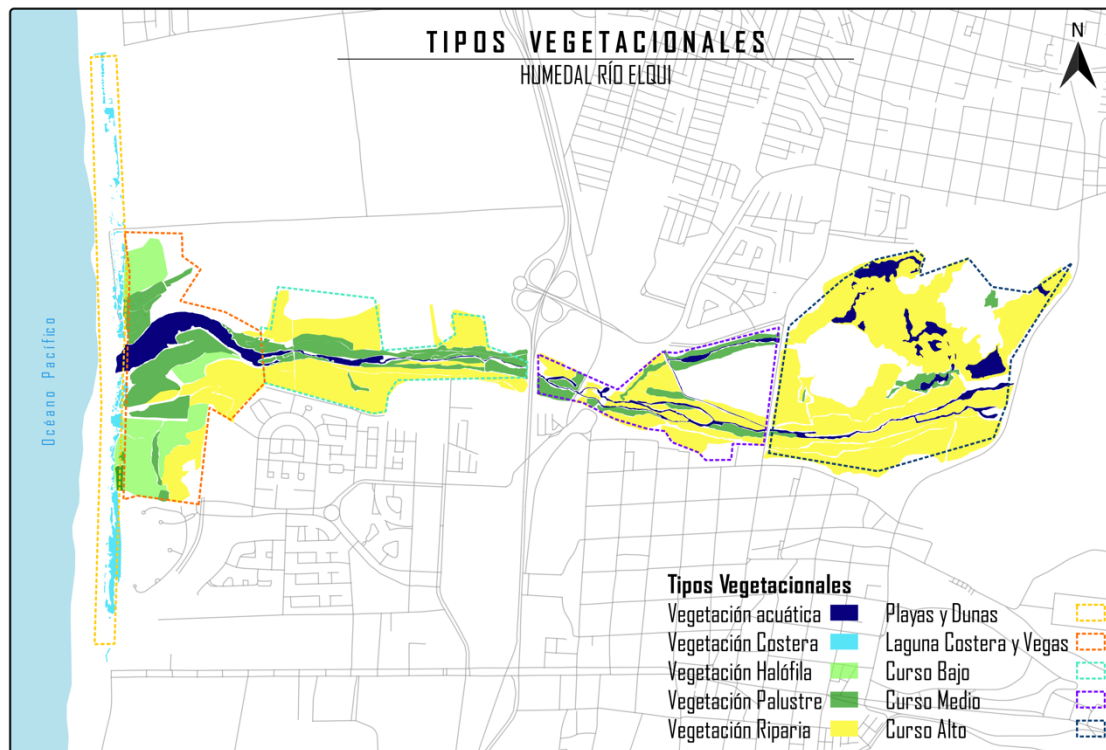
como vegas, circundante a la laguna costera del humedal en desembocadura (29,5%). La vegetación costera, por su parte, se circunscribe a la sección de dunas y playa y abarca solo 4,5 de las 23,3 ha que comprende esta sección (19,3%) (ver Tabla 6).

Tabla 6. Cobertura relativa de los tipos vegetacionales presentes en las diferentes secciones del humedal costero del río Elqui

Sección	Tipo vegetacional	Superficie (ha)	Cobertura relativa
Curso alto y lagunas	Acuática	5,1	0,08
	Palustre	5,5	0,09
	Riparia	50,1	0,83
	Acuática	1,6	0,10
Curso medio	Palustre	4,9	0,31
	Riparia	9,5	0,59
	Acuática	0,7	0,03
Curso bajo	Palustre	6,2	0,29
	Riparia	14,6	0,68
	Acuática	4,99	0,13
Laguna costera y vegas	Halófila	11,11	0,30
	Palustre	10,9	0,29
	Riparia	10,6	0,28
Dunas y playa	Costera	4,5	0,19

Fuente: Elaboración propia

Figura 13. Zonificación del humedal costero del Elqui: secciones del sitio estudio y polígonos de cada tipo vegetacional identificado



Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.3. Criterios de priorización de áreas de alta biodiversidad

Con objeto de identificar las áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad, se usaron los siguientes criterios basados en Ceballos et al. (2009), Inrena (2008) y Chávez-González et al. (2014):

- a) **Diversidad de tipos vegetacionales.** Para efectuar la priorización, se analizó la información recopilada en la presente consultoría (p. ej., riqueza de especies, diversidad de formaciones vegetacionales y los diferentes tipos de hábitats que estos representan). Los antecedentes metodológicos de la recopilación de información biológica han sido descritos en el [Anexo 3](#)⁷. Además de los procedimientos y criterios citados anteriormente, se utilizó la información sobre tipos vegetacionales proporcionada por Luebert y Pliscoff (2017), con la cual se identificaron cinco formaciones intrazonales incluidas en el piso del matorral desértico mediterráneo costero de *Oxalis gigantea* y *Heliotropium stenophyllum*. Dichas unidades son las siguientes: (1) vegetación acuática, (2) vegetación palustre, (3) vegetación riparia, (4) vegetación halófila y (5) vegetación costera.
- b) **Diversidad de especies por sección.** Para determinar el indicador de diversidad de especies por sección, se utilizó la recopilación de datos de diversidad, en cuanto a presencia de especies, información taxonómica, estado de conservación nacional e internacional, origen biogeográfico, formas de vida (plantas) aportados por diferentes estudios (CAACH 2005, MMA 2010, 2020, 2021, CEAZA 2016, ECOTERRA 2016, SAG 2018, GBIF 2020, eBird 2020, UICN 2020) ([Anexo 3](#)), así como el conocimiento sobre la historia natural del sistema y experiencia del equipo consultor. Posteriormente, utilizando principios de medición de biodiversidad a nivel de comunidades y paisaje la diversidad se analizó usando un análogo de la diversidad alfa, como la riqueza de especies, donde p_i es la proporción relativa de riqueza de especies estandarizada por el área de cada comunidad dentro del paisaje (Moreno 2001). De esta forma, se asignó la riqueza de especies de plantas y animales a los diferentes tipos vegetacionales presentes en cada una de las secciones. Luego, se estimó la cobertura de cada tipo vegetacional dentro de cada sección, expresado en porcentaje, valor que se obtuvo al dividir la superficie cubierta por cada tipo de formación vegetacional entre el total de la superficie ocupada por la sección. Posteriormente, dado que la diversidad de especies es una función del área, se estandarizó la riqueza de especies en función de la fracción de superficie que cada uno de los polígonos de los diferentes tipos vegetacionales ocupan en cada sección, de forma de no sobreestimar la diversidad de especies total. Finalmente, para resumir la diversidad de especies por sección se obtuvo el valor promedio del número de especies asociadas a los diferentes tipos vegetacionales de cada sección.

Para analizar la información, solo se consideraron las especies residentes en el humedal y, en el caso de las visitantes, aquellas con registros regulares o al menos ocasionales (eBird, 2020). No se tomaron en cuenta las especies atípicas (p. ej., *Phalacrocorax gaimardi*, *Spheniscus humboldti*, *Geranoaetus melanoleucus*) ni las de presencia potencial o hipotética en el humedal,

⁷ Corporación Capital Biodiversidad (2020). Informe nº 2. Delimitación y caracterización de usos del Humedal Desembocadura del Río Elqui y sus Subcuencas Aportantes, Región de Coquimbo. Fecha entrega: 14.12.2020)

es decir, sin evidencia tangible (p. ej., *Pseudalopex griseus*, *Thylamys elegans*, *Garthia gaudichaudii*). En el caso particular de las plantas vasculares introducidas, se excluyeron las que, pese a contar con registros en el sitio, no se han naturalizado en este.

- c) **Diversidad de especies prioritarias.** Dado que la diversidad de especies no solo es medible a través de la riqueza total de especies, sino también por medio de la identidad de las mismas que la componen (Feinsinger, 2004, 2013; Feinsinger & Ventosa, 2014), se definió una serie de subcriterios basados en especies prioritarias descritos a continuación (c.1 a c.5), y que contribuyen a la valoración de la biodiversidad (p. ej., especies nativas, endémicas, migratorias, amenazadas, singulares, susceptibles y emblemáticas) pero también negativamente al incluir especies que dañan a las especies nativas y sus hábitat (p. ej., especies introducidas). Al igual que la diversidad total, la diversidad de cada una de estas subcategorías se estandarizó en función del área de sus correspondientes tipos vegetacionales en cada sección. Para tales fines, se utilizaron las siguientes definiciones:

c.1) Especies nativas: Uno de los principales enfoques de las estrategias de conservación está tradicionalmente relacionado con la diversidad de especies. Es uno de los atributos más conocidos, más visibles y fáciles de aproximarse comparado con estrategias de conservación a nivel de paisaje, o de servicios ecosistémicos (Feinsinger, 2004). Las especies nativas son aquellas que pertenecen a una región o ecosistema determinados y cuya presencia en esa región es el resultado de fenómenos naturales sin intervención humana (MMA, 2020).

c.2) Especies endémicas: En el mundo se han definido 34 hotspots de biodiversidad, áreas prioritarias de conservación debido a su representatividad de especies endémicas y nivel de degradación (Arroyo et al., 2006). Chile es un hotspot de biodiversidad en que destacan por su alto endemismo grupos como los anfibios anuros, de los cuales el 67 % de son endémicos; los reptiles, con un 66% de endemismo, los peces de aguas continentales, con un 55% (con la notable presencia de dos familias exclusivas de nuestro país); y las plantas, con un 50,3% (Arroyo et al., 2006). Por ello, este criterio es muy relevante de destacar. Las especies endémicas son aquellas que viven exclusivamente en un determinado territorio, ya sea continente, país, región política administrativa, región biogeográfica, isla o una zona particular. Por lo tanto, las especies endémicas son un subconjunto de las especies nativas. En el presente estudio, usaremos el concepto de especies endémicas considerando aquellas que viven de forma natural sólo dentro del territorio chileno (MMA, 2020).

c.3) Especies migratorias: Uno de los enfoques más recientes en el ámbito de la conservación está relacionado con una fracción muy importante de la diversidad nativa de un sistema, pero que a su vez es muy particular ya que no residen en dicho sistema permanentemente, sino que han evolucionado para lograr explotar recursos y condiciones cambiantes a nivel global. A nivel global el número de especies migratorias no es muy bien conocido pero su número cada vez incrementa más (385 especies de aves, 200 mamíferos (entre ellos 40 cetáceos), 10 reptiles, 21 peces) (CMS, 2021). En Chile las especies migratorias mejor conocidas son las aves, representadas en nuestro país por 39 especies migratorias interhemisféricas e intratropicales y 16 clasificadas como migratorias parciales australes y altitudinales. También se reconoce una especie extinta (*Numenius borealis*) (Remsen et al., 2021). Las especies migratorias se definen como aquellas que usan hábitats diferentes en las distintas etapas de su ciclo de vida (p. ej., permaneciendo en un hábitat parte del año y reproduciéndose en otro, o bien concentrándose en un área y dispersándose

a través de alguna otra). Estas especies han evolucionado para utilizar de forma temporal diferentes entornos y recursos disponibles. Al depender de espacios diferentes utilizados como escalones de apoyo durante su proceso de migración, su situación es más vulnerable que la de las especies residentes (PNUMA/CMS, 2008).

c.4) Especies amenazadas: En Chile se han evaluado respecto a su estado de conservación hasta la actualidad cerca de 1274 especies (614 animales, 600 especies de plantas, y 61 hongos, de las cuales 142 se encuentran en estado Crítico (CR), 374 En Peligro (EN) y 283 Vulnerables (VU). Conocer este grupo de especies permite contar con una herramienta de priorización dependiente del grado de amenaza de las especies. En ese sentido, las especies amenazadas son aquellas que presentan problemas de conservación (amenazas) que implican riesgo de extinción en el mediano plazo (al menos un 10 % de probabilidad de extinción en 100 años). Por este motivo, estas especies se han incluido en algunas de las siguientes categorías de conservación: En Peligro Crítico (CR), en Peligro (EN) y Vulnerable (VU). Para este análisis, se han considerado las especies amenazadas a escala nacional según el último proceso del Reglamento de Clasificación de Especies (RCE) (MMA, 2021) y las reconocidas como amenazadas y protegidas según la Ley de Caza 19.473 (SAG, 2018). A escala internacional, se ha utilizado la Lista Roja de especies amenazadas de la UICN (UICN, 2020).

c.5) Especies prioritarias. Son aquellas que presentan otros atributos relevantes de conservación pero que no necesariamente son especies amenazadas, endémicas o migratorias, sino que cumplen con otros subcriterios de valor de importancia objetivo (especies singulares) como también subjetivo (especies emblemáticas). Este conjunto de especies permite enfocar y promover la buena actitud de conservación y la gestión de financiamiento para el desarrollo de estrategias de conservación que cubren además otras especies menos carismáticas pero cuyo aporte al funcionamiento de los ecosistemas es fundamental. Para este estudio, se han considerado un conjunto de especies (tabla 7) que a juicio de experto cumplen con dichos criterios, considerando las siguientes definiciones:

- * **Especies singulares:** Cualquier especie con una cualidad o estándar inusuales perceptibles. En particular, nos referimos a cualidades de su biología o historia natural que las hacen destacables, como, p. ej., taxones monotípicos —pueden ser géneros, familias o categorías superiores—, carácter relictos, carácter ancestral o categoría de especie evolutivamente distintivas y globalmente amenazadas, también reconocidas como especies EDGE (Evolutionarily Distinct and Globally Endangered) (EDGE, 2020).
- * **Especies susceptibles:** Son aquellas especies, amenazadas o no, altamente propensas a ser afectadas por las principales amenazas al humedal (degradación, fragmentación y pérdida de hábitat, cacería, contaminación, alteración del cauce). Esto último se debe a particularidades de sus atributos de historia natural (rasgos de historia de vida), tales como tamaño corporal, rareza, modo de reproducción, atractivo para la caza (p. ej., peces continentales nativos, anfibios, pidencito).
- * **Especies emblemáticas:** También llamadas especies bandera, son organismos que llaman la atención por ser carismáticos y gozan del favor del público, ya sea por su valoración utilitaria o importancia cultural, aunque no estén necesariamente en peligro de extinción y que, dependiendo de sus requerimientos de hábitat, pueden ser, además,

especies sombrilla o paraguas. Por ejemplo: pilpilén común (Ave insignia de La Serena), sietecolores (ave común, de amplia distribución, pero que representa un trofeo fotográfico para los observadores de aves) y batro, planta palustre reconocida por su uso tradicional en cestería (McGowan et al., 2020).

Tabla 7. Lista de especies priorizadas propuestas para el humedal desembocadura del río Elqui, La Serena. SI= especie singular, SU= especie susceptible y EM= especie emblemática

Especie	Nombre común	SI	SU	EM	Justificación
<i>Ardea cocoi</i>	Garza cuca			1	Se valora y destaca por ser la mayor de las garzas chilenas.
<i>Basilichthys microlepidotus</i>	Pejerrey del Norte Chico		1		Especie endémica de Chile, susceptible de ser afectada por alteraciones del cauce.
<i>Calyptocephalella gayi</i>	Rana gigante chilena	1	1		Pertenece a un género monotípico y endémico de Chile. Especie sensible a la contaminación y alteración de cauces
<i>Charadrius nivosus</i>	Chorlo nevado		1		Su reproducción depende de la presencia de dunas y playas.
<i>Cheirodon pisciculus</i>	Pocha		1		Especie endémica de Chile, susceptible de ser afectada por alteraciones del cauce.
<i>Colorhamphus parvirostris</i>	Viudita	1			Pertenece a un género monotípico.
<i>Cryphiops caementarius</i>	Camarón de río del Norte	1	1	1	Pertenece a un género monotípico y constituye un recurso hidrobiológico de alto valor culinario.
<i>Curaeus curaeus</i>	Tordo	1			Pertenece a un género monotípico.
<i>Diuca diuca</i>	Diuca común	1			Pertenece a un género monotípico.
<i>Egretta caerulea</i>	Garza azul			1	El humedal del Elqui es uno de los pocos lugares de Chile cuya presencia es regular.
<i>Haematopus palliatus</i>	Pilpilén común		1	1	Es el ave símbolo de La Serena y su reproducción depende de la presencia de dunas y playas.
<i>Hymenops perspicillatus</i>	Run-run	1			Pertenece a un género monotípico.
<i>Juncus acutus</i>	Junco espinoso			1	Especie con valor biocultural (cestería y construcción de techumbres)
<i>Larosterna inca</i>	Gaviotín monja	1			Pertenece a un género monotípico.
<i>Laterallus jamaicensis</i>	Pidencito		1	1	La subespecie presente en el humedal (<i>L. jamaicensis salinasi</i>) podría ser endémica de Chile
<i>Leucophaeus pipixcan</i>	Gaviota de Franklin			1	Es una de las especies migratorias más abundantes de Chile y motivo de la conmemoración del Día de la Gaviota, que se celebra cada año entre noviembre y diciembre.
<i>Limosa fedoa</i>	Zarapito moteado			1	Visitante muy escaso en Chile, aunque regular en el humedal del Elqui
<i>Mugil cephalus</i>	Lisa		1		Especie susceptible de ser afectada por alteraciones del cauce
<i>Myocastor coypus</i>	Coipo	1		1	Pertenece a una familia monotípica
<i>Numenius phaeopus</i>	Zarapito común			1	
<i>Patagona gigas</i>	Picaflor gigante	1			Pertenece a un género monotípico.
<i>Phleocryptes melanops</i>	Trabajador	1			Pertenece a un género monotípico.
<i>Plegadis chihi</i>	Cuervo de pantano			1	Especie relativamente rara en la zona y muy valorada por la comunidad local

<i>Pleurodema thaul</i>	Sapito de cuatro de ojos	1	1	Especie sensible a la contaminación y alteración de cauces
<i>Podiceps major</i>	Huala		1	
<i>Porphyriops melanops</i>	Tagüita común	1		Pertenece a un género monotípico.
<i>Rhinella atacamensis</i>	Sapo atacameño	1		Especie endémica de Chile, sensible a la contaminación y alteración de cauces
<i>Rhodopis vesper</i>	Picaflor del Norte	1		Pertenece a un género monotípico.
<i>Rynchops niger</i>	Rayador		1	
<i>Salix humboldtiana</i>	Sauce criollo		1	Especie de valor biocultural (artesanía)
<i>Schoenoplectus californicus</i>	Batro		1	Especie con valor biocultural (cestería)
<i>Tachuris rubrigastra</i>	Sietecolores	1	1	Pertenece a un género monotípico.
<i>Typha angustifolia</i>	Totora		1	Goza de una alta valoración social, a pesar de su impacto negativo en los humedales.
Totales de especies prioritarias		13	10	17

3.2.3.4. Procesamiento de criterios.

Con objeto de sintetizar los criterios para utilizar en la identificación de las áreas de mayor diversidad, se procesó la información espacial conforme al punto 3.2.3.2. Para tener datos depurados a la riqueza de especies se le restó el número de especies exóticas, pues este grupo no es de interés para la priorización y se utilizó el valor resultante para estimar los valores de riqueza relativa de los diferentes grupos de especies priorizadas.

Para estimar la frecuencia relativa (P_i) de especies endémicas y migratorias, se utilizó la suma del número de especies endémicas o migratorias estandarizado según cada tipo vegetacional, cuyo valor se dividió por el número total de especies nativas presentes para la sección ($P_i = \text{endémicas}/S \text{ nativas}$ y $P_i = \text{migratorias}/S \text{ nativas}$).

En el caso de las especies amenazadas, se consideraron como subcriterios independientes las clasificaciones efectuadas a escala nacional por el (RCE, 16° proceso, actualizado a diciembre de 2020), así como también las especies clasificadas y protegidas por el reglamento de la Ley de Caza del SAG (2018). Además, se utilizó el subcriterio de clasificación global de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), versión 2020-3 de la Lista Roja. Para evitar la redundancia de especies amenazadas entre los tipos vegetacionales de una misma sección, se usó el valor promedio de especies amenazadas de cada sección según los sistemas de clasificación considerados (RCE, SAG, UICN). Posteriormente, a fin de obtener la frecuencia relativa de especies amenazas por sección, se utilizó la sumatoria de los valores promedio del número de especies amenazadas de cada sistema de clasificación, la cual se dividió por el número total de especies nativas presentes en la sección ($P_i = [RCE + SAG + UICN]/S \text{ nativas}$).

Se procedió de la misma forma para obtener la frecuencia relativa (P_i) de especies priorizadas con base a los criterios de singularidad, susceptibilidad y especies emblemáticas de cada sección ($P_i = [\text{singulares} + \text{susceptibles} + \text{emblemáticas}]/S \text{ nativas}$).

Finalmente, se estimaron los valores de las áreas de mayor diversidad de especies mediante un índice de diversidad de especies priorizadas basado en la sumatoria de las frecuencias relativas de los diferentes grupos de especies priorizadas en cada sección [$S_{\text{prioritarias}} = \sum (P_i \text{ prioritarias})$]. Dichos valores

se compararon directamente a partir de los valores de los índices para identificar los sitios o áreas de mayor diversidad del sistema.

3.2.3.5. Selección de Áreas prioritarias

La selección de las áreas prioritarias se realizó con base a dos criterios relacionados con el concepto de biodiversidad, a saber:

- * **Criterio 1:** Se basó en la identificación de las áreas de alta diversidad de especies nativas presentes en el humedal, seleccionando como prioritarias las dos secciones con mayor valor de biodiversidad, considerando que ambas áreas representarán la mayor parte de la biodiversidad existente en el área evaluada.
- * **Criterio 2:** Identificación de áreas con mayor diversidad de especies priorizadas, vale decir, el conjunto conformado por las especies endémicas, migratorias, amenazadas, susceptibles, singulares y emblemáticas. De esa forma, también se priorizaron las dos áreas con mayor representatividad de diversidad de especies prioritarias en el humedal.

Los resultados obtenidos de este proceso se desarrollan en el ítem 4.4.

3.2.3.6. Biodiversidad basada en hábitat fluvial

Adicionalmente, y como una forma de complementar el análisis, se trabajó con los datos existentes para asociar la biodiversidad a tipos vegetacionales como hábitats, pero comprendiendo al sistema fluvial como un objeto de conservación integrado y continuo. Para ello, se analizaron los datos para el sistema humedal costero del río Elqui, considerando que este sistema está comprendido por un sistema fluvial que alimenta la cubeta terminal o laguna costera, junto a otros aportes descritos en la sección sobre hidrología del humedal del río Elqui. En este contexto, el humedal costero del río Elqui es un subsistema límnic, integrado a la cuenca hidrográfica (Vila et. al., 2006), por ello su fragmentación pone en riesgo los hábitats del sistema costero. En los sistemas lóticos, el movimiento predominantemente es horizontal y unidireccional (Wetzel 1999), se caracteriza por presentar una interacción continua con su cuenca hidrográfica, donde se produce la contribución permanente de material alóctono y la producción de materia orgánica autóctona (Allan & Castillo, 2007; Dodds & Whiles 2020). Este flujo unidireccional, con una alta heterogeneidad espacial y temporal, a todas las escalas (micro-hábitats), determinan una gran diversidad de ecosistemas lóticos con biota especializada para vivir en condiciones fluviales a lo largo de este cambio físico continuo. Lo que se expresa en el sistema fluvial o lótico del río Elqui, cuya morfología cambia en la zona terminal y de la desembocadura, área que conecta con el mar.

Para este análisis se utilizó la misma clasificación de tipos vegetacionales descritos en la sección 3.2.3.2 de este informe, comprendiéndolo como un continuo de diversidad de formaciones vegetacionales y los diferentes tipos de hábitats que estos representan (Luebert y Pliscoff, 2017): (1) vegetación acuática, (2) vegetación palustre, (3) vegetación riparia, (4) vegetación halófila y (5) vegetación costera; nos pueden ayudar a establecer zonas de priorización dentro del humedal del río Elqui y para integrar la relación de continuo fluvial, separamos el análisis de priorización por la identidad de éstas: **endémicas, nativas, y la suma de ambas**. De esta forma, se cuantificó la riqueza de especies en las categorías previamente descritas (endémicas, nativas y la suma de ambas) en un análisis de presencia y ausencia por cada taxón y se procedió a rankear esta biodiversidad (de

acuerdo con criterio profesional) entre Alta, Media Alta, Media Baja y Baja con respecto al total de biodiversidad de cada taxón.

Utilizando esta metodología no sólo caracterizamos la riqueza de biodiversidad en el continuo fluvial del humedal del río Elqui, sino que relevamos la importancia/función ecológica de distintos taxones dentro del sistema humedal. En este sentido evaluamos la riqueza de aves, mamíferos, peces, anfibios y reptiles por separado y de igual forma la riqueza total, tanto para especies endémicas, como nativas y la suma de ambas (E+N). Lo que queda representado en los resultados de la sección. La cartografía detallada para cada grupo taxonómico se presenta en el [Anexo 7](#).

3.2.4. Marco conceptual y metodológico sobre los servicios ecosistémicos y avances en el área de estudio

El concepto de SS.EE trae aparejada una manera de comprender la relación entre la sociedad y la naturaleza, es decir, reconoce la interacción que existe entre ecosistemas y sistemas sociales que en su conjunto constituyen un sistema socio-ecológico (Chapin, 2009). Esta interacción ocurre entre al menos, dos componentes: uno ecológico, desde donde los procesos y funciones ecosistémicas generan un potencial y la disponibilidad de una serie de servicios, y un componente sociocultural, donde los seres humanos, por múltiples motivos generan una demanda, uso o extracción para beneficio propio y de su grupo social.

La definición de los SS.EE presenta un carácter totalmente antropocéntrico (Goulder y Kennedy, 2011), ya que este adquiere sentido sólo cuando se estudia la conexión entre los ecosistemas y el bienestar de las personas, es decir, cuando existe un beneficiario. Por lo tanto, explorar las visiones, valores, preferencias o creencias de quienes hacen uso de los beneficios proporcionados por los SS.EE, adquiere especial relevancia.

Ha sido ampliamente argumentado que la gestión de los territorios para la sostenibilidad debe considerar variables ecológicas, económicas y socio-culturales que sean integradas en una visión que enfatice sobre la importancia de comprender cómo las diferentes alternativas de uso de los territorios pueden afectar el bienestar de las personas allí presentes (Cerdeira & Tironi, 2017). En ese sentido, la evaluación de estos servicios, utilizando indicadores socioculturales proporciona información relevante para la planificación y la gestión ambiental sobre el complejo flujo de bienes y servicios que la naturaleza provee a la sociedad (Iniesta-Arandia et al., 2014; Czúcz & Arany, 2016).

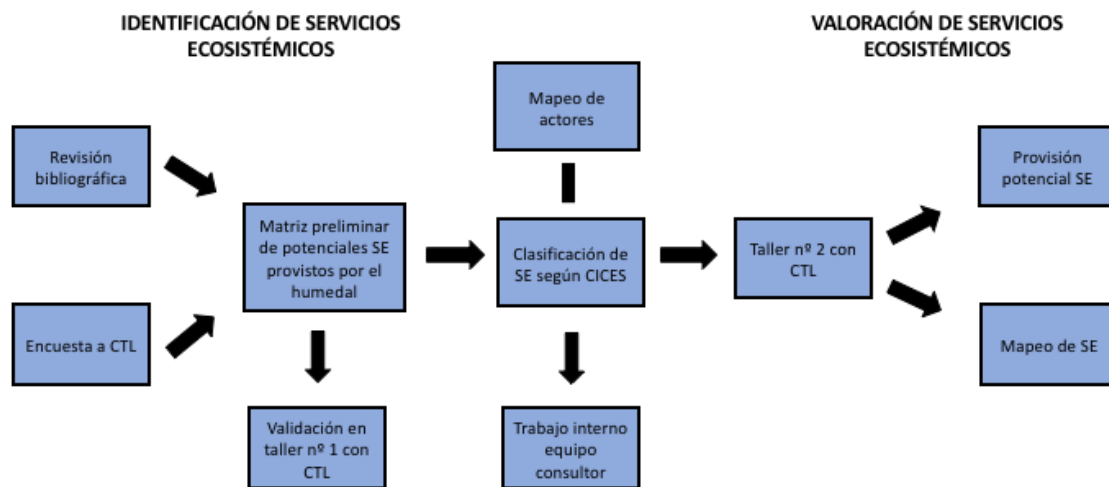
En ese sentido, las evaluaciones socio-culturales se caracterizan por examinar tanto la importancia, como las preferencias, necesidades o demandas que expresan distintos actores hacia los SS.EE a través de diferentes medidas que pueden ser cuantitativas o cualitativas (Chan et al., 2012; Martín-López et al., 2012; Villamor et al., 2014; Kelemen et al., 2016). Por otro lado, para identificar los servicios ecosistémicos provistos por un área específica es necesario identificar a los actores clave que tienen un particular interés en el uso o gestión de los ecosistemas y los beneficios que obtienen a partir de estos (Balvanera y Cottler, 2007; Martín-López et al., 2012; Martín-López y Montes, 2012).

Entenderemos por actores claves a aquellas personas, agrupaciones o instituciones que tienen un interés o participación de importancia significativa en determinadas actividades relacionadas con la temática en estudio, ya sea por conocimiento clave o por participación en la toma de decisiones, pudiendo llegar a influenciar directa o indirectamente en las acciones que se tomen respecto a la

utilización de recursos en áreas específicas (Harrington et al., 2010; Iniesta-Arandia et al., 2014). En el [Anexo 8](#) hemos incorporado un mapeo de actores claves que presenten un vínculo directo o indirecto con el área de estudio.

Para aproximarnos a una evaluación sociocultural de los SS.EE, se realizó una primera etapa de identificación de los potenciales servicios ecosistémicos provistos por el humedal de la Desembocadura del río Elqui que consideró el desarrollo de las siguientes actividades: revisión bibliográfica (ver punto 4.1.4), encuesta al Comité Técnico Local y validación en taller N° 1 con el Comité Técnico Local. En una segunda etapa, se desarrolló una valoración cualitativa de la provisión potencial de SS.EE por parte del humedal y un ejercicio de espacialización (mapeo) de los mismos durante el taller N° 2 con el CTL (ver figura 14).

Figura 14. Diagrama de flujo de las actividades propuestas para llevar a cabo la evaluación de los servicios ecosistémicos provistos por el humedal de la Desembocadura del río Elqui



Elaboración propia. En azul las actividades realizadas.

3.2.4.1. Identificación de Servicios Ecosistémicos

A partir de la revisión bibliográfica (ver punto 3.1.4) se elaboró una matriz de los potenciales servicios ecosistémicos provistos por el humedal y sus subcuencas aportantes identificando servicios de provisión, servicios de regulación y mantenimiento y servicios culturales.

Con el objetivo de complementar la matriz de potenciales servicios ecosistémicos elaborada a partir de la bibliografía, se diseñó una encuesta en línea para ampliar la consulta al Comité Técnico Local, detallada en el punto 1 del [Anexo 9](#).

Para obtener una matriz única de los potenciales servicios ecosistémicos que provee el humedal, se contrastó la información recogida de la encuesta relacionada a los beneficios que otorga el humedal con la lista potencial de servicios ecosistémicos identificados en la bibliografía disponible, y se incorporó una descripción a cada uno de los servicios que conformaron la lista.

Para discutir y enriquecer la matriz de SS.EE obtenida a partir de la bibliografía y la encuesta, se realizó un módulo de trabajo con el CTL durante el taller N° 1 (ver punto 2 [Anexo 9](#)). En esta jornada participó el equipo consultor, la contraparte, funcionarios del MMA, miembros del CTL y otros actores clave contactados para esta ocasión.

En el módulo correspondiente a servicios ecosistémicos los y las participantes pudieron revisar la matriz de los potenciales SS.EE provistos por el humedal de la Desembocadura del río Elqui, sugerir nuevos servicios o agrupar algunos de ellos, descartar otros que no consideran pertinentes al humedal, y/o complementar la descripción de cada uno. Este ejercicio fue pensado para establecer un entendimiento común sobre los SS.EE que facilitara el trabajo planteado en la segunda etapa de valoración de los mismos

3.2.4.2. Valoración de Servicios Ecosistémicos

Posterior a la validación realizada en el taller N° 1 con el CTL, se llevó a cabo un trabajo interno del equipo consultor para homologar la clasificación de los potenciales SS.EE identificados de acuerdo con lo propuesto por CICES (2018) que considera los siguientes niveles de clasificación: sección, división, grupo y clase, obteniendo el listado final de servicios ecosistémicos a valorar durante el taller N° 2.

3.2.4.2.1. Provisión potencial y mapeo de Servicios Ecosistémicos

Para valorar cualitativamente la capacidad potencial del humedal Desembocadura del río Elqui y sus subcuencas aportantes de proveer determinados SS.EE, se construyó una matriz servicios/ecosistema que fue valorada por el CTL en el segundo módulo del taller N° 2 (ver punto 3, [Anexo 9](#)), adaptando la metodología propuesta por Burkhard y sus colaboradores (2009; 2012). Esta metodología ha sido ampliamente aceptada como una alternativa viable en términos prácticos y económicos, considerando la carencia de métodos cuantitativos que permitan valorar el potencial de provisión de los SS.EE.

La matriz construida fue distribuida en cuatro encuestas desarrolladas en la plataforma *Qualtrics*, cada una contenía un listado diferente de SS.EE donde los y las participantes debían valorar individualmente el potencial de provisión en cada combinación servicio/ecosistema con un número entero entre 0 y 3, representando cada uno de ellos lo siguiente:

- 0: No aplica (no hay capacidad relevante de provisión del servicio);
- 1: Capacidad de baja relevancia;
- 2: Capacidad media o moderada;
- 3: Capacidad de alta relevancia.

Tras obtener la moda (valor más frecuente) de cada celda valorada, se construyó una matriz única que contenía la valoración conjunta del CTL sobre la capacidad potencial del humedal y las subcuencas de proveer los SS.EE evaluados. Para complementar la información anterior, se realizó un segundo ejercicio que consistió en espacializar (mapear) los SS.EE que cada grupo había valorado en la encuesta correspondiente. Para ello, los y las participantes debían por consenso y en base a sus percepciones, ubicar los SS.EE en el mapa proporcionado según el uso de suelo del humedal y las subcuencas aportantes (figura 20) donde creyeran que el SS.EE indicado es proveído.

La clasificación operacional del ecosistema en estudio en base al uso de fuentes de datos como “uso y cobertura de suelo” puede constituir una base sólida para la aproximación de SS.EE a escala nacional, ya que es una buena representación del estado de los ecosistemas del país pues se consideran importantes usos y coberturas de suelo como las áreas urbanizadas y suelos agrícolas, entre otros, lo que entrega un contexto socio-ecológico considerable en un país como Chile, caracterizado por la explotación de sus recursos naturales.

A partir de la síntesis y contraste de esta información, se construyó una matriz de presencia/ausencia (provisión o carencia de provisión) de servicios en el humedal y las subcuencas aportantes que permitió la construcción de los mapas de provisión de SS.EE. Para ello, se sumaron todos los valores de presencia (1) de los servicios identificados a nivel de sección (provisión, regulación y mantenimiento y culturales) por cada uso de suelo.

3.2.5. Marco conceptual y metodológico sobre amenazas al humedal y subcuencas aportantes

Para establecer algunas definiciones se consideró dos marcos científico-técnicos, uno es el marco conceptual desarrollado por la Plataforma Intergubernamental sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (IPBES), que corresponde al Panel Científico de la Convención de Diversidad Biológica (CDB). IPBES ha descrito algunos impulsores directos de cambio sobre la naturaleza. Algunos de estos impulsores directos son: el cambio de uso de la tierra y del mar, el cambio climático, la contaminación y las especies exóticas invasoras y afectan tanto a los ecosistemas terrestres, como a los acuáticos continentales y marinos. Pero todos estos tienen causas previas, sociales, institucionales, económicas o tecnológicas, que han sido denominadas impulsores indirectos

De acuerdo con IPBES **impulsores de cambio** refiere a: “aquellos factores externos que afectan a la naturaleza, a los activos antropógenos, a las contribuciones de la naturaleza a las personas y a una buena calidad de vida. Incluyen las instituciones y los sistemas de gobernanza y otros impulsores indirectos y directos (tanto naturales como antropógenos)”.

A su vez los **impulsores indirectos** son las maneras en que las sociedades se organizan y cómo estas formas de organización influyen sobre otras áreas de acción. Son entonces las causas subyacentes del cambio del medio ambiente y son exógenas a los ecosistemas. Estos son tan importantes como los impulsores directos, determinan las formas en las cuales se ejerce el poder, político y sobre los recursos, por citar un ejemplo.

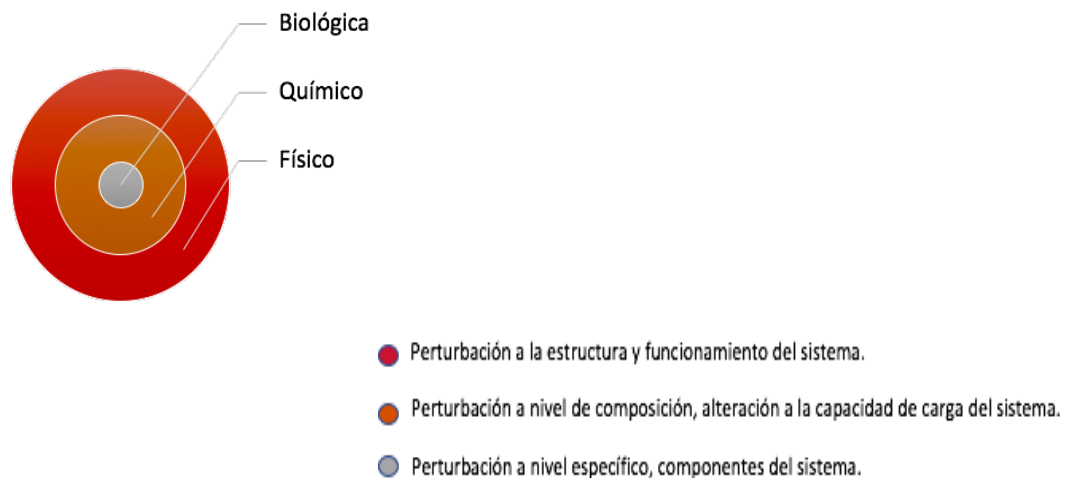
Finalmente, **los impulsores directos**, tanto naturales como antropógenos, afectan directamente a la naturaleza. Los “impulsores naturales” son aquellos que no resultan de las actividades humanas y están fuera del control de los seres humanos, y comprenden los terremotos, las erupciones volcánicas y los tsunamis, los fenómenos meteorológicos y oceánicos extremos, como los períodos prolongados de sequía. Los impulsores antropógenos incluyen la conversión del hábitat, la degradación de las tierras y los hábitats acuáticos, la deforestación, la explotación de las poblaciones silvestres, el cambio climático, la contaminación de los suelos, del agua y del aire, así como la introducción de especies. Todos los anteriores pueden o están influenciados también por decisiones institucionales que generan efectos adversos sobre la naturaleza.

Por lo tanto, los ecosistemas están sometidos a amenazas antrópicas de diferente origen, los que corresponden a factores directos e indirectos que determinan la persistencia y grado de impacto de

la amenaza. En sistemas urbanos como la ciudad de La Serena se evidencian prácticas no sostenibles, con una expansión urbana que pone en riesgo la resiliencia y la adaptación al cambio climático, con consecuencias negativas para los más vulnerables, la biodiversidad y los ecosistemas (Swyngedouw et.al., 2014).

Adicionalmente, utilizamos la propuesta adoptada por el Ministerio de Medio Ambiente (MMA, 2007) sobre la jerarquía de amenazas en los humedales (Figura 15) y que fue aplicada en esta propuesta, lo que permitió agrupar las amenazas identificadas y facilitar la metodología de priorización. Así las amenazas de tipo físico son de primera jerarquía, las químicas de segunda y las biológicas de tercera (O'Neill et al.1986), esto dice relación con la capacidad o no, de ser revertida una amenaza por el sistema o de adaptarse a la perturbación sin modificar su estructura y funcionamiento en forma definitiva (Holling, 1973).

Figura 15. Jerarquía de amenazas sobre los ecosistemas.



Fuente: Elaboración propia equipo, basado en MMA 2007. Fuente original: O'Neill, R., Lee Deangelis, D., Waide, J.B., & Alle, T. (1986). A Hierarchical Concept of Ecosystems).

Se considera que las amenazas físicas son perturbaciones con el mayor grado, las químicas de nivel medio y las biológicas medio o bajo, aunque podrían existir algunas que sean determinantes en la composición del humedal, como las Especies Exóticas (EE) y las Especies Exóticas Invasoras (EEI).

Esto permitirá considerar las prioridades en su manejo y control en el futuro, así como determinar medidas específicas que deberían ser incorporadas en planes de manejo y monitoreo. La doble clasificación permite por una parte reconocer las causas subyacentes de las amenazas y por otra comprender qué tipo de amenaza requiere prioridad en la acción.

A cada amenaza se le asignó una valoración de acuerdo con el grado de la perturbación sobre el humedal, que corresponde a Alta, Media o Baja, lo que se llevó a cabo en el taller N° 2 con el Comité Técnico Local el día 27 de enero (ver detalles de la actividad en punto 3, [Anexo 9](#)). Posteriormente, en un trabajo del equipo consultor se da una valoración a la urgencia, ésta se jerarquiza de acuerdo con el tipo de impacto generado por la amenaza y si corresponde a una amenaza puntual o que

ocupa varios puntos o áreas del humedal, si compromete estructura y funcionamiento del mismo. Finalmente, la prioridad se calcula en base a una sumatoria simple de los valores asignados a cada categoría (Alta, Media, Baja) (Ver Tabla 8 de valoración).

Tabla 8. Valoración de las amenazas

Grado de perturbación	categoría	valores	valores finales priorizados (rangos)
Alto	A	3	5.0 a 6.0
Medio	M	2	3.0 a 5.0
Bajo	B	1	1.0 a 2.0
identificado no calificado	NS	N/E	

Fuente: Elaboración propia

Hemos definido perturbación como el grado de alteración sobre el humedal, el efecto adverso provocado por la amenaza, pudiendo afectar a nivel de composición, estructura o procesos. Al mismo tiempo, puede afectar componentes abióticos como temperatura, calidad del agua y caudales. Ante perturbaciones se identifican cambios en las características ecológicas que son la combinación de los componentes, procesos y servicios de los ecosistemas que caracterizan a un humedal en un determinado momento (Convención Ramsar).

Se llevó a cabo la priorización de aquellas amenazas que se encontraban en el rango 5.0 a 6.0 (sumatoria simple entre grado de perturbación y de urgencia) y que quedan representadas en las tablas 18, 19 y 20 en la sección de resultados (ver ítem 4.6)

$$Pr = \text{valor perturbación} + \text{Valor urgencia}$$

La clasificación propuesta permite establecer prioridades de gestión por una parte y esfuerzos para evitar o reducir aquellos factores que generan la o las amenazas sobre los ecosistemas. Otro elemento relevante de integrar en los diagnósticos y priorizaciones, es que las amenazas, así como el riesgo, son construidas socialmente. Las amenazas “de origen natural”, como los pulsos de inundación con tiempos de retorno ocasionales, causados por intensas precipitaciones, se convierten en amenazas para las personas, y se amplifican en la medida que los ecosistemas son alterados antrópicamente, y se habitan transformándolos, a tal punto, que dejan de cumplir funciones ecológicas y sociales.

En el segundo taller fueron presentadas las amenazas y los factores de amenaza. Asimismo, se presentó la descripción de cada amenaza y con ello se elaboró una matriz que agrupa las amenazas físicas, químicas y biológicas. Esto permite realizar una clasificación de acuerdo con el tipo de amenaza de la que se trata, y al mismo tiempo dar prioridad de acuerdo con la urgencia. Aquellas amenazas que generan una perturbación con efectos en los procesos, atributos y estructura del humedal tendrán la mayor puntuación, ya que muchas de estas amenazas generan cambios permanentes en el sistema a escala de cuenca y sitio, como aquellas del tipo físico.

Durante el taller fue posible analizar, reconsiderar y modificar las amenazas y su clasificación, así como la puntuación de acuerdo con el grado de perturbación percibido por cada integrante. El

resultado es cualitativo con una calificación de Bajo, Medio o Alta. La matriz permitió alimentar la información con la descripción de la amenaza, el ámbito institucional o de gestión vinculado.

En otro orden de cosas, para el caso de la región de Coquimbo, una expresión de los cambios climáticos es la sequía que experimenta la región, lo que queda reflejado en las 15 comunas que han sido declaradas con escasez hídrica (MMA, 2020b) y que afecta 40.635 Km². De acuerdo con el Informe del Estado del Medio Ambiente, publicado por el Ministerio de Medio Ambiente en 2020, algunas instrumentos regulatorios y normativos para “contrarrestar la escasez hídrica” son: la ley de humedales urbanos, el anteproyecto de norma del río Huasco y del Plan de Descontaminación del Lago Villarrica. No se informa sobre ninguna medida específica para la región con la mayor superficie afectada por sequía. Adicionalmente se informa sobre otros instrumentos tales como los decretos de escasez (que dicta la DGA), áreas de restricción de aguas subterráneas y zonas de restricción de aguas subterráneas, todas las anteriores medidas que debe tomar y fiscalizar la Dirección General de Aguas.

De lo anterior, llama la atención que la cuenca del río Elqui aún no tenga una norma que permita proteger las aguas y ecosistemas acuáticos, y que el desarrollo de actividades productivas ponga en riesgo el sistema hidrológico del río Elqui y los humedales integrados a la cuenca hidrográfica, especialmente el humedal de la desembocadura, que está sometido a múltiples amenazas como queda reflejado en los resultados sobre amenazas.

Hemos dejado fuera de este análisis de amenazas sobre el humedal, a los eventos de origen natural como: inundaciones, tsunamis y remoción en masa, por responder a otras dinámicas y constituir fenómenos de otra escala, sin perjuicio de constituir un elemento determinante para la planificación de la ciudad con criterios de conservación y uso de sistemas innovadores de infraestructura mixta o verde-azul (Grimm 2016).

4. RESULTADOS

4.1. Detección del humedal del Elqui en base a imágenes de satélite

Uno de los resultados emblemáticos de esta etapa dice relación con la delimitación del humedal no solo en la desembocadura del río Elqui, como fue solicitado inicialmente en los TdR del presente estudio, sino del sistema costero y fluvial en su totalidad, desde la desembocadura hasta la zona de puente Altovalsol, límite Este definido con el CTL en el primer taller de trabajo y ratificado posteriormente con la contraparte técnica del presente estudio. Así, una de las peticiones mayoritarias del CTL fue incluir no solo la desembocadura del río Elqui, sino toda la extensión del río aguas arriba, lo que queda reflejado en el trabajo de los talleres ([Anexo 9](#)). Por ello, el análisis ha sido exhaustivo y ha incluido la opinión de dicho comité, existiendo algunas consideraciones técnicas que tomó el equipo de Corporación para establecer la clasificación final. Dicho lo anterior, a continuación se presentan los resultados de dicho análisis.

La determinación de las categorías de humedal considera los límites ecológicos de interés, detectado con técnicas de fotointerpretación y técnicas complementarias de teledetección sobre la imagen de alta resolución (2020) proporcionada por GEF, complementando el análisis con imágenes Sentinel y Digital Globe. Dada la resolución de la imagen y tamaño del humedal, principalmente se utiliza fotointerpretación, junto con el cálculo de dos indicadores espectrales para complementar la existencia de vegetación y los cuerpos de agua en Google Earth Engine (GEE). El cuerpo de agua se

reconoce con interpretación visual y se utiliza como complemento el indicador de agua normalizada (Normalized Difference Water Index, NDWI), mientras que para la vegetación fue utilizado el indicador de vegetación normalizada (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI). Ambos indicadores espectrales, permiten discriminar de buena forma las coberturas de vegetación y agua entre intervalos de -1 a 1.

La aplicación de estos indicadores espectrales y los análisis de fotointerpretación, también van dirigidos a la detección de la vegetación hidrófila, que es un criterio fundamental para este análisis y solicitado por el reglamento de la Ley de Humedales Urbanos. Por lo tanto, los análisis de fotointerpretación y los indicadores espectrales buscan aumentar el análisis de separabilidad de este tipo de vegetación y en particular de los suelos húmedos, realizando combinaciones con la banda infrarroja, resaltando las diferencias entre la vegetación y el resto de las coberturas asociadas al humedal. De esta forma se busca generar una propuesta de delimitación del polígono de humedal, la cual fue presentada en el taller N°1.

Posterior a la delimitación preliminar, se corroboró con la superficie detectada por el “Inventario Nacional de Humedales, 2020” disponible de la plataforma del Ministerio del Medio Ambiente⁸. Además, la información del catastro sirvió también de validación para las áreas propuestas en esta delimitación, de esta forma, se revisaron las categorías del inventario, comparando las tipologías estipuladas en la Tabla 9.

Tabla 9. Clasificación por tipo y jerarquía de clasificación del Inventario Nacional 2020

Tipo	Jerarquía			
	1	2	3	4
Temporal	• Continentales • Marinos y Costeros	• Palustres • Estuarinos • Ribereños • Marinos	• Emergentes • Intermareales • Permanentes	• Intermareales • Río
Permanente				
Vegetación Ripariana				
Laguna Costera				

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente (2020).

El inventario nacional (Figura 16) reconoce una superficie de 126 hectáreas, de éstas 56.8 hectáreas corresponden a humedal de tipo estuarino, mientras que 19.6 ha pertenecen a humedal de tipo palustres y 49 ha para el humedal ribereño.

⁸ <https://humedaleschile.mma.gob.cl/inventario-humadales/>

Figura 16. Humedal de la Desembocadura del Río Elqui, según Inventario Nacional



Fuente: MMA (2020).

Una vez revisados todos los criterios anteriormente mencionados: Modelos de elevación y pendiente, Geomorfología, Inundación por Tsunami, Zonas Inundables y Quebradas Aluvionales e Inventario Nacional, se proponen las categorías de humedal (Tabla 10), incorporando la “Laguna Costera”, el humedal “Temporal”, el humedal “Permanente”, la “Vegetación Ripariana”, y la “Laguna Costera”, más la categorías asociadas de “Playas y Dunas”, además de las observaciones sistematizadas del Taller N° 1 ([Anexo 10](#)) y verificación en terreno.

Tabla 10. Zonificación propuesta para la primera delimitación del sistema humedal

Tipos	Descripción	Fotografías
Temporal	Zonas de humedales inundadas temporalmente o zonas ribereñas generalmente asociadas a llanuras aluviales, que son inundadas en períodos de lluvias intensas.	
Permanente	Zonas de humedales que se encuentran permanentemente inundadas o con el nivel freático igual a la superficie. También se incluyen las zonas de cajas de ríos, meandros y lagunas pequeñas.	

Vegetación Ripariana	Zonas de vegetación asociados a riberas de cursos y cuerpos de agua. Pueden utilizar la humedad del suelo. Se inundan en crecidas extraordinarias.	
Laguna Costera	Zona influenciada por la marea y el oleaje (ocasional), se caracteriza por su barra terminal abierta y forma de cubeta.	
Playas y dunas	Zonas de playas, que incluyen desde la zona rompiente hasta la berma, incluyendo los sectores de dunas y antedunas.	

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1. Correcciones Delimitación del Humedal

Terminada la determinación de los límites geográficos del humedal se llevó a cabo el Taller N°1, en el que fue presentado al Comité Técnico Local, el límite del humedal para que los actores sociales pudieran realizar sugerencias y validar dicho polígono. La cartografía preliminar analizada por el Comité técnico local consideró la información levantada, quienes, mediante una metodología participativa, hicieron observaciones a los límites propuestos, lo que fue considerado para la nueva propuesta que se incluye en el presente informe. Las observaciones fueron sistematizadas según grupos de trabajo y el detalle de las respuestas a cada una de estas se describen en el [Anexo 10](#).

Las observaciones recibidas en puntos o lugares donde existe incertidumbre sobre áreas de importancia para la delimitación del sistema humedal, tienen relación principalmente con la zona norte de uso agrícola, el límite de ultramar, el límite de las playas y dunas y las áreas de hábitats de aves migratorias. A su vez, en el taller se sugirió incluir como parte de la leyenda un extenso polígono de relleno, sin embargo, esto se incluyó en la cartografía de usos de suelo (Ver [Anexo 11](#) Registro Fotográfico).

4.1.2. Delimitación Final Humedal costero y sistema fluvial

Como se menciona en las respuestas a las observaciones planteadas por el CTL en el [Anexo 10](#), las modificaciones principales corresponden a la extensión del humedal permanente hacia el oriente, basándose en el Inventario Nacional de Humedales 2020 y percepción del comité técnico local. Es así como se incorporaron extensiones del humedal en las categorías de “Dunas y Playas” hacia el norte hasta la Avenida San Pedro y hacia el sur hasta la Avenida Francisco de Aguirre (ver observación N°1, [Anexo 10](#)). También se han incluido algunos fragmentos del humedal que se encuentran desconectados de la superficie principal como los sectores aledaños a la Avenida Pacífico, considerando las observaciones del CTL (ver observación N° 7, [Anexo 10](#)).

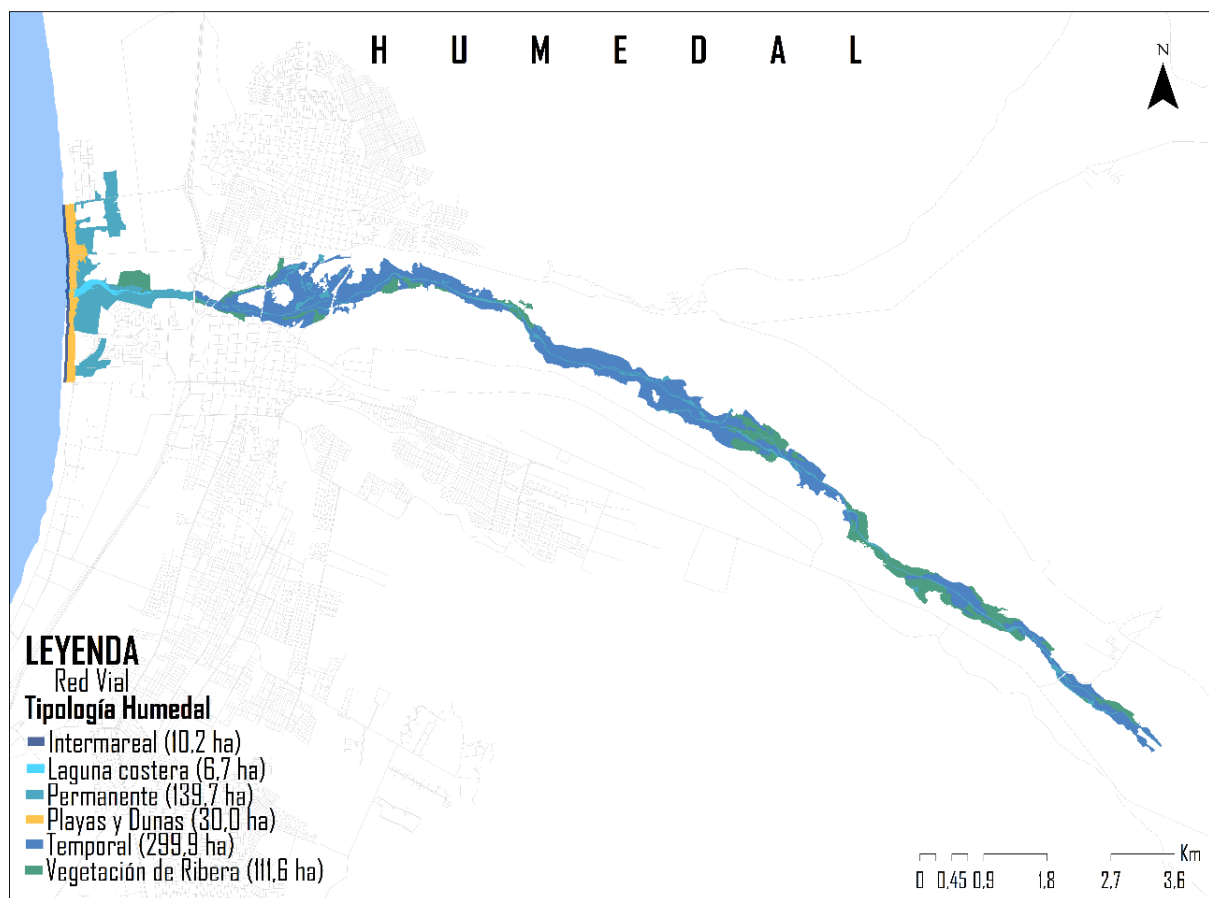
Cabe señalar que en relación con la observación N°10 de la tabla 11, la clasificación internacional⁹ y adaptada por Chile (MMA, 2007), los humedales marinos corresponden a extensiones de mar que no superen los seis metros de profundidad en marea baja (art.1 de la Convención. Ver pág. 6 de este Informe). La extensión marina no era materia de este estudio.

Realizadas las correcciones, la propuesta de delimitación del humedal se representa en la Figura 17, abarcando un total de 598 hectáreas de superficie, como se verifica en la tabla de correcciones ([Anexo 10](#)), y se extiende al sistema palustre y ribereño, más allá de la influencia costera. El humedal temporal, es el más representativo con alrededor de 300 hectáreas, sigue el humedal permanente, es decir, zonas que se encuentran permanentemente inundadas que se distribuyen en 140 hectáreas. Ambas zonas son las más características del sistema humedal, concentrando el 73% de su superficie. Esta superficie no incluye las superficies agrícolas y de relleno en el sistema humedal, por no constituir características biofísicas de humedal. Ambas zonas deben ser consideradas, sin embargo, al momento de definir la gestión para la conservación y restauración de áreas, ya que se han emplazados en el área de inundación del sistema costero y fluvial, respectivamente.

Finalmente, el 27% de la superficie restante se encuentra distribuida en 6,7 hectáreas para la laguna costera, playas y dunas con 30 hectáreas, mientras que 111,6 hectáreas son áreas de vegetación ripariana.

⁹ Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010. Designación de sitios Ramsar: Marco estratégico y lineamientos para el desarrollo futuro de la Lista de Humedales de Importancia Internacional. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, 4ª edición, vol. 17. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza). Pp. 87-92

Figura 17. Delimitación y Superficies del Sistema Humedal (considera límites fluviales al interior del río Elqui, de acuerdo a inventario (2020) del Ministerio del Medio Ambiente)



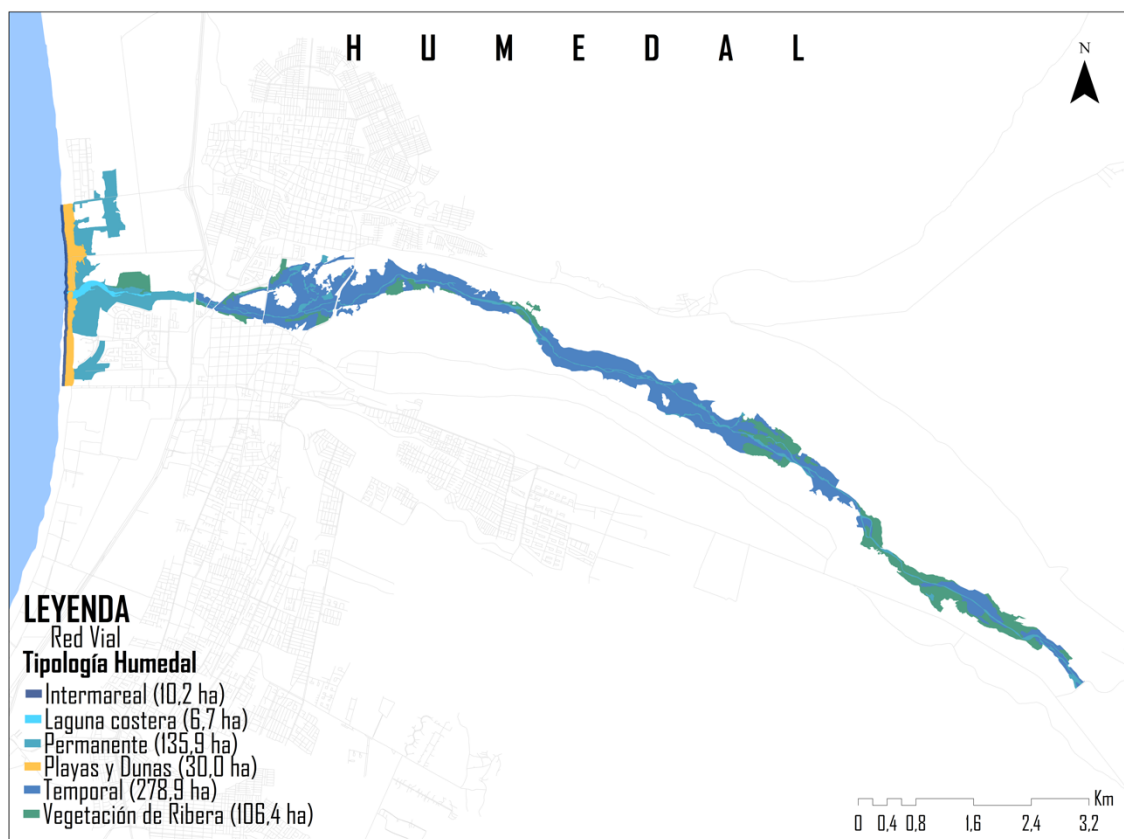
Fuente:Elaboración Propia, equipo Capital Biodiversidad

Respecto al humedal costero del río Elqui, se consideró la laguna costera, vegas norte y sur y zona de playa, esta última área acordada en el marco del trabajo participativo con el Comité Técnico Local (CTL). Teniendo esto en mente y respecto de la humedad sujeta al área de la desembocadura, el equipo consultor propone para toda el área del humedal, 568,1 hectáreas, que considera la tipología descrita en la cartografía de la figura 18 y su extensión hasta el puente “Zorrilla” (de acuerdo al trabajo con el CTL) en el sector Altovalsol.

En la figura 17 se representa la extensión del humedal costero hacia el interior del río Elqui, considerando la extensión propuesta por el inventario (MMA 2020) y la segunda representada en la figura 18 incluye hasta el puente “Zorrilla” como se describe anteriormente, considerando los criterios ecológicos (detallados en ítem 3.2.2). La delimitación descrita en la figura 18 considera una superficie intermareal de 10,2 ha, una laguna costera de 6,7 ha, el humedal permanente 135,9 ha., humedal temporalmente inundado 278,9 ha., playas y dunas 30 ha y vegetación de ribera con 106,4 ha (Figura 18). La delimitación del humedal bajo consideraciones ecológicas consideró los criterios científicos expuestos al CTL. Las superficies propuestas fueron verificadas en terreno y con un vuelo de dron 4K de noviembre de 2020 de la desembocadura del río Elqui para ajustes en la zonificación costera.

Los tipos de humedales considerados en esta delimitación, de acuerdo a la Convención Ramsar¹⁰), corresponde a los tipos marino-costeros (Playas de arena: E), del intermareal (bajos de arena y suelos salinos: G), lagunas (J) y estuario (F); los tipos marinos, estrictamente salinos: A y B (menor a 6 m de profundidad y vegetación submarina, respectivamente), deben ser caracterizados en lo sucesivo, considerando la batimetría del área, materia que no contemplaba esta consultoría.

Figura 18. Delimitación y Superficies del Humedal Desembocadura del río Elqui y sistema fluvial hasta puente Zorilla



Fuente: Elaboración propia, equipo Capital Biodiversidad

4.1.3. Usos de suelo en el sistema Humedal

A partir de la propuesta de la delimitación, se realizó un reconocimiento de los usos de suelo en el entorno, es decir a 300 metros alrededor del perímetro del humedal. Los usos de suelo actual se refieren a aquellos usos predominantes en la cubierta terrestre. Corresponde a la expresión territorial de la ejecución de dichas actividades en el territorio, a partir de lo cual pueden deducirse determinadas prácticas y/o formas de apropiación u ocupación del suelo por parte de los habitantes en cada lugar (SEIA, 2013). Es decir, el uso del suelo actual corresponde al uso efectivo en un tiempo determinado, normalmente el tiempo presente, en este caso del año 2020. Mediante fotointerpretación de la imagen satelital del MMA de abril de 2020 con sistemas de información

¹⁰ <https://ramsar.org/sites/default/files/documents/library/hbk4-17sp.pdf>. pp. 87-89

geográfica, se identifican seis categorías de coberturas de usos suelo (Tabla 11 y Figura 19), más un uso de “Relleno” o área degradada con potencial para restauración.

Tabla 11. Usos de suelos en el sistema humedal

Uso de suelo	Descripción
Urbano residencial	Zonas con construcciones habitacionales, incorporando las zonas rurales urbanizadas por edificaciones dispersas.
Urbano industrial	Zonas de actividades industriales, bodegaje y otras operaciones,
Equipamiento	Zonas de equipamiento de uso público, para la realización de las actividades económicas, sociales y culturales.
Áreas verdes	Plazas y espacios públicos destinados al esparcimiento con una cobertura de vegetación dominante.
Matorral	Áreas ribereñas con especies de baja altura incluyendo el bosque nativo.
Agrícola	Zonas de agricultura con cultivos, principalmente de hortalizas y otros de rotación con características de suelos de irrigación o antiguas vegas con antecedentes de inundación
Relleno	Áreas degradadas en sectores aledaños del humedal, que eventualmente pueden restaurarse
Temporal	Sectores del humedal inundados durante los periodos de crecida.
Permanente	Zonas inundadas permanentemente o con un nivel freático cercano a la superficie.

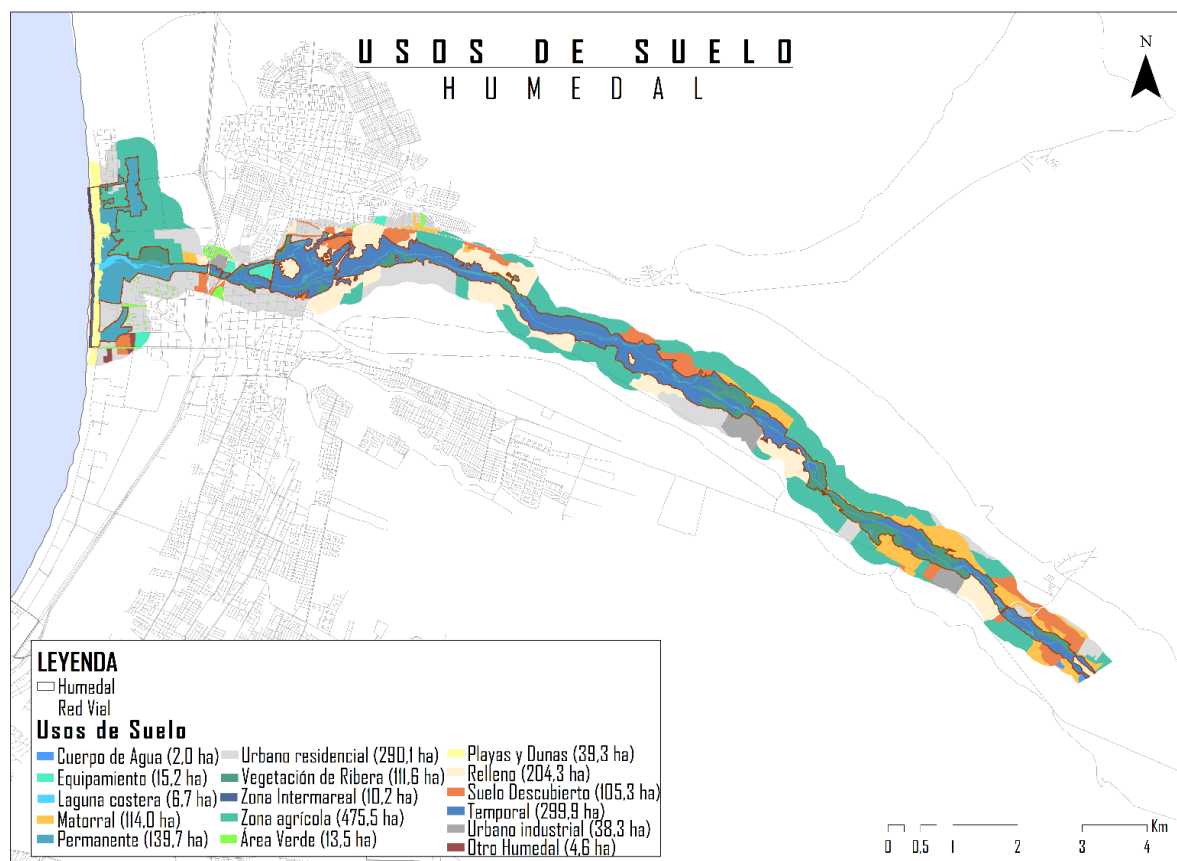
Fuente: Elaboración propia

Los usos de suelos en el caso del humedal de la desembocadura del río Elqui, corresponden principalmente a áreas urbanas residenciales (290 ha), las que se encuentran fundamentalmente en planicie de la costa (borde costero) por expansión inmobiliaria y también turística. Por otro lado, las áreas urbano-industriales (38 ha) se encuentran cercanas al lecho del río y aglomeradas en fragmentos por distintos tramos del humedal. Los usos de equipamiento (15 ha) se encuentran en los bordes del río Elqui, están asociadas principalmente a infraestructura deportiva y de esparcimiento. Las áreas verdes urbanas (13,5 ha) se encuentran distribuidas en todas las zonas urbanas en pequeñas superficies, también cercanas a las principales vías de transporte. En cuanto a cubiertas no urbanizadas, primero están los matorrales (114 ha), los cuales se encuentran principalmente en la ribera del río Elqui, en pequeñas agrupaciones y franjas desconectadas y fragmentadas. También fue posible encontrar otras zonas agrícolas (475,5 ha), principalmente asociadas a las llanuras y terrazas de inundación fluvial, conocidas como “vegas”, además en algunos casos, estos cultivos son en rotación y en otros corresponden a cultivos permanentes de hortalizas, cuyo borde con el humedal se demarca principalmente por la Avenida San Pedro.

La superficie de humedal temporal es 300 ha, corresponde al mismo polígono de la delimitación del sistema humedal. Por último, también fue posible encontrar otros sectores de humedal permanente

(140 ha), también asociados a parches remanentes del humedal Elqui, pero que posiblemente se encuentran conectados por aguas subterráneas, estos sectores serán un insumo relevante para un futuro proceso de restauración ecológica que incluya una mejora en la conectividad ecológica de los parches vegetacionales. Finalmente, se identifica como un uso, una extensa área de rellenos de 204 hectáreas, reconociéndose un importante relleno con características de isla, más cercano a la desembocadura, que tiene un total de 15,6 ha, el cual también debería potenciarse para un proceso de restauración que permita recomponer el sistema y asegurar un mejor funcionamiento ecológico hacia la costa.

Figura 19. Usos de suelo en el sistema Humedal



Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.1. Delimitación de usos de suelo de las subcuencas

Para la determinación de los usos de suelo de las subcuencas de río Elqui entre Quebrada Santa Gracia y Desembocadura; Quebrada Santa Gracia entre Junta Quebradas Potrerillos, San Antonio y río Elqui entre Quebrada Marquesa y Quebrada Santa Gracia (ver Figura 20), se utilizaron imágenes Sentinel 2 MSI del año 2020 con un nivel de corrección 2A. Para trabajar las imágenes, se utilizó el software SNAP (Sentinel Application Platform) y responde a un programa gratuito ofrecido por la Agencia Espacial Europea¹¹. Este programa permitió realizar diversas operaciones utilizando las

¹¹ <https://step.esa.int/main/download/snap-download/>

imágenes satelitales, las principales utilizadas durante el desarrollo es la herramienta “Mosaic”, que permite unir distintas dos o más imágenes en una sola matriz.

Para cubrir la superficie de la cuenca aportante del humedal Elqui, fue necesario trabajar con cuatro imágenes (Tabla 12). Una vez descargadas estas imágenes desde la página oficial de Sentinel¹² el primer procedimiento realizado fue abrir las imágenes y generar un proceso llamado “Resampling” o remuestreo, el cual tiene por objetivo llevar todas las bandas de diferentes tamaños de píxeles a uno determinado, en este caso se configuró el tamaño de píxel más pequeño (10 metros).

Una vez re-muestreadas las imágenes, fueron recortadas algunas secciones que no eran parte del área de estudio, por ejemplo, secciones del océano y alta montaña, esto se hizo con la intención de reducir la dimensionalidad de los datos y la cantidad de píxeles a procesar. El procedimiento de corte se realizó con la herramienta “Subset” y la configuración fue realizada de forma visual.

Tabla 12. Detalles de las imágenes trabajadas

ID_IMAGEN	Nivel de corrección	Resolución espacial	Resolución espectral	Resolución radiométrica	Fecha
S2B_MSIL2A_20201025T143729_N0214_R096_T19JCH_20201025T184805	2A	10, 20 y 60 metros	12 bandas espectrales (0.43 – 2.28 um)	12 bit	25 de octubre de 2020
S2B_MSIL2A_20201025T143729_N0214_R096_T19JCG_20201025T184805					
S2B_MSIL2A_20201025T143729_N0214_R096_T19JBG_20201025T184805					
S2B_MSIL2A_20201025T143729_N0214_R096_T19JBH_20201025T184805					

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Agencia Espacial Europea

Una vez cortadas las imágenes, fueron unidas mediante el proceso “Mosaicing” dejando un mosaico de aproximadamente 7729 x 8113 dimensiones. Este mosaico fue subido a la plataforma de Google Earth Engine (GEE) para poder ser trabajado con la clasificación supervisada.

Dentro de GEE, fue posible calcular algunos indicadores espectrales, además se incorporó también un modelo de elevación. Estos cálculos previos permitieron sumar a las 12 bandas preexistentes, unas cuatro adicionales que permitieron aumentar la discriminación de forma automática, generando una imagen final con 16 bandas.

Una vez configurada las bandas en GEE y la composición de la imagen final (16 bandas), se configuró el clasificador Random Forest (Breiman, 2001). Este clasificador tiene al menos dos parámetros importantes para su configuración, el primero corresponde al número de árboles de decisión que pueden variar entre 100 a 1000, dependiendo de la complejidad de los datos y la superficie de extensión, para la aplicación del estudio se optó por un número de 100 árboles. El segundo parámetro fue la configuración de la cantidad de bandas a clasificar, que se configura como la raíz

¹² <https://scihub.copernicus.eu/>

cuadrada del número de bandas, en este caso se consideró la raíz cuadrada de 16. El clasificador Random Forest ha sido utilizado en los últimos años con resultados muy favorables en muy diversos ámbitos como la clasificación de usos del suelo, la clasificación de zonas deforestadas. El clasificador Random Forest es altamente utilizado debido a su exactitud y fácil configuración (Rodríguez-Galiano y Chica-Rivas, 2012).

Una vez configurado el clasificador, fue necesario generar las áreas de entrenamiento, en donde se escogió un Muestreo Aleatorio Estratificado (Schmidt y McCullum, 2018), en donde se toman un número mínimo de puntos por cada clase de uso de suelo propuesto. De estos puntos recolectados, es importante señalar que se dividieron en proporciones de 70/30, es decir, con un 70% de los puntos se realizó la clasificación y con un 30% restante, se realizó la validación del modelo. Respecto a los usos de suelos propuestos, se configuraron los usos de suelos descritos en la tabla 13.

Tabla 13. Usos de suelos

Código	Usos de suelos propuestos	Descripción
1	Agrícola y Praderas	Suelos con actividad agrícola o suelos en descanso con hierba de no más de 60 centímetros.
2	Vegetación de humedal	Vegetación asociada a los sistemas ribereños y con alto contenido de agua.
3	Suelos Descubiertos	Vegetación desprovista de vegetación o con escasa vegetación, también se incorporan lechos de ríos secos y quebradas.
4	Matorral y Bosque nativo	Incorpora las especies de matorrales y bosque nativo existentes principalmente sobre los cerros. También se incorporan las especies de arbustos existentes en las quebradas.
5	Urbano	La zona urbana se entiende como aquella superficie cubierta con edificaciones tanto industriales, comerciales y habitacionales.
6	Agua	Cuerpos de aguas, estanques, ríos, arroyos y esteros.

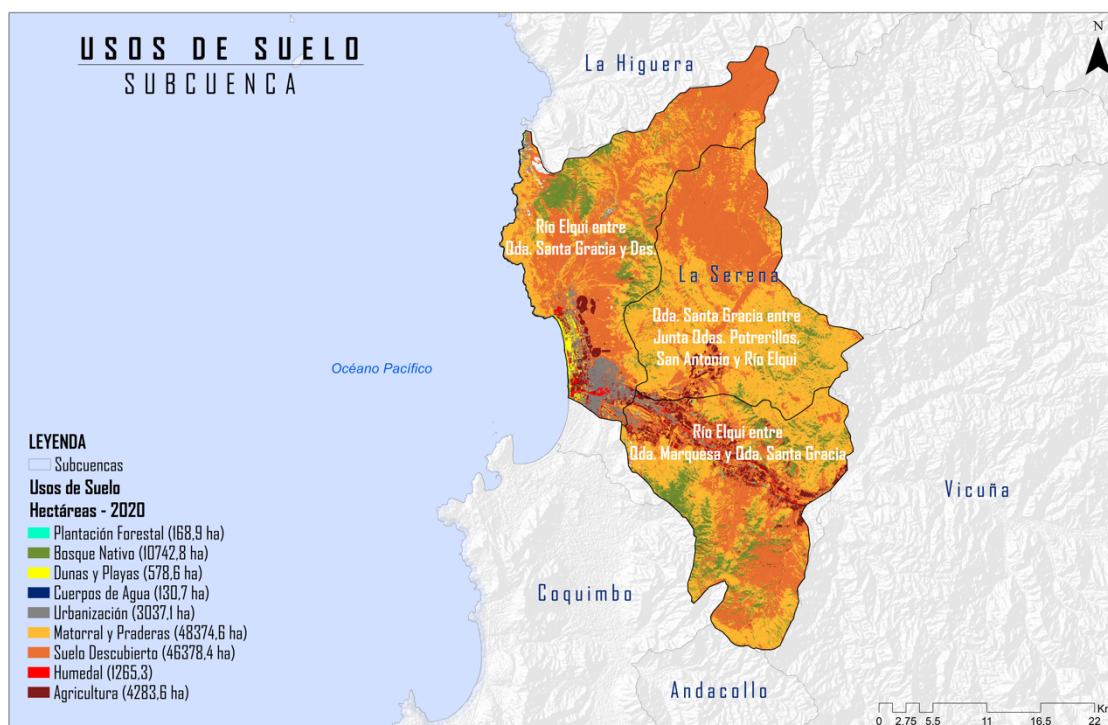
Fuente: elaboración propia.

El resultado obtenido de la clasificación se detalla en la Figura 20. Dentro de los principales hallazgos es posible encontrar como cobertura mayoritaria los Matorrales y Praderas (48374.6 ha), estos usos de suelos se encuentran generalmente en los sectores de planicies y quebradas, cercanos a los arroyos y en las cajas de los ríos. Otro uso de importantes dimensiones es el suelo descubierto (46378.6 ha), generalmente asociado a los sectores de alta pendiente en donde la vegetación no puede crecer, terrenos que son cajas de ríos u otros sectores que se mantienen en constante movimiento por deslizamientos o piedemontes.

El Bosque Nativo encontrado (10742.8 ha), corresponde a remanentes principalmente asociado a las laderas sur de los cerros y en las quebradas profundas. La agricultura también alcanza una superficie importante (4283.6 ha), y se encuentra distribuida alrededor del valle del Elqui y otros sectores como Quebrada Santa Gracia. La urbanización (3037.1 ha), se encuentra en la zona costera de la subcuenca de forma concentrada y extendiéndose por las orillas del río.

La cobertura de humedales de toda las subcuencas corresponde a 1265.3 ha, integra al sector del sistema fluvial Elqui, y se extiende a la zona norte (vegas) y a lo largo del borde costero, asociada a pequeñas superficies de humedales. Los sectores de Dunas y Playas (578.6 ha), fueron encontrados cercanos a la ciudad de La Serena y extendidas por toda la costa. Las plantaciones forestales (168.9 ha), se encontraron en pequeñas superficies repartidas por la cuenca, principalmente cerca de las superficies de dunas o en sectores de valles. Por último, los cuerpos de agua (130.7 ha) están conectados en pequeñas fracciones del sistema fluvial del río Elqui, pero su mayor superficie se encontró en el embalse Puclaro.

Figura 20. Usos y coberturas de suelo para las Subcuencas aportantes



Fuente: elaboración propia.

Por último, se realizó la validación de los usos de suelos, sumando los puntos tomados en terreno y en gabinete, con un total de 274 puntos para validación, arrojando una precisión general de 96%, por lo que el modelo de clasificación arrojado por Random Forest es aceptable y válido para aplicaciones de planificación.

4.2. Resultados monitoreo y variables físico-químicas

4.2.1. Análisis hidrológico temporal

a) Evolución histórica del nivel de agua subterránea

Se analizaron las series históricas de nivel de agua subterránea en los pozos de monitoreo de la DGA en la zona costera (Vegas Norte y Vegas Sur) y valle del río Elqui entre La Serena y Las Rojas. La localización de los pozos se muestra en la Figura 6 y los gráficos de evolución del nivel de agua subterránea por pozo en la Figura 21.

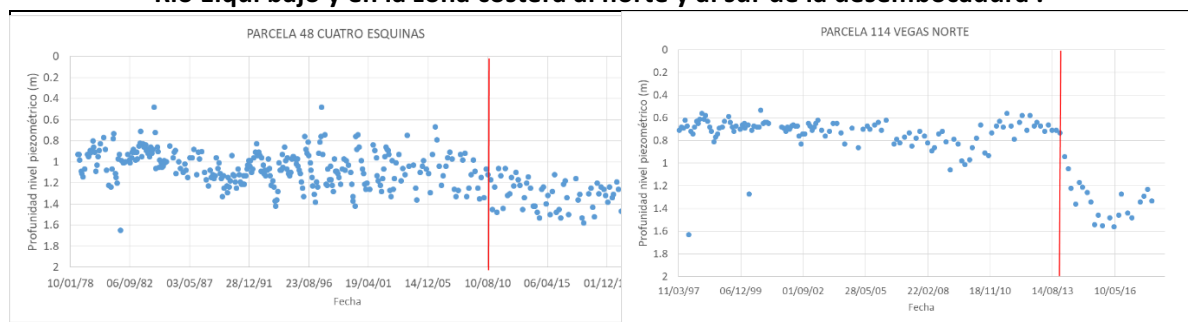
Todos los pozos analizados, en la zona del río Elqui bajo entre La Serena y Las Rojas (pozos *Alfalfares*, *El Islón*, *Pueblo Las Rojas* y los pozos de *Punta Piedra C3*, *C12* y *C17*), al norte de la desembocadura (Vegas Norte, figura 6) y al sur de la desembocadura (Vegas Sur) muestran una misma tendencia histórica: un nivel estable, a veces incluso ascendente, hasta 2010-2012 y un descenso, en varios casos brusco, desde 2012 a la fecha.

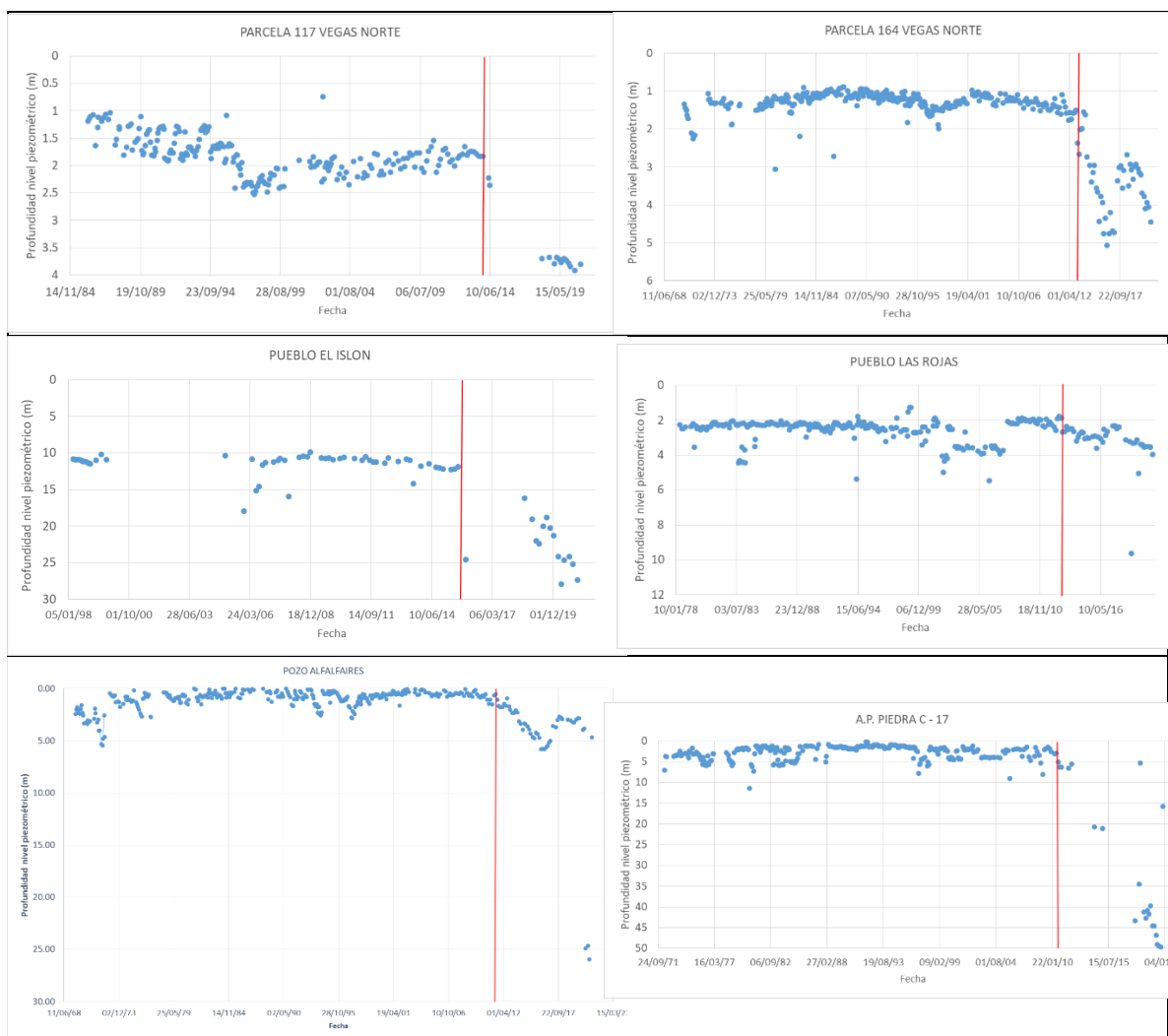
Entre Las Rojas y La Serena, en el pozo de *Alfalfares*, el más cerca de La Serena y en *Punta Piedra (C-12)*, el nivel piezométrico ha bajado de unos 5 metros aproximadamente en la última década. Aguas arriba, el nivel piezométrico del pozo *Las Rojas* ha bajado unos 2 metros aproximadamente en la última década. Los pozos que muestran un descenso mayor son pozos con extracción de agua (Pozo El Islón) o cercanos a un pozo con extracción (A.P. Piedra C17).

En la zona costera al norte del humedal de la desembocadura del río Elqui (Vegas Norte), los pozos monitoreados (*Parcela 114*, *parcela 117*, *parcela 122* y *parcela 164*) muestran un descenso del nivel piezométrico alrededor de 3 a 4 metros en la última década, del mismo orden de magnitud que los pozos del valle de Río Elqui entre La Serena y Las Rojas.

En la zona costera al sur del humedal de la desembocadura del río Elqui (Vegas Sur), el pozo *484 Esquinas* muestra un nivel de agua subterránea bastante estable desde el inicio del monitoreo (1978). No obstante, se observa una ligera tendencia a la baja con un descenso total de 0.2 a 0.3 m en la última década. Las oscilaciones del nivel piezométrico observadas intra-anualmente (de unos 0.4 a 0.5 m de amplitud) se deben probablemente a un bombeo cercano al pozo.

Figura 21. Evolución histórica del nivel piezométrico en pozos de monitoreo de la DGA en la zona Río Elqui bajo y en la zona costera al norte y al sur de la desembocadura .





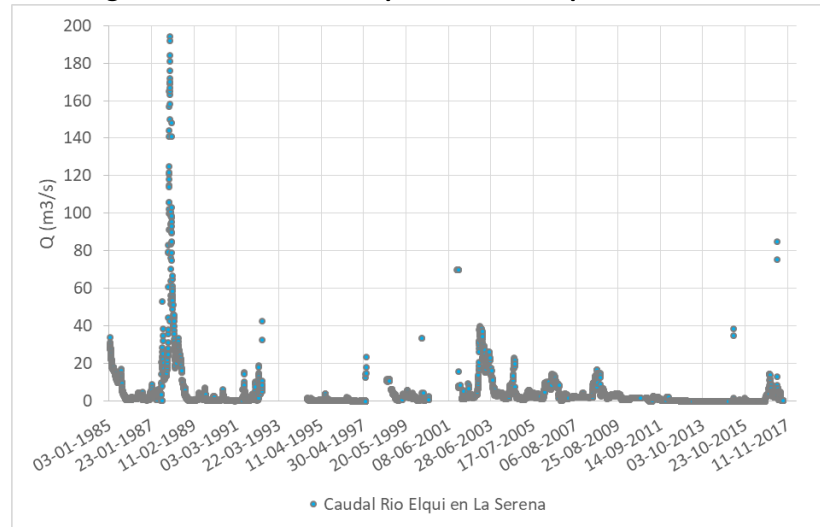
Fuente: Elaboración propia. La línea roja muestra el punto de inflexión entre el nivel histórico estable del agua subterránea y el inicio de un descenso.

b) Evolución histórica del caudal del río Elqui en La Serena

El régimen hídrico del río Elqui en La Serena es característico de una zona semiárida, con caudales bajos durante los períodos secos aumentando de forma abrupta en varios órdenes de magnitud en períodos de deshielo o precipitaciones intensas en la cuenca. El caudal base de un río corresponde al caudal permanente durante los períodos secos, el cual no está sostenido por precipitaciones sino por aportes de agua subterránea. Desde la construcción del embalse Puclaro, tanto el caudal base del río Elqui en La Serena como los caudales de crecida han disminuido drásticamente (Figura 22). Adicionalmente, se observa que desde 2012, el caudal del Río Elqui en La Serena es nulo, excepto después de períodos de eventos de lluvia intensos en las subcuencas aportantes. Este fenómeno se relaciona con las observaciones anteriores relativas a la evolución histórica de los niveles piezométricos de los pozos del valle del río Elqui entre La Serena y Las Rojas y zona costera Vegas Norte, los cuales muestran un descenso brusco a partir del 2012.

Sin embargo, en las dos visitas a terreno, se observó un flujo de agua superficial aguas abajo de la estación fluviométrica DGA río Elqui en la Serena (Punto ELQ-4, Figura 6), el cual alimenta la laguna costera del humedal de la desembocadura.

Figura 22. Evolución temporal del río Elqui en La Serena



Fuente: Elaboración propia

c) Evolución histórica de la conductividad eléctrica y de la concentración en cloruros del agua superficial y subterránea (Figura 23)

En la estación río Elqui en La Serena, la conductividad eléctrica (medida desde 1968 hasta 2021) tiene un promedio de 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ eliminando un valor anómalo (11 380 $\mu\text{S}/\text{cm}$ el 08 de abril 2002). Se observa una tendencia al alza desde 2008 y una alta variabilidad interanual con un valor mínimo de 140 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (1995) y un máximo de 3400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (2015). La concentración en cloruros sigue la misma evolución que la conductividad, con una concentración promedio de 181 mg/l.

En la estación río Elqui en Puente Las Rojas, la conductividad (medida desde 1993 hasta 2021) tiene un promedio de 683 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Es bastante estable con una ligera tendencia al aumento desde 2007-2008, al igual que los cloruros, los cuales tienen una concentración promedio de 26 mg/l.

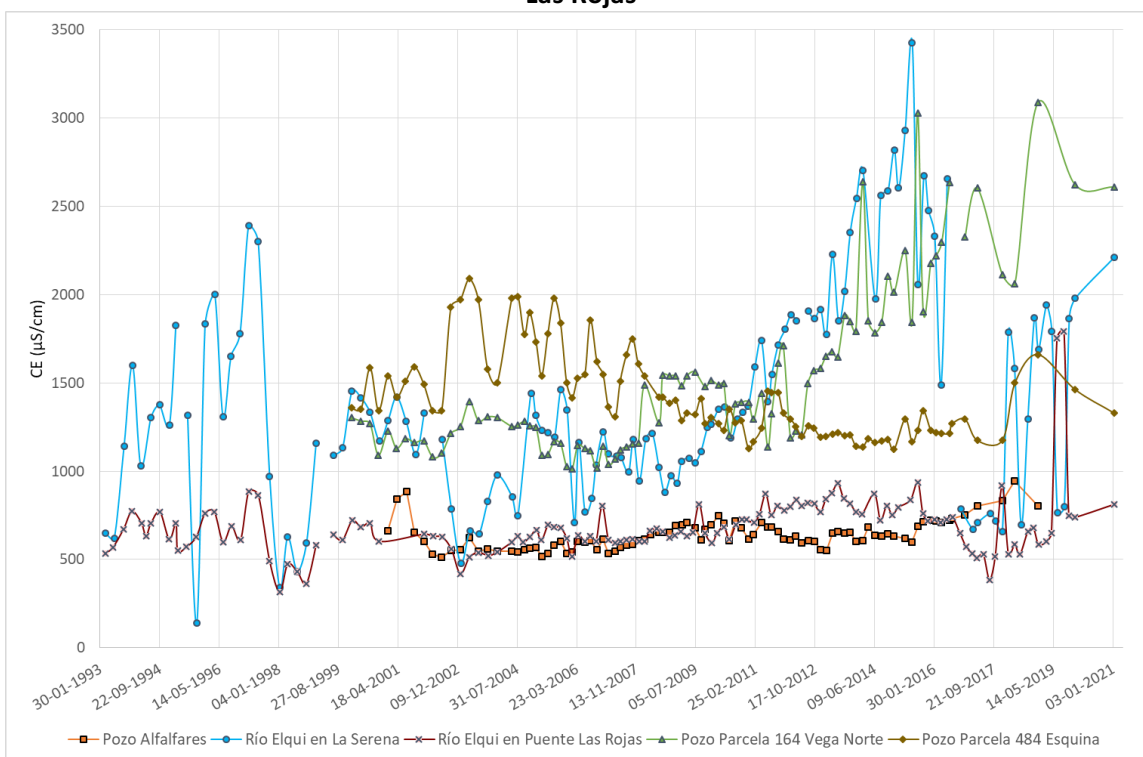
En el pozo Alfalfares, la conductividad (medida desde 2001 hasta 2021) tiene un promedio de 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y una tendencia al aumento desde 2015. La concentración en cloruros, sin embargo, tiene una tendencia al alza sostenida desde 2002, con un promedio 132 mg/l (eliminando un valor anómalo de 1741 mg/l en 2013).

En el pozo Parcela 164 (vega norte), la conductividad (medida desde el año 2000 hasta 2021) tiene un promedio de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y una tendencia al alza desde 2012. Hoy en día supera los 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La concentración en cloruros sigue la misma tendencia que la conductividad con un promedio de 182 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

El pozo Parcela 484 esquina (vega sur) es el único en el cual la conductividad (medida desde 2000) tiene una tendencia a la baja. Su promedio es 1425 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La concentración en cloruros tenía una evolución similar a la conductividad hasta 2007. Sin embargo, a partir de este mismo año presenta

una tendencia al aumento. La concentración promedio en cloruros en todo el período es de 200 mg/l.

Figura 23. Evolución temporal de la conductividad eléctrica en las estaciones de monitoreo de calidad del agua DGA en la zona costera, desembocadura y valle del río Elqui entre La Serena y Las Rojas



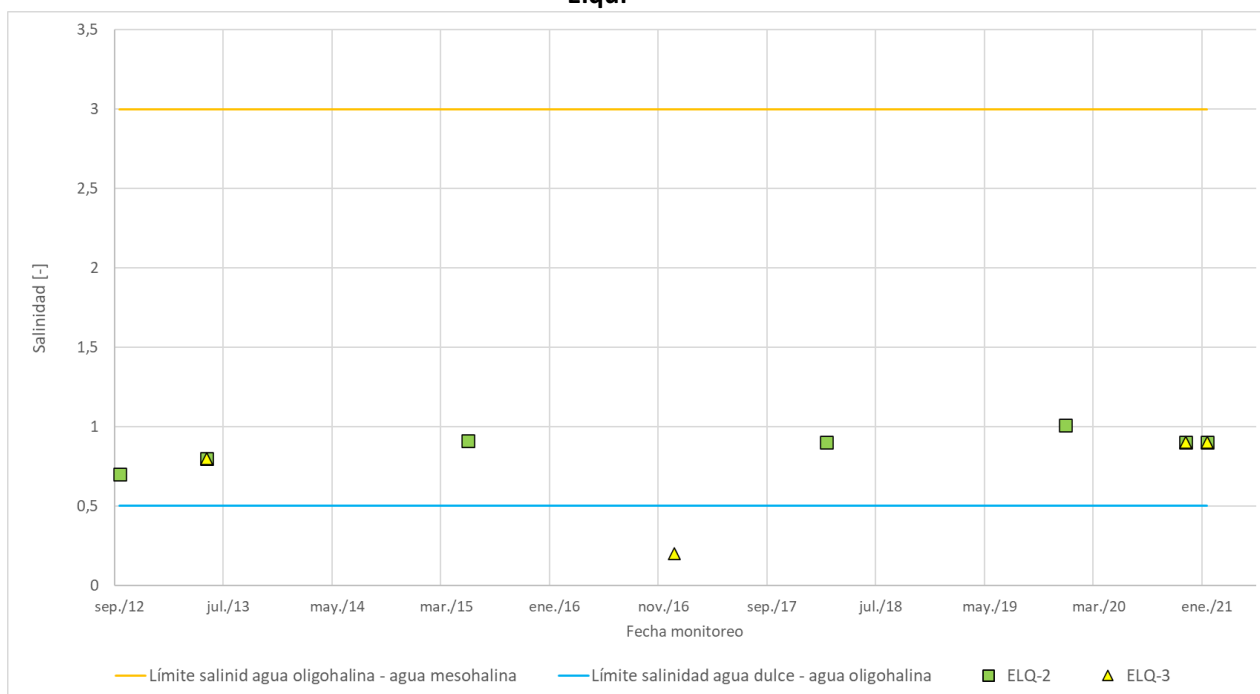
Fuente: Elaboración propia

d) Análisis histórico de la conductividad y salinidad en la desembocadura del río Elqui

La figura 24 muestra la salinidad del agua en la desembocadura medida en las diferentes campañas desde 2012 hasta 2021. La ubicación de los puntos ELQ-2 y ELQ-3 se muestra en la Figura 6. El punto ELQ-2 está localizado en el extremo oeste de la laguna de la desembocadura, cerca de la línea de costa. En este punto se realizaron los monitoreos de calidad de agua (2012, 2013, 2015, 2017 y 2019) y fue incluido en las dos campañas de medición de esta consultoría. El punto ELQ-3 se ubica en medio de la laguna de la desembocadura, a unos 500 metros al este de ELQ-2.

No se observó ninguna diferencia de conductividad y salinidad significativa entre la zona superficial y profunda de la laguna de la desembocadura. Se observa que la salinidad de la laguna de la desembocadura del río Elqui es relativamente constante temporal y espacialmente. La salinidad oscila entre 0.5 y 1 g/l, en todos los monitoreos realizados desde 2012, tanto en el punto más cercano al canal que conecta con el mar como en medio de la laguna. Solo un valor es inferior a 0.5 g/l en diciembre 2016, y corresponde a un aumento significativo del caudal del río Elqui en la desembocadura (ver Figura 25). Por lo que el agua de la laguna tiene una salinidad clasificada como dulce a oligohalina.

Figura 24. Evolución temporal de la salinidad del agua en la laguna de la desembocadura del Río Elqui



Fuente: Elaboración propia

A pesar de realizar las mediciones en momentos de altura máxima del nivel de mar, no se observó ninguna intrusión del agua de mar en la laguna, al contrario, el agua de la laguna seguía descargando en el mar. La Figura 25 muestra que el nivel de agua de la laguna es superior al nivel del mar.

Figura 25. Situación de la desembocadura del río Elqui en dos momentos de altura máxima del mar en noviembre 2020 (1) y enero 2021 (2).



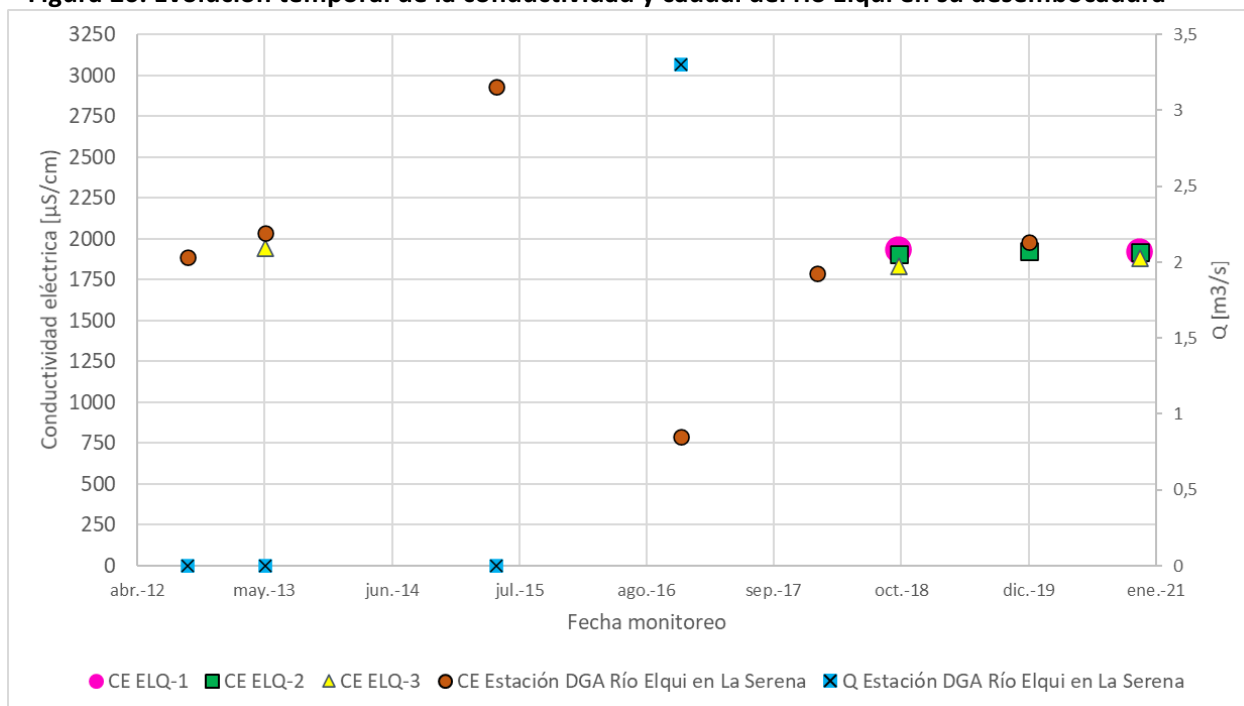
(1) Situación de la desembocadura del río Elqui en noviembre 2020



(2) Situación de la desembocadura del río Elqui en enero 2021

La Figura 26 muestra la conductividad eléctrica del agua en los mismos puntos ELQ-2 y ELQ-3, medidos en los monitoreos del MMA desde 2012 y hasta 2021, en las dos campañas de terreno de esta consultoría. Muestra además la conductividad eléctrica y el caudal del río Elqui en la estación DGA río Elqui en La Serena, ubicada por debajo del puente fiscal de La Serena, en las mismas fechas que los monitoreos en la laguna de la desembocadura. Los datos de caudales del río Elqui en la estación DGA solo están disponibles hasta 2017.

Figura 26. Evolución temporal de la conductividad y caudal del río Elqui en su desembocadura



Fuente: Elaboración propia

Los valores de conductividad en la laguna de la desembocadura están muy cercanos a la conductividad medida en la desembocadura del río Elqui. Observamos un valor menor en diciembre 2016 que corresponde al aumento del caudal del río Elqui en La Serena ($Q \neq 0$), debido a precipitaciones en la cuenca (período de deshielo).

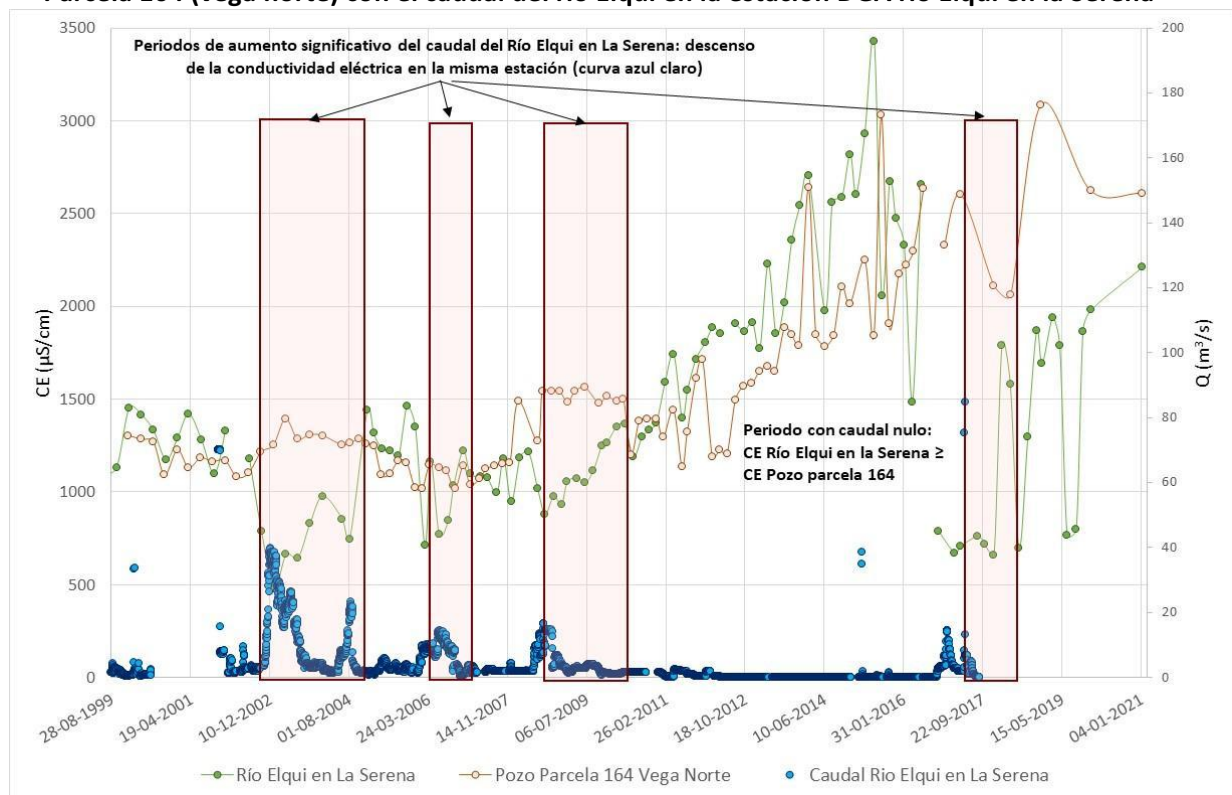
4.2.2. Análisis de correlación entre variables

a) Correlación entre la conductividad eléctrica y el caudal del río Elqui en La Serena (Figura 27)

Analizando la evolución temporal de la conductividad en todas las estaciones en conjunto, se puede observar que la conductividad del agua del *río Elqui en La Serena* es muy similar a la conductividad del pozo *parcela 164* (vega norte) tanto en valores como en su evolución temporal. Las dos curvas se superponen, excepto en ciertos períodos en los cuales la conductividad del río Elqui muestra descensos bruscos para luego volver a aumentar. Estos períodos corresponden a períodos de aumento del caudal del río Elqui, el cual corresponde a precipitaciones en las subcuencas aportantes o a descargas de agua desde el embalse Puclaro.

Por otra parte, la evolución temporal histórica de la conductividad del agua en el pozo *484 esquinas* (vega sur) es totalmente distinta a la evolución de la conductividad del agua del río Elqui en La Serena; incluso tiene una evolución histórica opuesta desde el año 2002.

Figura 27. Evolución temporal de la conductividad en las estaciones río Elqui en La Serena y Pozo Parcela 164 (vega norte) con el caudal del río Elqui en la estación DGA río Elqui en la Serena

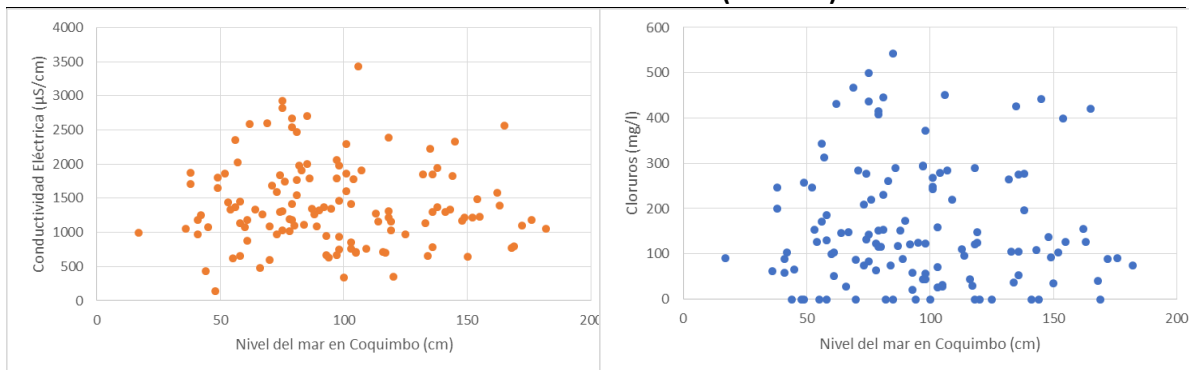


Fuente: Elaboración propia

b) Correlación entre el nivel del mar y la conductividad; y entre el nivel del mar y la concentración en cloruros (Figura 28)

Los valores de conductividad eléctrica y la concentración en cloruros tanto del agua subterránea como del agua superficial del acuífero costero y del valle del Elqui, entre La Serena y Las Rojas, se correlacionaron con la altura del mar el mismo día y misma hora del muestreo. El análisis se realizó para cinco estaciones DGA: Valle del Río Elqui, entre La Serena y Las Rojas (*pozo Alfalfares; Río Elqui en Las Rojas; Río Elqui en La Serena*); vega norte (*pozo Parcela 164*) y vega sur (*pozo parcela 484 Esquina*). No se observa ninguna relación ni entre la conductividad y el nivel del mar, ni entre la concentración en Cloruros y el nivel del mar para ninguna de las estaciones estudiadas (Figura 28 y [Anexo 12](#)).

Figura 28. Correlación entre conductividad en la estación DGA río Elqui en La Serena y la altura del mar en la estación SHOA Coquimbo (izquierda); entre concentración en cloruros y altura del mar en las mismas estaciones (derecha)



Fuente: Elaboración propia

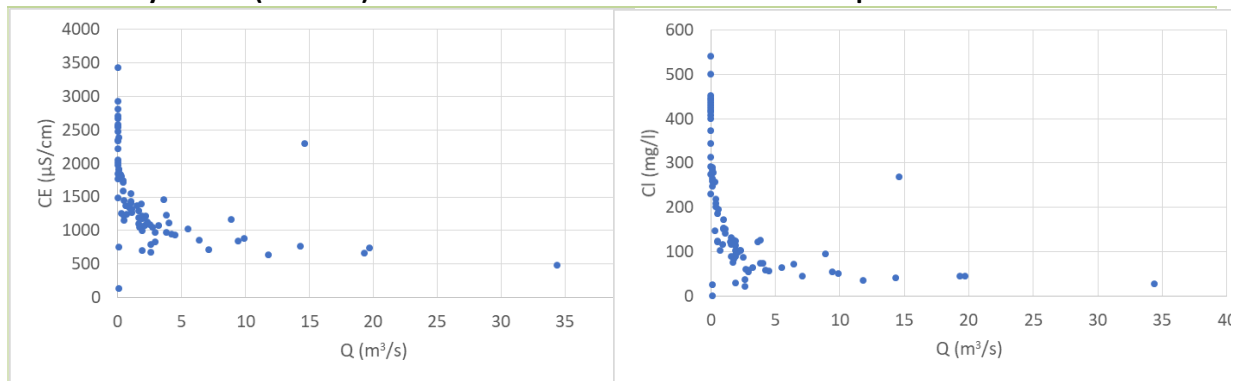
c) Correlación entre la precipitación y la conductividad eléctrica del agua superficial y subterránea

No se identifica ninguna relación entre la precipitación en La Serena, registrada en la estación meteorológica de la Dirección Meteorológica de Chile en La Serena y la conductividad eléctrica del agua superficial y subterránea de las estaciones de calidad de agua de la DGA (*río Elqui en La Serena, pozo parcela 164 vega norte y pozo 484 esquinas vega sur*). Esa ausencia de correlación demuestra que la precipitación en La Serena no genera ninguna recarga directa tanto al río Elqui como al acuífero costero y confirma la recarga alóctona del acuífero del Elqui Bajo y costero (por precipitaciones en la cuenca) ([Anexo 13](#)).

d) Correlación del caudal con la conductividad y con la concentración en cloruros del Río Elqui en La Serena

Se identificó una relación exponencial entre la conductividad y el caudal, y entre la concentración de cloruros y el caudal, en la estación río Elqui en La Serena. Se observa un decrecimiento exponencial de la conductividad y de la concentración en cloruro a medida que el caudal aumenta ($R^2 = 0.64$ y 0.80 respectivamente) (Figura 29). La conductividad del río Elqui disminuye cuando aumenta el caudal, debido al efecto de dilución del agua del río en La Serena por aguas de conductividad menor originadas por precipitaciones en la cuenca.

Figura 29. Correlación entre la conductividad y el caudal (izquierda); la concentración en cloruros y caudal (derecha) en la estación de monitoreo DGA río Elqui en La Serena

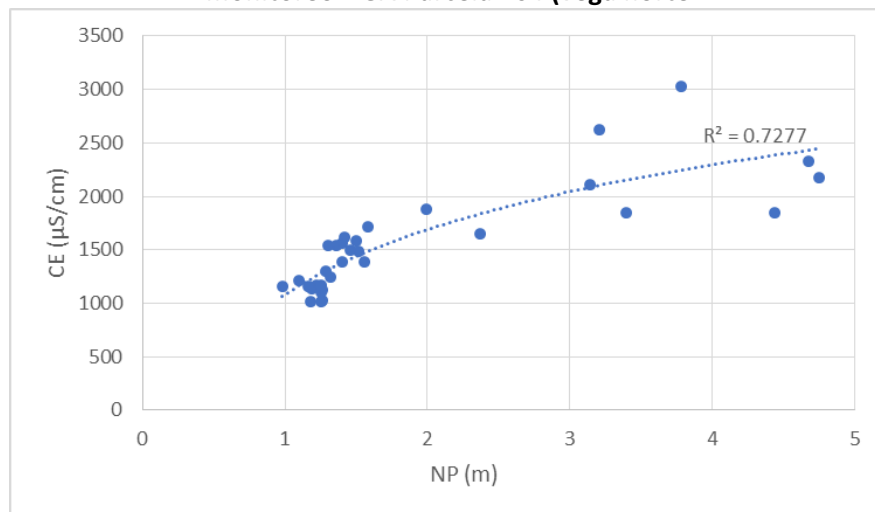


Fuente: Elaboración propia.

e) Correlación entre los niveles piezométricos y la conductividad del agua subterránea

En el pozo *Parcela 164* (vega norte), la conductividad aumenta con la profundidad del nivel piezométrico según un crecimiento logarítmico ($R^2=0.73$) (Figura 30).

Figura 30. Correlación entre la conductividad (CE) y el nivel piezométrico (NP) en el pozo de monitoreo DGA Parcela 164 (vega norte)



Fuente: Elaboración propia.

En el pozo *Alfalfares*, en el pozo *Puente Las Rojas* y en el pozo *484 esquinas* (vega sur), la correlación entre la conductividad y la profundidad del nivel piezométrico es muy débil o nula.

En el pozo *Parcela 164* el aumento de la conductividad podría ser la consecuencia del aumento de la concentración de sales en el acuífero costero norte debido a las extracciones de agua subterránea, pero debería ser confirmado con más puntos de monitoreo en lo sucesivo.

4.2.3. Relaciones molares del agua superficial y subterránea

El análisis no muestra ningún proceso de salinización por intrusión marina ([Anexo 14](#)).

4.2.4. Análisis hidrológico espacial

a) Análisis espacial del nivel de agua subterránea

El nivel somero del agua subterránea en la zona sur del humedal es coherente con los registros piezométricos del pozo 484 esquinas (ver 4.2.1.). La cantidad de descargas antrópicas de agua en la zona costera sur, relacionada con la presencia de numerosos edificios, permite mantener un nivel piezométrico cercano a la superficie. Durante las dos visitas (noviembre 2020 y enero 2021) se observaron dos descargas al humedal: una desde el complejo turístico Laguna del Mar y la descarga del bypass de la empresa sanitaria Agua del Valle S.A. Según la Superintendencia de Servicios Sanitarios¹³, dicho bypass “deriva las aguas servidas de la unidad de pretratamiento de la empresa sanitaria a la desembocadura del río Elqui antes que este entre en contacto con el mar” (punto DES-3 en la Figura 6). En el mismo comunicado, la SISS menciona que la descarga del bypass es puntual y usada solo en caso de ingreso de aguas lluvias intensas que puedan afectar la capacidad de diseño que tienen dichos sistemas, o ante contingencias justificadas. Sin embargo, se observó descargas en las dos visitas de terreno, no coincidiendo con lluvias o alguna contingencia reportada.

En la zona costera al norte del humedal, se observa que el nivel piezométrico se encuentra a una profundidad de 1.5 a 2 metros por debajo de la superficie cerca de la desembocadura y de la costa; y a una profundidad de 4 metros aproximadamente en pozos localizados más al interior. Al contrario de la zona sur del humedal, rodeada y presionada por urbanizaciones, la zona costanera Vegas Norte es una zona agrícola. Por una parte, la zona ha sido drenada para permitir las actividades agrícolas, y, por otra, existen varios pozos de extracciones de agua subterránea. Estas extracciones están en parte compensadas por los retornos de agua de riego.

Figura 31. Afloramientos de agua subterránea



¹³ Respuesta de la Superintendencia de Servicio Sanitarios (SISS) Folio AM011T0003882 a solicitud de información por transparencia.



Fuente: Elaboración propia. a y b, en la zona sur del humedal; c, en excavaciones para extracción de áridos (ribera norte río Elqui cerca del puente Zorrilla). Enero 2021.

b) Análisis espacial de la conductividad eléctrica

En la figura 32, se puede visualizar la homogeneidad de la conductividad del agua río Elqui en su zona baja hasta la desembocadura, entre 1500 y 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ese valor de conductividad se encuentra al menos hasta el pueblo del Islón. En Las Rojas, la conductividad está alrededor de 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Los valores más altos de conductividad (superior a 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) se encuentran en la zona sur de la laguna costera (en desembocadura). En esta zona, el nivel de agua subterránea es muy somero, incluso aflora en varios puntos por lo que está sujeto a un proceso de evaporación intenso que concentra sales en la capa superficial del agua y del suelo.

La conductividad del agua subterránea, hacia la zona sur del humedal costero (en laguna costera), vuelve a bajar, producto de descargas antrópicas desde tuberías de distribución de agua potable, infiltración desde canales, etc.

En la zona costanera norte, la conductividad del agua subterránea es un poco superior a la zona del río y de la desembocadura, probablemente debido a extracciones y retorno de agua de riego.

El análisis no muestra ninguna influencia del agua de mar en la distribución espacial de la conductividad en la zona de la desembocadura y costanera.

Figura 32. Distribución espacial de la conductividad eléctrica del agua superficial y subterránea en la desembocadura del río Elqui



Fuente: Elaboración propia.

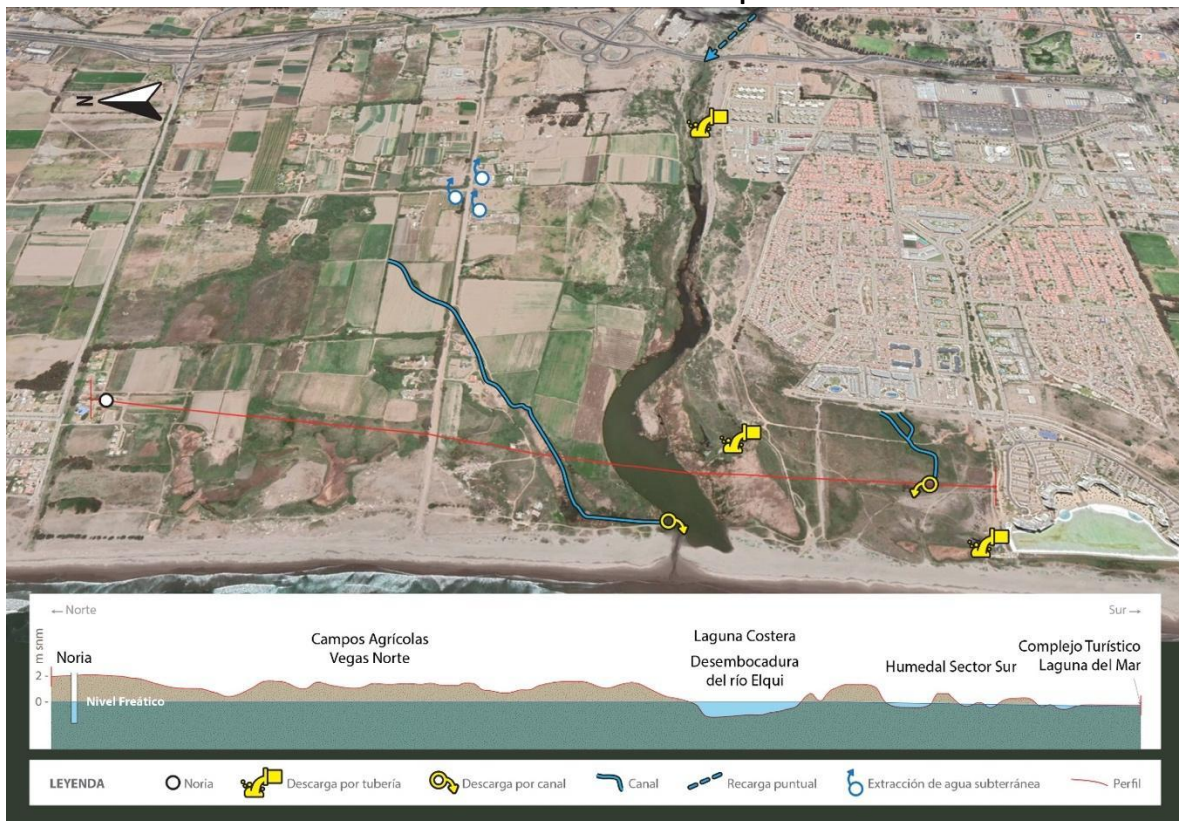
Finalmente, la hipótesis de una alimentación del humedal de la desembocadura del río Elqui por el acuífero costero localizado al norte del humedal está apoyada por el análisis realizado por Ribeiro *et al* (2014), en el cual utilizaron técnicas de análisis de datos multivariantes para identificar

interrelaciones entre los análisis fisicoquímicos de 22 parámetros muestreados mensualmente de 1991 a 2007 en 16 estaciones de monitoreo a lo largo del río Elqui y sus afluentes. Muestran que la estación río Elqui en La Serena no tiene relación con los otros 2 grupos de estaciones en la cuenca, y sobre todo no tiene relación con el grupo de estaciones de la cuenca baja del Elqui, donde las aguas no muestran contaminación por metales, pero están influenciadas por las actividades agrícolas. Según el estudio, el agua de la estación río Elqui en La Serena está influenciada por formaciones geológicas marinas. Estas formaciones corresponden al acuífero costero vega norte.

4.2.5. Propuesta de modelo conceptual del funcionamiento hidrogeológico del humedal costero del río Elqui.

En base a los resultados y el análisis de terreno y gabinete es posible proponer el siguiente modelo conceptual para explicar el funcionamiento hidrológico e hidrogeológico del humedal costero del río Elqui (Figura 33), concluyendo que:

Figura 33. Modelo conceptual del funcionamiento hidrogeológico de la zona de la desembocadura del río Elqui



Fuente: Elaboración propia

- El aporte hídrico principal a la laguna costera proviene del acuífero costero al norte del río Elqui (vega norte), de la descarga de un canal de riego en la desembocadura en la ribera norte y de las descargas de agua en la zona sur, complementado por el flujo superficial del río Elqui en períodos de aumento del caudal por precipitación y deshielo en la cuenca.

- b) El nivel de la laguna costera es más alto que el nivel del mar, incluso con coeficiente de marea muy alto, por lo que el mar no entra en la desembocadura. Se desconoce si, durante marejadas excepcionales, se logra que el agua de mar entre en la laguna.
- c) Estos aportes subterráneos y superficiales, y la ausencia de agua de mar en la laguna costera (intrusión marina) explican la condición oligohalina homogénea del agua de la laguna en la desembocadura del río Elqui.
- d) La presencia de juncos en las riberas de la laguna costera estaría jugando un rol en la retención de metales y muy probablemente de sales.

De acuerdo a los análisis y resultados se deduce que el acuífero aluvial del Río Elqui bajo, ya no alimenta el río en su zona baja y en consecuencia, no alimenta al humedal de la desembocadura, sin embargo, se observa un flujo de agua entrando a la laguna costera.

A su vez, el acuífero costero Vegas Sur tiene un comportamiento distinto al acuífero costero Vegas Norte, éste presenta un nivel piezométrico estable o en ligero descenso y una conductividad eléctrica en descenso. En cambio, en la zona sur del humedal de la desembocadura del río Elqui, el nivel de agua es muy somero y aflora en varios puntos. Al contrario, en la zona norte, el nivel de agua subterránea se encuentra entre 1.5 y 2 metros de profundidad.

No se observó intrusión marina en la laguna, incluso en el momento de altura máxima del mar, al contrario, siempre la laguna desborda hacia el mar, a través del canal en el estuario. No se demuestra una salinización por intrusión marina, si es posible que otros factores están influenciando en la condición oligohalina, como el viento, cuestión que debe ser estudiada.

4.3. Resultados sobre propiedad fiscal y privada de los límites del humedal.

En relación con los objetivos de esta consultoría, al que requiere determinar el bien de uso público del río Elqui en el humedal de la desembocadura, los resultados que se entregan a continuación consideran el Bien de uso público (Figura 34) y adicionalmente se aportan datos sobre la propiedad privada (Tabla 13, ítem 4.3.1). Que a pesar de haber realizado consultas al Ministerio de Bienes Nacionales, Conservador de Bienes Raíces del La Serena, y a la Municipalidad en relación con límites de propiedad, ninguna de las entidades tenía información.

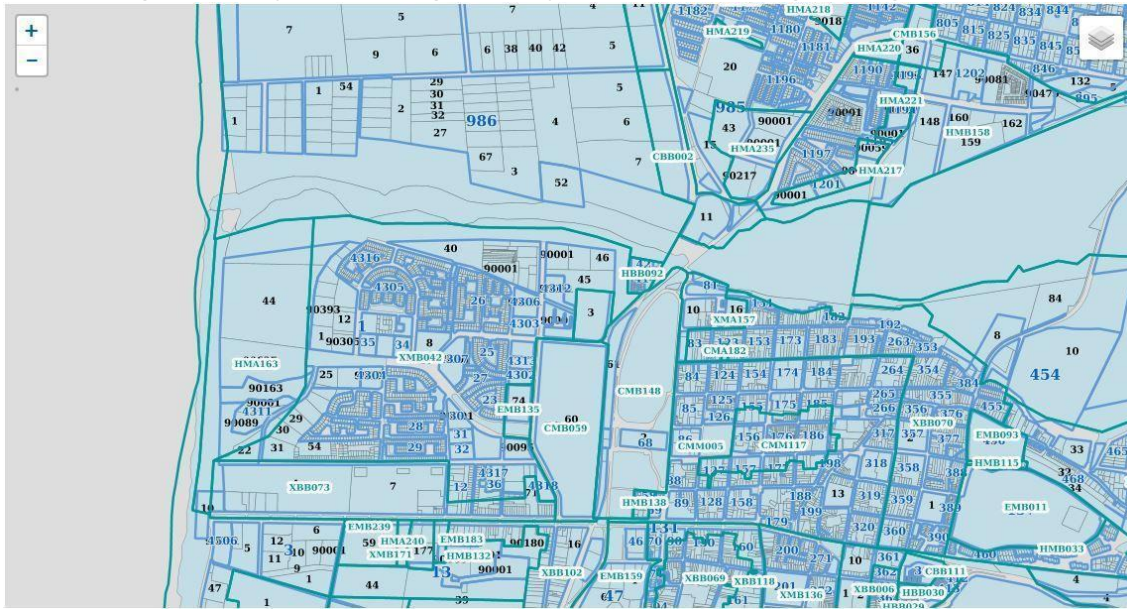
Del análisis de la información recabada, principalmente de la proporcionada por el Centro de Investigación de Recursos Naturales (CIREN) y de la obtenida de la cartografía digital del Servicio de Impuestos Internos, pudimos apreciar la existencia de propiedad privada en el humedal, dentro de los límites ecológicos del humedal en su tramo final (Mapa delimitación del Humedal río Elqui).

Adicionalmente, en la Figura 34 se puede apreciar la existencia de un área definida al norte del río Elqui, catalogada por el Servicio de Impuestos Internos como “SR” o sin Rol.

[illegible]

A su vez, de la cartografía digital del Servicio de Impuestos Internos, pudimos obtener la siguiente imagen abarcando la zona en estudio:

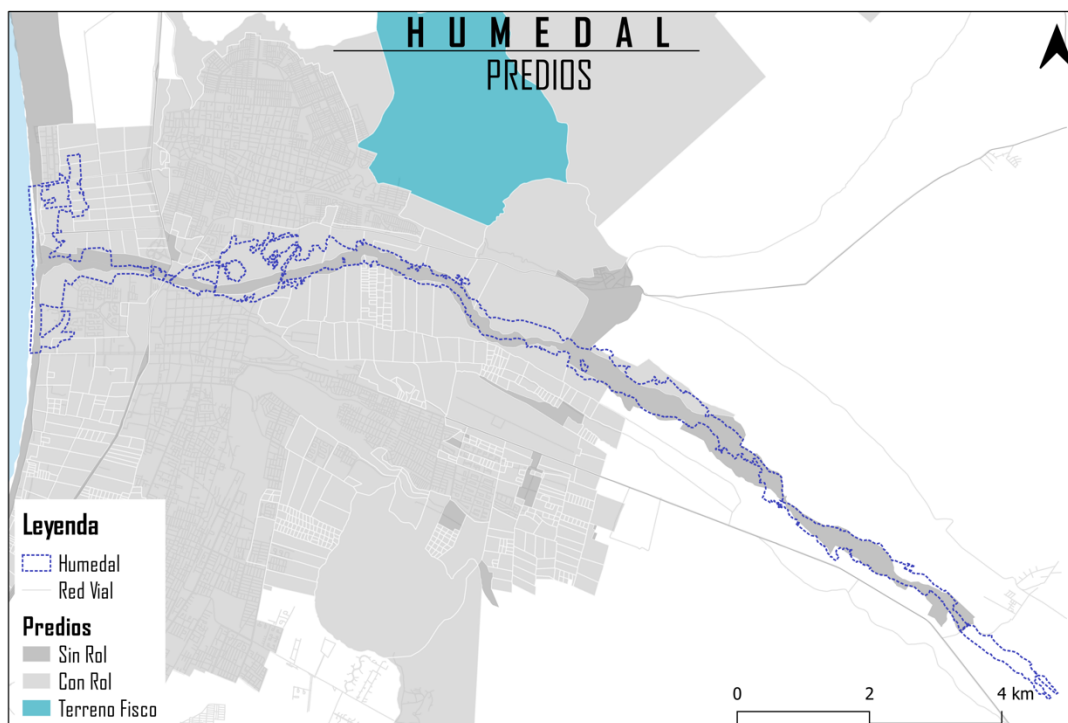
Figura 35. Captura de imagen de la plataforma de cartografía digital del SII



La figura 35 obtenida de la cartografía digital del Servicio de Impuestos Internos, muestra un área sin Roles ni manzanas asociadas, que coincide, en la ribera norte del río, de la figura 34, proporcionada por CIREN, con la denominación “SR”. La información que maneja CIREN tiene discordancias importantes con la de la cartografía del SII, principalmente la ribera sur del río de acuerdo al análisis de superposición de ambos mapas (figuras 34 y 35).

Considerando que la información cartográfica no existe o no ha estado disponible, se realizó la superposición de los límites entregados por el Servicio de Impuestos Internos (sin base cartográfica) y la delimitación del humedal, lo que da una primera aproximación visual de la situación de propiedad, como se puede ver en la figura 36.

Figura 36. Mapa que representa la superposición de la delimitación del humedal descrita en el presente estudio y los límites de propiedad en el área.



Fuente: Elaboración propia en base a datos SII y cartografía delimitación elaborada por equipo Corporación.

Realizada la consulta específica al Servicio de Impuestos Internos, sobre la extensión comprendida entre las manzanas 1, 22, 985 y 986, el Servicio¹⁴ señaló:

3°. - Que, en relación a los antecedentes:

El sector mencionado en la solicitud corresponde a un BNUP (Bien Nacional de Uso Público), los Bienes Nacionales de Uso Público no poseen rol de avalúo fiscal de acuerdo a lo señalado en el art.5 de la ley 17.235, salvo expresamente, cuando proceda aplicar el art. 27 de la misma ley, lo cual no corresponde al caso y sector solicitado.

De esta forma, tratándose de un Bien Nacional de Uso Público y, en virtud del artículo 5° de la Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades N° 18.695, corresponde a la Ilustre Municipalidad de La Serena la administración de dicho bien.

En relación con el objetivo propuesto, y sobre la base de los diferentes organismos consultados, se pudo establecer la existencia tanto de propiedad privada, como Bienes Nacionales de Uso Público en el sector en estudio, sin embargo, al no existir una delimitación clara y oficial del cauce del río Elqui, se torna confuso el límite del Bien Nacional de Uso Público asociado. Cabe señalar que la información aportada por CIREN y SII no entrega coordenadas y presenta diferencias en los límites.

¹⁴ Resolución Exenta N.º 19632 de 2020.

Esta falta de claridad en los límites, trae como consecuencia complejidades en la gestión y atribución de competencias.

Sin perjuicio de lo anterior, es posible establecer acciones de las instituciones con autoridad en el área del Bien Nacional de Uso Público de la zona norte (descrita en Figura 36), especialmente por parte de la Ilustre Municipalidad de La Serena, en calidad de administradora de dicho bien, atribución que queda establecida por ley (artículo 5° de la Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades N° 18.695)

4.3.1. Información de propietarios riberaños al cauce del río Elqui en la desembocadura

De acuerdo a la información entregada por Servicio de Impuestos Internos, en su Oficio Ord. DAV N.º 44, de 18 de febrero de 2021 (en respuesta al Oficio N.º287, de 30 de octubre de 2020, del Ministerio de Medio Ambiente), pudimos determinar los siguientes propietarios riberaños al cauce del río Elqui (Ver Tabla 14):

Tabla 14. Propietarios riberaños al cauce del río Elqui

Predio	Propietario	Ribera
1 - 40	Soc. Inmobiliaria La Cruz del Molino S.A.	Sur
1 - 47	Rol Eliminado	Sur
1 - 46	Constructora Noval Ltda.	Sur
986 - 1	Inmobiliaria El Alama S.A.	Norte
986 - 54	Lino Brun Bortolotti	Norte
986 - 2	Elaboradora Artic S.A.	Norte
986 - 27	Héctor Henríquez Vicencio	Norte
986 - 3	Benedicto Clavería Alcayaga	Norte
986 - 52	No informado	Norte
986 - 7	Roxana Toschnar Conta	Norte
1 - 44	Soc. Inmobiliaria El Molino S.A.	Sur
90001	Bienes Comunes	Sur
4316 - 2	Ma. Angélica Medina Miranda	Sur
4316 - 3	Mauricio Ortiz Gómez	Sur
4316 - 4	Jorge Encalada Contreras	Sur
4316 - 5	Mitchel Benavente Zamorano	Sur
4316 - 6	Waldo Olivares Ubal	Sur
4316 - 7	Sebastián James Godoy	Sur
4316 - 8	Loreto Valenzuela Cortés	Sur
4316 - 9	Inmobiliaria Lagunas del Mar	Sur
4316 - 10	Inmobiliaria Lagunas del Mar	Sur
4316 - 11	Javier Jofré Folch	Sur
4316 - 12	Rodrigo Castillo Acosta	Sur

Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por el SII

Los predios privados de la ribera Norte no limitan con el río, apreciándose un predio de bien de uso público entre los propietarios privados y el cauce del río en la desembocadura (laguna costera). En cambio, de acuerdo con la información analizada en el sector sur los propietarios colindan con el cauce del río y la laguna costera (Figuras 35) .

Un antecedente más que permitiría modificar la gestión dentro del cauce del río Elqui, en especial sobre bienes nacionales de uso público, atribución que tienen los Municipios y en este caso se expresa en la Ordenanza Municipal decreto 1064 del 21.03.2013 ([Anexo 15](#)). Esta Ordenanza que dictó La Municipalidad de La Serena regula la extracción de áridos en los Bienes Nacionales de Uso Público, especialmente en el cauce del río Elqui en el sector descrito en la misma ordenanza.

La Municipalidad dicta esta ordenanza, ya que en virtud de la Ley Orgánica de Municipalidades, administra los bienes nacionales de uso público que están en su territorio. Esta ordenanza establece el procedimiento que se tramita ante la municipalidad para extraer áridos, el derecho municipal por la extracción, entre otros.

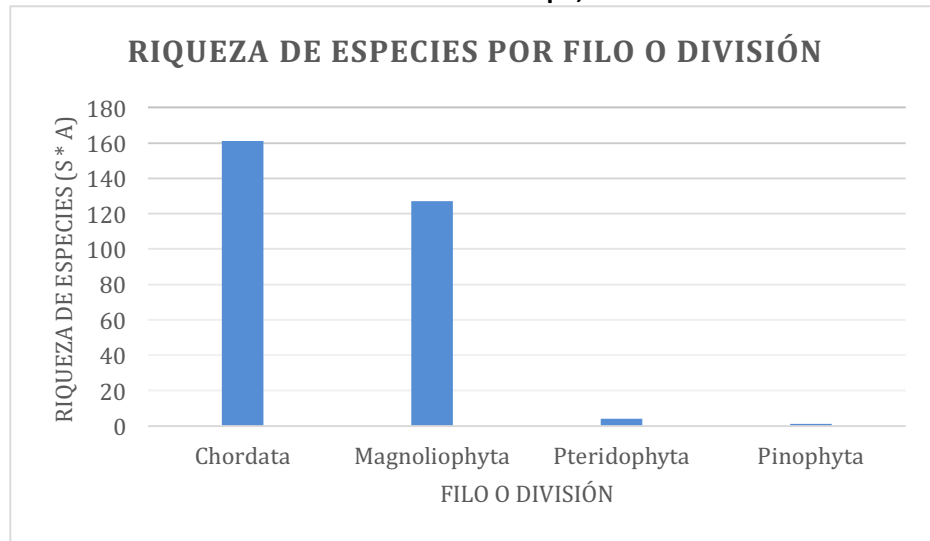
4.4. Resultados sobre áreas de alta biodiversidad en el área de la desembocadura y zona fluvial del río Elqui hasta el tramo del puente Zorilla

4.4.1. Diversidad de especies por sección

En general, el análisis de los datos depurados arrojó un total de 293 especies, repartidas en 4 filos o divisiones, 9 clases, 61 órdenes, 106 familias y 228 géneros. Los animales comprendieron el 54,95% de la biota; las plantas vasculares, el 45,05%. A nivel de filo o división, los grupos más ricos fueron *Chordata* (animales vertebrados) y *Magnoliophyta* (plantas florales) y estuvieron representados, respectivamente, por 161 y 127 especies. Por su parte, *Pteridophyta* contó con 4 especies y *Pinophyta* con solo una (Gráfico 1).

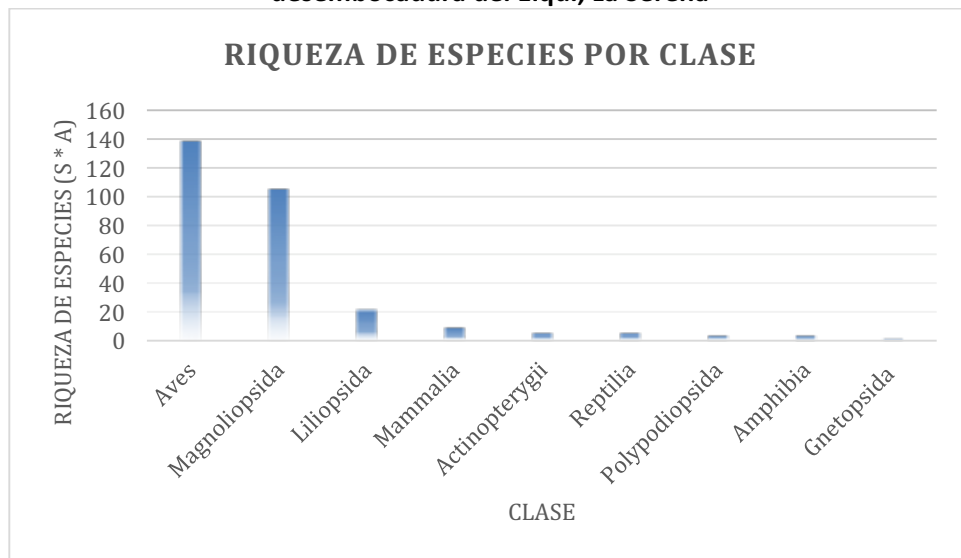
Las clases de mayor riqueza en el humedal son las aves ($S= 139$) y las magnoliópsidas o dicotiledóneas ($S= 106$), seguidas con un amplio margen de diferencia por las restantes clases de plantas y animales. Con respecto al grupo de plantas, las liliópsidas o monocotiledóneas estuvieron representadas por 21 especies, las polipodiópsidas o helechos por 4 y las gnetópsidas por una sola, el pingo-pingo (*Ephedra chilensis*). Con respecto a los otros vertebrados (distintos de las aves), los mamíferos presentaron un total de 9 especies (6 roedores, 2 lagomorfos y un quiróptero), los peces 5, los reptiles 5 y los anfibios 3 (Gráfico 2). Las especies nativas concentraron el 69,3% de la riqueza, las introducidas el 18,1% y un 2,0% es de origen indeterminado. El 15,3% de las especies autóctonas son endémicas de Chile.

Gráfico 1. Riqueza de especies estandarizada de los filos o divisiones presentes en el humedal de la desembocadura del Elqui, La Serena



Elaboración propia.

Gráfico 2. Riqueza de especies estandarizada de las clases presentes en el humedal de la desembocadura del Elqui, La Serena



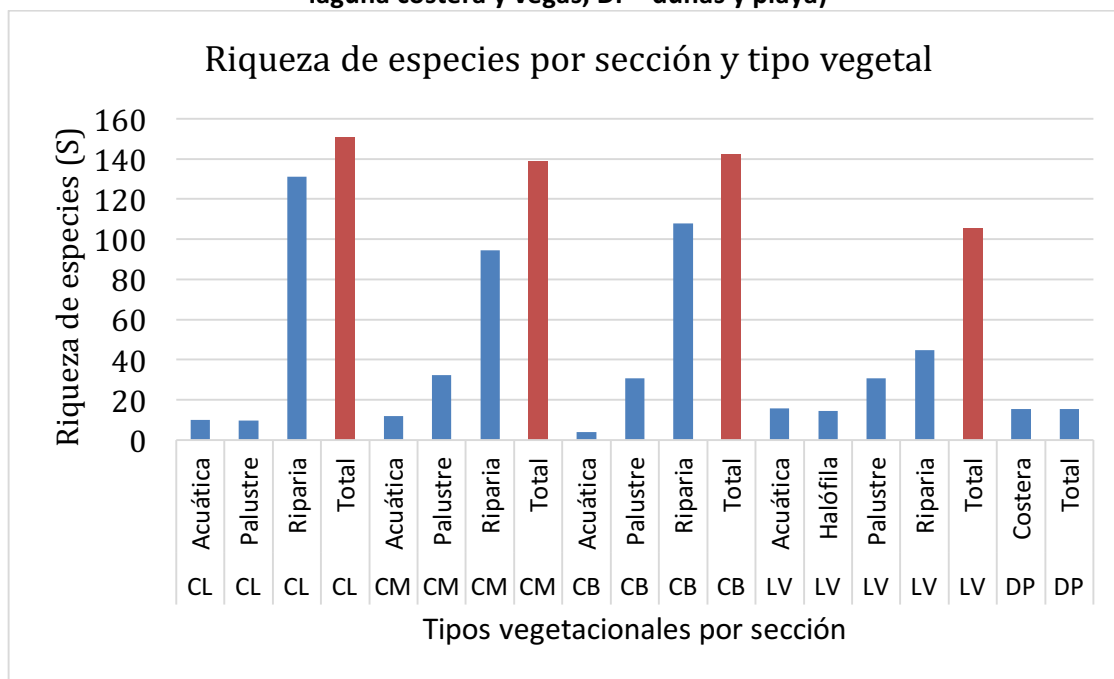
Elaboración propia

La riqueza total de especies disminuye gradualmente desde las secciones del interior hacia la costa. La del curso alto y lagunas (Gráfico 3) presenta la mayor riqueza de especies ($S=151$). Su tipo vegetacional más representativo es el ripario, con 151 especies, seguido con distancia por el acuático ($S= 10$) y el palustre ($S= 10$). Incluso si se analiza la riqueza de nativas por separado, se observa un patrón similar en todas las secciones con vegetación riparia.

En cuanto al número de especies por sección, se puede observar un patrón similar en ambientes de tipo palustre, que es el segundo en dominancia en las secciones del curso medio, curso bajo, y laguna costera y vegas. En la sección del curso alto y lagunas, esta formación es tan representativa

como la acuática (Gráfico 3). Mención aparte merecen los tipos vegetales halófilo y costero, el primero exclusivo de la sección de la laguna costera y vegas; el segundo, del sector de dunas y playa. Estas unidades concentran la menor riqueza de especies, $S=14$ y $S=15$, respectivamente (Gráfico 3).

Gráfico 3. Riqueza de especies estandarizada de los tipos vegetacionales de cada sección del humedal del Elqui, La Serena (CL= curso alto y lagunas, CM= curso medio, CB= curso bajo, LV= laguna costera y vegas, DP= dunas y playa)



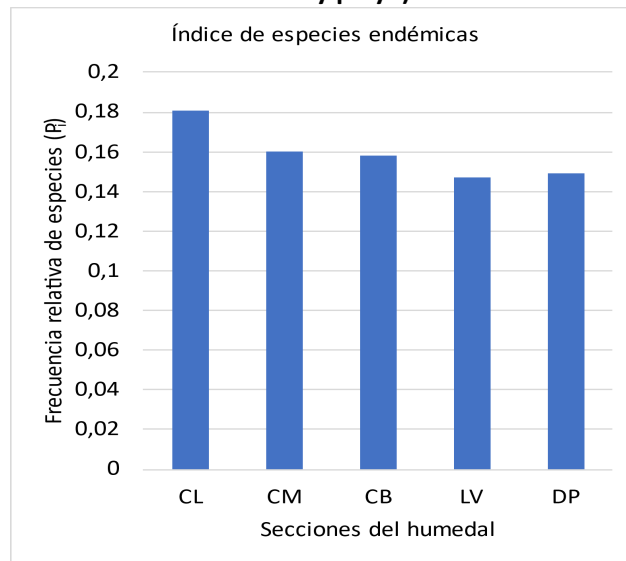
Elaboración propia

4.4.2. Diversidad de especies prioritarias por sección.

Además de los patrones de diversidad descritos a partir de la riqueza de especies, existe un conjunto de atributos asociados a la identidad de las especies que se deben considerar para determinar los sitios prioritarios de alta diversidad. Tomando en cuenta aquellos atributos que le confieren una prioridad adicional a la diversidad de especies, destacamos en primer lugar los biogeográficos.

La frecuencia relativa de especies endémicas muestra una variación mucho menos acentuada que la diversidad general. Aunque los mayores niveles de diversidad endémica se encuentran en la sección del curso alto y lagunas, la diferencia entre dichos valores y los de las secciones laguna costera-vegas y dunas-playa es mínima (0,3) (Gráfico 4). Cabe destacar que este atributo es más representativo de la flora que de la fauna, ya que un 74,2% de las especies endémicas del humedal son plantas vasculares. El 17,4 % de estas son endémicas de Chile, mientras que solo un 5% de los animales lo son.

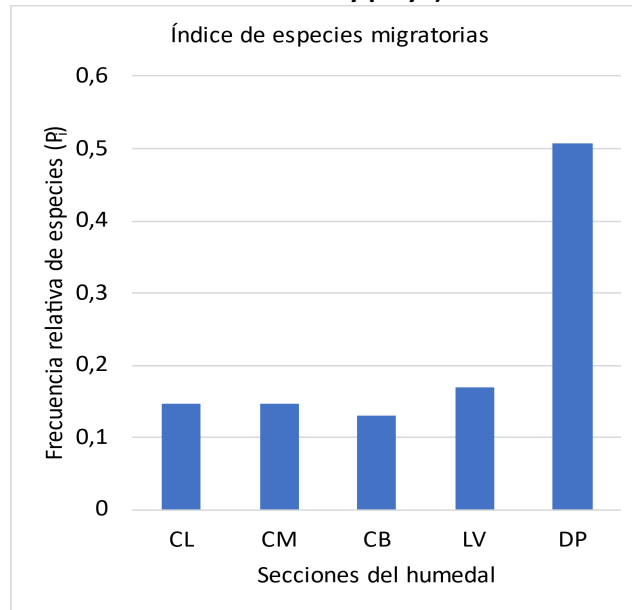
Gráfico 4. Frecuencia relativa de especies endémicas en cada sección del humedal del río Elqui (CL= curso alto y lagunas, CM= curso medio, CB= curso bajo, LV= laguna costera y vegas, DP= dunas y playa)



Elaboración propia

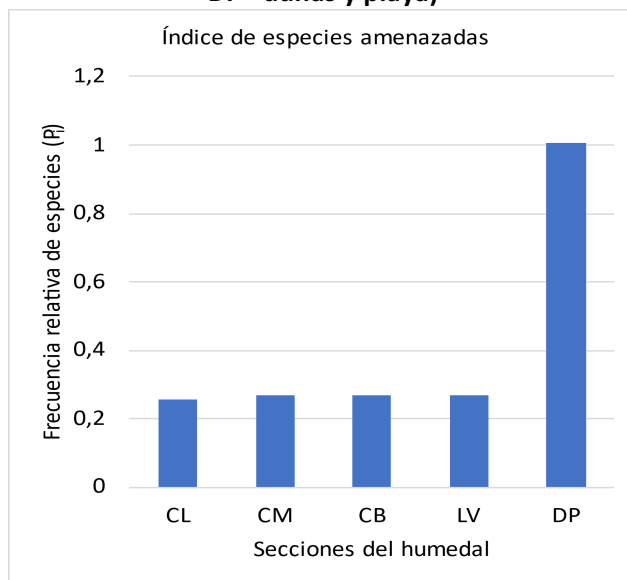
En cuanto a las especies migratorias, se ha encontrado un patrón completamente opuesto al de la diversidad general, pues la mayor frecuencia relativa de especies migratorias se concentra en la sección de dunas y playa, desde la cual disminuye abruptamente hacia el interior del humedal (Gráfico 5). En contraste con el endemismo, el carácter migratorio es exclusivo de los animales, cuya fracción migratoria representa el 16 % del total de especies registradas en el humedal, el 29,2 % del total de especies animales y el 33,1% del total de especies de aves. Fuera de la clase aves, solo se ha identificado una especie de hábitos migratorios, el murciélago de cola de ratón (*Tadarida brasiliensis*).

Gráfico 5. Frecuencia relativa de especies migratorias en cada sección del humedal del Elqui, La Serena (CL= curso alto y lagunas, CM= curso medio, CB= curso bajo, LV= laguna costera y vegas, DP= dunas y playa)



Otro atributo identitario muy relevante de las especies del humedal es el estado de conservación. De acuerdo con lo determinado por el Reglamento de la Ley de Caza (SAG 2018); el 15º Proceso de Clasificación de Especies Silvestres (RCE 2020) y la clasificación de la Lista Roja de la UICN (UICN 2020), se registran 39 especies evaluadas, de las cuales el 23,8 % corresponde a amenazadas, el 17,9 % a casi amenazadas y el 56,4 % a especies de preocupación menor (SAG 2018, RCE 2020, UICN 2020). Dicha información incluye una especie en la categoría de rara (R) ([Anexo 16](#)). Considerando la frecuencia relativa de especies amenazadas por sección, se observa un patrón similar al de las especies migratorias, pues el valor más alto se registró en la sección de dunas y playa, desde la cual disminuye abruptamente hacia el interior (Gráfico 6).

Gráfico 6. Frecuencia relativa de especies amenazadas en cada sección del humedal del Elqui, La Serena (CL= curso alto y lagunas, CM= curso medio, CB= curso bajo, LV= laguna costera y vegas, DP= dunas y playa)

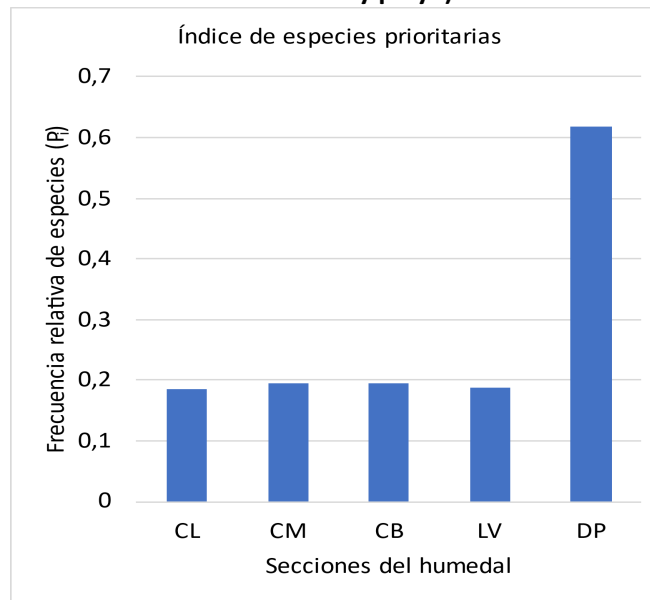


Elaboración propia

En cuanto al análisis según singularidad, susceptibilidad y carácter emblemático, la mayor frecuencia relativa de especies prioritarias se presentó en la sección de dunas y playa, desde la cual decrece fuertemente, pero sin mostrar diferencias notables entre las demás secciones (gráfico 7, y [Anexo 3](#)).

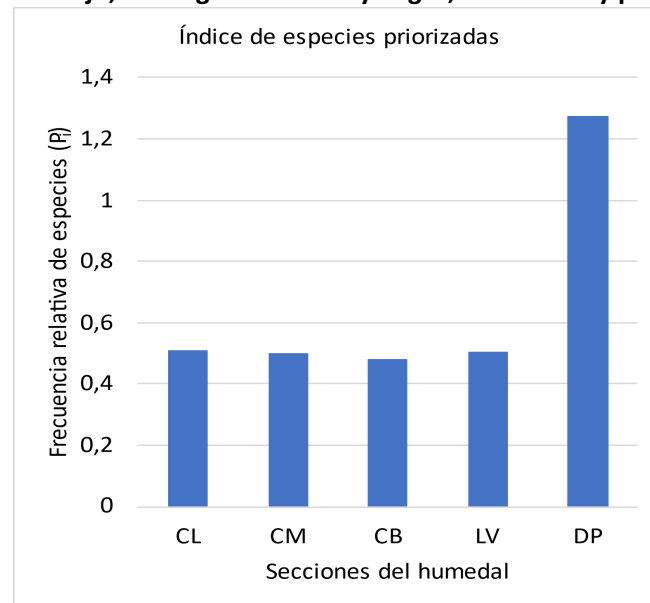
Finalmente, el índice de diversidad de especies priorizadas, descrito en la metodología, estimado a partir de la riqueza de especies según lo descrito en el punto 3.1.1.4, es decir, el conjunto de endémicas, migratorias, amenazadas y prioritarias, presentó su valor más alto en la sección de las dunas y playa, a partir de la cual disminuye abruptamente. La diferencia entre el valor de dicha sección y el del resto de las secciones fue de aproximadamente un orden de magnitud, mientras que la variación del índice entre estas últimas fue notablemente menor (Gráfico 8).

Gráfico 7. Frecuencia relativa de especies prioritarias en cada sección del humedal del Elqui, La Serena (CL= curso alto y lagunas, CM= curso medio, CB= curso bajo, LV= laguna costera y vegas, DP= dunas y playa)



Elaboración propia

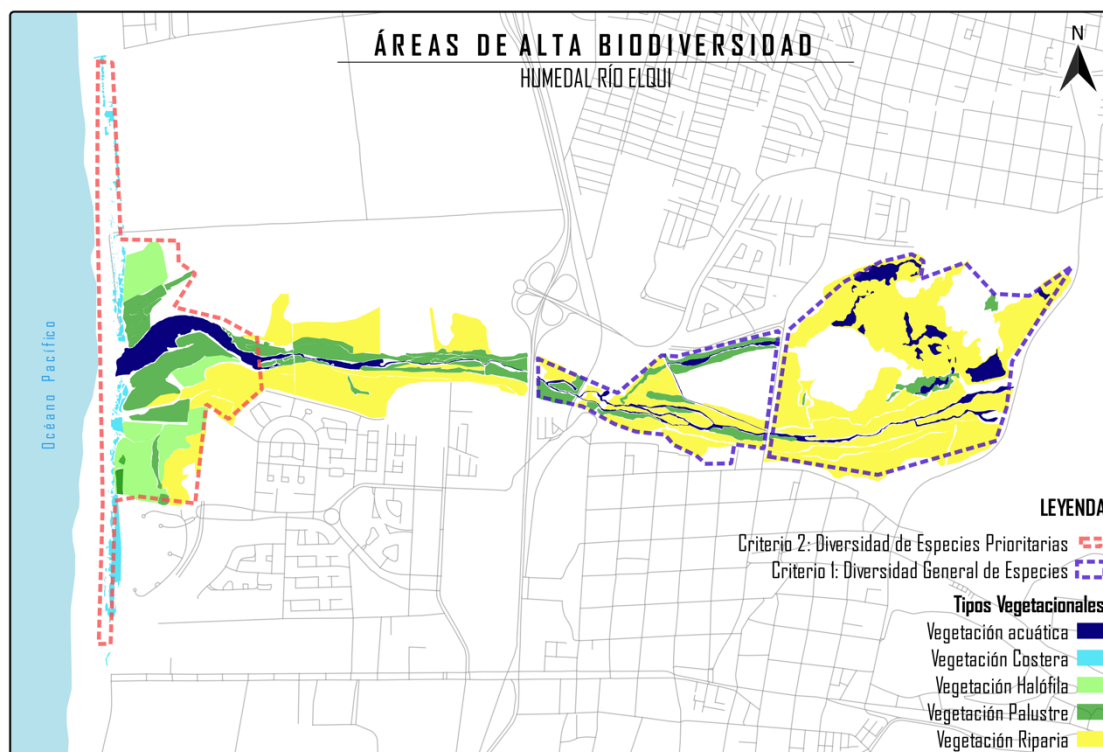
Gráfico 8. Frecuencia relativa de especies priorizadas (endémicas, migratorias y prioritarias) en cada sección del humedal del Elqui, La Serena (CL= curso alto y lagunas, CM= curso medio, CB= curso bajo, LV= laguna costera y vegas, DP= dunas y playa)



Elaboración propia

Las áreas de alta biodiversidad quedan representadas en la figura 37, considerando ambos criterios de priorización, de acuerdo a la propuesta metodológica considerada y la información disponible sobre especies.

Figura 37. Áreas de alta biodiversidad para la zona del humedal del río Elqui



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la diversidad general de especies nativas, las áreas de mayor riqueza de especies corresponden a la sección del curso alto y lagunas y la del curso medio. Ambas se caracterizan principalmente por vegetación leñosa riparia, principalmente matorrales de *Baccharis linearis* y *Tessaria absinthioides*, seguida de vegetación palustre.

La fauna más frecuente de dichas zonas es la terrestre, cuyas especies se incorporan desde los ambientes circundantes al humedal, explotan ampliamente los recursos del matorral ripario (p. ej., para alimentarse, refugiarse y nidificar) y hacen un uso facultativo de los ambientes acuáticos y palustres. Entre los componentes faunísticos de ambas secciones destacan ampliamente las aves, sobre todo las palustres, como el sietecolores (*Tachuris rubrigastra*), único representante de su género; la garza azul (*Egretta caerulea*), relativamente rara en Chile, pero de presencia estable en el humedal del Elqui; y el pidencito (*Laterallus jamaicensis*), que vive estrictamente en ambientes pantanosos y se considera En Peligro según la UICN.

La vegetación palustre está dominada por el batro (*Schoenoplectus californicus*), al que se suman varias otras ciperáceas nativas, y la totora (*Typha angustifolia*), helófito de origen exótico. Estas especies estructuran un ambiente clave para la reproducción de varias especies de aves y anfibios, aunque al parecer *T. angustifolia* se está convirtiendo en una seria amenaza para la biota del humedal, pues estaría homogeneizando la vegetación palustre e invadiendo ambientes de singular importancia ecológica, como, p. ej., fangales y pastizales ribereños, cuya presencia es clave para un amplio elenco de especies limícolas (aves), en especial migratorias. Sin embargo, restaurar el

ecosistema a una condición natural podría resultar costoso cuyos resultados podrían tener otras consecuencias en el ambiente. Sin estudios que analicen la dinámica de comunidades en el humedal, la interacción entre especies, la calidad de los sedimentos, las fuentes o aportes que están contribuyendo al desarrollo de la especie, entre otros, resulta aventurado sugerir el tipo de acción para la restauración. Sin embargo, es importante considerar el control de la especie para evitar un empobrecimiento de la heterogeneidad del paisaje y la biodiversidad.

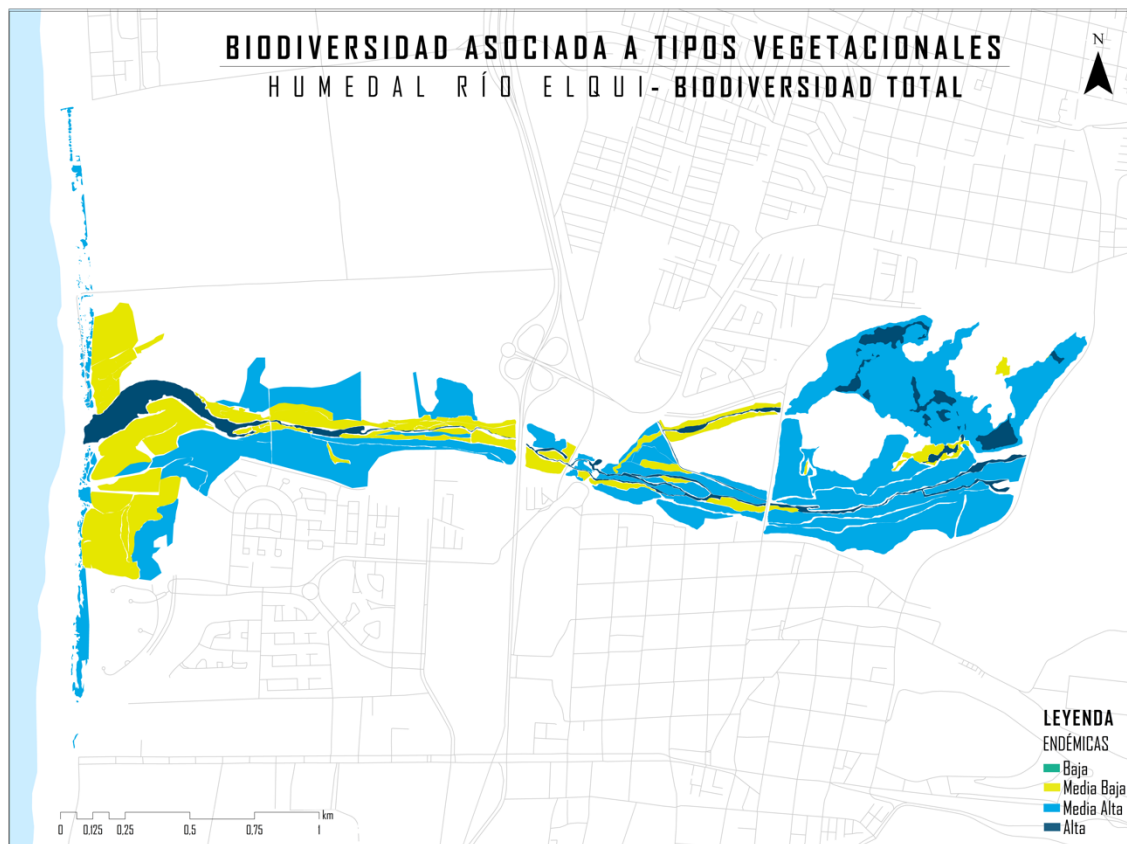
En función de la diversidad de especies prioritarias, es decir, singulares, susceptibles y amenazadas, la sección de la laguna costera y vegas y la de dunas y playa serían los sitios prioritarios. Esto se puede atribuir, en principio, a una interacción de diferentes tipos vegetacionales, dos de los cuales, la vegetación halófito y el costero, se restringen a dichas zonas. Aunque estas formaciones no son dominantes en sus correspondientes secciones, representan un aporte relevante por su singularidad ecológica.

Se sugiere considerar ambas aproximaciones de priorización por separado, ya que la combinación de ambas podría quedar opacada por la preponderancia de los valores de diversidad general. En el [Anexo 9](#), punto 4 se incluyen los resultados de la encuesta realizada a los integrantes del Comité Técnico Local para integrar observaciones o sugerencias en relación a dichos criterios.

4.4.3 Presencia de especies endémicas y nativas por hábitat

Para el caso del análisis solo de especies endémicas y nativas por hábitat, podemos concluir que los hábitat que presentaron mayor riqueza de especies endémicas son: Vegetación acuática>vegetación costera>vegetación riparia>vegetación palustre=vegetación halófito (ver Figura 38). Cabe mencionar que el análisis reflejado en la figura 38 es para la suma de todos los taxones, y que el análisis de riqueza por taxón difiere, dada la escasa información específica para aves, crustáceos y mamíferos endémicos en el humedal.

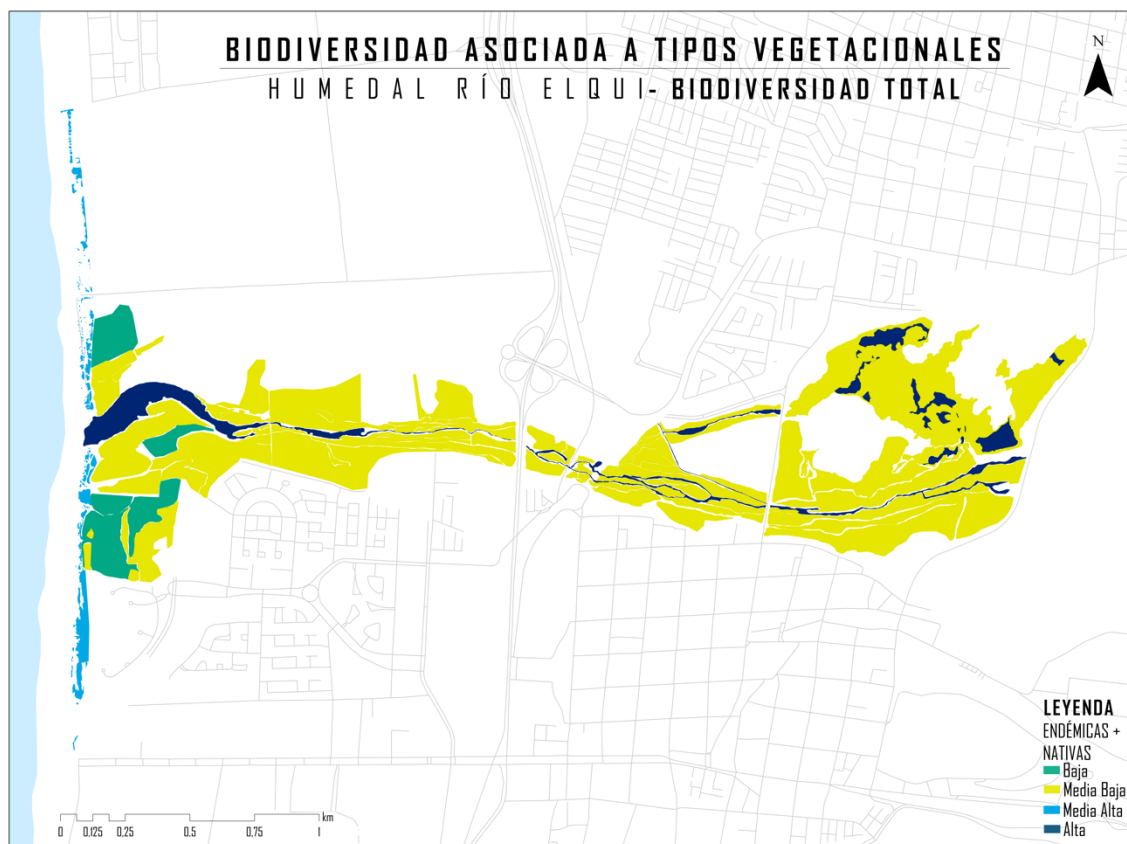
Figura 38. Riqueza de especies endémicas , asociadas a tipos vegetacionales en el Humedal costero del río Elqui



Fuente: Elaboración propia

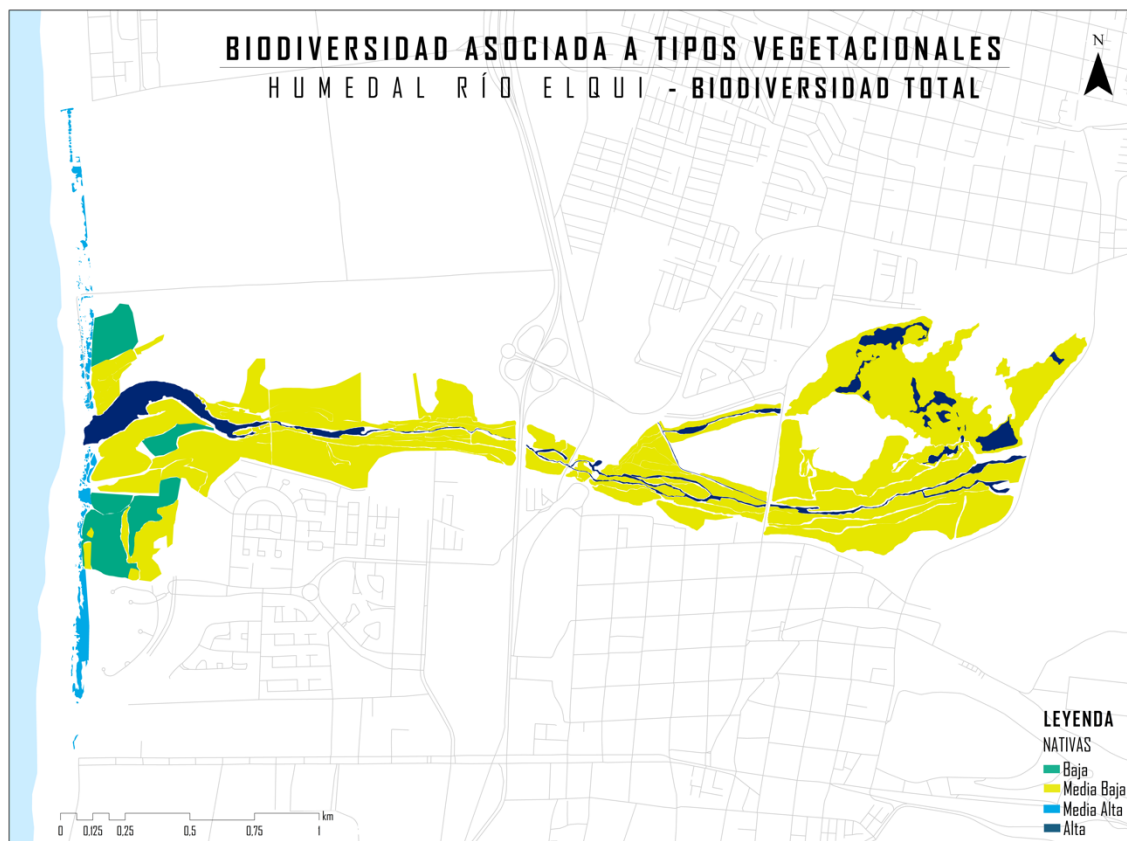
Por otra parte, al realizar análisis de riqueza de especies y sumando las especies nativas al análisis anterior (riqueza de especies endémicas, figura 38), los resultados son similares entre sí (ver Figura 39). La riqueza de especies nativas+endémicas es mayor en el ambiente de vegetación acuática, seguida por el ambiente de vegetación costera y vegetación riparia=vegetación palustre, con la riqueza más baja evidenciada en el ambiente de vegetación halófila. Si bien las aves, por su alta riqueza en el área son un determinante de este análisis, esta no se acota a la franja costera como se evidencio en el análisis de riqueza por sección (sección 4.4.1).

Figura 39. Distribución de la riqueza de especies nativas y endémicas, asociadas a tipos vegetacionales en el Humedal del río Elqui



Al realizar este mismo análisis de riqueza faunística por formación vegetacional considerando solo las especies nativas, podemos observar el siguiente gradiente de mayor a menor riqueza de especies: vegetación acuática > vegetación costera > vegetación riparia = vegetación palustre > vegetación halófila (ver Figura 40). Estos resultados son extremadamente similares a lo evidenciado para la riqueza de especies endémicas+nativas. Si bien el gradiente de riqueza es similar para los tres análisis, existe una riqueza faunística (especies endémicas) media alta en los tipos vegetacionales de vegetación riparia y vegetación palustre, mientras que para los mismos tipos vegetacionales esta riqueza es medio baja en el análisis donde incluimos especies nativas.

Figura 40. Biodiversidad en el área de la desembocadura del río Elqui, especies nativas por taxón y suma de taxones, asociadas a tipos vegetacionales en el Humedal costero del río Elqui



Fuente: Elaboración propia

Esta forma de interpretar los datos permite reflejar la singularidad de cada área independiente de su alta biodiversidad, entendiendo que en la medida en que la zona fluvial desaparece el humedal de la desembocadura también lo hará. En el presente caso, priorizar la conservación del sistema humedal por sección, no asegura una efectividad en las acciones a tomar (es más, un producto no deseado puede ser la fragmentación de hábitats dentro del humedal), dada la interacción horizontal y longitudinal de los sistemas acuáticos continentales.

Las zonas de mayor riqueza de especies se encuentran en forma longitudinal al humedal del río Elqui (Vegetación acuática, riparia y costera), por lo que proteger el sistema-humedal y su biodiversidad, asegurara la funcionalidad ecológica y la provisión de diversos servicios ecosistémicos para la comuna y región.

4.5. Resultados sobre Servicios Ecosistémicos

4.5.1. Identificación de servicios ecosistémicos

A partir de la revisión de estudios realizados por diversos organismos sectoriales, información de literatura especializada, fuentes de información científica como revistas indexadas, así como informes técnicos aprobados por alguna institución del Estado ([Anexo 1](#)), identificamos 38

potenciales servicios ecosistémicos, de los cuales un 42% (16) corresponden a servicios de regulación y mantenimiento, un 34% (13) a servicios culturales y un 24% (9) a servicios de provisión.

Si bien a partir de la literatura pudimos desprender una amplia variedad de potenciales servicios ecosistémicos que provee el humedal, es importante destacar que existe poca información asociada a las funciones ecológicas del humedal de la Desembocadura del río Elqui, así como del área fluvial en tramo urbano, ni tampoco estudios previos particulares de SS.EE, lo cual representa una dificultad para la determinación de los beneficios que proporciona este ecosistema.

Por otro lado, en la información obtenida a partir de la encuesta en línea realizada al Comité Técnico Local relacionada con los beneficios que otorga el humedal, identificamos 33 servicios ecosistémicos de los cuales un 40% (13) corresponde a servicios de regulación y mantenimiento, un 30% (10) a servicios culturales y otro 30% (10) a servicios de provisión.

Estos resultados fueron contrastados con la información obtenida a partir de la revisión bibliográfica y, si bien la mayor parte de los servicios que mencionaron los y las participantes en la encuesta se identificaron durante la revisión bibliográfica, cabe destacar que un 82% de quienes participaron en la encuesta, residen en la región de Coquimbo hace más de 11 años, por lo que su conocimiento en relación a los beneficios que presta el humedal de la Desembocadura del río Elqui fue considerable y un insumo importante para enriquecer, perfeccionar y sintetizar la elaboración del listado preliminar discutido durante el taller N° 1 con el CTL, el cual quedó conformado finalmente por 13 servicios culturales, 12 servicios de regulación y mantenimiento y 8 servicios culturales con una respectiva descripción ([Anexo 17](#)).

Durante el módulo del taller N° 1 destinado a enriquecer y validar la lista en cuestión, quienes participaron consideraron que el listado presentado abarcaba en términos generales los servicios ecosistémicos que provee el humedal de la Desembocadura del río Elqui. Sin embargo, se sugirió hacer un barrido de servicios más específicos para el humedal, y considerar solo aquellos que son más fáciles de comunicar o se cree son realmente provistos por el humedal.

En relación a la categoría de servicios de provisión se sugirió no considerar el servicio de plantas medicinales ya que se desconocía si efectivamente los habitantes de la región hacen uso de alguna especie en particular que pueda presentar dichas propiedades. Por otro lado, se mencionó la posibilidad de considerar la extracción de áridos como un servicio de provisión, pues independiente de representar una amenaza para el humedal, efectivamente existen actores que se benefician de ello. Sin embargo, en contraste a este comentario, se pone énfasis en que la extracción de áridos está prohibida en el área urbana por lo que no sería recomendable considerarlo como un servicio ecosistémico. Adicionalmente, en relación al servicio de alimentos se indica que existe extracción de machas y algunos crustáceos, mientras que, sobre el servicio de fibras, se comenta que existen personas que se benefician de la vegetación para alimentar al ganado principalmente caprino.

En relación a los servicios culturales, se considera que los servicios de patrimonio, identidad y educación ambiental son temas prioritarios. Además, se sugirió incorporar al listado de SS.EE la cosmovisión diaguita, mientras que el servicio de relaciones sociales no es considerado pertinente. Por otro lado, se menciona la posibilidad de agrupar algunos servicios ya que se relacionan los unos con los otros, por ejemplo, se indica que un servicio cultural como el de identidad podría agruparse con sentido de lugar, mientras que el sentido de lugar podría asociarse al sentido de pertenencia.

Para los servicios de regulación y mantenimiento solo se mencionó no tener conocimiento o certeza de que el servicio control de plagas fuese pertinente a los beneficios que presta el humedal de la Desembocadura del río Elqui.

4.5.2. Valoración de servicios ecosistémicos

El trabajo interno del equipo consultor para homologar el listado de los potenciales SS.EE provistos por el humedal y sus subcuencas aportantes, validado en el primer taller, a los niveles de clasificación propuestos por CICES (sección, división, grupo y clase), dio como resultado un listado final que contiene 3 secciones, 6 divisiones, 17 grupos y 34 clases de servicios ecosistémicos.

El listado de servicios ecosistémicos que fue homologado a la clasificación CICES, fue entregado al CTL para su valoración durante el taller N°2 (Tabla 15) y contenía los servicios ecosistémicos identificados a nivel de clases, de los cuales 9 pertenecen a la sección de servicios de provisión, 14 a la de servicios de regulación y mantenimiento y 11 a la de servicios culturales.

Tabla 15. Listado de potenciales servicios ecosistémicos según la clasificación CICES provistos por el humedal Desembocadura del río Elqui presentado al CTL durante el taller N° 2.

Sección	División	Grupo	Clase
Provisión	Biomasa	Plantas terrestres cultivadas para nutrición, materiales o energía	Cultivos (ej. hortalizas, frutales, etc.)
			Fibras y otros materiales de plantas, animales y/o algas para uso directo o procesamiento
		Crianza de animales para nutrición, materiales o energía	Crianza de animales y sus productos derivados (ej. Carne, leche, queso, etc.)
	Agua	Agua superficial utilizada para nutrición, materiales o energía	Agua superficial para beber
			Agua superficial para otros usos (ej. Agricultura, riego, ganadería)
			Agua superficial para fines energéticos
		Agua subterránea utilizada para nutrición, materiales o energía	Agua subterránea para beber
			Agua subterránea para otros usos (ej. Agricultura, ganadería)
		Otros productos del sistema acuoso	Animales silvestres y sus productos derivados (ej. Camarones, peces, moluscos)
Regulación y mantención	Transformación de entradas bioquímicas o físicas al ecosistema	Amortiguación de desechos o sustancias tóxicas de origen antropogénico por procesos vivos	Filtración, secuestro, almacenamiento, acumulación por microorganismos, algas, plantas y animales
		Mediación de molestias de origen antropogénico	Mediación de olores, ruidos e impactos visuales
	Regulación de condiciones físicas, químicas, biológicas	Regulación de flujos y eventos extremos	Control de las tasas de erosión
			Amortiguación y atenuación de movimientos de masas
			Regulación del ciclo hidrológico y mantención del caudal (incluye el control de inundaciones)
			Protección contra tormentas

		Mantención de ciclos de vida, protección del hábitat y recursos genéticos	Polinización (o dispersión de "gametos" en contexto acuático)
			Dispersión de semillas
			Mantención de poblaciones y hábitats (incluyendo genes)
		Control de plagas y enfermedades	Control de plagas (incluyendo especies invasoras)
			Control de enfermedades
		Regulación de la calidad del suelo	Descomposición y procesos de fijación (mantención de las condiciones bioquímicas del suelo)
		Condiciones del agua	Regulación de la condición química del agua dulce/salada por procesos biológicos
Culturales	Interacciones directas, in situ y al aire libre con sistemas vivos que dependen de la presencia en el entorno ambiental	Interacciones físicas y vivenciales con el entorno natural	Uso físico del paisaje en diferentes condiciones ambientales (ej. Pesca recreativa, navegación etc)
			Uso experiencial de plantas, animales, y paisajes en diferentes condiciones ambientales (ej. Observación de aves, buceo, etc)
		Interacciones intelectuales y representativas con el medio natural	Características del sistema que permiten la investigación o creación de conocimientos ecológicos tradicionales
			Características del sistema que permiten la educación y formación (sujeto de materia de educación, actividades de ed. Ambiental, etc)
			Características del sistema resonante en términos de herencia cultural
			Características del sistema que permiten experiencias estéticas (sentido de lugar, representaciones artísticas de la naturaleza, etc)
	Interacciones indirectas, remotas, a menudo en interiores, con sistemas vivos que no requieren presencia en el entorno ambiental	Interacciones espirituales, simbólicas, y de otro tipo con el entorno natural	Elementos del sistema con significado simbólico (plantas o animales emblemáticos, etc)
			Elementos del sistema con significado sagrado o religioso
			Elementos del sistema para entretenimiento o representación (observación ex-situ de la naturaleza a través de diferentes medios)
		Otras características bióticas que tienen un valor de no uso	Características del sistema con valor de existencia (disfrute provisto por especies silvestres, paisajes, ecosistemas)
			Características del sistema con valor de legado (disponibilidad a preservar para el uso a futuras generaciones)

Fuente: Elaboración propia a partir de los SS.EE trabajados en la etapa de identificación.

En relación a la capacidad potencial del humedal y las subcuencas de proveer los SS.EE evaluados, la valoración conjunta del CTL (Tabla 16) reveló que los y las participantes identifican en general, una mayor capacidad del humedal que el resto de la subcuenca de proveer diversos servicios

ecosistémicos. Por ejemplo, para el caso del humedal se identifica una alta capacidad potencial (3) de proveer 26/34 clases de servicios identificados, mientras que en el caso de las subcuencas solo se reconoce una alta capacidad potencial (3) de proveer 18/34 clases de servicios.

Por otro lado, en las subcuencas se reconoce una capacidad media o moderada de proveer una mayor cantidad de SS.EE (12/34 clases de servicios) con respecto al humedal (6/34 clases de servicios). Finalmente, se considera que 3/34 clases de servicios tienen una baja capacidad de provisión en las subcuencas y 1/34 clases de servicios una baja capacidad de provisión en el humedal. Mientras que en ambos casos no se reconoce una capacidad de proveer el servicio de “mediación de olores, ruidos e impactos visuales” (tabla 15, cód. 2.2).

Tabla 16. Valoración conjunta del CTL sobre la capacidad potencial del humedal y las subcuencas aportantes de proveer cada SS.EE

CLASE	CÓD	HUMEDAL	SUBCUENCAS
		PP (MODA)	
Cultivos (ej. hortalizas, frutales, etc.)	1.1	3	3
Fibras y otros materiales de plantas, animales y/o algas para uso directo o procesamiento	1.2	2	2
Crianza de animales y sus productos derivados (ej. carne, leche, queso, etc.)	1.3	3	3
Agua superficial para beber	1.4	3	3
Agua superficial para otros usos (ej. Agricultura, riego, ganadería)	1.5	3	2
Agua superficial para fines energéticos	1.6	1	1
Agua subterránea para beber	1.7	3	3
Agua subterránea para otros usos (ej. Agricultura, ganadería)	1.8	2	3
Animales silvestres y sus productos derivados (ej. Camarones, peces, moluscos)	1.9	3	1
Filtración, secuestro, almacenamiento, acumulación por microorganismos, algas, plantas y animales	2.1	3	3
Mediación de olores, ruidos e impactos visuales	2.2	0	0
Control de las tasas de erosión	2.3	3	2
Amortiguación y atenuación de movimientos de masas	2.4	3	3
Regulación del ciclo hidrológico y mantención del caudal (incluye el control de inundaciones)	2.5	2	2
Protección contra tormentas	2.6	3	3
Polinización (o dispersión de "gametos" en contexto acuático)	2.7	3	3
Dispersión de semillas	2.8	3	2
Mantención de poblaciones y hábitats (incluyendo genes)	2.9	3	3
Control de plagas (incluyendo especies invasoras)	2.10	2	2
Control de enfermedades	2.11	3	2
Descomposición y procesos de fijación (mantención de las condiciones bioquímicas del suelo)	2.12	3	3

Regulación de la condición química del agua dulce/salada por procesos biológicos	2.13	3	2
Regulación de la temperatura y humedad (incluyendo ventilación y transpiración)	2.14	3	3
Uso físico del paisaje en diferentes condiciones ambientales (ej. Pesca recreativa, navegación etc.)	3.1	3	2
Uso experiencial de plantas, animales, y paisajes en diferentes condiciones ambientales (ej. Observación de aves, buceo, etc.)	3.2	3	2
Características del sistema que permiten la investigación o creación de conocimiento ecológicos tradicionales	3.3	3	2
Características del sistema que permiten la educación y formación (sujeto de materia de educación, actividades de ed. Ambiental, etc.)	3.4	3	3
Características del sistema resonante en términos de herencia cultural	3.5	2	2
Características del sistema que permiten experiencias estéticas (sentido de lugar, representaciones artísticas de la naturaleza, etc.)	3.6	3	3
Elementos del sistema con significado simbólico (plantas o animales emblemáticos, etc.)	3.7	3	3
Elementos del sistema con significado sagrado o religioso	3.8	2	1
Elementos del sistema para entretenimiento o representación (observación ex-situ de la naturaleza a través de diferentes medios)	3.9	3	3
Características del sistema con valor de existencia (disfrute provisto por especies silvestres, paisajes, ecosistemas)	3.10	3	3
Características del sistema con valor de legado (disponibilidad a preservar para el uso a futuras generaciones)	3.11	3	3

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos durante el taller N°2

Con el ejercicio de espacialización participativa (punto 3.2 [Anexo 9](#)) de los SS.EE pudimos constatar que, si bien los y las participantes tenían una percepción clara de dónde podrían estar siendo provistos o aprovechados la mayoría de los SS.EE indicados, existieron excepciones como “Fibras y otros materiales de plantas, animales y/o algas para uso directo o procesamiento” (tabla 16, cód. 1.2), “Polinización (o dispersión de "gametos" en contexto acuático)” (tabla 16, cód. 2.7) “Control de enfermedades” (tabla 16, cód. 2.11), “Descomposición y procesos de fijación (mantención de las condiciones bioquímicas del suelo)” (tabla 16, cód. 2.12). Si bien se les atribuyó una capacidad de provisión potencial en la valoración, durante el mapeo no hubo clara certeza o conocimiento en que área particular según el uso de suelo podrían estar siendo provistos o aprovechados los SS.EE señalados.

En el caso del servicio “mediación de olores, ruidos e impactos visuales” (tabla 16, cód. 2.2), a pesar de que no se reconoció una capacidad de proveer el servicio ni en el humedal ni las subcuencas,

este fue asociado espacialmente al humedal durante el mapeo ya que se reconoce o percibe que estos sistemas durante procesos de eutrofización en los que existe descomposición de materia orgánica presentan una capacidad de resiliencia que ayuda a amortiguar los efectos de estos procesos (ej. Olores).

En relación al servicio “Cultivos” (tabla 16, cód.1.1), se mencionó que se aprecia un aumento importante de la cantidad de áreas agrícolas por la ribera norte del humedal hacia la quebrada de Marquesa, particularmente de cultivos como viñedos. Sobre la “Crianza de animales y sus productos derivados” (tabla 16, cód. 1.3) se destacó la presencia de ganado caprino en áreas aledañas al humedal, poniendo énfasis en los efectos que esto tiene sobre la vegetación y la compactación del suelo. Se indicó también que el “Agua superficial para otros usos” (tabla 16, cód. 1.5) depende casi exclusivamente de la oferta que posee el río Elqui, mientras que se desconoce si el origen y destino del agua de los camiones aljibe puede estar asociada a este servicio.

La extracción de áridos se señala como una actividad que dificulta la provisión del servicio de “Control de las tasas de erosión” (tabla 16, cód. 2.3), ya que interviene y degrada el sistema, como la vegetación. Si bien se reconoce la provisión potencial del servicio “Control de plagas (incluyendo especies invasoras)” (tabla 16, cód. 2.10) dentro del humedal y las subcuencas, se indica que existen sectores aledaños al humedal en el área urbana con una alta presencia de especies exóticas, principalmente vegetación, por lo que este servicio podría estar viéndose disminuido o deteriorado. En cuanto al servicio “Regulación de la temperatura y humedad (incluyendo ventilación y transpiración)” (tabla 16, cód. 2.14) se destacó la influencia que tienen los humedales en las condiciones microclimáticas.

Sobre el servicio “Elementos del sistema con significado simbólico (plantas o animales emblemáticos, etc.)” (tabla 16, cód. 3.7), se comentó sobre la desaparición del camarón río como consecuencia de la construcción del embalse Puclaro, el cual era extraído de manera artesanal en el sector de Gualliguaica. En cuanto al servicio “Elementos del sistema con significado sagrado o religioso” se puso énfasis en la importancia de considerar la existencia del Sitio Diaguita “El Olivar” y su relación con el humedal, y otras iniciativas como ceremonias mapuche desarrolladas en la desembocadura en algunas oportunidades.

La sumatoria de todos los SS.EE espacializados en los diferentes usos de suelo, dio como resultado que el área cubierta por el humedal fue a la que se le asignó la mayor cantidad de SS.EE según la valoración de provisión potencial y el ejercicio de espacialización, con 8 servicios de provisión, 13 de regulación y mantenimiento y 10 culturales. Seguido por el uso de suelo cubierto por bosque nativo al cual se le asignaron 2 servicios de provisión, 7 de regulación y mantenimiento y 3 culturales. Y, en tercer lugar, el uso de suelo correspondiente a dunas y playas al que se le asignaron 2 servicios de provisión, 6 servicios de regulación y mantenimiento y 3 servicios culturales. Los usos de suelo con menor cantidad de SS.EE asignados corresponden al de urbanización y plantación forestal, en ambos casos se reconocen 2 servicios de provisión, 4 de regulación y mantenimiento y 1 cultural (tabla 17). El detalle de los servicios ecosistémicos espacializados a nivel de clases se encuentra en el [Anexo 18](#).

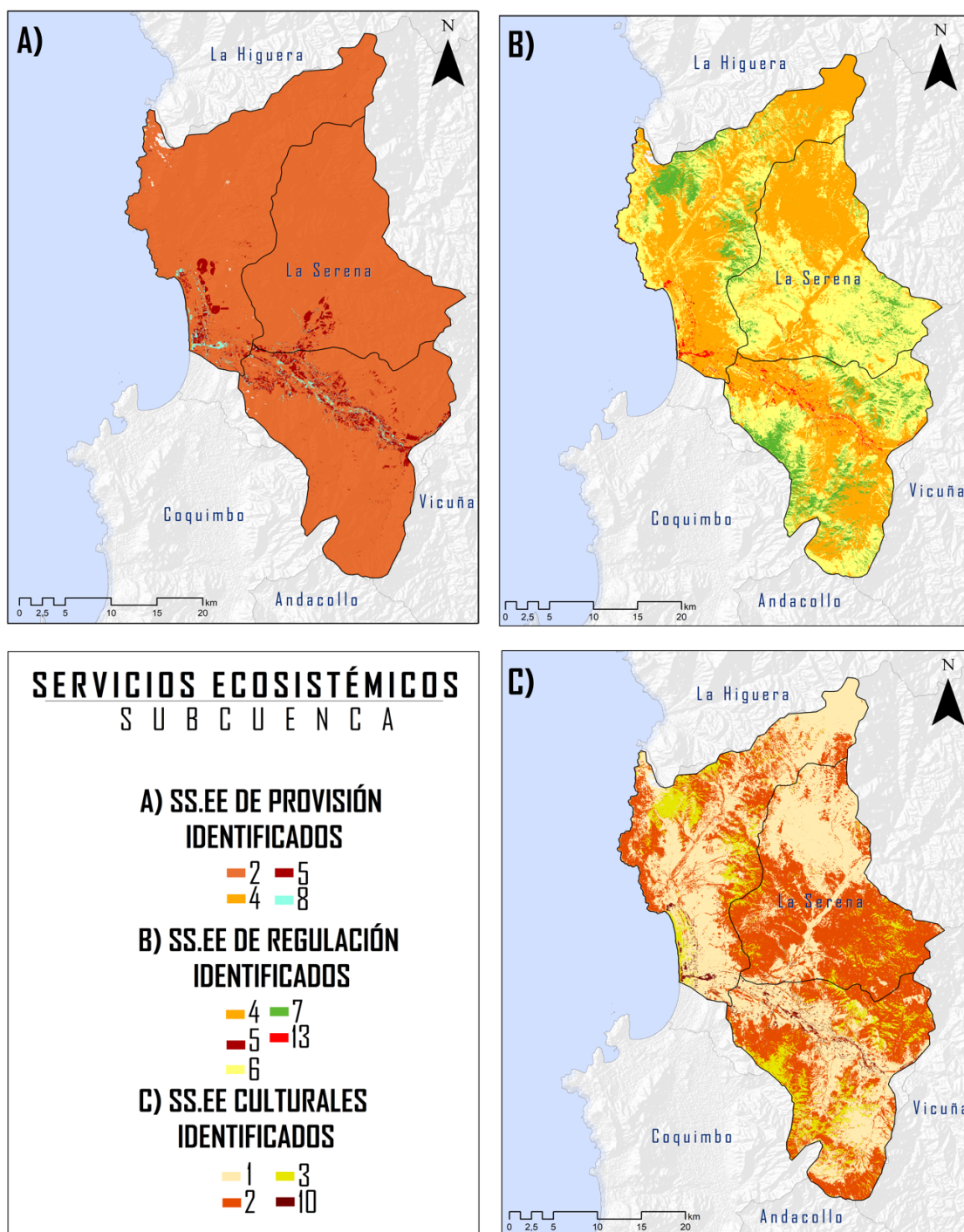
Tabla 17. Número de servicios ecosistémicos espacializados en cada uso de suelo

Usos de suelo / Sección	Nº SE provisión	Nº SE regulación y mantenimiento	Nº SE culturales
Plantación forestal	2	4	1
Bosque nativo	2	7	3
Dunas y playas	2	6	3
Cuerpos de agua	4	5	2
Urbanización	2	4	1
Matorral y praderas	2	6	2
Suelo descubierto	2	4	1
Humedal	8	13	10
Agricultura	5	4	1

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos durante el taller N°2

La representación cartográfica de la provisión potencial de SS.EE por parte del humedal y las subcuencas se resume en la figura 41.

Figura 41. Mapa de la provisión potencial de servicios ecosistémicos en el humedal y las subcuencas aportantes



Elaboración propia. Los números indican el número de servicios ecosistémicos a nivel de sección identificados en cada área abarcada por uso de suelo de las subcuencas (Quebrada Santa Gracia y Desembocadura; Quebrada Santa Gracia entre Junta Quebradas Potrerillos, San Antonio y río Elqui entre Quebrada Marquesa y Quebrada Santa Gracia) representadas en diferentes colores.

4.6. Resultados sobre las amenazas priorizadas en el área de la desembocadura

Los resultados que se exponen en este informe no solo identifican las amenazas, sino también se ha realizado una priorización de las mismas para aportar a la gestión, entendiendo que no es posible abarcar en el corto plazo, todas las amenazas.

El análisis completo de las amenazas descritas en tablas 18 a 21, se representa en la matriz del [Anexo 19](#), identificándose el factor de amenaza, la amenaza sobre el humedal, la descripción de la misma. Adicionalmente, se describe el lugar o sector donde se expresa la amenaza. Como elemento adicional hemos desarrollado una propuesta de acción(es) correctiva(s) para eliminar o reducir la amenaza, o corregir el impulsor de cambio, directo o indirecto, que ha sido descrito en el ítem 3.2.5. sobre marco conceptual y metodológico.

Amenazas prioritarias sobre el sistema hidrológico del río Elqui, es decir, aquellas que obtienen mayor puntaje (sobre 5).

4.6.1. Amenazas directas:

Tabla 18. Amenazas de carácter físico

Factor de amenaza	Amenaza	Grado de perturbación	Urgencia	Priorización de las amenazas
Obras civiles	Modificación de cauce	Alta	Alta	Alto
	Embalse	Media	Alta	Alto
Urbanización	Rellenos	Alto	Alta	Alto
	Drenajes	Alto	Alto	Alto
	Impermeabilización suelos inundables*	Alto	Alto	Alto
	Basurales y microbasurales y vertederos	Alto	Alto	Alto

*La evaluación del grupo de trabajo del CTL evaluó en grado medio. Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Amenazas de carácter químico

Factor de amenaza	Amenaza	Grado de perturbación	Urgencia	Priorización de las amenazas
Basurales	Residuos líquidos *	Alto	Alto	Alto
Descargas sanitarias	Eutrofización	Alto/medio	Alto	Alto

Minería, relaves mineros	Contaminación de agua y suelos	Alto*	Alto	Alto
---------------------------------	--------------------------------	-------	------	------

Fuente: Elaboración propia

*El grupo de trabajo del CTL consideró esta amenaza con grado medio con la siguiente consideración: “Podría ser alto si hay metales pesados”. Se informa en la matriz datos que justifican la evaluación del equipo consultor.

Tabla 20. Amenazas de carácter biológico

Factor de amenaza	Amenaza	Grado de perturbación	Urgencia	Priorización de las amenazas
Animales domésticos	Depredación y alteración de hábitat	Alto	Alto	Alto
Residuos inmobiliarios domiciliarios e industriales	Basura, residuos inertes	Medio	Alto	Alto
Alteración de hábitat	Vegetación exótica*	Alto	Medio	Alto

Fuente: Elaboración propia

*Grupo de trabajo propuso grado de perturbación “Muy Alto”. Detalle en punto 3.2 del [Anexo 9](#).

4.6.2. Amenazas indirectas:

Tabla 21. Amenazas indirectas priorizadas.

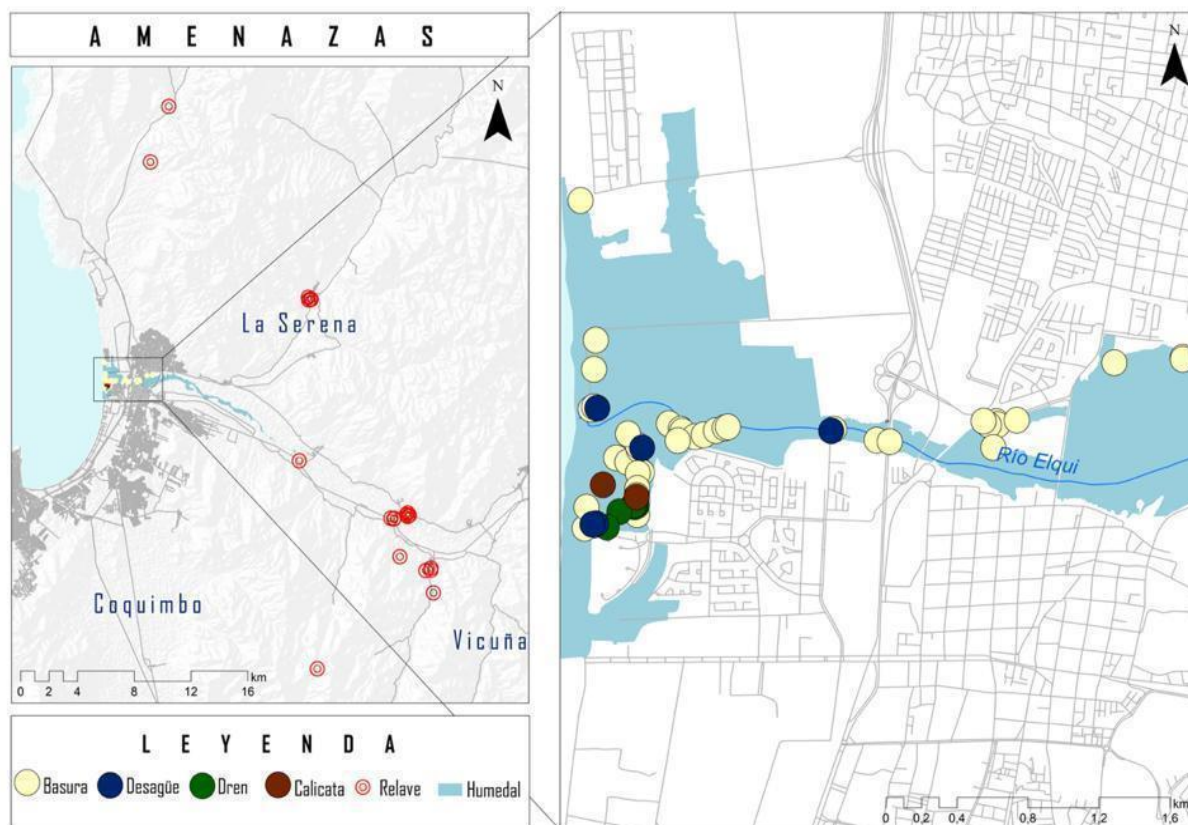
Factor de amenaza	Instrumento o acción	Amenaza	Grado de Perturbación	Urgencia	Priorización de las amenazas
Instrumentos de Política pública	Plan Regulador Comunal	Pérdida de zona de inundación.	Alto	Alto	Alto
	Falta de coherencia	Falta de protección oficial al humedal	Alto	Alto	Alto

	administrativa, de instrumentos normativos y legales.	Instrumentos de gestión ambiental que no se aplican o se omiten	Alto	Alto	Alto
Gobernanza/ actividades participativas	Mecanismos formales de gobernanza	No existe gobernanza del humedal y los recursos	Alto	Medio	Alto
	Gobernanza de recursos	Derechos privados del suelo y agua	Alto	Alto	Alto

Fuente: Elaboración propia

En el mapa de la Figura 42 se muestran las amenazas que pueden ser espacializadas a través de una cartografía. Del universo de amenazas se seleccionaron aquellas que por sus características pudieron ser georreferenciadas como: los drenajes, canalizaciones, relaves, calicatas y basurales. Todas éstas pudieron ser identificadas en un punto, lo que facilitó su espacialización. Los datos georreferenciados se entregan en el [Anexo 20](#).

Figura 42. Amenazas principales identificadas en el humedal desembocadura del río Elqui y subcuencas



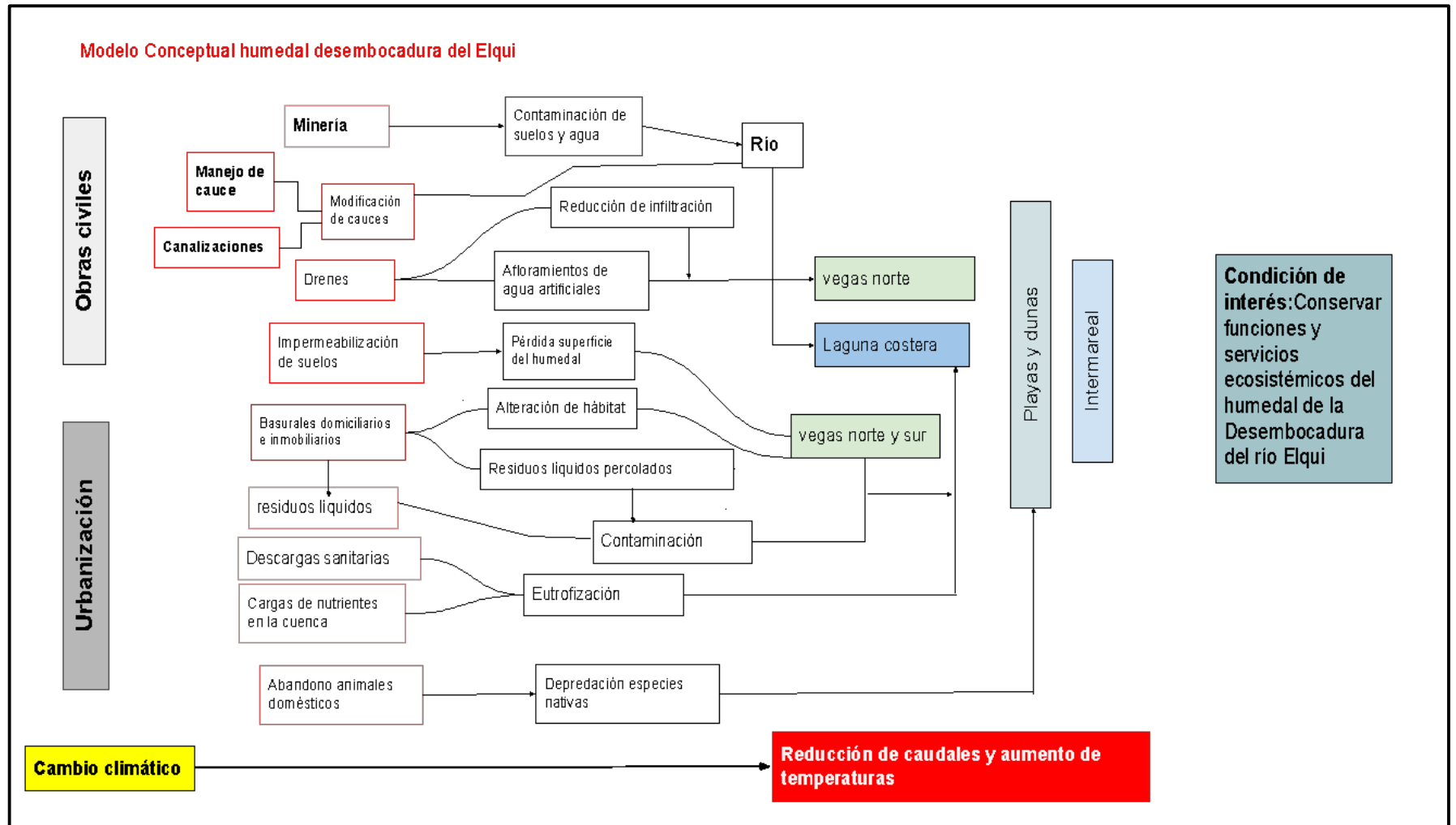
Fuente: Elaboración del equipo

Como es posible apreciar en el mapa (Figura 42), las amenazas descritas corresponden a la categoría de amenazas físicas: basurales, descargas de agua superficiales, drenajes, calicatas, relaves mineros. Esto permite visualizar el grado de perturbación del humedal y la extensión de estas amenazas, además de la sinergia que se observa en algunos casos, como en la zona sur de vegas, donde además del número de amenazas que se repiten, éstas actúan de forma sinérgica, incrementando el impacto negativo sobre el ecosistema.

Producto del proceso de análisis de amenazas y de su priorización, fue posible desarrollar un mapa conceptual preliminar del humedal, que tiene como objetivo, representar aquellas amenazas principales y la sinergia sobre el objeto de estudio, el humedal de la desembocadura del río Elqui (Figura 43).

Existe un conjunto de amenazas que pueden ser tratadas con cambios en políticas públicas, modificaciones de algunas regulaciones, en otros casos un esfuerzo de coordinación entre Servicios Públicos, haciendo costo-efectivos los recursos del Estado, permitiría llevar adelante medidas de manejo y monitoreo, actuando en coherencia con instrumentos de carácter regional, como la Estrategia de Desarrollo Regional. Las tablas detalladas en el [Anexo 19](#) presentan algunas posibles soluciones o aproximaciones para reducir o eliminar amenazas sobre el humedal del río Elqui. Estas requerirán de compromisos institucionales e individuales, políticos y sociales.

Figura 43. Modelo conceptual del humedal



Fuente: elaboración propia

4.7. Actividades desarrolladas con el Comité Técnico Local

Los talleres y las encuestas diseñadas para trabajar con los actores clave cumplen propósitos diversos, uno de los más relevantes a nuestro juicio, es el diseño de procesos que respeten y otorguen valoración a los anteriores y por otra aporte que permitan sentar las bases de la buena gobernanza, concepto ampliamente desarrollado en la literatura desde la sociología, economía y geografía (Ostrom 2002; Mayntz 1998; Baker 2011; Glücker et al., 2019). Esto cobra relevancia especialmente en sistemas socioecológicos, que necesitan construir procesos para acordar formas de usar el territorio y sus recursos, y evitar un colapso de los sistemas naturales antes de llegar a umbrales peligrosos para los procesos ambientales y sociales.

En el marco de la estrategia de levantamiento de información relacionado a la delimitación ecológica del humedal, la identificación de amenazas, servicios ecosistémicos y desarrollo del mapa de actores clave (incluidos y no incluidos en el CTL) se diseñaron talleres que permitieran la mayor participación posible, así como herramientas complementarias, como las encuestas, que fueron aplicadas para conocer la percepción sobre amenazas y servicios ecosistémicos, y una específica para conocer la opinión sobre criterios seleccionados para las áreas de alto valor de biodiversidad. El detalle de los talleres, las encuestas y resultados se presentan en el [Anexo 9](#).

5. DISCUSIÓN

El humedal costero y área fluvial del río Elqui, inserto en el casco urbano, debe ser considerado como un espacio de protección, de adaptación y mitigación ante los efectos adversos del cambio climático. Un desafío prioritario es acoger por parte de todos los actores involucrados en la gestión, manejo y fiscalización del territorio y recursos, los límites propuestos en este estudio, ya que gran parte de la superficie total delimitada con 568,1 hectáreas, está en riesgo de desaparecer bajo amenazas múltiples.

Este estudio confirma que el humedal está sometido a múltiples factores de amenaza que producen cambios importantes en el sistema, lo que tiene un efecto directo sobre la biodiversidad, el funcionamiento del ecosistema y su capacidad para proveer SS.EE. El manejo de caudales superficiales y subterráneos está poniendo en riesgo el sistema hidrológico del río Elqui y a los humedales integrados a la cuenca hidrográfica, especialmente el humedal costero, desembocadura del río y sistema de vegas, que está sometido a múltiples amenazas como queda reflejado en los resultados. Esto cobra mayor relevancia si consideramos que la región de Coquimbo experimenta una reducción de precipitaciones desde hace años, 15 comunas han sido declaradas con escasez hídrica (MMA, 2020b) y que afecta 40.635 Km², por lo que las superficies de agua y vegetación adaptada es más importante que nunca.

Uno de los problemas más recurrentes en el área del humedal son los basurales, esto es grave para la ciudad de La Serena y para quienes habitan en o en los límites de los basurales y rellenos. Las alternativas para el manejo de la basura existen actualmente, no hay limitantes tecnológicas ni de oferentes privados en la industria.

A la luz de los resultados, nos parece que ninguna acción de conservación será exitosa, sin antes resolver el tipo de expansión urbana que necesita y debe tener la ciudad de La Serena, desde una perspectiva de largo plazo. Una acción concertada entre las autoridades regionales y dueños de predios que limitan con río Elqui, es determinante para un proceso transformador que permita

detener y revertir la actual condición de los humedales de la zona urbana de La Serena. Asimismo, es vital conservar la superficie de vegetación nativa remanente de las subcuencas y área del humedal. Una oportunidad ineludible en un contexto de crisis climática y aumento de la población.

Proponemos revertir la situación actual para que los sistemas naturales puedan ser integrados armónicamente al desarrollo, y que los sistemas socio-ecológicos sean una forma saludable de enfrentar un contexto climático y social incierto.

6. CONCLUSIONES

Los usos del suelo, tanto a nivel de subcuencas, como en el área del humedal estudiado, reflejan un desarrollo urbano extensivo, rellenos y viviendas han ocupado superficie de humedales a lo largo del río y en la zona costera. La vegetación nativa remanente ha quedado relegada en las quebradas en los márgenes de las subcuencas, siendo el uso agrícola el de mayor superficie. La existencia de un espejo de agua costero, con un sistema de vegas, requiere medidas de conservación urgentes en todo el sistema del humedal (costero y fluvial).

En relación a los límites ecológicos del área de estudio, que se extendió más allá de la desembocadura del río Elqui, considera vegetación ripariana, palustre, vegas, laguna costera y cursos de agua permanentes y sistemas inundables temporales, cubriendo una superficie total de 568, 1 hectáreas, superficie que de acuerdo con los resultados está en riesgo de desaparecer bajo amenazas múltiples. Estos límites espaciales fueron corroborados en terreno, especialmente en lo que a la dinámica hidrológica se refiere, componente determinante para describir y clasificar los humedales.

En este contexto, hemos confirmado que en la zona costera del humedal, el comportamiento hidrogeológico está influenciado por varias descargas de agua dulce (conductividad $\leq 2000 \mu\text{S}/\text{cm}$) provenientes de la red de agua potable o de la red de aguas pluviales o de agua residual tratada, infiltración y descargas desde piscinas, canales, etc. En cambio, en la zona de vegas norte, las extracciones de agua subterránea para uso agrícola son superiores a las descargas (retorno de riego, canales). Esto tiene un efecto directo sobre la disponibilidad hídrica, comprometiendo el funcionamiento del ecosistema y su capacidad para proveer servicios ecosistémicos y la capacidad del sistema para recuperarse de perturbaciones como marejadas, tsunamis o anegamientos.

El aporte hídrico principal a la laguna costera proviene del acuífero costero al norte del río Elqui (vega norte), de la descarga de un canal de riego en la desembocadura en la ribera norte y de las descargas de agua en la zona sur, complementado por el flujo superficial del río Elqui en períodos de aumento del caudal por precipitación y deshielo en la cuenca.

Estos aportes subterráneos y superficiales, y la ausencia de agua de mar en la laguna costera (intrusión marina) explican la condición oligohalina homogénea del agua de la laguna en la desembocadura del río Elqui. La hidrodinámica del sistema está influenciada por el caudal de la laguna costera, más que marina.

El nivel de la laguna costera es más alto que el nivel del mar, incluso con coeficiente de marea muy alto, por lo que el mar no entra en la desembocadura. Se desconoce si, durante marejadas excepcionales, se logra que el agua de mar entre en la laguna.

La presencia de juncos en las riberas de la laguna costera estaría jugando un rol en la retención de metales y probablemente de sales.

Sobre los límites jurídicos de dominio público y privado en el área de estudio, estos se superponen parcialmente a los límites ecológicos, creando una disputa permanente entre lo jurídico y ecológico, ya que la planificación del territorio no ha considerado la dinámica hidrológica del sistema fluvial del río Elqui, en especial en la zona urbana.

Hemos constatado, en función de la información existente, que los predios privados de la ribera norte del río Elqui no limitan con el río, ya que existe un predio de bien de uso público colindante con el cauce del río en la desembocadura (laguna costera). En cambio, en el sector sur los propietarios privados colindan con el cauce del río y la laguna costera (ver Figura 35). Recordemos que, tratándose de un Bien Nacional de Uso Público y, en virtud del artículo 5° de la Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades N° 18.695, corresponde a las municipalidades la administración de dicho bien, en este caso, a la Ilustre Municipalidad de La Serena.

La diversidad de especies está representada por un 54,95% de especies animales y un 45,05% de plantas vasculares, del total. Las áreas de alto valor para la biodiversidad han quedado descrita en función de la diversidad de especies prioritarias (singulares, susceptibles y amenazadas), la sección de la laguna costera y vegas y la de dunas y playa serían los sitios prioritarios. Adicionalmente, hemos realizado un análisis complementario que permite evaluar hábitat, solo considerando la presencia de especies endémicas y nativas, donde el continuo fluvial (en los límites estudiados para el componente de biodiversidad) es determinante para las especies acuáticas, tanto del humedal costero como del sistema fluvial. Las zonas de mayor riqueza de especies se encuentran en forma longitudinal al humedal del río Elqui (Vegetación acuática, riparia y costera), por lo que proteger el sistema-humedal (fluvial, laguna costera, desembocadura) y su biodiversidad, asegurará la funcionalidad ecológica y la provisión de diversos servicios ecosistémicos.

Respecto de los servicios ecosistémicos del humedal, tanto en su zona costera como fluvial, en general, hay poco conocimiento, pero la percepción de los integrantes del CTL permite confirmar que el humedal es un sistema muy valorado para el bienestar de las personas. Sin embargo, es necesario realizar estudios específicos para determinar efectos por pérdida de cubierta vegetal y cambio de uso de suelo. El sistema fluvial del río Elqui, favorece a toda la comunidad de la ciudad de La Serena, incluidas las actividades que se desarrollan de cabecera hasta la desembocadura. Para el caso particular de la Región de Coquimbo, se han reportado menos de 10 estudios en el tema (Cienciambiental, 2014), mientras que la mayor parte de estos se concentran en ecosistemas terrestres existiendo una carencia de trabajos para ecosistemas acuáticos. En el caso del río Elqui y el humedal de desembocadura, los servicios ecosistémicos valorados permiten tener una aproximación de cómo la provisión y demanda de servicios ecosistémicos podría estar espacialmente distribuida, sin embargo, es necesario poder contar con estudios que proporcionen información sobre los procesos y funciones ecológicas del sistema y que son fundamentales para la provisión de los servicios.

7. RECOMENDACIONES

Algunas recomendaciones generales para iniciar la conservación del sistema fluvial y humedal costero (que incluye la desembocadura) del río Elqui y subcuencas aportantes, inmediatas y que no implican costos son:

1. Declarar el humedal fluvial del río Elqui y el humedal de la desembocadura (o humedal costero), incluidas las zonas de vegas, dunas y playa, como humedal urbano bajo la Ley 21.2002.

2. Incorporar la delimitación del humedal en el plan regulador comunal como una ZVN, es decir, una zona de valor natural.

Una medida que integre los resultados y permita la planificación e implementación integrada y de manera robusta, dice relación con:

Diseñar un Plan de manejo de conservación para el área del humedal de la desembocadura del río Elqui, las amenazas identificadas para consolidar un proceso de cambio, a través de la planificación de la conservación, a través del manejo adaptativo, metodologías ampliamente usadas. Considerar:

- Objetivo de manejo o condición deseada para establecer medidas de verificación de avances.
- Recuperación de componentes más afectados, mediante acciones pasivas o activas.
- Considerar medidas de carácter físicas (restitución de caudales, eliminar caminos, cercar), biológicas (pruebas de reforestación, revegetación, manejo de EEI), infraestructura híbrida o verde.

Finalmente sugerimos un conjunto de medidas o acciones (tabla 22) en los distintos componentes estudiados en esta consultoría, sin embargo, muchas de éstas deben ser analizadas en conjunto, se propone abordarlas en el marco de un plan de manejo.

Tabla 22. Síntesis de recomendaciones

Amenazas	Hidrología	Biodiversidad y Servicios ecosistémicos	Delimitación
Se sugiere manejar las amenazas de orden físico en primera instancia para ayudar a la recuperación del humedal. Revertir muros de contención, descargas superficiales en el humedal y canalización del río. Para mejorar la absorción e infiltración del agua, a la vez que proporcionan posibles co-beneficios, considerar aportes subterráneos tanto en vegas como en lagunas. La calidad del agua debe ser monitoreada en tiempo real. El plan de manejo de cauce que llevará adelante la Dirección de Obras Hidráulicas debe ser revisado en conjunto para minimizar los impactos negativos incrementales que se generarán en la ecohidrología del sistema Elqui, así como evaluar posibles soluciones basadas en la naturaleza. De las amenazas más visibles en gran parte de la superficie del humedal, rellenos y basurales, es preciso considerar la propuesta “Hoja de Ruta RCD y Economía Circular en	Modificar descargas y drenes. Integrar mecanismos innovadores para tratar el agua urbana. Modificando las descargas de la planta de tratamiento de aguas servidas, así como las descargas al humedal. Una alternativa es utilizar sistemas verdes e híbrido (ver figura 44). Centros de Investigación y universidades, podrían consolidar líneas de trabajo o actividades que apunten a reducir los vacíos de información existentes, de manera sistemática y simplificada. Se sugiere mantener al menos una vez al año monitoreo calidad de aguas de descarga sobre lagunas y vegas. Estandarizar protocolo de monitoreo de características fisicoquímicas	Estandarizar los protocolos de monitoreo para todas las consultorías del MMA, las que deben contener bases de datos armonizadas para el Sistema de Información Biodiversidad del MMA, así como para la plataforma de seguimiento de humedales del Inventario del MMA. Concentrar esfuerzos de monitoreo de especies clave en el funcionamiento del humedal y con vacíos de información (vegetación acuática, peces, macroinvertebrados). Mantener y perfeccionar monitoreo de trofía del MMA. Estudiar la diversidad funcional de las especies que habitan el humedal puede permitir determinar el desempeño o relación de los organismos con los	Establecer administración del área de uso público por parte de la Municipalidad y co-gestión con entidad científica o académica. Mantener evaluación de límites ecológicos, a través del seguimiento de áreas descritas en esta consultoría. Se sugiere iniciar una gobernanza con todos los dueños de lotes ribereños en el área de quebradas Santa Gracia, Marquesa y río Elqui entre Las Rojas y puente Fiscal¹⁷, con dos objetivos, mantener y mejorar riberas del cauce, evaluar caudales al río

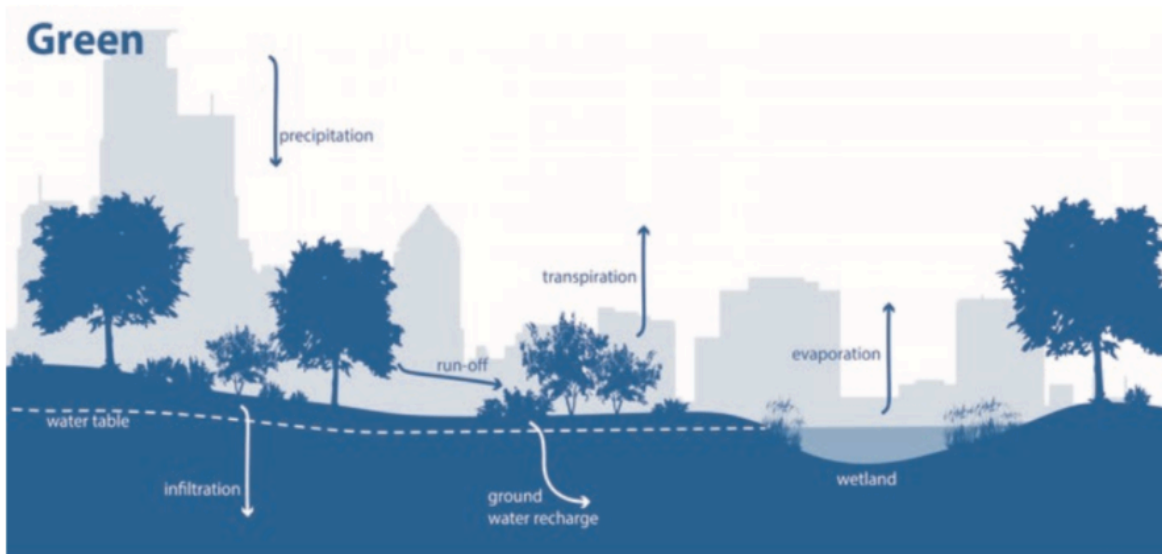
¹⁷ Antecedentes en estudio de la DOH, Capítulo sobre participación Ciudadana, que señala que “los lotes o predios ribereños de los cauces naturales suman un total de 583, de los cuales, el río Elqui tiene 457; [...] Marquesa y Santa Gracia, con 19 y 16 predios cada una [...] (DOH 2019, P.22.).

Construcción”¹⁵, cuya urgencia se plasme como sigue <i>“Chile contará con una guía para cambiar el paradigma de extraer – usar – tirar, dominante en el sector construcción, y mejorar la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD), avanzando en el reciclaje, productividad, eficiencia en el uso de recursos y generando beneficios para el medio ambiente y sus ecosistemas” (MMA, 19 de Agosto de 2020)</i>¹⁶. Se sugiere una ordenanza, fiscalizadores ad honorem y cierre perimetral del humedal, al menos en sus límites costero, que incluye laguna y vegas. Utilizar medios de educación para toda la comunidad, sensibilizar a los dueños de animales domésticos que pasean con sus mascotas y a los grupos animalistas para revertir la actual situación, de manera organizada y permanente.	básicas para el humedal (en base a MMA 2010).	procesos ecosistémicos, la influencia en la estabilidad del ecosistema o la relación con condiciones ambientales, etc. Se sugiere realizar estudios de sedimentos en laguna y vegas, con el objeto de establecer dinámicas de cambio de la vegetación en el tiempo, potenciales cambios en la sedimentación, contaminantes, presencia de microorganismos, entre otros. Conocer el contenido de agua y carbono, para definir los servicios ecosistémicos en relación a captura de carbono y agua. Consideramos importante tener a la vista que un proceso de evaluación de SS.EE requiere de un marco conceptual integrador en el que se puedan apreciar los diferentes dominios de valor asociados a tal evaluación (biofísico, cultural, económico).	
---	--	---	--

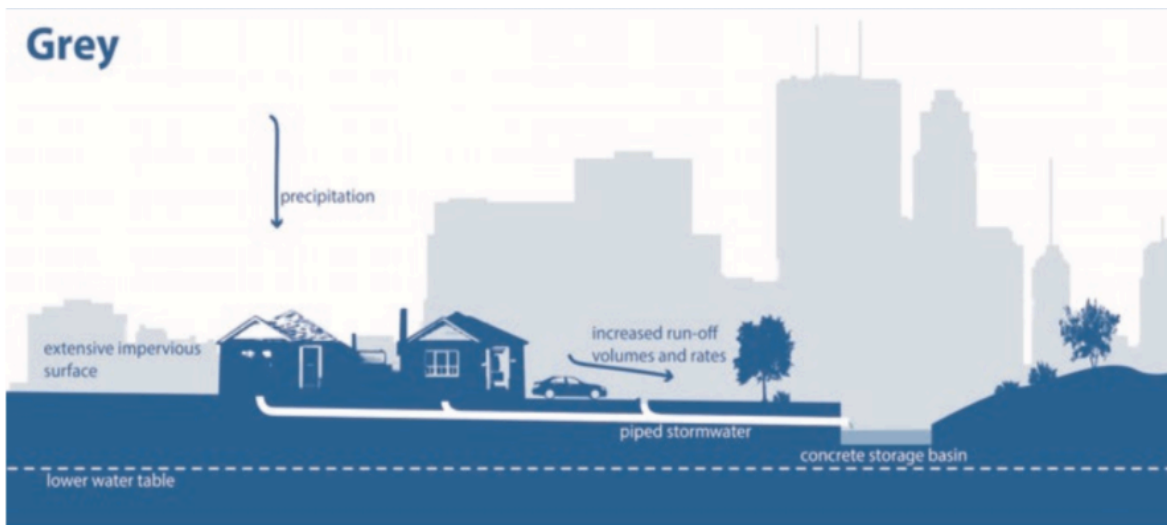
¹⁵ Disponible en: <https://economiacircular.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/12/Propuesta-Hoja-de-Ruta-Nacional-a-la-Economia-Circular-para-un-Chile-sin-Basura-2020-2040.pdf>

¹⁶ <https://mma.gob.cl/chile-lanza-una-hoja-de-ruta-para-avanzar-hacia-una-economia-circular-en-la-construccion/>

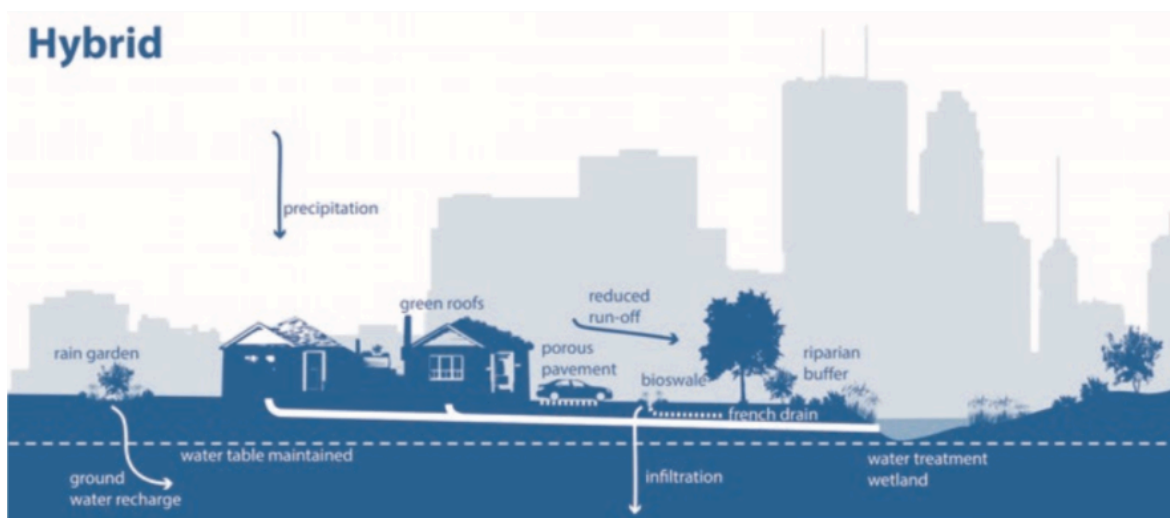
Figura 44. Diferentes mecanismos para tratar el agua urbana. Verde (a), Gris (b) e Híbrido (c)
Fuente: Tomado de Pauleit et al. 2017. Capítulo 6. Depietri and McPhearson. Integrating the Grey, Green, and Blue in Cities: Nature-Based Solutions for Climate Change Adaptation and Risk Reduction.



a) Sistemas verdes o naturales que permiten que en eventos de precipitaciones ocurran los procesos de infiltración, recarga subterránea, la escorrentía superficial y finalmente recarga al humedal.



b) La ciudad no contempla sistemas de recarga natural, no existe recarga subterránea, el humedal recibe descargas domiciliarias superficiales, y se incrementan los volúmenes de escorrentía, lo anterior asociado a eventos de precipitaciones inusuales y desastres



- c) Los enfoques híbridos combinan enfoques grises y verdes para maximizar la absorción e infiltración del agua y limitar los costes de la infraestructura verde (cuando ésta ha sido eliminada, ya que siempre la infraestructura verde será más costo -efectiva), a la vez que proporcionan posibles co-beneficios.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allan, D. & Castillo, M. (2007) Stream Ecology. Structure and Function of running waters. The Netherlands. Springer
- Arroyo MTK, Marquet PA, Marticorena C, Simonetti JA, Caviaras LA, Squeo FA, Rozzi R, Massardo F. 2006. El hotspot chileno, prioridad mundial para la conservación. In: Saball P, editor. Biodiversidad de Chile: patrimonio y desafío. Santiago (Chile): Comisión Nacional del Medio Ambiente. p. 94–99.
- AvesChile. (2020). Aves de Chile. Fuente: <https://www.avesdechile.cl/>. Consultado el 11/11/2020.
- Balvanera, P., Cotler, H. 2007. Acercamiento al estudio de los servicios ecosistémicos. Gaceta Ecológica 84-85: 8-15.
- Balvanera, P., Uriarte, M., Almeida-Leñero, L. , Altesor, A., De Clerck, F., Gardner, T., Hall, J., Lara, A., Laterra, P., Peña-Caros, M., Silva Matos, D.M., Vogl, A.L., Romero-Duque, L.P., Arreola, L.F., Caro-Borrero, A.P., Gallego, F., Jain, M., Little, C., Xavier, R.O., Paruelo, J.M., Peinado, J.E., Poorter, L., Ascarrunz, N., Correa, F., Cunha-Santino, M.B., Henández-Sánchez, A.P., Vallejos, M. (2012). Ecosystem services research in Latin America: The state of the art. Ecosystem Services 2: 56-70.
- BirdLife International. (2020). Data Zone. Fuente: <http://datazone.birdlife.org/home>. Consultado el 11/11/2020.
- Baker, S. (2011). Environmental governance. In Castree, N. Nature-Part I. In *The Wiley-Blackwell Companion to Human Geography* (pp. 179–183).

- BID, Gobierno Regional y las Municipalidades de La Serena y Coquimbo (2017). "Plan de acción La Serena-Coquimbo. El potencial de un área metropolitana integrada y sostenible".
- Boyd, J. & Banzhaf, S. (2007). What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units, *Ecological Economics*, Volume 63.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning* 45, 5-32.
- Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F. & Windhorst, W. 2009. Landscapes' capacities to provide Ecosystem Services - a Concept for Land-Cover based assessments.
- Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S., & Müller, F. 2012. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators* 21: 17-29.
- CEAZA Centro de Estudios Avanzados en Zonas Aridas (2011). Linea de base macrofauna bentónica y propuesta de seguimiento ambiental con bioindicadores de calidad de agua en la cuenca del río elqui, Región de Coquimbo. Ministerio de Medio Ambiente, Región de Coquimbo.
- CEAZA Centro de Estudios Avanzados en Zonas Aridas (2016). Biodiversidad de aves en humedales costeros urbanos y rurales de la región de Coquimbo.
- Ceballos, G., E. Díaz P., H. Espinosa, O. Flores V., A. García, L. Martínez, E. Martínez M., A. Navarro, L. Ochoa, I. Salazar y G. Santos B. (2009). Zonas críticas y de alto riesgo para la conservación de la biodiversidad de México. In: Sarukhán, J. (coord.). Capital natural de México vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, D.F., México. pp. 575-600.
- Cerda, C. y Tironi, A. (2017). La evaluación no monetaria de los servicios ecosistémicos: perspectiva para la gestión sostenible del territorio. *Revista Luna Azul*, 45, 329-352.
- Chan, K.M.A. Guerry, A. D., Balvanera P., Klain, S., et al. (2012): Where are Cultural and Social in Ecosystem Services? A Framework for Constructive Engagement. *BioScience* 62(8): 744-756.
- Chapin, F.S. (2009). Managing ecosystems sustainably: the key role of resilience. In: F.S. Chapin, G.P. Kofinas & C. Folke (eds). *Principles of Ecosystem Stewardship*, Springer, New York. pp. 29-53.
- Chávez González, H., & González Guillén, M. D. J. 2014. Metodologías para identificar áreas prioritarias para conservación de ecosistemas naturales. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(27), 8-23.
- Cienciamienta Consultores (2014). Recopilación y sistematización de información relativos a estudios de evaluación, mapeo y valorización de servicios ecosistémicos en Chile. Consultoría para el Ministerio del Medio Ambiente.
- Cienciamienta Consultores (2018). Identificación de Ecosistemas Continentales y los Servicios Ecosistémicos que estos proveen. Consultoría para el Ministerio del Medio Ambiente.

- CMS. 2021. Convención sobre la conservación de las especies migratorias de animales silvestres: Especies. Disponible: https://www.cms.int/es/species?field_species_class_tid=1311de
- Mösbach, E. W. 1992. Botánica indígena de Chile. Museo Chileno de Arte Precolombino. Editorial Andrés Bello. Santiago, Chile. 138 pp.
- CONAMA 2006. Protección y Manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica: Criterios para la clasificación y manejo de humedales. CONAMA - Centro de Ecología Aplicada.
- Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) (2006). Protección y manejo de humedales integrados a la cuenca hidrográfica. Gobierno de Chile.
- Couve, E., Vidal, C. F., & Ruiz, J. (2016). Aves de Chile, sus islas oceánicas y península antártica. FS Editorial, Punta Arenas.
- Crossman, N.V., Burkhard, B., Nedkov, S., Willemen, L., Petz, K., Palomo, I., Drakou, E.G., Martín-López, B., McPhearson, T., Boyanova, K., Alkemade, R., Egoh, B., Dunbar, M.B., Maes, J. (2013). A blue print for mapping and modeling ecosystem services. *Ecosystem Services* 4:4-14.
- Czúcz, B. & Arany, I. (2016): Indicators for ecosystem services. In: Potschin, M. and K. Jax (eds): *OpenNESS Ecosystem Services Reference Book*. EC FP7 Grant Agreement no. 308428. Available via: www.opennessproject.eu/library/reference-book
- Dalrymple, R. W., Zaitlin, B. A., & Boyd, R. (1992). Estuarine facies models; conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Research*, 62(6), 1130-1146.
- DGA. (2003). Evaluación De Los Recursos Hídricos Subterráneos De La Cuenca Del Río Elqui IVª Región. S.D.T. Nº 161. DGA - MOP.
- DGA-Universidad de Chile (2010). Análisis metodológico para determinar caudales de dilución en zonas estuarinas. Ministerio de Obras Públicas. Santiago de Chile.
- DGA (2012). Actualización Catastro De Usuarios De Agua, Entre El Sector Ubicado Aguas Abajo Del Embalse Puclaro Y La Desembocadura Del Río Elqui. Informe Final. SIT Nº 311. MOP. Diciembre 2012
- Dodds, W.K. & M.R. Whiles. 2020. *Freshwater Ecology: Concepts and Environmental Applications of Limnology*. Third edition. Academic Press. 979 pp.
- DOH Dirección de Obras Hidráulicas - Arrau Ingeniería SpA (2019). Estudio de Vulnerabilidad y Definición de un Plan de Manejo de Cauces para Cuenca Río Elqui-Región de Coquimbo
- eBird. (2020). Explorador de especies. Cornell Lab of Ornithology. Universidad de Cornell. USA. Fuente: <https://ebird.org/explore>. Consultado el 11/11/2020.
- EDGE. 2020. Evolutionarily Distinct and Globally Endangered (EDGE) species. Fuente: <https://www.edgeofexistence.org/what-is-edge/>. (Accedido el 23/12/2020)

- Fairbridge, R. W., & RW, F. (1980). The estuary: its definition and geodynamic cycle.
- Feinsinger, P. 2004. El diseño de estudios de campo para la conservación de la biodiversidad. Editorial FAN, Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN), Santa Cruz, Bolivia. 242 pp.
- Feinsinger, P. 2013. Metodologías de investigación en ecología aplicada y básica: ¿cuál estoy siguiendo, y por qué? *Revista chilena de historia natural*, 86(4), 385-402.
- Feinsinger, P. & I. Ventosa Rodríguez. 2014. Suplemento decenal al texto: El diseño de estudios de campo para la conservación de la biodiversidad. Editorial FAN, Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN), Santa Cruz, Bolivia. 186 pp.
- Figueroa, R., Palma, A., Ruiz, V.H. & Niell, X. (2007) Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: río Chillán, VIII Región. *Revista Chilena de Historia Natural* 80 (2):225-242.
- Figueroa, R., Suarez, Andreu, M.A., Ruiz, A., Víctor H, & Vidal-Abarca, M.R. (2009). Caracterización ecológica de humedales de la zona semiárida en Chile central. *Gayana(Concepción)*, 73(1),76-94. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-65382009000100011>
- Figueroa et al. (2018). Wetlands of Chile: Biodiversity, Endemism and Conservation Challenges. In C. M. Finlayson et al. (eds.), *The Wetland Book* (Ed.), *The Wetland Book* (pp. 824–836). https://doi.org/10.1007/978-94-007-6173-5_247-2
- Fu, B., Chang-Hong, Su., Yongping, W., Willett, I., Yi-He, L & Guo-hua, L. (2011). Double counting in ecosystem services valuation: Causes and countermeasures. *Ecological Research*. 26. 1-14. [10.1007/s11284-010-0766-3](https://doi.org/10.1007/s11284-010-0766-3).
- Global Biodiversity Information Facility (GBIF). URL: <https://www.gbif.org/es/> (consultado en 11 de noviembre de 2020)
- Glückler, J., Rehner, J., & Handke, M. (2019). Gobernanza, redes y territorio. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2019(74), 5–20. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022019000300005>
- Goulder LH & Kennedy D. (2011). Interpreting and estimating the value of ecosystem services. En: Kareiva P, Tallis H, Ricketts TH, Daily G, Polasky S, editors. *Natural Capital—Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services*. New York: Oxford University Press: 15-33.
- Grimm N, Cook EM, Hale RL, Iwaniec DM. (2016) A broader framing of ecosystem services in cities: benefits and challenges of built, natural, or hybrid system function. In: Seto KC-Y, Solecki W, Griffith C (eds) *The Routledge handbook of urbanization and global environmental change*, 1st edn. Routledge/Taylor & Francis Group, New York
- Haines-Young, R.H., Potschin, M., 2012. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, August-December 2012. EEA Framework Contract No. (15) (PDF) More than wine - cultural ecosystem services in vineyard landscapes.
- Haines-Young, R.H. & Potschin. M.P. (2018): Common International Classification of Ecosystem

Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure. Available from www.cices.eu.

- Hernández, H.J., Galleguillos, M & Estades, C. 2016. Mapa de Cobertura de Suelos de Chile 2014: Descripción del Producto. Laboratorio GEP, Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile.
- Herzog S.K., R.S. Terrill, A.E. Jahn, J.V. Remsen, Jr., O. Maillard Z., V.H. Garcia-Soliz, R. MacLeod, A. Maccormick & J.Q. Vidoz. (2019). Aves de Bolivia, Guía de Campo. Armonía. Conservación de Aves en Bolivia. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 501 p.
- Herzog, S. K., & Tofte, C. C. (2017). Aves de Bolivia: Guía de campo / Sebastian K. Herzog ... [et al.] ; ilustrado por Carl Christian Tofte ... [et al.] (1a. ed. --). Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: Asociación Armonía.
- Holling, C. S. (1973). Resilience and Stability of Ecological Systems. *Source: Annual Review of Ecology and Systematics*, 4(1973), 1–23.
- Holmgren, M., Stapp, P., Dickman, C. R., Gracia, C., Graham, S., Gutiérrez, J. R., Hice, C., Jaksic, F., Kelt, D. A., Letnic, M., Lima, M., López, B. C., Meserve, P. L., Milstead, W. B., Polis, G. A., Previtali, M. A., Richter, M., Sabaté, S., & Squeo, F. A. (2006). Extreme climatic events shape arid and semiarid ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(2), 87–95. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2006\)004\[0087:ECESAA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2006)004[0087:ECESAA]2.0.CO;2)
- Iriarte-Walton, A. (2008). Mamíferos de Chile. Barcelona, España: Lynx Edicions. Jaramillo, Á. (2005). Aves de Chile: incluye la península Antártica, las Islas Malvinas y Georgia del Sur. Lynx Edicions.
- Iniesta-Arandia I, García-Llorente M, Aguilera PA, Montes C, Martín-López B. (2014). Socio-cultural valuation of ecosystem services: uncovering the links between values, drivers of change, and human well-being. *Ecol Econ*.108: 36–48.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (Inrena). 2008. Caja de herramientas para la gestión de áreas de conservación. Fascículo 2: ¿Cómo seleccionar áreas para conservación? Lima, Perú. 101 p.
- IPBES. (2019). El Informe de la Evaluación Mundial sobre la Diversidad Biológica y los Servicios de los Ecosistemas, Resumen para los Encargados de la Formulación de Políticas.
- Jaramillo, A., Burke, P., & Beadle, D. 2005. Aves de Chile. *Lynx Ediciones, Barcelona*.
- Kelemen, E.; García-Llorente, M.; Pataki, G.; Martín-López, B. and E. Gómez-Baggethun. (2016). Non-monetary techniques for the valuation of ecosystem service. In: Potschin, M. and K. Jax (eds): OpenNESS Ecosystem Services Reference Book. EC FP7 Grant Agreement no. 308428.
- Kloppmann W., Bourhane, A., Asfirane, F. (2011). Méthodologie de diagnostic de l'origine de la salinité des masses d'eau. Emploi des outils géochimiques, isotopiques et géophysiques. BRGM, Orléan, France.

- Liu, J., Dietz, T., Carpenter, S. R., Alberti, M., Folke, C., Moran, E., Pell, A. N., Deadman, P., Kratz, T., Lubchenco, J., Ostrom, E., Ouyang, Z., Provencher, W., Redman, C. L., Schneider, S. H., & Taylor, W. W. (2007). Complexity of coupled human and natural systems. *Science*, 317(5844), 1513–1516. <https://doi.org/10.1126/science.1144004>
- Luebert, F. y Pliscoff, P. (2017). Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Santiago, Chile: Editorial Universitaria.
- Luna, D. (2005). Los humedales no pueden esperar. Manual para el uso racional del sistema de humedales costeros de Coquimbo. Corporación Ambientes Acuáticos de Chile (CAACH).
- Marticorena, C.; Squeo, F.; Arancio, G. y Muñoz, M. (2001). Catálogo de la flora vascular de la IV Región de Coquimbo. En Squeo, F.; Arancio, G. y Gutiérrez, J. (eds.). Libro rojo de la flora nativa y de los sitios prioritarios para su conservación: IV Región de Coquimbo (pp. 105-42). La Serena, Chile: Editorial Universidad de La Serena.
- Martín-López, B. & Montes, C. (2012). Biodiversidad y servicios de los ecosistemas. En: Biodiversidad en España: base de la sostenibilidad ante el cambio global. España. Observatorio de la Sostenibilidad en España. pp. 444- 4665
- Martín-López B, Iniesta-Arandia I, García-Llorente M, Palomo I, Casado-Arzuaga I, Amo DGD, et al. (2012) Uncovering Ecosystem Service Bundles through Social Preferences. *PLoS ONE* 7(6): e38970. doi:10.1371/journal.pone.0038970.
- Martín-López B, González JA, Vilardy S. (2012). Ciencias de la sostenibilidad: guía docente. Universidad del Magdalena. McDaniels TL, Roessler TL. (1998). Multi
- Martinez-Piña D. (2020). Aves continentales del norte de Chile. Guía de bolsillo. Segunda Edición. Ed. Ediciones del Naturalista.
- Mayntz, R. (1998). New Challenges to governance theory. European University Institute. Italy
- MEA. Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005). Los Ecosistemas y el Bienestar Humano: Humedales y Agua. Informe de Síntesis. World Resources Institute, Washington, DC.
- MMA, Ministerio del Medio Ambiente (2011). Diagnóstico y propuesta para la conservación y uso sustentable de los humedales lacustres y urbanos principales de la región del Biobío. Propuesta Metodológica para el Manejo y Gestión para Humedales de la Región del Biobío. Universidad de Concepción-Centro EULA.
- MMA, Ministerio del Medio Ambiente, Fondo WFF Ramsar (2010). Aplicación piloto del estudio “Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica”: humedales costeros. Fondos de Humedales para el Futuro de la Secretaría Ramsar, Proyecto WFF/07/CHI/1.
- MMA, Ministerio de Medio Ambiente (MMA)- Centro Ecología Aplicada (CEA). (2011). Diseño del

- inventario nacional de humedales y el seguimiento ambiental. Ministerio de Medio Ambiente. Santiago. Chile. 164 p.
- MMA Ministerio de Medio Ambiente (2013). Conservación de sistemas acuáticos continentales y su biodiversidad, implementación de metodologías y desarrollo de herramientas para la planificación, evaluación y priorización de ecosistemas. Elaborado por Centro de Ecología Aplicada (CEA).
- MMA Ministerio de Medio Ambiente - Ecoterra (2016). A través del trueque científico fortalezcamos los vínculos y promuevamos el cuidado del medio ambiente. Fondo de Protección Ambiental, Ministerio del Medio Ambiente.
- MMA Ministerio del Medio Ambiente (2017). Red de Monitoreo Ambiental de Ecosistemas Acuáticos de Chile: Insumo para la plataforma de Humedales de Chile. Elaborado por Centro de Ecología Aplicada (CEA).
- MMA Ministerio del Medio Ambiente (2017). Consultoría técnica de generación de información para la utilización de indicadores biológicos en la cuenca Del Río Elqui. Universidad Católica del Norte
- MMA Ministerio del Medio Ambiente (2018). Red de Monitoreo Ambiental de Ecosistemas Acuáticos de Chile: Insumo para la plataforma de Humedales de Chile. Informe final, versión 2. Elaborado por Centro de Ecología Aplicada (CEA).
- MMA Ministerio del Medio Ambiente (2018). Tercer Informe bienal de actualización de Chile sobre cambio climático, ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
- MMA Ministerio de Medio Ambiente (2020). Inventario de humedales urbanos y actualización de catastro nacional de humedales. Consultora Edáfica
- Ministerio del Medioambiente, Chile. (2020). Reglamento de clasificación de especies. URL: <https://clasificacionespecies.mma.gob.cl/> (consultada el 17 de noviembre de 2020).
- MMA. 2020a. Inventario nacional de especies de Chile: Especies endémicas. Ministerio de Medio Ambiente. Consultada el 20/02/2021. Fuente: <http://especies.mma.gob.cl/CNMWeb/Web/WebCiudadana/pagina.aspx?id=89&pagId=85>
- MMA. 2021. Inventario nacional de especies de Chile: Especies amenazadas. Ministerio de Medio Ambiente. Consultada el 20/02/2021. Fuente: <http://especies.mma.gob.cl/CNMWeb/Web/WebCiudadana/pagina.aspx?id=87>
- McGowan, J., Beaumont, L. J., Smith, R. J., Chauvenet, A. L., Harcourt, R., Atkinson, S. C., ... & Possingham, H. P. 2020. Conservation prioritization can resolve the flagship species conundrum. *Nature communications*, 11(1), 1-7.
- MINVU, Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2017). Actualización Estudio de Riesgos Bahía de Coquimbo . DESE, Dirección de Extensión y Servicios Externos.

- Mitsch, W., Gosselin, J., Anderson, Ch., Zhang, Li (2009). *Wetlands Ecosystem*. John Wiley & Sons, Inc. United States.
- Montes, C. (2003). Criterios ecológicos para el deslinde de humedales ribereños. *Ecología, Manejo y Conservación de Los Humedales*, 61–76.
- National Research Council (1995). *Wetlands. Characteristics and Boundaries*. National Academic Press. Washington.
- Ollero, A. (1997). Crecidas e inundaciones como riesgo hidrológico un planteamiento didáctico. *Lurralde inves. esp.*, N° 20, 261-283.
- O'Neill, R., Lee Deangelis, D., Waide, J.B., & Alle, T. (1986). *A Hierarchical Concept of Ecosystems*.
- ONU 2020. *Perspectiva Mundial sobre la Diversidad Biológica 5*. Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. Montreal. Disponible en: <https://www.cbd.int/gbo/gbo5/publication/gbo-5-es.pdf>
- Paskoff, R. (1970): «Recherches geomorphologiques dans le Chili semi-aride». Bor- deaux: Biscaye Frères.
- Paskoff, R. (1999). Contribuciones recientes al conocimiento del Cuaternario marino del centro y norte de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, n° 26, 43-50.
- Pauchard, A., Aguayo, M., Peña, E., & Urrutia, R. (2006). Multiple effects of urbanization on the biodiversity of developing countries: The case of a fast-growing metropolitan area (Concepción, Chile). *Biological Conservation*, 127(3), 272–281. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.05.015>
- Pauleit, S., Zölch, T., Hansen, R., Randrup, T. B., & Konijnendijk van den Bosch, C. (2017). *Nature-Based Solutions and Climate Change – Four Shades of Green*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5_3
- PNUMA/CMS 2008. Convención sobre las especies migratorias. Programa de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente (PNUMA) y Convención de Especies Migratorias (CMS).
- Pritchard, D. W. (1967). What is an estuary: physical viewpoint. *American Association for the Advancement of Science*.
- Remsen, J. V., Jr., J. I. Areta, C. D. Cadena, A. Jaramillo, M. Nores, J. F. Pacheco, J. Pérez-Emán, M. B. Robbins, F. G. Stiles, D. F. Stotz y K. J. Zimmer. (2021). A classification of the bird species of South America. *American Ornithologists' Union*.
- Ribeiro, L., N. Kretschmer, J. Nascimento, A. Buxo, T. S. Rötting, G. Soto, M. Soto, J. Oyarzún, H. Maturana, et R. Oyarzún. (2014). Water Quality Assessment of the Mining-Impacted Elqui River Basin, Chile. *Mine Water and the Environment* 33, no 2: 165-76. <https://doi.org/10.1007/s10230-014-0276-6>.

- Rockström, J., W. Steffen, K. Noone, Å. Persson, F. S. Chapin, III, E. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. De Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P. K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen, and J. Foley. (2009). Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society* 14(2): 32.
- Rodríguez-Galiano, V. F., & Chica-Rivas, M. (2012). Evaluation of different machine learning methods for land cover mapping of a Mediterranean area using multi-seasonal Landsat images and Digital Terrain Models. *International Journal of Digital Earth*, 1-18. doi: [10.1080/17538947.2012.748848](https://doi.org/10.1080/17538947.2012.748848)
- Rodríguez, R.; Marticorena, C.; Alarcón, D.; Baeza, C.; Cavieres, L.; Finot, V. L.; Fuentes, N.; Kiessling, A.; Mihoc, M.; Pauchard, A.; Eduardo, R.; Sánchez, P y Marticorena, A. (2019). *Catálogo de las plantas vasculares de Chile*. URL: http://catalogoplantas.udec.cl/base_catalogo_plantas.pdf (consultada el 5 de octubre de 2020).
- Rodríguez-Jorquera, I., Rivera-Bravo, D., Sciaraffia, F., Márquez-García, M., Tomasevic, J.A., Mellado, C., & Möller, P. (2020). "Criterios mínimos para la sustentabilidad de humedales urbanos en Chile". Informe Final. Centro de Humedales Río Cruces (CEHUM) de la Universidad Austral de Chile, Centro de Derecho y Agua de la Pontificia Universidad Católica de Chile, GeoAdaptive LLC y Ministerio del Medio Ambiente, Santiago, Chile.
- SAG. 2018. Ley N° 19.473 y su Reglamento. Servicio Agrícola y Ganadero de Chile. Fuente: http://www.sag.cl/sites/default/files/ley_de_caza_2018.pdf
- Secretaría Regional de Planificación y Coordinación del Gobierno Regional GORE Coquimbo (2011). Mapa de Amenazas por Tsunami
- Secretaría de la Convención de Ramsar. 2010. Inventario, evaluación y monitoreo: Marco Integrado para el inventario, la evaluación y el monitoreo de humedales. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, 4ª edición, vol. 13. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).
- SEIA Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental SEIA (2013). Guía para la evaluación de impacto ambiental para la descripción del uso del territorio en el SEIA.
- SERNAGEOMIN, Servicio Nacional de Geología y Minería (2015). Zonas afectadas por inundación por Tsunami de La Serena.
- SHOA, Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (2015). Carta de Inundación por Tsunami de la Serena y Coquimbo.
- Smichdt, C., & McCullum, A. (2018). Evaluando la Precisión de Clasificaciones de la Cubierta Curso online. Nasa's Applied Remote Sensing Training Program.
- Soto, M.V., Märker, M., Castro, C., Rodolfi, G. (2015). Análisis integrado de las condiciones de amenaza natural en el medio ambiente costero semiárido de Chile. La Serena, Coquimbo. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, N°67, 213-231.

- Squeo, Francisco A., Ramon Aravena, Evelyn Aguirre, Alberto Pollastri, Carmen B. Jorquera, et James R. Ehleringer. (2006). Groundwater Dynamics in a Coastal Aquifer in North-Central Chile: Implications for Groundwater Recharge in an Arid Ecosystem ». *Journal of Arid Environments* 67, n° 2: 240-54.
- Swyngedouw, E., & Kaika, M. (2014). Urban political ecology. Great promises, deadlock and new beginnings? *Documents d'Analisi Geografica*, 60(3), 459–481.
- TEEB. (2010). The economics of ecosystems and biodiversity. Ecological and economics foundations. London: Earthscan.
- TEEB. 2014. Glossary of terms. The Economics of Ecosystems and Biodiversity.
- Tiner, R. W. (1999). Wetland Indicators. A Guide to Wetland Identification, Deliniation, Classification and Mapping. Lewis Publishers. Boca Raton
- UICN (2020). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2020-2. Fuente: <https://www.iucnredlist.org>. Consultado el 16/08/2020.
- Vila, I; Veloso, A.; Schlatter, R.; y Ramírez, C. (eds.). (2006). Macrófitas y vertebrados de los sistemas límnicos de Chile. Santiago, Chile: Editorial Universitaria.
- Villa Olivares, E. (2013). Impacto del cambio climático sobre la disponibilidad de agua y sus efectos sobre los usos de agua en la cuenca del río Elqui. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/115546>
- Villamor, G. B., Palomo, I., Santiago, C. A. L., Oteros-Rozas, E., & Hill, J. (2014). Assessing stakeholders' perceptions and values towards social-ecological systems using participatory methods. *Ecological Processes*, 3(1), 22.
- Vilardy, S., Jaramillo, Ú., Flórez, C., Cortés-Duque, J., Estupiñán, L., Rodríguez, J.,...Aponte, C. (2014). Principios y criterios para la delimitación de humedales continentales: una herramienta para fortalecer la resiliencia y la adaptación al cambio climático en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, 100 pág
- Yarad Zaror, J. (2018). Estimación de la distribución espacial de evapotranspiración usando imágenes satelitales de temperatura de suelo. Validación en la cuenca alta del río Elqui. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/151667>
- Zedler, J. B., & Kercher, S. (2005). Wetland resources: Status, trends, ecosystem services, and restorability. *Annual Review of Environment and Resources*, 30, 39–74. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144248>
- Zuloaga, F. (2008). Catálogo de las plantas vasculares del cono sur. URL: <http://www2.darwin.edu.ar/> (consultado el 20 de noviembre de 2020).

ANEXOS

[ANEXO 1 Sistematización de información bibliográfica](#)

[ANEXO 2 Datos físico-químicos río Elqui](#)

[ANEXO 3 Base de datos biodiversidad río Elqui](#)

[ANEXO 4 Consultas a organismos públicos sobre límites de propiedad](#)

[ANEXO 5 Datos de terreno](#)

[ANEXO 6 Coordenadas geográficas de las secciones del humedal](#)

[ANEXO 7 Biodiversidad asociada](#)

[ANEXO 8 Mapa de actores humedal del río Elqui](#)

[ANEXO 9 Actividades con el CTL .](#)

[ANEXO 10 Observaciones a la delimitación del CTL](#)

[ANEXO 11 Registro fotográfico amenazas](#)

[ANEXO 12 Correlación nivel del mar y conductividad eléctrica](#)

[ANEXO 13 Correlación precipitación y conductividad eléctrica](#)

[ANEXO 14 Relaciones molares agua superficial y subterránea](#)

[ANEXO 15 Ordenanza municipal extracción de áridos](#)

[ANEXO 16 Especies evaluadas según RCE](#)

[ANEXO 17 SS.EE trabajados en taller nº1 con CTL](#)

[ANEXO 18 SS.EE espacializados por uso de suelo](#)

[ANEXO 19 Amenazas humedal Elqui](#)

[ANEXO 20 Georreferencias amenazas](#)

[ANEXO 21 Proyectos SIG](#)

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo conceptual que representa interacciones entre el sistema socioecológico y los humedales insertos en la matriz urbana.	2
Figura 2. “Cascada de los Servicios Ecosistémicos”.	12
Figura 3. Servicios ecosistémicos que entregan los humedales	13
Figura 4. Decreto Exento N.º 1135 de 2009 del Ministerio de Bienes Nacionales	20
Figura 5. Delimitación del cauce del río Elqui	21
Figura 6. Localización de los puntos de agua con medición de parámetros fisicoquímicos y/o nivel piezométrico durante las dos campañas de terreno	23
Figura 7. Criterios de delimitación del humedal Desembocadura del río Elqui	29
Figura 8. Modelo de elevación y pendiente en grados sexagesimales	30
Figura 9. Geomorfología del Humedal desembocadura del río Elqui	31
Figura 10. Inundación por Tsunami	32
Figura 11. Amenaza de Inundación por zonas inundables y quebradas aluvionales	34
Figura 12. Procedimiento para la priorización de áreas de alta diversidad	35
Figura 13. Zonificación del humedal costero del Elqui: secciones del sitio estudio y polígonos de cada tipo vegetacional identificado	37
Figura 14. Diagrama de flujo de las actividades propuestas para llevar a cabo la evaluación de los servicios ecosistémicos provistos por el humedal de la Desembocadura del río Elqui	45
Figura 15. Jerarquía de amenazas sobre los ecosistemas.	48
Figura 16. Humedal de la Desembocadura del Río Elqui, según Inventario Nacional	52
Figura 17. Delimitación y Superficies del Sistema Humedal	55
Figura 18. Delimitación y Superficies del Humedal Desembocadura del río Elqui	56
Figura 19. Usos de suelo en el sistema Humedal	58
Figura 20. Usos y coberturas de suelo para las Subcuencas aportantes	61
Figura 21. Evolución histórica del nivel piezométrico en pozos de monitoreo de la DGA en la zona Río Elqui bajo y en la zona costera al norte y al sur de la desembocadura.	62
Figura 22. Evolución temporal del río Elqui en La Serena.	64
Figura 23. Evolución temporal de la conductividad eléctrica en las estaciones de monitoreo de calidad del agua DGA en la zona costera, desembocadura y valle del río Elqui entre La Serena y Las Rojas.	65
Figura 24. Evolución temporal de la salinidad del agua en la laguna de la desembocadura del Río Elqui.	66
Figura 25. Situación de la desembocadura del río Elqui en dos momentos de altura máxima del mar en noviembre 2020 y enero 2021.	66
Figura 26. Evolución temporal de la conductividad y caudal del río Elqui en su desembocadura.	67

Figura 27. Evolución temporal de la conductividad en las estaciones río Elqui en La Serena y Pozo Parcela 164 (vega norte) con el caudal del río Elqui en la estación DGA río Elqui en la Serena.	68
Figura 28. Correlación entre conductividad en la estación DGA río Elqui en La Serena y la altura del mar en la estación SHOA Coquimbo (izquierda); entre concentración en cloruros y altura del mar en las mismas estaciones (derecha)	69
Figura 29. Correlación entre la conductividad y el caudal (izquierda); la concentración en cloruros y caudal (derecha) en la estación de monitoreo DGA río Elqui en La Serena.	70
Figura 30. Correlación entre la conductividad y el nivel piezométrico en el pozo de monitoreo DGA Parcela 164 (vega norte).	70
Figura 31. Afloramientos de agua subterránea	71
Figura 32. Distribución espacial de la conductividad eléctrica del agua superficial y subterránea en la desembocadura del río Elqui	74
Figura 33. Modelo conceptual del funcionamiento hidrogeológico de la zona de la desembocadura del río Elqui	75
Figura 34. Imagen obtenida de CIREN de la zona en estudio	77
Figura 35. Captura de imagen de la plataforma de cartografía digital del SII	78
Figura 36. Mapa que representa la superposición de la delimitación del humedal descrita en el presente estudio y los límites de propiedad en el área.	79
Figura 37. Áreas de alta biodiversidad para la zona del humedal del río Elqui	88
Figura 38. Biodiversidad de especies endémicas por taxon y suma de taxones, asociadas a tipos vegetacionales en el Humedal costero del río Elqui	90
Figura 39. Distribución de la biodiversidad considerando nativas y endémicas	91
Figura 40. Biodiversidad en el área de la desembocadura del río Elqui, especies nativas por taxon y suma de taxones, asociadas a tipos vegetacionales en el Humedal costero del río Elqui	92
Figura 41. Mapa de la provisión potencial de servicios ecosistémicos en el humedal y las subcuencas aportantes	100
Figura 42. Amenazas principales identificadas en el humedal desembocadura del río Elqui y subcuencas aportantes.	104
Figura 43. Modelo conceptual del Humedal	105
Figura 44. Diferentes mecanismos para tratar el agua urbana. Verde, Gris e Híbrido	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Precipitaciones caídas en la ciudad de La Serena entre 1983 y 2017	17
Tabla 2. Características de los puntos de agua medidos	24
Tabla 3. Estaciones de monitoreo con series de datos históricas utilizadas en este trabajo	26
Tabla 4. Información Base	29
Tabla 5. Inundación por Tsunami	32
Tabla 6. Cobertura relativa de los tipos vegetacionales presentes en las diferentes secciones del humedal costero del río Elqui	37
Tabla 7. Lista de especies priorizadas propuestas para el humedal desembocadura del río Elqui, La Serena	41
Tabla 8. Valoración de las amenazas	49
Tabla 9. Clasificación por tipo y jerarquía de clasificación del Inventario Nacional 2020	51
Tabla 10. Zonificación propuesta para la primera delimitación del sistema humedal	52
Tabla 11. Usos de suelos en el sistema humedal	57
Tabla 12. Detalles de las imágenes trabajadas	59
Tabla 13. Usos de suelos	60
Tabla 14. Propietarios riberaños al cauce del río Elqui	80
Tabla 15. Listado de potenciales servicios ecosistémicos según la clasificación CICES provistos por el humedal Desembocadura del río Elqui presentado al CTL durante el taller N° 2	94
Tabla 16. Valoración conjuntal del CTL sobre la capacidad potencial del humedal y las subcuencas aportantes de proveer cada SS.EE	96
Tabla 17. Número de servicios ecosistémicos espacializados en cada uso de suelo	99
Tabla 18. Amenazas de carácter físico	101
Tabla 19. Amenazas de carácter químico	101
Tabla 20. Amenazas de carácter biológico	102
Tabla 21. Amenazas indirectas priorizadas	102
Tabla 22. Síntesis de recomendaciones	110

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Riqueza de especies estandarizada de los filos o divisiones presentes en el humedal de la desembocadura del Elqui	82
Gráfico 2 Riqueza de especies estandarizada de las clases presentes en el humedal de la desembocadura del Elqui, La Serena	82
Gráfico 3. Riqueza de especies estandarizada de los tipos vegetacionales de cada sección del humedal del Elqui	83
Gráfico 4. Frecuencia relativa de especies endémicas en cada sección del humedal del Elqui	84
Gráfico 5. Frecuencia relativa de especies migratorias en cada sección del humedal del Elqui	85
Gráfico 6. Frecuencia relativa de especies amenazadas en cada sección del humedal del Elqui	86
Gráfico 7. Frecuencia relativa de especies prioritarias en cada sección del humedal del Elqui	87
Gráfico 8. Frecuencia relativa de especies priorizadas (endémicas, migratorias y prioritarias) en cada sección del humedal del Elqui	87