



Proyecto GEFSEC ID: 9766

“Promoviendo la conservación y el manejo sostenible de los humedales costeros y sus cuencas aportante, 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”

Consultoría:

Identificación y Priorización de Áreas de Restauración Ecológica para el Humedal Desembocadura del Río Elqui y sus Subcuencas aportantes, Región de Coquimbo.

INFORME FINAL



Mayo 2021



Equipos Consultor**Equipo Responsable**

Elier Tabilo Valdivieso
César Chávez Villavicencio
Jean François Casale
Solange Vargas López

Equipo Asistente

Víctor Pasten Marambio
Matías Hargreaves
Guillermo Sapaj
Fernanda Toledo
Constanza Pinochet
Bárbara Palma
Andrés Pinto

Contexto

Este Informe Final es para satisfacer los requerimientos técnicos del 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”, quien solicita realizar el estudio de “Identificación y Priorización de Áreas de Restauración Ecológica para el Humedal Desembocadura del Río Elqui y sus Subcuencas aportantes, Región de Coquimbo”. El presente Informe Final es de autoría de Gesnat Group SpA y su equipo de profesionales.

Agradecimientos

Gesnat Group SpA agradece la participación de los integrantes del Comité Regional del Proyecto GEF Humedales Costeros, quiénes participaron de los talleres aportando información para las metas de este estudio. 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, así como la participación de la Seremi Sra. Claudia Rivera Rojas y Claudia Silva Coordinadora Nacional del Proyecto GEF Humedales.

Sugerencia de cita:

Tabilo E., Vargas S., Casale J-F., Chávez C. (2021). Identificación de Áreas Prioritarias de Restauración del Humedal Desembocadura del Río Elqui y sus Subcuencas Aportantes, Región De Coquimbo. Licitación No.2/2020 Coquimbo Proyecto GEF Humedales Costeros, ONU Medio Ambiente. Ministerio del Medio Ambiente

Tabla de Contenidos

RESUMEN EJECUTIVO	4
1. INTRODUCCIÓN	5
2. OBJETIVO GENERAL	7
2.1 Objetivos Específicos.....	7
3. METODOLOGÍAS SEGÚN OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
4. RESULTADOS Y PRODUCTOS DE LA CONSULTORÍA	12
4.1 Revisión, Sistematización y selección de información	12
4.2 Identificar y cartografiar sitios del humedal y de las subcuencas aportantes	27
4.3 Priorización de sectores a restaurar del humedal y de sus subcuencas aportantes.	34
4.4 Validación de los sitios priorizados en terreno	42
4.5 Levantar información in situ de los sitios priorizados	43
4.5.1 Línea de Base Componente Fauna (Reptiles, Aves y Mamíferos).....	44
4.5.2 Línea de Base Flora y Vegetación, y descripción de las subáreas homogéneas de los sectores priorizados para la restauración en las subcuencas aportantes del Humedal Costero del Río Elqui.	62
4.5.3 Línea de Base de variables físico-químicas y de flujo (velocidad, caudales y profundidad del cauce) como insumo para el monitoreo de calidad de aguas superficiales en los sectores de restauración priorizados del Humedal Costero del Río Elqui y sus subcuencas aportantes.....	77
4.5.4 Índices Bióticos de Familia de Macroinvertebrados e Índice de Trofia en base a Macrófitos.....	90
4.5.5 Revisión de continuidad hidráulica de tramos seleccionados del área de trabajo.....	100
4.6 Síntesis de los Talleres Participativos.....	102
4.7 Propuesta de acciones de restauración en áreas priorizadas del humedal y sus subcuencas aportantes.	106
4.8 Estimación de costos de restauración.....	157
4.9 Identificación de actores claves para potenciales acuerdos y alianzas.....	159
4.10 Análisis e identificación de brechas de información	165
5. DISCUSION	171
6. CONCLUSIONES	173
7. REFERENCIAS	174

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Información Elqui

Anexo 2 Shape proyecto

Anexo 3 Mapas de Criterios

Anexo 4 Priorización de Sitios

Anexo 5 Taller Participativos

Anexo 6 Línea de Base de sitios a restaurar

Anexo 7 Ficha de proyectos pilotos de restauración

Anexo 8 Sistema social para las metas de restauración.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe describe el trabajo realizado por el equipo de profesionales de Gesnat Group SpA para el proyecto **“Identificación y Priorización de Áreas de Restauración Ecológica para el Humedal Desembocadura del Río Elqui y sus Subcuencas aportantes, Región de Coquimbo”**, desarrollado en el marco del Proyecto GEF Humedales Costeros. El objetivo de esta consultoría ha sido el identificar y priorizar áreas de restauración ecológica para el Humedal Costero del Río Elqui, y sus subcuencas aportantes. Para cumplir las metas del proyecto se trabajó levantando información ambiental, como también se contó con información proporcionada y validada a través de talleres con actores claves y miembros del comité regional del proyecto GEF Humedales Costeros.

Se identificaron, a través de información ambiental validada en talleres con actores claves, cinco sectores priorizados para la restauración ecológica del Humedal Costero del Río Elqui, y sus subcuencas aportantes, estas son: desembocadura del río Elqui, sector de Alfalfares, sector Islón, sector Altovalsol, y sector Quebrada de Talca. El proyecto propone una cartera de 24 actividades restaurativas, ejecutadas inicialmente en proyectos piloto que según los resultados pueden escalar en tamaño en cada sector priorizado.

El éxito de la restauración de sectores priorizados del Humedal Costero del Río Elqui pasa por la fortaleza de la información científica requerida para sustentar las decisiones, una estrategia de manejo adaptativo, buena gobernanza, innovación tecnológica y participación de diferentes actores en la toma de decisiones y ejecución de la restauración. La implementación de las estrategias y actividades de restauración propuesta en este trabajo debería realizarse a través del futuro Plan de Gestión de la cuenca.

1. INTRODUCCIÓN

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 (GEF Humedales Costeros)”, busca la conservación y usos sostenibles de los ambientes acuáticos costeros, abordando la problemática bajo un esquema de cuencas.

Entre las acciones del Proyecto GEF Humedales está la de identificar y priorizar áreas de restauración ecológica para el humedal, como también la de proponer acciones de restauración del Humedal Costero del Río Elqui, y sus subcuencas aportantes, tomando en consideración principios de buena gobernanza, aplicando el conocimiento científico, saberes tradicionales y considerando aspectos de innovación tecnológica.

Todo esto sentará las bases para desarrollar de forma futura la restauración del paisaje, propiciará un mejoramiento de la funcionalidad ecosistémica del humedal y de los servicios ecosistémicos que provee, aumentando así la resiliencia del territorio y las comunidades humanas frente al cambio climático y otros factores de degradación.

El presente Informe Final describe los productos generados en la consultoría “**Identificación y Priorización de Áreas de Restauración Ecológica para el Humedal Desembocadura del Río Elqui y sus Subcuencas aportantes, Región de Coquimbo**”. El informe está organizado en un documento y una serie de anexos con toda la información de respaldo del presente estudio.

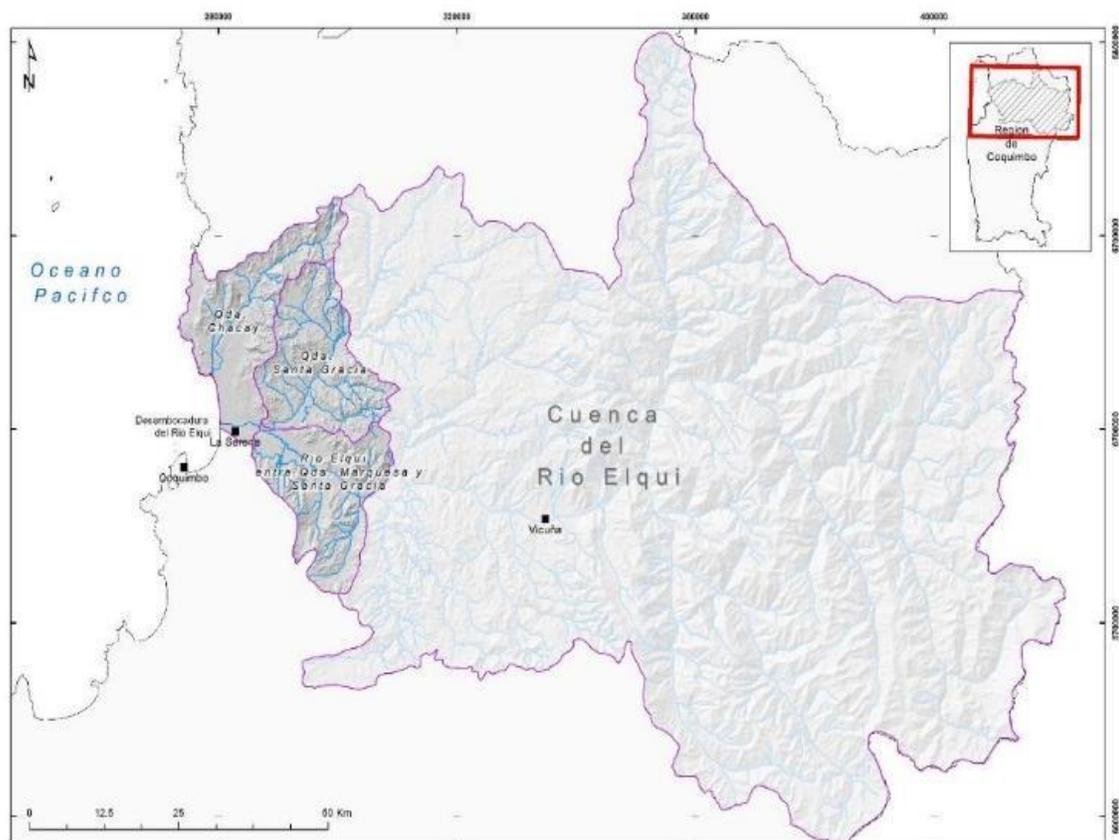


Figura 1. Enfoque territorial de la consultoría, entre el Humedal Costero del Río Elqui y la quebrada de Talca y quebrada Santa Gracia.

2. OBJETIVO GENERAL

El equipo consultor:

Identificará y priorizará áreas de restauración ecológica para el Humedal Costero del Río Elqui y sus subcuencas aportantes.

2.1 Objetivos Específicos

OE 1) Identificar y priorizar sectores a restaurar del humedal y de sus subcuencas aportantes.

OE 2) Proponer acciones de restauración futura para el humedal y sus subcuencas aportantes.

3. METODOLOGÍAS SEGÚN OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Metodologías y Actividades relativas al OE 1

i) **Revisión, sistematización, y selección de información** sobre aspectos de cauce, biodiversidad, servicios ecosistémicos, aspectos bioclimáticos, presiones, e impactos del Humedal Costero del Río Elqui y sus subcuencas aportantes. Esta etapa consideró la selección de criterios idóneos a cada categoría anteriormente citados y propuesta de indicadores de verificación in-situ. Los aspectos bioclimáticos fueron abordados por las propuestas de Luebert & Pliscoff (2006 y 2017), junto con lo propuesto por Gajardo (1994). Este análisis integró además la información emanada de los resultados de la consultoría de Delimitación del Humedal (Figueroa et al. 2021, N°01/2020 Coquimbo). En particular se complementó la información en función de los vacíos identificados en la primera consultoría.

ii) **Identificación y cartografía de sitios del humedal y de las subcuencas aportantes** con alta presencia de biodiversidad, servicios ecosistémicos y aspectos bioclimáticos, así como factores de presión o degradación, sobre la base de la información disponible. La cartografía y sus productos se desarrollaron bajo las normas cartográficas del Ministerio del Medio Ambiente. El proceso implicó la delimitación de zonas homogéneas mediante técnicas visuales de fotointerpretación (Paine & Kiser 2012) de imágenes de alta resolución puesta a disposición por la contraparte técnica, complementado por estratificación en función de variables / criterios relevantes de biodiversidad, servicios ecosistémicos, aspectos bioclimáticos, usos del suelo y socio-ambientales, entre otros, y la sistematización en capas de información espacial y análisis temáticos espaciales de los resultados obtenidos en la actividad anterior, mediante análisis espaciales multicriterios, aplicación de algoritmos de reclasificación y ponderación, entre otras herramientas SIG.

III) **Priorización de sectores a restaurar del humedal y de sus subcuencas aportantes** a través de la aplicación de la metodología de Evaluación de las Oportunidades de Restauración (metodología ROAM: UICN & WRI 2014) y de los Estándares Abiertos para la Conservación (CMP 2017), sobre la base de la información existente. Además de la metodología ROAM se trabajó con el respaldo metodológico del Plan Nacional de Restauración de Paisaje (MINAGRI & CONAF 2019-2020), la Guía de Restauración de Ecosistemas Andinos (2015), y las directrices mundiales para la restauración de bosques y paisajes degradados en tierras secas de la DAO. Adicionalmente, de interesantes estudios realizados regionalmente por CONAMA (2009) en su propuesta de restauración del humedal el Culebrón, que fueron tomados en consideración. Para esta actividad, se

consideró aspectos de buena gobernanza del territorio y principios del Plan Nacional de Restauración del MMA.

Para esta meta se desarrolló el 1er Taller de Priorización a través de un taller participativo con el Comité Técnico Local del Proyecto GEF y con otros actores clave, se priorizó los sectores a restaurar del humedal y subcuencas, en base a la propuesta preliminar de estratificación del equipo consultor. Este taller fue diseñado para los actores claves identificados en el mapa de actores. Este taller incluyó herramientas metodológicas como “ranking” para la definición de criterios e indicadores, elaboración de matrices de priorización y mapeo participativo (mapa de conocimiento) para definir las zonas de priorización. El mapeo participativo utilizó como apoyo a la sistematización mapas preliminares con información base de usos de suelos e imágenes de alta resolución, datos descriptivos relativos a los polígonos (estratos preliminares derivados del proceso anterior), que fueron definidos y consensuados durante el proceso, los cuales permitió identificar y describir espacialmente las oportunidades y tipos de restauración. Este taller fue acordado con la contraparte técnica y se realizó de manera virtual.

Como criterios de priorización de los sectores a restaurar, propusimos:

- Tenencia de la tierra y tipos de propiedad (voluntad/disposición de los propietarios para restaurar.
- Densidad de puntos negros (basurales, tranques de relaves, y otros pasivos ambientales)
- Recurso agua (balance hídrico, calidad, caudal, etc.).
- Presencia de cuerpos de agua como potenciales proveedores de recurso hídrico.
- Humedales como ecosistemas (conectividad, corredores)

iv) **Validación de los sitios priorizados en terreno.** Para esto, se realizó visitas a terreno previamente acordadas y en compañía de la contraparte técnica, y se evaluó la pertinencia de los criterios anteriormente definidos mediante verificación de los indicadores propuestos.

v) **Levantar información in situ de los sitios priorizados.** Se levantó información pertinente y necesaria para desarrollar acciones efectivas de restauración que condujeran a mejorar la condición ecológica del humedal, cubriendo vacíos de información. Como mínimo: calidad de agua a través de índices biológicos por macroinvertebrados, presencia de macrofitas como indicadores, en fauna se levantó el catálogo de las principales taxas y sus estados de conservación tomando en cuenta aquellos grupos usados como buenos indicadores de calidad (aves, anfibios), flora y vegetación (formaciones de vegetación y catálogo), servicios

ecosistémicos, amenazas y presiones al humedal y sus subcuencas aportantes. De esta forma, se evaluó las intervenciones de restauraciones más idóneas para cada estrata y/o sitio priorizado.

Se incluyó un levantamiento con RPAS (Aeronave Pilotada a Distancia, o Drone) de algunos sitios con el fin de obtener imágenes aéreas de alta resolución actualizadas. Para tal efecto se utilizó un Quadcopter de marca DJI, Mavic 2 Pro, con sensor RGB.

Metodologías y Actividades relativas al OE 2

i) Propuesta de acciones de restauración: en áreas priorizadas del humedal y sus subcuencas aportantes a través del 2do Taller participativo analítico con el comité técnico y actores claves para definir criterios e indicadores para las intervenciones de restauración (ranking).

ii) Propuesta de metodológica de restauración: con enfoque de cuenca para los sitios priorizados del humedal y de sus subcuencas aportantes, la fue acordada con la contraparte técnica.

iii) Estimación de costos de implementación: de las medidas de restauración en los sitios priorizados. Se efectuó estimación de costos por proyectos pilotos de restauración.

iv) Identificación de actores claves para potenciales: acuerdos y alianzas público-privadas para la restauración del paisaje. Para ello, se realizaron reuniones con actores clave del territorio como investigadores, organizaciones territoriales, instituciones y servicios públicos con experiencia de trabajo en estos sectores. Se intentó contactar a empresas sin éxito a empresas inmobiliarias, proyectos de loteo, y empresas de extracción de áridos. Todos estos actores fueron mapeados para establecer su relación de posición (ubicación) con las metas de restauración del territorio. Estas reuniones buscaron relevar información sobre los actores potenciales y actuales involucrados en procesos de restauración a escala de paisaje en el territorio. Como actores clave se consideró a las instituciones o personas que tengan un rol preponderante en la conservación y restauración del área considerada. Uno de los productos de las reuniones fue el listado de actores clave.

v) Análisis e identificación de brechas de información: (ajuste información al territorio) para la restauración y planificación ecológica del humedal y de sus subcuencas aportantes.

vi) Presentación y validación de la propuesta: ante el Comité Técnico Local por medio del 3er Taller que presentó los resultados de la consultoría, de manera de validar de manera

participativa los resultados obtenidos con actores locales, miembros del Comité Técnico Local y expertos regionales.

vii) Documento final: Informe Final de Identificación y Priorización de Áreas de Restauración para el humedal y sus subcuencas aportantes, acordado con la Contraparte Técnica.

4. RESULTADOS Y PRODUCTOS DE LA CONSULTORÍA

4.1 Revisión, Sistematización y selección de información

Se revisó, sistematizó, y seleccionó la información relativa a la cuenca del río Elqui, y sus cuencas aportantes. Los **Anexos 1 y 2** contienen esta información, la cual ha sido utilizada para apoyar los resultados del punto 4.2 y el taller en el punto 4.3. A continuación, se presenta el material complementario compilado relativo al contexto bioclimático.

4.1.1 Contexto bioclimático

De acuerdo a Gajardo (1994), el Humedal Costero del Río Elqui y sus subcuencas aportantes están insertas en la Región del Matorral y Bosque esclerófilo; más precisamente pertenece a la subregión del Matorral Estepario, dentro de la cual se extiende en gran medida las Formaciones del Matorral Estepario Costero, la formación del matorral estepario interior en el margen sur-este; abarca también en la zona norte de las sub-subcuencas el límite sur del desierto costero de Huasco, y muy marginalmente, una franja delgada del desierto florido de las serranías (Fig.2). Se describe a continuación con más detalles la subregión mayoritaria en superficie en donde está inserta el humedal.

La subregión del Matorral estepario corresponde a un sector geográfico que tiene importantes limitantes hídricas caracterizada por bajas precipitaciones y de régimen irregular. Presenta además una intensa presión de explotación, incluso fuera de los sectores urbanos o de agricultura intensiva, bajo la forma de pastoreo y extracción de combustibles leñosos. Lo cual ha revertido la fisonomía original a comunidades de arbustos bajos muy esparcidos y una densa estrata de herbáceas anuales, salvo en lugares de condiciones más favorables o menos intervenidos.

La formación del matorral estepario costero está conformada por arbustos bajos de hojas duras, que se desarrollan sobre las grandes terrazas costeras y en las laderas de los macizos montañosos cercanos al océano. En temporadas favorables presenta un gran desarrollo de estrata herbácea primaveral con fisonomía semejante a la del desierto florido, que en otras temporadas muestra suelo desnudo.

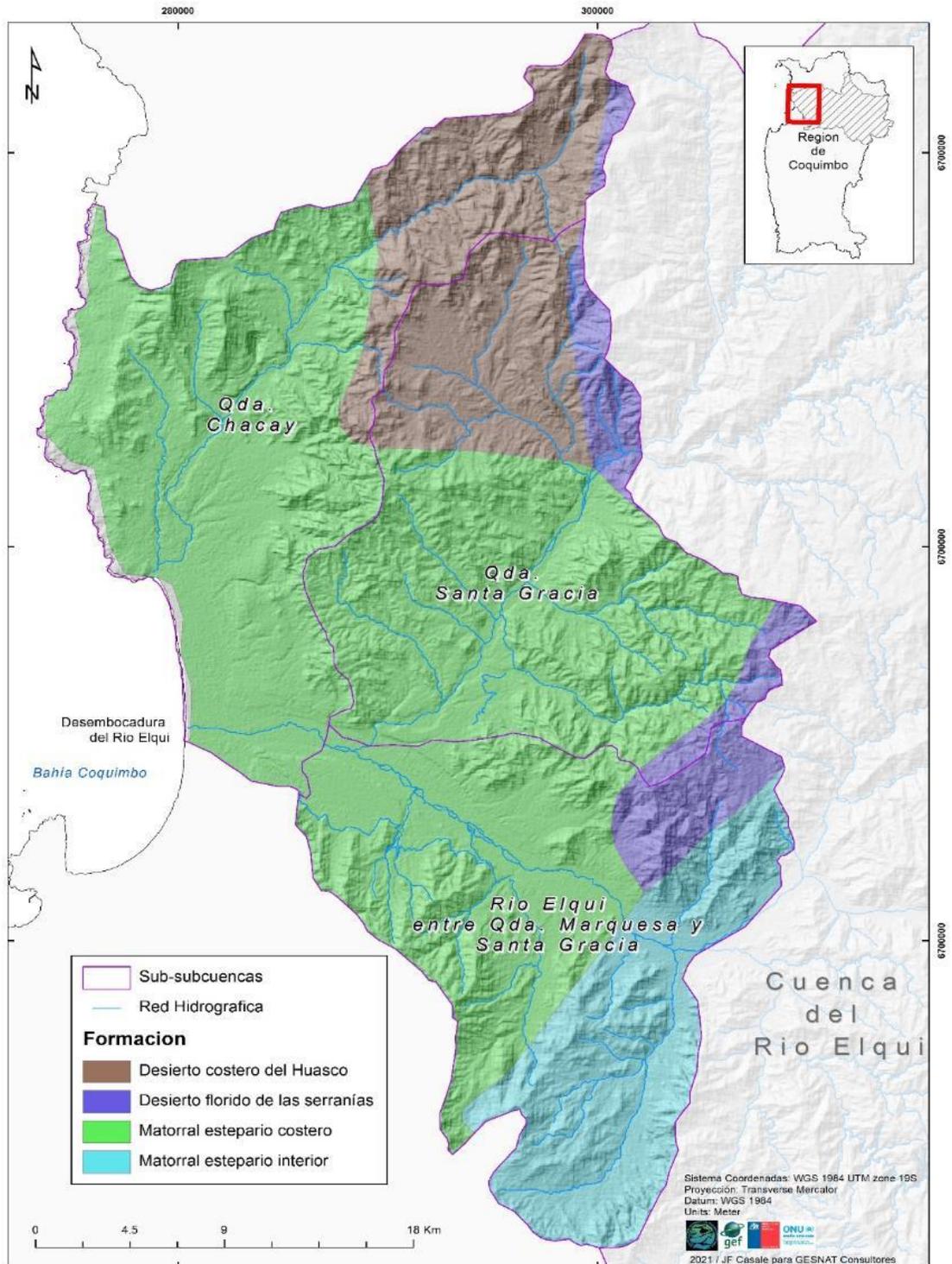


Figura 2: Formaciones vegetacionales presentes en el Humedal Costero del Río Elqui y sus subcuencas aportantes. Fuente: Elaborado en base a Gajardo 1994.

En la Tabla 1 se desglosan las principales comunidades que componen la formación dominante del matorral estepario costero.

Tabla 1: Comunidades vegetales características de la formación del matorral estepario costero. Fuente: Elaboración propia, 2021; desde Gajardo, 1994

Formación vegetal (Gajardo, 1994)		
<i>Adesmia microphylla</i> – <i>Senna cumingii</i> var. <i>coquimbensis</i>		
Comunidad ampliamente repartida, en especial sobre sustratos arenosos. En ciertas circunstancias, las poblaciones de <i>Adesmia microphylla</i> pueden alcanzar una gran densidad.		
Categorías	Nombre científico	Nombre común
Especies representativas	<i>Adesmia microphylla</i>	palhuén
	<i>Senna cumingii</i> var. <i>coquimbensis</i>	alcaparra
Especies acompañantes	<i>Bahia ambrosioides</i>	Chamiza
	<i>Flourensia thurifera</i>	Inciense
	<i>Proustia cuneifolia</i>	huañil
Especies comunes	<i>Bromus berterianus</i>	Pasto largo
	<i>Fuchsia lycioides</i>	Palo blanco
	<i>Puya chilensis</i>	Chagual
	<i>Echinopsis coquimbana</i>	copao
Especies ocasionales	<i>Lobelia polyphylla</i>	tupa
	<i>Ophryosporus triangularis</i>	Rabo de zorro
	<i>Plantago hispidula</i>	-
	<i>Pleocarpus revolutus</i>	Cola de ratón
	<i>Porlieria chilensis</i>	Guayacán
	<i>Jarava plumosa</i>	Pasto rey
<i>Heliotropium stenophyllum</i> – <i>Fuchsia lycioides</i>		
Comunidad que se ubica de preferencia en los sectores más planos de las terrazas litorales, mostrando una fisionomía de matorral bajo poco denso, donde predominan las especies herbáceas de desarrollo primaveral.		
Categorías	Nombre científico	Nombre común
Especies representativas	<i>Fuchsia lycioides</i>	Palo blanco
	<i>Heliotropium stenophyllum</i>	Monte negro
	<i>Oxalis gigantea</i>	churqui

Especies acompañantes	<i>Bromus berteroi</i>	Pasto largo
	<i>Plantago hispidula</i>	-
Especies comunes	<i>Adesmia tenella</i>	-
	<i>Erodium cicutarium</i>	Alfilerillo
	<i>Gutierrezia resinosa</i>	Pichanilla
	<i>Helenium aromaticum</i>	Póquil
	<i>Moschardia pinnatifida</i>	almizcle
Especies ocasionales	<i>Erodium malacoides</i>	Alfilerillo
	<i>Flourensia thurifera</i>	Incienso
	<i>Rostraria cristata (Koeleria phleoides)</i>	Pasto sedilla
<i>Myrcianthes coquimbensis – Echinopsis coquimbana</i>		
Comunidad de carácter excepcional por la presencia del lucumillo, especies en categoría de conservación debido a su carácter relictual y distribución reducida en hábitats costeros de roqueríos y laderas expuestas directamente a la influencia marina.		
Categorías	Nombre científico	Nombre común
Especies representativas	<i>Myrcianthes coquimbensis</i>	lucumillo
	<i>Nolana paradoxa</i>	suspiro
	<i>Loasa urmenetae</i>	Ortiga brava
	<i>Sicyos baderoa var. baderoa</i>	Tupac-Ilanco
Especies acompañantes	<i>Calandrinia capitata</i>	Pata de guanaco
	<i>Heliotropium stenophyllum</i>	Monte negro
	<i>Oxalis gigantea</i>	churqui
	<i>Echinopsis coquimbana</i>	copao
Especies comunes	<i>Cristaria glaucophylla</i>	malvilla
	<i>Junellia selaginoides</i>	-
<i>Nolana filifolia – Plantago hispidula</i>		
Comunidad de densidad muy baja donde dominan especies anuales herbáceas, pero con presencia de arbustos aislados en su estructura. Ocupa sectores erosionados próximos a la costa.		
Categorías	Nombre científico	Nombre común
Especies representativas	<i>Nolana filifolia</i>	suspiro
	<i>Plantago hispidula</i>	llantén

Especies acompañantes	<i>Erodium cicutarium</i>	Alfilerillo
Especies comunes	<i>Avena barbata</i>	Teatina
	<i>Chuquiraga ulicina subsp. acicularis</i>	chana
	<i>Gutierrezia resinosa</i>	Pichanilla
	<i>Haplopappus angustifolius</i>	bailahuén
	<i>Heliotropium stenophyllum</i>	Monte negro
	<i>Senecio bahioides</i>	-
<i>Gutierrezia resinosa – Atriplex semibaccata</i>		
Comunidad que se desarrolla en terrenos planos o laderas que han sido cultivadas, constituyendo una primera fase de la sucesión secundaria.		
Categorías	Nombre científico	Nombre común
Especies representativas	<i>Atriplex semibaccata</i>	Pasto salado
	<i>Gutierrezia resinosa</i>	Pichanilla
Especies comunes	<i>Heliotropium stenophyllum</i>	Monte negro
	<i>Lycium chilense</i>	Llaullin
	<i>Marrubium vulgare</i>	Toronjil cuyano
Especies ocasionales	<i>Muehlenbeckia hastulata</i>	quilo
<i>Flourensia thurifera – Heliotropium stenophyllum</i>		
Comunidad muy frecuente y de amplia distribución, de preferencia en laderas rocosas de los cerros		
Categorías	Nombre científico	Nombre común
Especies representativas	<i>Flourensia thurifera</i>	Incienso
Especies acompañantes	<i>Adesmia tenella</i>	-
	<i>Heliotropium stenophyllum</i>	Monte negro
	<i>Erodium cicutarium</i>	Alfilerillo
Especies comunes	<i>Colliguaja odorifera</i>	colliguay
Especies ocasionales	<i>Cordia decandra</i>	carbonillo
	<i>Gutierrezia resinosa</i>	pichanilla
	<i>Haplopappus angustifolius</i>	bailahuén
	<i>Plantago hispidula</i>	-
	<i>Proustia cuneifolia</i>	huañil

	<i>Puya chilensis</i>	chagual
	<i>Echinopsis chiloensis</i>	quisco
	<i>Echinopsis coquimbana</i>	copao
<i>Fabiana viscosa – Junellia selaginoides</i>		
Comunidad ampliamente distribuida en los terrenos aluviales y lechos de grandes quebradas		
Categorías	Nombre científico	Nombre común
Especies representativas	<i>Adesmia tenella</i>	-
	<i>Fabiana viscosa</i>	Pichi negro
	<i>Haplopappus angustifolius</i>	bailahuén
	<i>Junellia selaginoides</i>	-
	<i>Plantago hispidula</i>	-
Especies acompañantes	<i>Erodium cicutarium</i>	Alfilerillo
	<i>Erodium moschatum</i>	Alfilerillo
Especies comunes	<i>Senecio murorum</i>	Monte azulillo
<i>Tessaria absinthioides – Pleocarpus revolutus</i>		
Comunidad ampliamente distribuida en los terrenos aluviales y lechos de grandes quebradas		
Categorías	Nombre científico	Nombre común
Especies representativas	<i>Pleocarpus revolutus</i>	Cola de ratón
	<i>Tessaria absinthioides</i>	Brea
Especies acompañantes	<i>Cortaderia selloana</i>	Cola de zorro
Especies comunes	<i>Baccharis pingraea</i>	chilquilla
	<i>Frankenia chilensis</i>	salitre

De acuerdo con Luebert & Pliscoff (2006, 2016), los pisos de vegetación presentes en el área pertenecen a la formación del Matorral desértico, pudiendo encontrarse 4 de ellos (Fig.3 y Tabla 2):

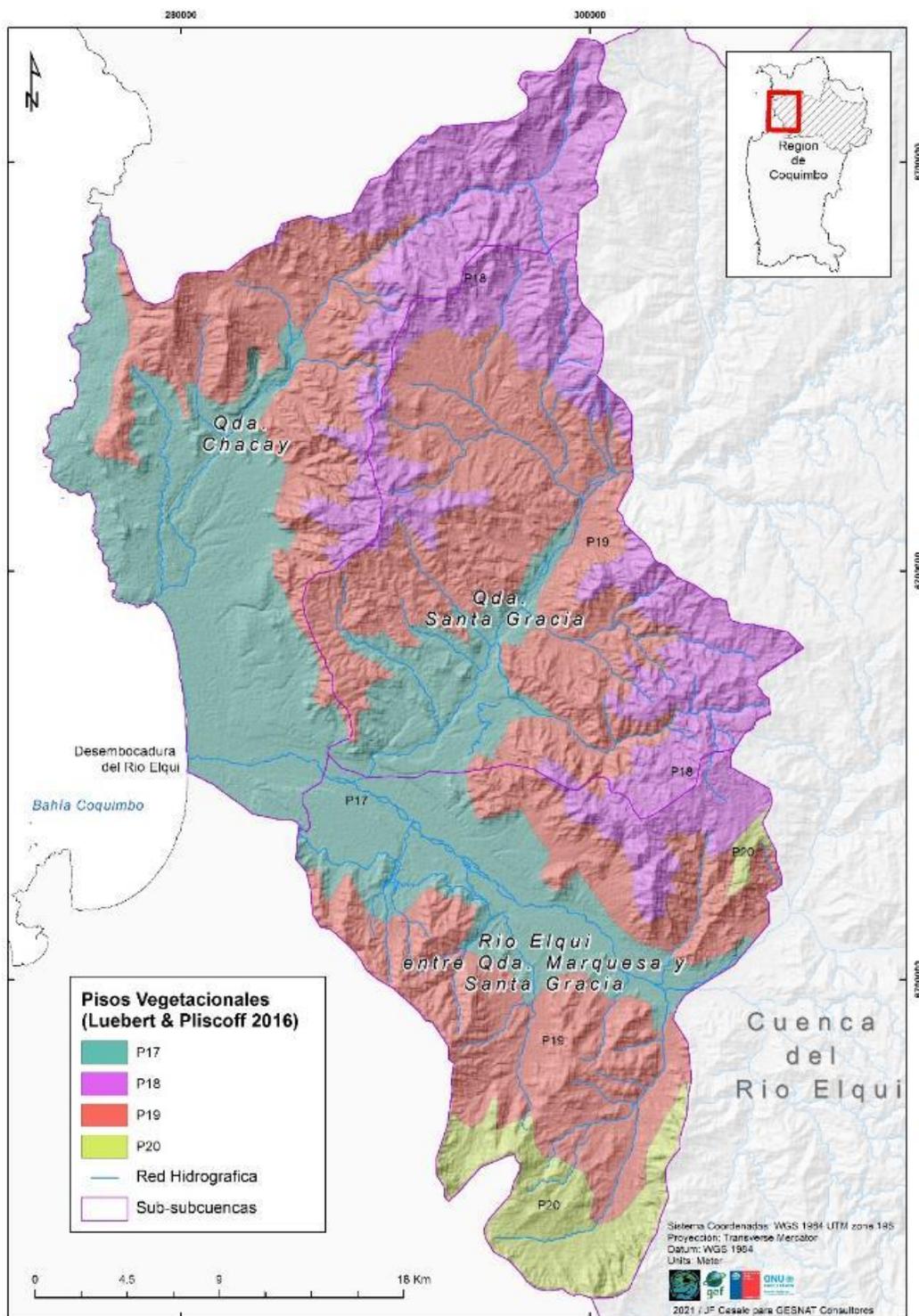


Figura 3: Pisos vegetacionales presentes en el área del Humedal Costero del Río Elqui y sus subcuencas aportantes. Fuente: Elaborado en base a Luebert & Plissock 2006, 2016. Donde: (P17) Matorral desértico mediterráneo costero de *Oxalis virgosa (gigantea)*- *Heliotropium stenophyllum*; (P18) Matorral desértico mediterráneo interior de *Adesmia argentea* - *Bulnesia chilensis*; (19) Matorral desértico mediterráneo interior

de *Heliotropium stenophyllum* - *Flourensia thurifera*; (P20) Matorral desértico mediterráneo interior de *Flourensia thurifera* - *Colliguaja odorifera*.

Cada piso se describe a continuación, desde la composición y estructura de su vegetación, distribución geográfica, posición bioclimática y características dinámicas. Los parámetros que caracterizan el Bioclima según la propuesta de Luebert & Pliscoff (2006) se definen en el cuadro siguiente:

Tabla 2. Variables utilizadas por Luebert & Pliscoff (2006) para caracterizar los bioclimas de Chile, con sus abreviaturas utilizadas en este documento.

Código	Parámetro bioclimático	Descripción
<i>T</i>	Temperatura media anual (°C)	
<i>M</i>	Temperatura media máxima del mes más frío del año (°C)	
<i>m</i>	Temperatura media mínima del mes más frío del año (°C)	
<i>P</i>	Precipitación anual (mm)	
<i>Tp</i>	Temperatura positiva	Suma de las temperaturas medias mensuales mayores a 0°C
<i>Ic</i>	Índice de continentalidad	Corresponde a la amplitud térmica anual, es decir la diferencia entre la temperatura media del mes más frío del año (<i>Tmin</i>) y la temperatura media del mes más cálido del año (<i>Tmax</i>)
<i>Io</i>	Índice ombrotérmico	Corresponde a la ratio de la Precipitación positiva anual (<i>Pp</i>) sobre la <i>Tp</i> ; $Io = 10(Pp/Tp)$
<i>It</i>	Índice de termicidad	$10(T+M+m)$
<i>Itc</i>	Índice de termicidad compensado	$It + \text{constante de compensación (C)}$; Si $Ic < 9$, $C = 10Ic - 90$, Si $18 > Ic > 9$, $C = 0$

(P17) Matorral desértico mediterráneo costero de *Oxalis virgosa (gigantea)*- *Heliotropium stenophyllum*: Corresponde a un matorral muy abierto dominado por los arbustos *Heliotropium stenophyllum* y *Oxalis gigantea*¹, acompañados de un elenco donde son importantes *Flourensia thurifera*, *Alona coelestis*, *Nolana crassulifolia* y *Encelia canescens*. En las terrazas litorales es frecuente la presencia de *Haplopappus cerberoanus*, reemplazado por *Haplopappus pulchellus* en las laderas de los cerros y *Haplopappus parvifolius* en las zonas más altas del límite del piso. En las primaveras de los años lluviosos, el suelo se cubre de una estrata de herbáceas efímeras tanto nativas (como *Cryptantha glomerata*, *Cistanthe coquimbensis*) como introducidas (tales como *Erodium cicutarium*, *Schismus arabicus*). Esta dinámica y dominancia de herbáceas efímeras con elenco de especies introducidas como características reflejan los regímenes de perturbaciones antrópicas a las cuales está sometido este piso.

¹ Ver Tabla 1 para los nombres comunes de las especies

Se distribuye en las zonas litorales desde el sur de la Región de Atacama hasta la de Coquimbo, entre el nivel del mar y 300 msnm., en los pisos bioclimáticos termomediterráneo hiperárido superior y árido inferior hiperoceánico.

Itc: 378-415; Tp: 1813-1965; Io: 0,31-0,60; Ic: 6,7-7,5; T: 15,1-16,4; P: 57-114

Desde el punto de vista de su dinámica, se ha propuesto que las formaciones de vegetación actual corresponden a fases sucesionales de otras unidades de mayor desarrollo. Por otra parte, en situaciones favorables de mayor humedad y en ausencia de intervención antrópica conducirían a formaciones boscosas dominadas por *Lithrea caustica*. Sin embargo, la mayor parte del área ocupada por este piso está permanentemente limitada en su evolución por la variación interanual de las precipitaciones y por la baja incidencia de neblinas en las zonas costeras de menor elevación (inf. a 150 msnm.), con excepción de las condiciones azonales como puede ser el caso de las cajas de ríos y esteros donde la influencia de neblinas puede alcanzar hasta varios km. Hacia el interior de las tierras.

Composición florística: Adesmia tenella, Alona coelestis, Bahía ambrosioides, Balbisia peduncularis, Cryptantha glomerata, Chorizanthe glabrescens, Chuquiraga ulicina, Cistanthe coquimbensis, Echinopsis coquimbensis, Encelia canescens, Erodium cicutarium, Fagonia chilensis, Flourensia thurifera, Fuchsia thurifera, Fuchsia lycioides, Gutierrezia resinosa, Haplopappus cerberoanus, H. parvifolius, H. pulchellus, Heliotropium stenophyllum, Lobelia polyphylla, Nolana crassulifolia, Ophryosporus triangularis, Oxalis gigantea, Pleocarpus revolutus, Schismus arabicus.

(P18) Matorral desértico mediterráneo interior de *Adesmia argentea* - *Bulnesia chilensis*:

Corresponde a un matorral muy abierto dominado por arbustos altos como *Adesmia argentea*, *Bulnesia chilensis*, *Balsamocarpon brevifolium*, *Cordia decandra*, *Heliotropium sinuatum*, *Pintoa chilensis*, *Proustia ilicifolia*, entre otras. También son frecuentes los arbustos bajos como *Caesalpinia angulata*, *Encelia canescens*, *Pleurophora pungens* y las cactáceas *Opuntia berterii* y *Echinopsis coquimbensis*. Las herbáceas son abundantes durante la primavera de los años lluviosos, destacando la presencia de *Cruckshanksia pumila* y *Argyria radiata*. Es un piso que ha sido muy poco estudiado en cuanto a composición y estructura, con una sola comunidad de carácter zonal identificada, aunque en base a referencias indirectas es probable la presencia de comunidades extrazonales en condiciones de quebradas dominadas por *Schinus polygamus* y *Prosopis flexuosa* o por *Acacia caven* y *Prosopis chilensis*.

Este piso se distribuye en los sectores interiores desde el sur de la Región de Atacama y norte de Coquimbo, entre 300 y 1800 msnm., asociado a los pisos bioclimáticos termomediterráneo superior, mesomediterráneo y supramediterráneo inferior hiperárido y árido inferior hiperoceánico.

Itc: 219-358; Tp: 1191-1739; Io: 0,25-0,46; Ic: 7,0-7,7; T: 9,9-14,5; P: 32-65

No existen antecedentes sobre la dinámica natural de este piso de vegetación. Las fuertes presiones antrópicas, principalmente para su explotación como recurso dendroenergético (como leña, carbón) han encadenado procesos de degradación severa.

Composición florística: Adesmia argentea, Aloysia salviifolia, Argylia radiata, Aristolochia chilensis, Balbisia peduncularis, Balsamocarpon brevifolium, Bulnesia chilensis, Caesalpinia angulata, Calliandra chilensis, Chuquiraga ulicina, Cordia decandra, Cruckshanksia pumila, Echinopsis coquimbensis, Encelia canescens, Heliotropium sinuatum, H. chenopodiaceum, Krameria cistoidea, Opuntia berterii, O. miquelii, Pintoa chilensis, Pleurophora pungens, Proustia ilicifolia

- (P19) Matorral desértico mediterráneo interior de *Heliotropium stenophyllum* - *Flourensia thurifera*: Corresponde a un matorral alto compuesto por arbustos esclerófilos más o menos esparcidos donde dominan *Heliotropium stenophyllum* y *Flourensia thurifera*, y donde los arbustos *Adesmia microphylla*, *Gutierrezia resinosa* y *Cordia decandra* son localmente abundantes. Las cactáceas *Opuntia miquelii*, *Opuntia berterii* y *Eulychnia acida* son frecuentes en este piso de vegetación y en algunos casos marcan la fisionomía. En zonas de intervención severa se pueden observar praderas donde dominan las herbáceas anuales, como *Erodium cicutarium* y *Adesmia tenella*. Es un piso en que el mosaico vegetacional muestra una alta complejidad, posiblemente debido a la variedad de influencias climáticas, topográficas y antrópicas, lo que ha dado pie a la definición de un importante número de comunidades. A pesar de ello, los patrones regionales de distribución de la vegetación de este piso son aún muy poco conocidos. En ciertos sectores, alberga bosques relictos (como Fray Jorge) y oasis de neblina.

Este piso se distribuye en las zonas interiores áridas cercanas a la costa del centro-norte de la región de Coquimbo, entre 0 a 1200 msnm., en los pisos bioclimáticos termomediterráneo superior y mesomediterráneo inferior árido hiperoceánico.

Itc: 335-386; Tp: 1645-1860; Io: 0,54-0,90; Ic: 7,3-8,4; T: 13,7-15,5; P:91-150

Desde el punto de vista de la dinámica vegetacional de este piso, se ha planteado (Rosemann 1983) que el tipo predominante (*Heliotropium stenophyllum* y/o *Flourensia thurifera*), correspondería a una fase regresiva de un matorral arborescente dominado por *Cordia decandra*, y donde las praderas y matorrales con alta presencia de *Gutierrezia resinosa* corresponden a los estados de perturbación antrópica más severa.

Composición florística: Adesmia bedwellii, Adesmia microphylla, Adesmia tenella, Alona rostrata, Baccharis paniculata, Bahia ambrosioides, Bromus berterianus, Carica chilensis, Cordia decandra, Echinopsis coquimbensis, Erodium cicutarium, Eulychnia acida, Flourensia thurifera, Heliotropium stenophyllum, Gutierrezia resinosa, Gymnophyton robustum, Haplopappus parvifolius, H. pulchellus, Lycium chilense, Ophryosporus paradoxus, Opuntia berterii, O. miquelii, Porlieria chilensis, Proustia cuneifolia, Senna cumingii, Stipa plumosa, Suaeda divaricata.

(P20) Matorral desértico mediterráneo interior de *Flourensia thurifera* - *Colliguaja odorifera*: Corresponde a un matorral abierto esclerófilo dominado por *Flourensia thurifera* y *Colliguaja odorifera*, las que generalmente están acompañadas por los arbustos *Bridgesia incisifolia*, *Ophryosporus paradoxus*, *Spinoliva ilicifolia* subsp. *baccharoides*, *Senna coquimbensis*, *Ephedra chilensis* y otros; también la cactácea *Opuntia berterii* junto a varias herbáceas, tanto anuales como perennes (*Pasithea caerulea*, *Erodium cicutarium*). En las zonas degradadas, *Gutierrezia resinosa* se hace dominante. En este piso se puede apreciar un marcado efecto de la exposición: en laderas de exposición norte, más áridas, la vegetación muestra una estructura abierta con *Heliotropium stenophyllum* frecuente, acompañada por cactáceas columnares como *Eulychnia acida* y *Echinopsis coquimbanus*; en las laderas de exposición sur, en cambio, se pueden apreciar elementos más higrófilos como *Cordia decandra* o *Porlieria chilensis*, y una densidad / cobertura mayor. En los cursos de agua es frecuente observar matorrales de *Pleocarpus revolutus* o bosques higromórficos de *Salix humboldtiana* y *Maytenus boaria*, mientras en los bajos de laderas y cerca de las quebradas se observa una franja de espinales dominados por *Acacia caven*, que en conjunto presentan una zonación característica (Fig.4). También es un piso que ha sufrido una intensa intervención humana.

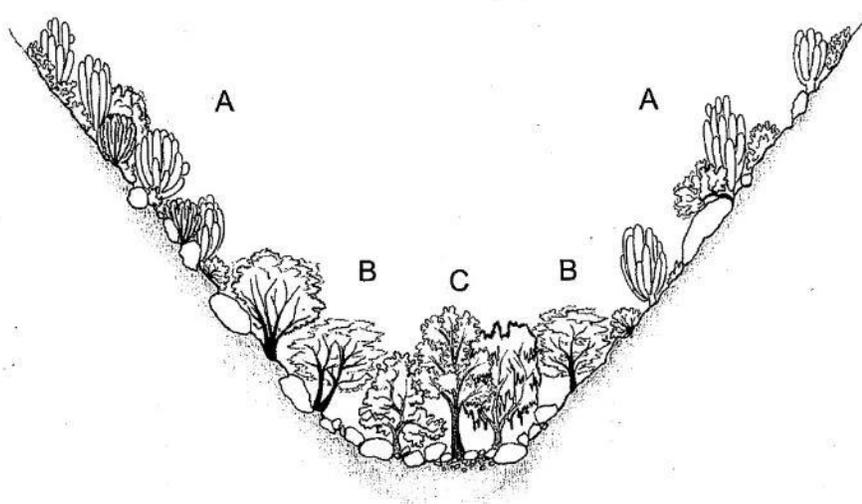


Figura 4: Esquema de la distribución local del matorral desértico mediterráneo interior de *Flourensia thurifera* y *Colliguaja odorifera* (piso de vegetación 20). En las laderas altas se presenta la vegetación zonal de matorral desértico (A), en las laderas bajas se observa la vegetación extrazonal de bosque espinoso dominado por *Acacia caven* (B) y en la quebrada un bosque intrazonal dominado por *Salix humboldtiana* (C). La ladera de exposición norte muestra que la vegetación es algo más xerofítica que la situada en la ladera de exposición sur. La escala de tamaños de las plantas está exagerada en relación a la escala del paisaje. Fuente: Luebert & Pliscoff 2006.

Este piso se distribuye en las zonas interiores del centro-sur de la región de Coquimbo, entre 300 y 2300 msnm., en los pisos bioclimáticos termomediterráneo superior, mesomediterráneo y supramediterráneo inferior árido y semiárido inferior hiperoceánico.

Itc: 210-400; Tp: 1239-1976; lo: 0,64-1,40; lc: 8,1-8,9; T: 10,3-16,5; P: 80-200.

En lo que refiere a su dinámica, Luebert & Pliscoff (2006) mencionan que existen varias hipótesis: correspondería a una fase de degradación de una formación boscosa esclerófila desertificada (no totalmente sustentada por las condiciones climáticas) o bien corresponde a una situación natural producto de una desertización en retroceso. No obstante, lo anterior, la degradación del matorral típico de este piso conduce a una pradera anual, luego colonizada en su primera fase sucesiva por *Gutierrezia resinosa* hasta estados avanzados de sucesión con *Cordia decandra* en los sectores más áridos y una comunidad vegetal dominada por las especies *Porlieria chilensis* – *Quillaja saponaria* en los sectores más húmedos.

Composición florística: Adesmia confusa, Adesmia microphylla, Bahia ambrosioides, Bridgesia incisifolia, Colliguaja odorifera, Cordia decandra, Ephedra chilensis, Echinopsis coquimbanus, Eulychnia acida, Flourensia thurifera, Gutierrezia resinosa, Haplopappus angustifolius, Heliotropium stenophyllum, Nassella chilensis, Llagunoa glandulosa, Lobelia polyphylla, Ophryosporus paradoxus, Opuntia berterii, Pasithea caerulea, Porlieria chilensis, Proustia cinerea, Senna cumingii, Stipa plumosa, Vulpia myuros.

Tabla 3: Comunidades vegetales potenciales características del área de estudio.

Formación	Piso Vegetacional	Comunidades zonales
Matorral desértico	Matorral desértico mediterráneo costero de <i>Oxalis virgosa (gigantea)</i>- <i>Heliotropium stenophyllum</i>	Tipo <i>Chenopodium paniculatum</i> (ruderal)
		Tipo <i>Erodium cicutarium</i> (ruderal)
		Tipo <i>Fuchsia lycioides</i>
		Tipo <i>Gutierrezia resinosa</i> (ruderal)
		Tipo <i>Haplopappus pulchellus</i>
		Tipo <i>Heliotropium stenophyllum</i>
		Tipo <i>Oxalis gigantea</i>
		Tipo <i>Plantago tumida</i> (ruderal)
		<i>Alona filifolia</i> – <i>Plantago hispidula</i> (ruderal)
		<i>Heliotropium stenophyllum</i> – <i>Oxalis gigantea</i> (Gajardo 1994)
		Comunidades intrazonales

	<i>Cristario – Ambrosietum</i> (dunas)
	<i>Chorizanthe vaginata</i> (dunas)
	Tipo <i>Pleocarphus revolutus</i> (cursos de agua)
	<i>Myrcianthes coquimbensis – Trichocereus coquimbanus</i> (roqueros costeros)
	Comunidades extrazonales
	<i>Heliotropium stenophyllum – Fuchsia lycioides</i>
	<i>Lithrea caustica – Porlieria chilensis</i> (quebradas)
Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Adesmia argentea - Bulnesia chilensis</i>	Comunidades zonales
	<i>Bulnesia chilensis – Pintoa chilensis</i>
	<i>Cordia decandra – Balsamocarpon brevifolium</i>
	<i>Bulnesia chilensis</i>
	<i>Cordia decandra</i>
	<i>Balsamocarpon brevifolium</i>
Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Heliotropium stenophyllum - Flourensia thurifera</i>	Comunidades zonales
	<i>Adesmia bedwellii – Ophryosporus triangularis</i>
	<i>Proustia pungens – Adesmia bedwellii</i>
	<i>Porlieria chilensis – Adesmia bedwellii</i>
	Tipos ruderales: <i>Adesmia tenella - Erodium cicutarium, Gutierrezia resinosa – Atriplex semibaccata, Plantago tumida</i>
	<i>Adesmia microphylla – Senna coquimbensis</i>
	<i>Flourensia thurifera – Heliotropium stenophyllum</i>
	<i>Fabiana viscosa– Junellia selaginoides</i>
	Tipos ruderales: <i>Adesmia tenella - Erodium cicutarium, Gutierrezia resinosa – Atriplex semibaccata, Plantago tumida</i>
	Comunidades intrazonales
	<i>Aextoxicon punctatum – Myrceugenia correifolia</i> (oasis de neblina)
	<i>Kageneckia oblonga – Fuchsia lycioides</i> (oasis de neblina)
	<i>Aextoxicon punctatum – Drimys winteri</i> (oasis de neblina)

	<i>Baccharis concava</i> – <i>Haplopappus foliosus</i> (oasis de neblina)
	<i>Haplopappus limariensis</i> – <i>Baccharis concava</i> (oasis de neblina)
	<i>Peperomio</i> – <i>Aextoxiconetum</i> (oasis de neblina)
	<i>Tessaria absinthioides</i> – <i>Pleocarpus revolutus</i> (cursos de agua)
	<i>Aextoxicon punctatum</i> – <i>Raphitamnus spinosus</i> (oasis de neblina)
	<i>Baccharis concava</i> – <i>Ribes punctatum</i> (oasis de neblina)
	Comunidades extrazonales
	<i>Lithrea caustica</i> – <i>Porlieria chilensis</i> (quebradas)
	<i>Prosopis chilensis</i> – <i>Schinus polygamus</i> (quebradas)
	Comunidades zonales
	<i>Colliguaja odorifera</i> – <i>Proustia cinerea</i>
	<i>Flourensia thurifera</i> – <i>Bridgesia incisifolia</i>
	<i>Flourensia thurifera</i> – <i>Bahia ambrosioides</i>
	<i>Flourensia thurifera</i> – <i>Trichocereus coquimbanus</i> – <i>Puya berteroniana</i>
	<i>Heliotropium stenophyllum</i> – <i>Flourensia thurifera</i>
	<i>Gutierrezia resinosa</i> – <i>Flourensia thurifera</i>
	<i>Plantago hispidula</i> – <i>Nassella (Stipa) lachnophylla</i>
	<i>Acacia caven</i> – <i>Flourensia thurifera</i>
	Tipos ruderales: <i>Gutierrezia resinosa</i> – <i>Atriplex semibaccata</i> ; <i>Pectocarya dimorpha</i>
	Comunidades intrazonales
	<i>Lumo-Myrceugenietum exsuccae</i> (pantanos)
	<i>Drimys winteri</i> – <i>Luma chequen</i> (pantanos)
	<i>Tessaria absinthioides</i> – <i>Pleocarpus revolutus</i> (cursos de agua)
	Comunidades extrazonales
Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Flourensia thurifera</i> - <i>Colliguaja odorifera</i>	

		<i>Prosopis chilensis – Schinus polygamus</i> (quebradas)

Fuente: Elaboración propia, 2021; desde Pliscoff, 2006.

Toda la información que sustenta la revisión, sistematización y selección de información del capítulo 4.1 de este Informe Final están en el **Anexo 1** Información río Elqui y **Anexo 2** Base de Datos SIG (shaperfiles).

4.2 Identificar y cartografiar sitios del humedal y de las subcuencas aportantes

Para esta meta, se generó un conjunto de cartografías temáticas destinadas a apoyar el diseño y ejecución del taller con actores claves. Se generaron mapas de biodiversidad, aspectos bioclimáticos, factores de presión o degradación, concesiones mineras, pasivos ambientales, uso del suelo, y vulnerabilidad de los acuíferos sobre la base de la información disponible. La cartografía y sus productos se desarrollaron bajo las normas cartográficas del Ministerio del Medio Ambiente. Dichas cartografías se presentan en las Fig. 5 a 9, y se encuentran en alta resolución en **Anexo 3** Mapas de Criterios, y sus insumos en formato shape file en el **Anexo 2** Base de Datos SIG (shaperfiles).

En lo que refiere a la biodiversidad, se trabajó con una base de datos de registros puntuales de colecta y avistamientos tanto de flora y fauna. La mayoría de los datos provienen de la base de datos de biodiversidad GBIF (88064 registros de 142 conjunto de datos para las subcuencas de estudio, ver GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.jeqepm>), complementado por la recopilación de datos relativos a biodiversidad de la misma zona de estudio (ver base de datos del presente estudio).

Como primera aproximación a la delimitación de zonas de alto valor en biodiversidad, se realizó con el conjunto de registros antes citados, una interpolación en base a densidad de núcleo con ancho de banda – *kernel density* (Salgado Ugarte 2000, Silverman 1986). El resultado se puede ver en la Fig. 5, donde destaca claramente una zona con alta densidad de registros entorno al Humedal Costerio del Río Elqui (superior a 18 registros por hectáreas, zonas rojas de la Fig.5), seguido por una zona entorno a Punta Teatinos (entre 4.2 a 8.4 registros por hectáreas, zona azul de la Fig.5).

Para los factores de degradación y pasivos ambientales, se realizó el mismo tipo de análisis espacial de densidad de núcleo con ancho de banda tomando como insumos diferentes catastros disponibles en la infraestructura de datos espaciales del estado, a saber: puntos de tratamiento de aguas servidas, registro de emisiones y transferencias de contaminantes, depósitos de relaves y faenas mineras. El mapa resultante se muestra en la Fig. 6. En ella se puede observar que la zona de mayor densidad se ubica en el sector urbano aguas arriba de la desembocadura, mientras que existen otros focos bastante más acotados ligados a sectores de extracción de minerales y depósitos de relaves (como El Romeral, Fundición Lambert en Quebrada Santa Gracia y Las Rojas en el Río Elqui).

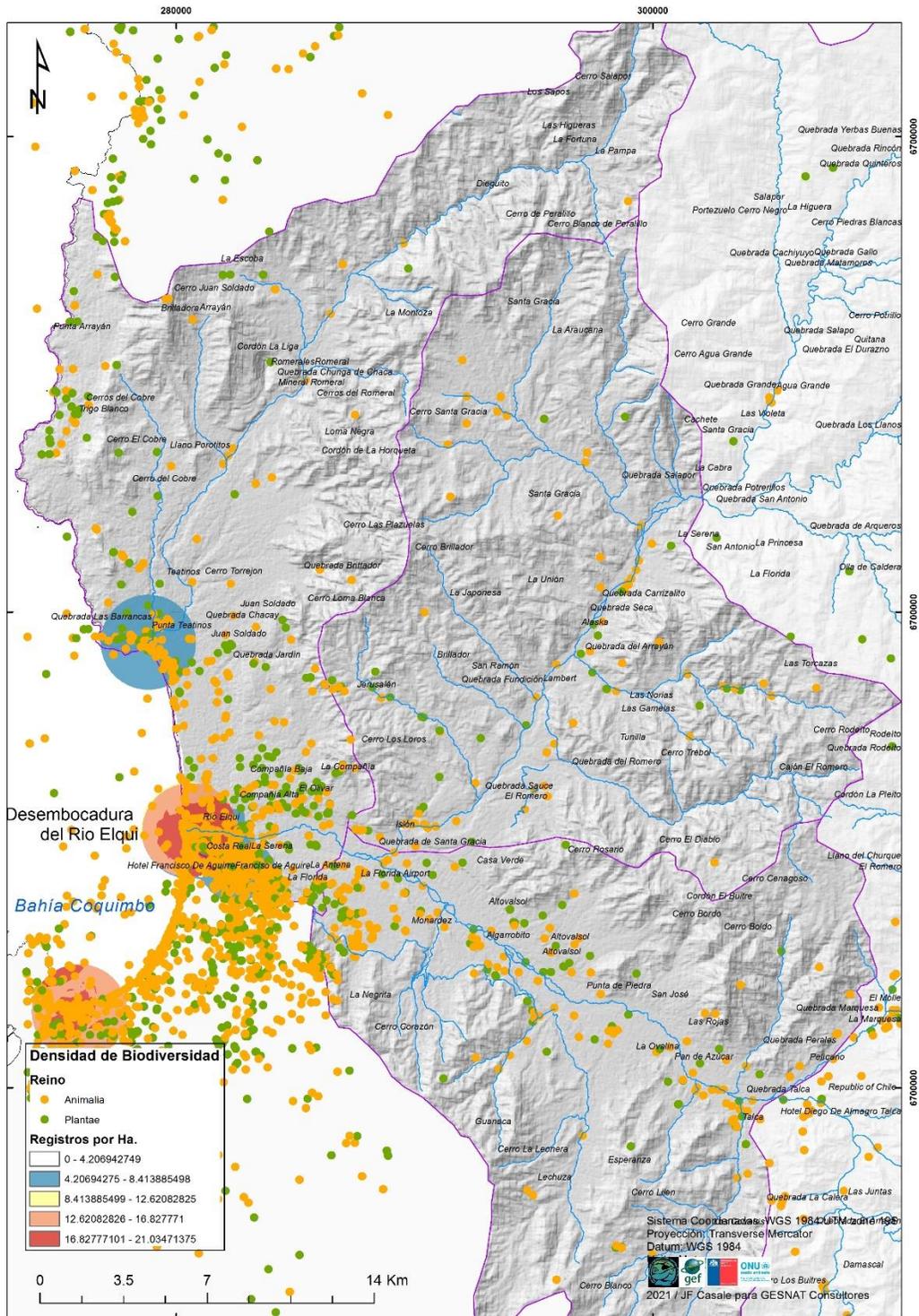


Figura 5: Mapa del criterio de biodiversidad, mostrando la densidad de biodiversidad en base a método de Kernel density derivado de la base de datos de registros de flora y fauna (reinos Animalia y Plantae). Elaboración propia en base a sistematización de datos georreferenciados de biodiversidad (2021).

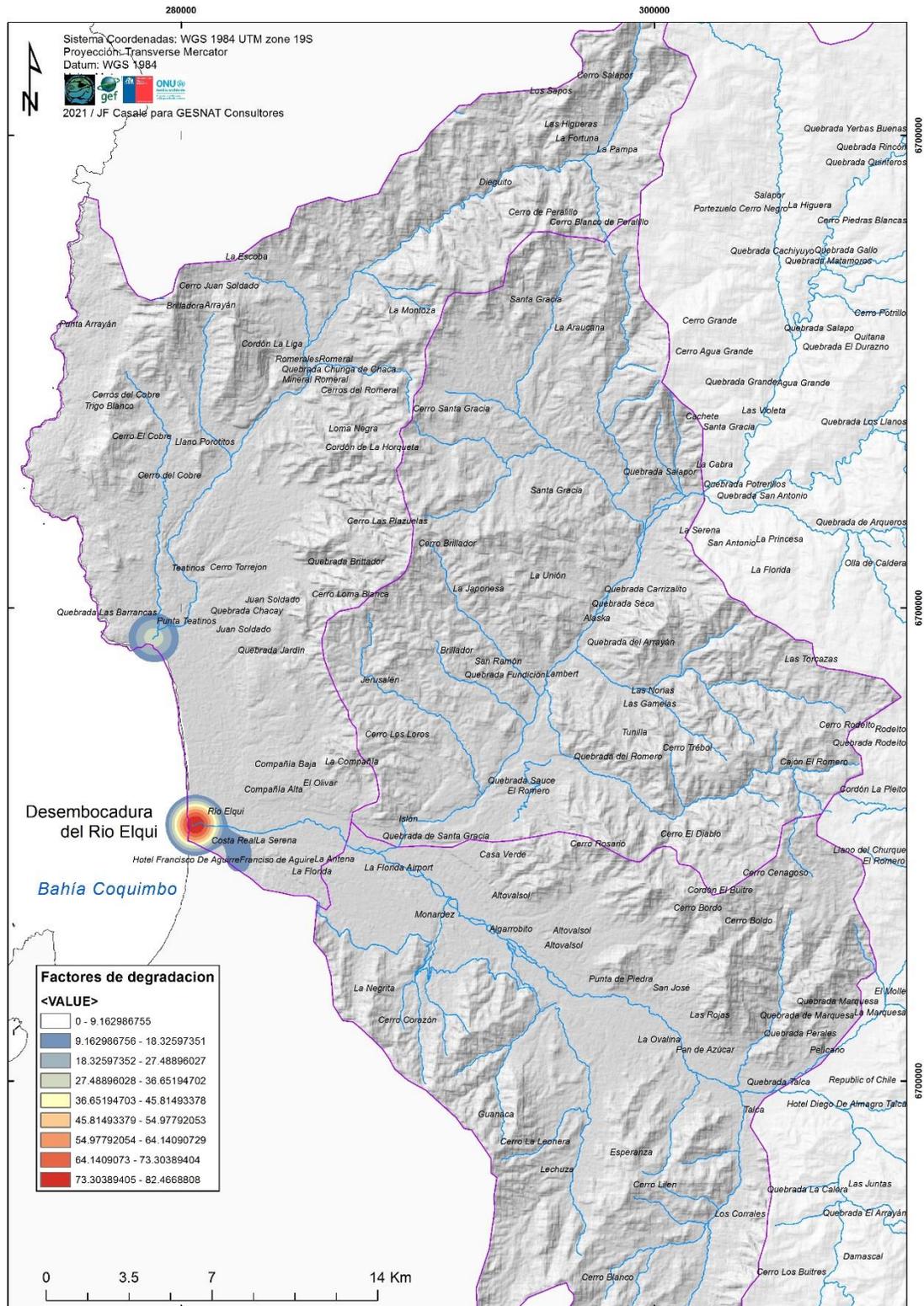


Figura 6: Mapa de factores de degradación. Densidad de pasivos y factores en base a kernel density.
 Elaboración propia.

Para el uso del suelo, se tomó como referencia el catastro de uso del suelo y vegetación realizado por CONAF (CONAF 2014). En la Fig.7 se puede apreciar el contexto de las subcuencas de estudio donde predominan los matorrales. Sin embargo, en torno a los cursos de agua activos (río Elqui principalmente) predominan los usos urbanos-industriales cerca de la desembocadura, con algunos enclaves agrícolas, y netamente agrícola cuenca arriba.

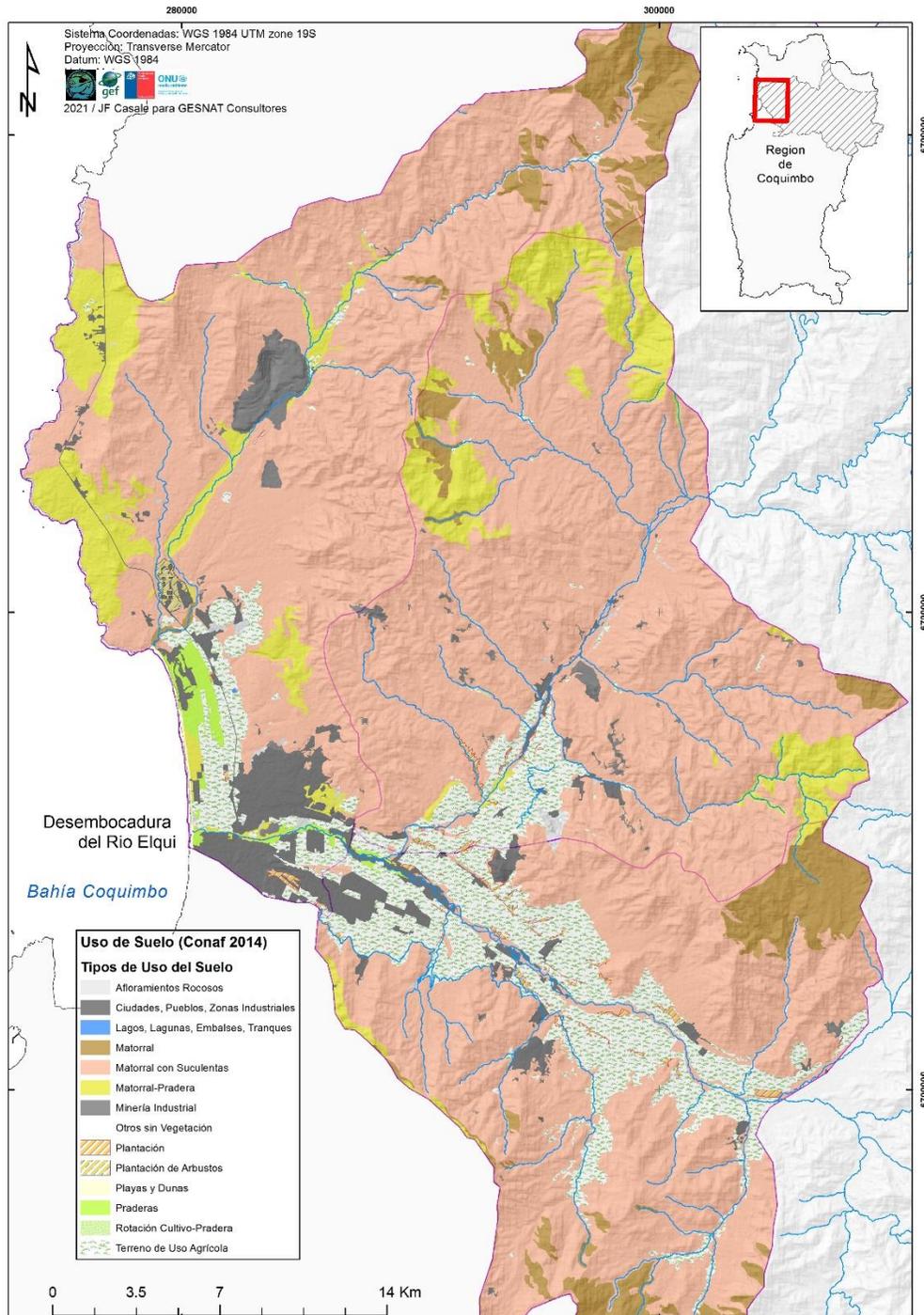


Figura 7: Mapa de uso de suelo y vegetación. Elaboración propia en base a CONAF 2014.

Para abordar la disponibilidad y calidad del agua, se combinaron en un mapa valores de caudales de extracción de pozos e información espacial de vulnerabilidad del acuífero (ver Fig. 9), ambos productos procedentes de la infraestructura de datos espaciales de la DGA (ver tablas de datos y capas originales de información geográfica en el **Anexo 2**).

Destacan las zonas de alta vulnerabilidad en torno al lecho activo del río Elqui y de sus terrazas colindantes (en color rojo y naranja en la Fig. 8); una vulnerabilidad alta persiste en la terraza costera desde la desembocadura del río Elqui hasta Punta Teatinos, así como en la sección inferior de la quebrada Santa Gracia.

Esta vulnerabilidad se vuelve moderada entorno a los cauces de las quebradas de El Romeral y de la quebrada Santa Gracia cuenca arriba. Los datos de niveles de extracción de agua por uso de pozos (círculos azules de la Fig. 8) muestran una alta densidad de pozos con caudales altos cerca del cauce del río Elqui entre el puente fiscal y la conexión con la quebrada Santa Gracia, luego entre Punta de Piedra y Las Rojas, y otra concentración en el extremo oriente de las subcuencas de estudio; destaca también una alta concentración en la cuenca alta de la quebrada El Romeral y Quebrada de Talca, pero con niveles de extracción bajos.

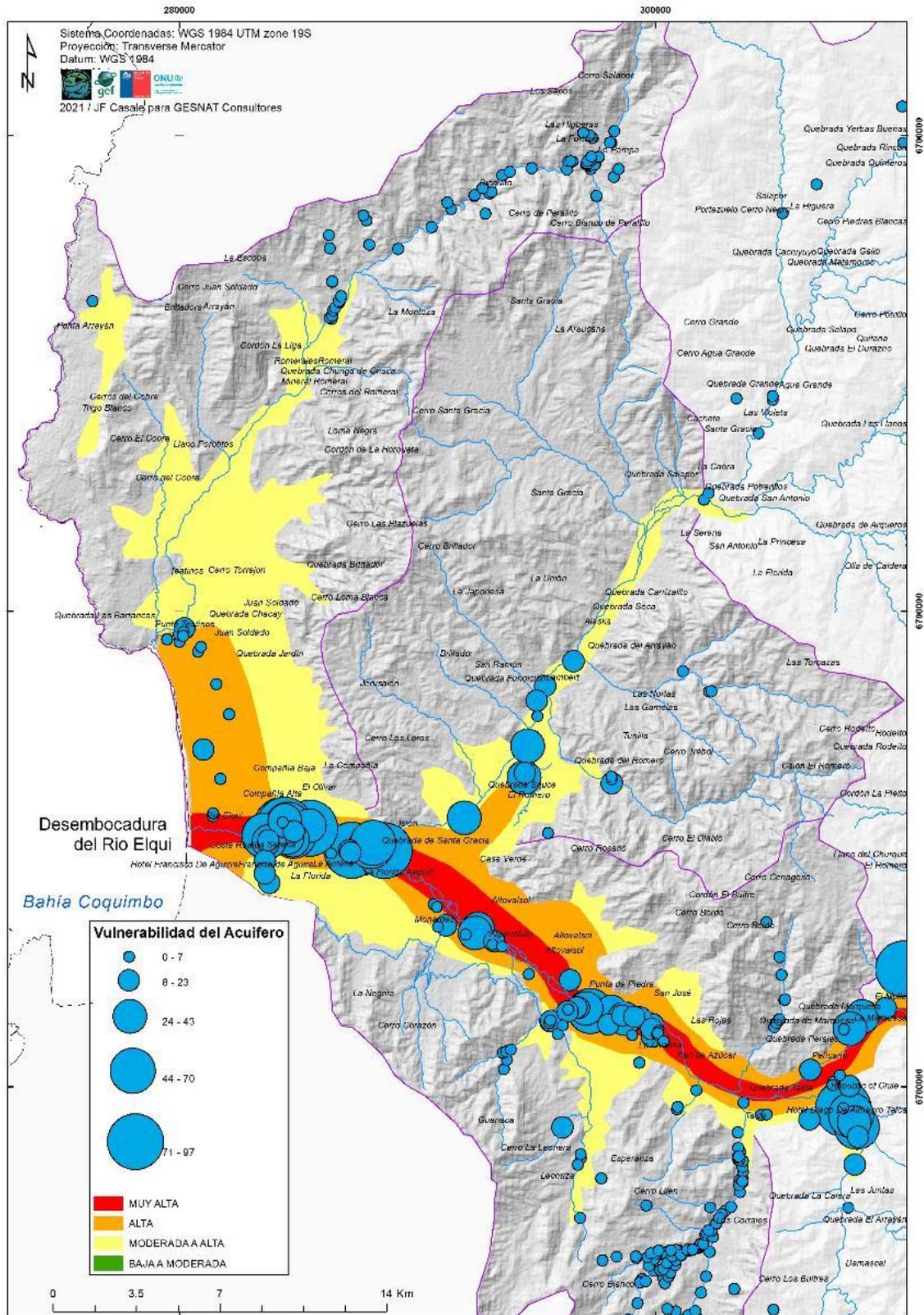


Figura 8: Mapa de vulnerabilidad del acuífero en las subcuencas del área de estudio. Los círculos azules materializan los caudales de extracción de pozos, mientras el degradé de verde a rojo traduce el nivel de sensibilidad a contaminación. Fuente: Elaboración propia en base a datos espaciales de DGA.

Respecto a la propiedad de la tierra, se muestran las concesiones mineras existentes en el área de las subcuencas de estudio (Fig. 9) en base a catastro de SERNAGEOMIN (2020). En esta figura se puede apreciar la importante proporción tanto de las concesiones de explotación (en amarillo y morado en la Fig. 9) como las de exploración (en verde en la Fig. 9). Aunque no se observa claramente en esta figura por la resolución, se quiere señalar que actualmente el cauce del río Elqui se encuentra prácticamente libre de concesiones, salvo en ciertos sectores al oriente de La Serena.

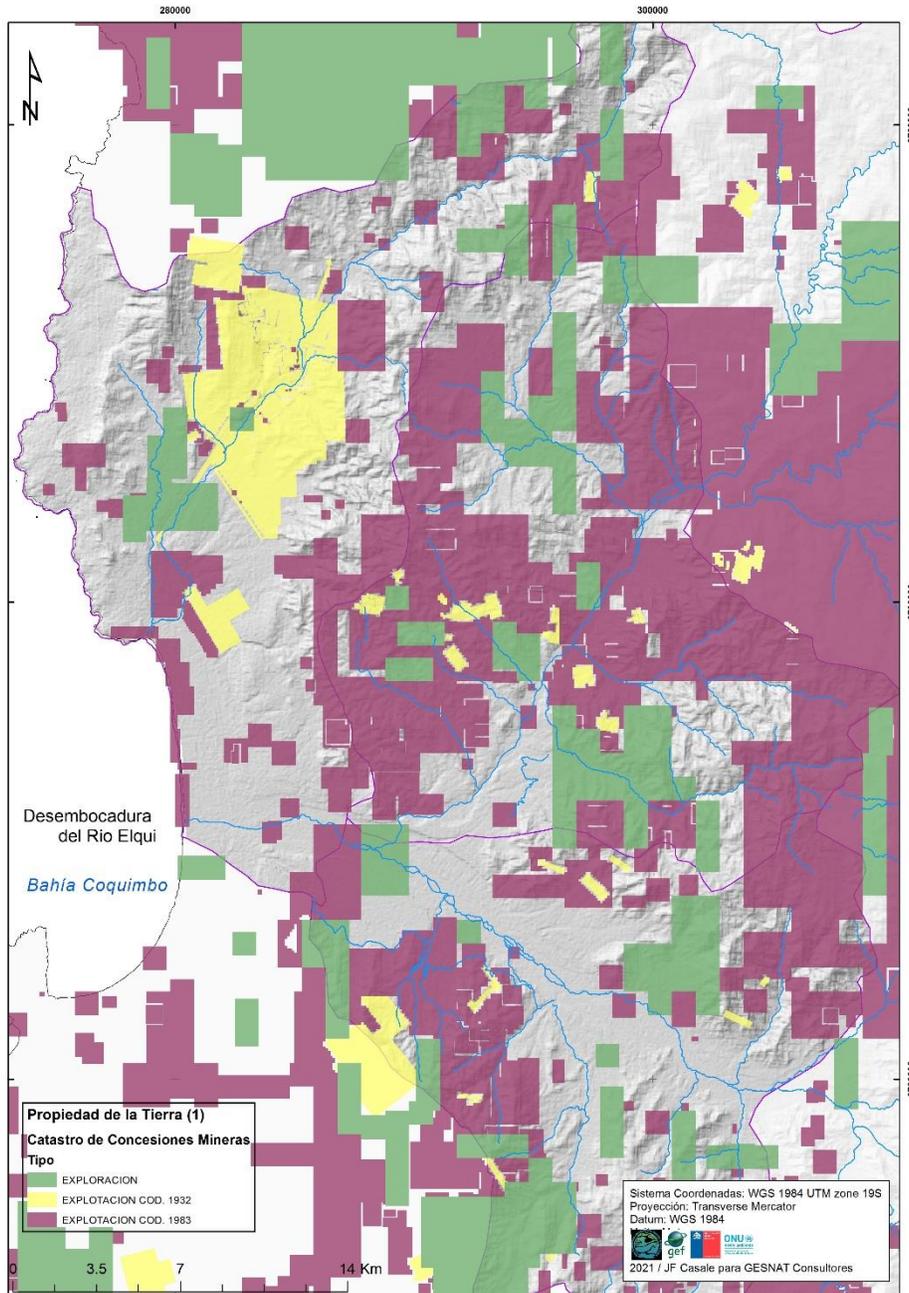


Figura 9: Mapa de catastro de concesiones mineras. Elaboración en base a catastro de SERNAGEOMIN (2020).

4.3 Priorización de sectores a restaurar del humedal y de sus subcuencas aportantes.

Para las propuestas de restauración se utilizó la metodología de Evaluación de las Oportunidades de Restauración (metodología ROAM: UICN & WRI 2014) y los Estándares Abiertos para la Conservación (CMP 2017). Además de la metodología ROAM se utilizó como herramientas de apoyo el Plan Nacional de Restauración de Paisaje (MINAGRI & CONAF 2019-2020), la Guía de Restauración de Ecosistemas Andinos (2015), y las directrices mundiales para la restauración de bosques y paisajes degradados en tierras secas de la FAO (2016). Adicionalmente, hemos revisado estudios realizados regionalmente por CONAMA (2009) en su propuesta de restauración del humedal el Culebrón.

Las metodologías descritas, más el trabajo de revisión de antecedentes, el trabajo de colecta de datos en terreno permitió al equipo consultor identificar una serie de áreas que merecían ser consideradas en un plan de restauración (Fig. 11 al 13).

Pero era necesaria realizar una priorización de los sectores a restaurar el Humedal Costero del Río Elqui. Para ello, se realizó en un Taller virtual efectuado el 20 de enero de 2021 con la asistencia de 25 miembros del Comité Regional del proyecto GEF Humedales Costeros (**Anexo 5**). A continuación, se describen los detalles de dicho taller:

4.3.1 Taller 1

El taller se realizó el miércoles 20 de enero entre las 09:00 y 12:30 horas, por la plataforma Zoom y con apoyo del mural participativo *Miro*. La agenda se encuentra disponible en el Anexo 5.

4.3.2 Objetivo y Agenda del Taller

El objetivo fue priorizar participativamente sectores que necesitan ser restaurados para favorecer la continuidad ambiental del Humedal Costero del Río Elqui y las subcuencas aportantes.

4.3.3 Desarrollo del Taller

Para la priorización participativa se propuso un trabajo en 5 etapas, como se describe en la Fig. 10. En el taller del 20 de enero de 2021 se trabajó solo las primeras 3 etapas que consistían en rankear los criterios y aplicarlos a sectores a restaurar. Todo fue realizado a través de trabajo grupal donde cada grupo, con la ayuda de un mapa, realiza su propia priorización. Posterior a esta etapa de taller virtual, se procesó la información y se envió un correo a cada uno de los participantes para validar la propuesta de priorización con un

consolidado de los criterios. Para asegurar máxima participación se envió además correo electrónico con información y mapas a los actores identificados como relevantes, pero que no participaron en el taller.



Figura 10: Flujo de trabajo propuesto para el desarrollo del Taller de Priorización. Fuente: *Elaboración propia.*

4.3.4 Etapa 1 Criterios propuestos

Para la realización del Taller, se propuso una serie de 5 criterios (Tabla 4) para apoyar la decisión de dónde realizar la restauración del Humedal Costero del Río Elqui, en base al análisis y sistematización de la información base recopilada para el área de estudio.

Tabla 4. Descripción de los criterios propuestos para el Taller con actores claves. Elaboración propia en base a sistematización de la información recopilada.

CRITERIOS	DEFINICION	JUSTIFICACION
VALOR DE BIODIVERSIDAD	Se refiere a la densidad de especies de flora y fauna registrada para el área de interés. Restaurar la biodiversidad contribuirá a la restauración de los Servicios Ecosistémicos asociados (recurso alimenticio, recreación, entre otros)	Lugares con mayor biodiversidad proporcionan buenos servicios ecosistémicos, y cumplen las metas del proyecto GEF HC
NIVEL DE DEGRADACIÓN DEL HUMEDAL Y SU ENTORNO	Se refiere a la pérdida de calidad y cantidad de recursos claves para la mantención de los servicios ecosistémicos del humedal (provisión de agua) y su entorno. Superficie debido a basurales clandestinos y extracción de áridos y agua	La posibilidad de restaurar sectores del río Elqui son esenciales para promover la recuperación de servicios ecosistémicos
CAMBIO DE USO DEL SUELO DEL HUMEDAL Y SU ENTORNO	Se refiere a cambios de usos que afectan negativamente el cauce y la riberas. Urbanización, actividades industriales, cambios de usos del suelo, expansión de la frontera agrícola,	En la medida que sea posible regular los usos en y elrededor del humedal será posible mejorar las opciones de restaurar el sistema natural y sus servicios ecosistémicos.
CANTIDAD Y CALIDAD DEL AGUA EN EL HUMEDAL Y CAUCES APORTANTES	Se refiere a los niveles de extracción de agua, alteración de la calidad por contaminación debido al uso de agroquímicos, y aportes de aguas servidas.	En la medida de que sea factible mejorar la cantidad y calidad de las aguas del humedal y sus cauces aportantes provocará mejorar en la biodiversidad que contienen y los servicios ecosistémicos del humedal
PROPIEDAD DE LA TIERRA	Se refiere al tipo de propiedad (público, privada) en el humedal y su entorno como factor para tomar en cuenta ante la posibilidad de usar fondos publicos para la restauración	La propiedad de la tierra es clave a la hora de tomar decisiones sobre donde invertir recursos publicos

4.3.5 Etapa 2 Ranking de criterios

Sobre la base de la propuesta de criterios (Tabla 4) de selección de los sectores a priorizar, mediante actividad grupal, se procedió a una valoración participativa (ranking) de dichos criterios. En las Tablas 5 y 6, se presentan los resultados de esta valoración.

En la Tabla 5 se observa el detalle de la priorización por cada grupo, y se observa una coincidencia total en los resultados del grupo 1 y del grupo 3. Según el valor otorgado por cada grupo a los criterios es que se obtuvo a partir de la suma un valor único para cada criterio. Los valores más bajos obtenidos corresponden a los criterios considerados más importantes. En ambos grupos los criterios más importantes fueron *Nivel de degradación del humedal y su entorno*, y *Cantidad y calidad del agua en el humedal y cauces aportantes*; como segundos criterios se propuso *Valor de biodiversidad*, y *Cambio de uso del suelo del humedal y su entorno*. Finalmente, estos grupos propusieron como tercer criterio *Propiedad de la tierra*.

En el grupo 2 en cambio, se determinaron 3 de los criterios con igual relevancia, estos son *Valor de biodiversidad*, *Nivel de degradación del humedal y su entorno*, y *Cantidad y calidad del agua en el humedal y cauces aportantes*. Como segundo criterio se propuso *Propiedad de la tierra*, y como tercero *Cambio de uso del suelo del humedal y su entorno*. La sumatoria de esta valoración permitió consensuar los criterios más importantes a modo general, los cuales son *Nivel de degradación del humedal y su entorno*, y *Cantidad y calidad del agua en el humedal y cauces aportantes* (destacados en amarillo en Tabla 5). La Tabla 6 muestra el resultado de la valoración final.

Tabla 5: Criterios y su valoración participativa durante los grupos de trabajo. Fuente: Elaboración propia en base a resultados del taller de Priorización.

CRITERIOS	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Sumatoria
VALOR DE BIODIVERSIDAD	2	1	2	5
NIVEL DE DEGRADACIÓN DEL HUMEDAL Y SU ENTORNO	1	1	1	3
CAMBIO DE USO DEL SUELO DEL HUMEDAL Y SU ENTORNO	2	3	2	7
CANTIDAD Y CALIDAD DEL AGUA EN EL HUMEDAL Y CAUCES APORTANTES	1	1	1	3
PROPIEDAD DE LA TIERRA	3	2	3	8

Tabla 6: Valoración participativa consolidada de los criterios de priorización propuestos.
Fuente: Elaboración propia en base a resultados del taller de Priorización.

CRITERIOS	PRIORIDAD FINAL
VALOR DE BIODIVERSIDAD	2
NIVEL DE DEGRADACION DEL HUMEDAL Y SU ENTORNO	1
CAMBIO DE USO DEL SUELO DEL HUMEDAL Y SU ENTORNO	3
CANTIDAD Y CALIDAD DEL AGUA EN EL HUMEDAL Y CAUCES APORTANTES	1
PROPIEDAD DE LA TIERRA	4

4.3.6 Etapa 3 Selección participativa de sectores a priorizar usando los Criterios

El equipo consultor no entregó a los asistentes al Taller una propuesta de priorización propia previa, sino que sistematizó información y generó insumos como una propuesta de criterios a priorizar junto con cartografías temáticas con el objetivo de apoyar y orientar a los participantes del taller (Tabla 4).

Mediante la actividad grupal de mapeo participativo (Etapa 3), se procedió a la selección de sectores a priorizar para cada uno de los criterios anteriormente valorados (Tabla 5 y 6). Se puede apreciar en las Figuras. 11, 12 y 13 la información espacial colectada en cada grupo de trabajo del Taller del 20 de enero de 2021.

Una priorización final, consolidada y consensuada se logró sobre la base de la validación de los resultados del taller y de los resultados del levantamiento complementario de información in-situ. En base a los resultados de la selección participativa de sectores a priorizar, se procedió a integrar dichos resultados en el SIG para su análisis (Anexo 2). Los resultados de la priorización de sitios se encuentran descritos en el **Anexo 4** Priorización de Sitios. Las figuras 11, 12 y 13 muestran el ejercicio grupal de priorizar por sectores (grillas) los criterios priorizados. La Figura 11 muestra el ejercicio para el Grupo 1, la figura 12 para el grupo 2 y la figura 13 para el grupo 3.

La priorización final se realizó en base a celda en un plano del área de trabajo para un análisis de peso ponderado en función de la combinación de criterios y su peso de valoración (*weighted sum*). Este análisis consistió en realizar una suma de capas multiplicando los valores ponderados de cada celda priorizada (valor de prioridad final consensuado por cada criterio) durante el taller. De esta forma, se generaron un set de mapas por grupo (un mapa para cada criterio y 1 mapa consolidado) y un set de mapas consolidados (1 consolidado por cada criterio y un consolidado general).

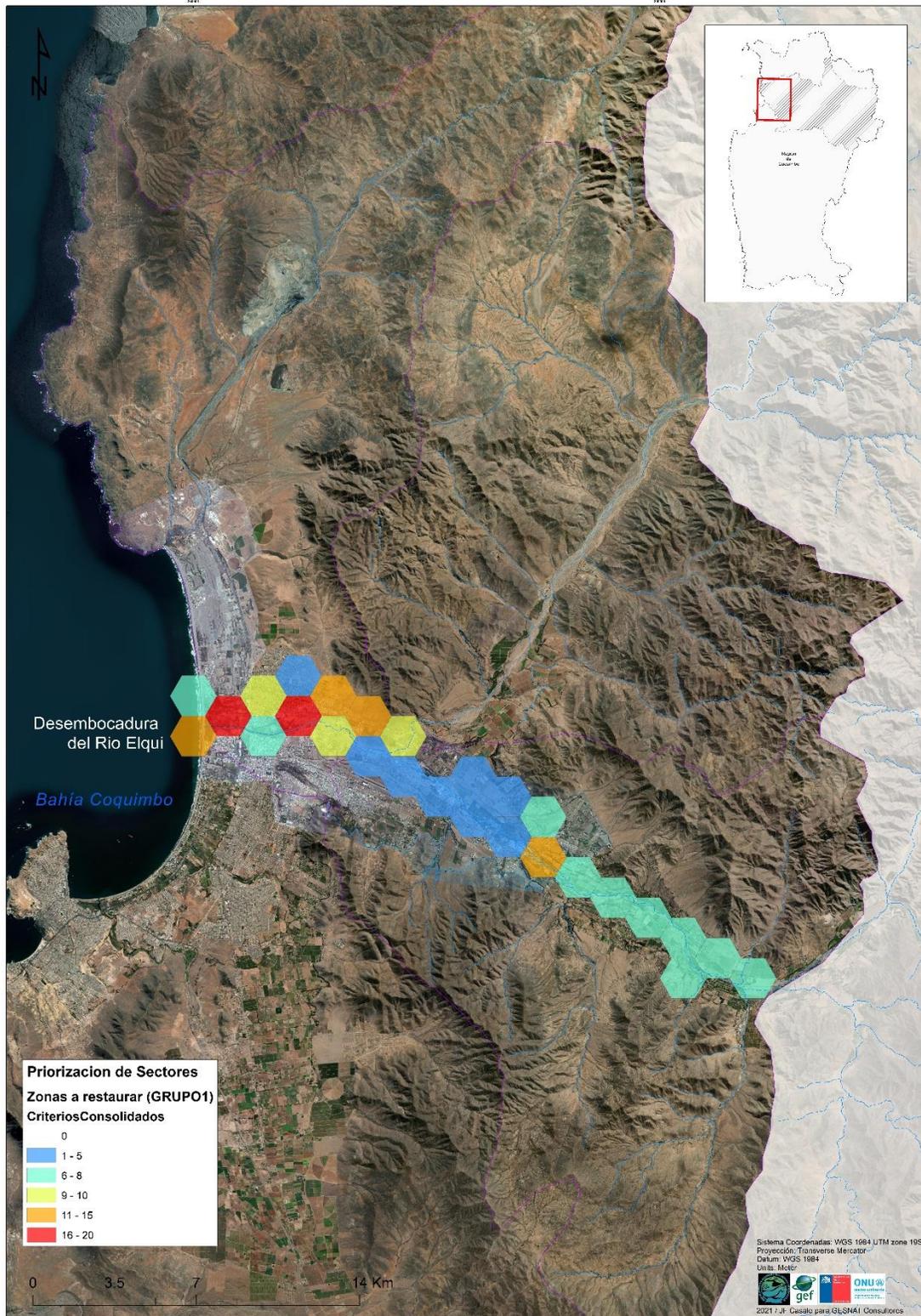


Figura 11: Priorización de sectores a restaurar en base a criterios. Resultado del trabajo grupal del Grupo 1. Fuente: Elaboración Propia

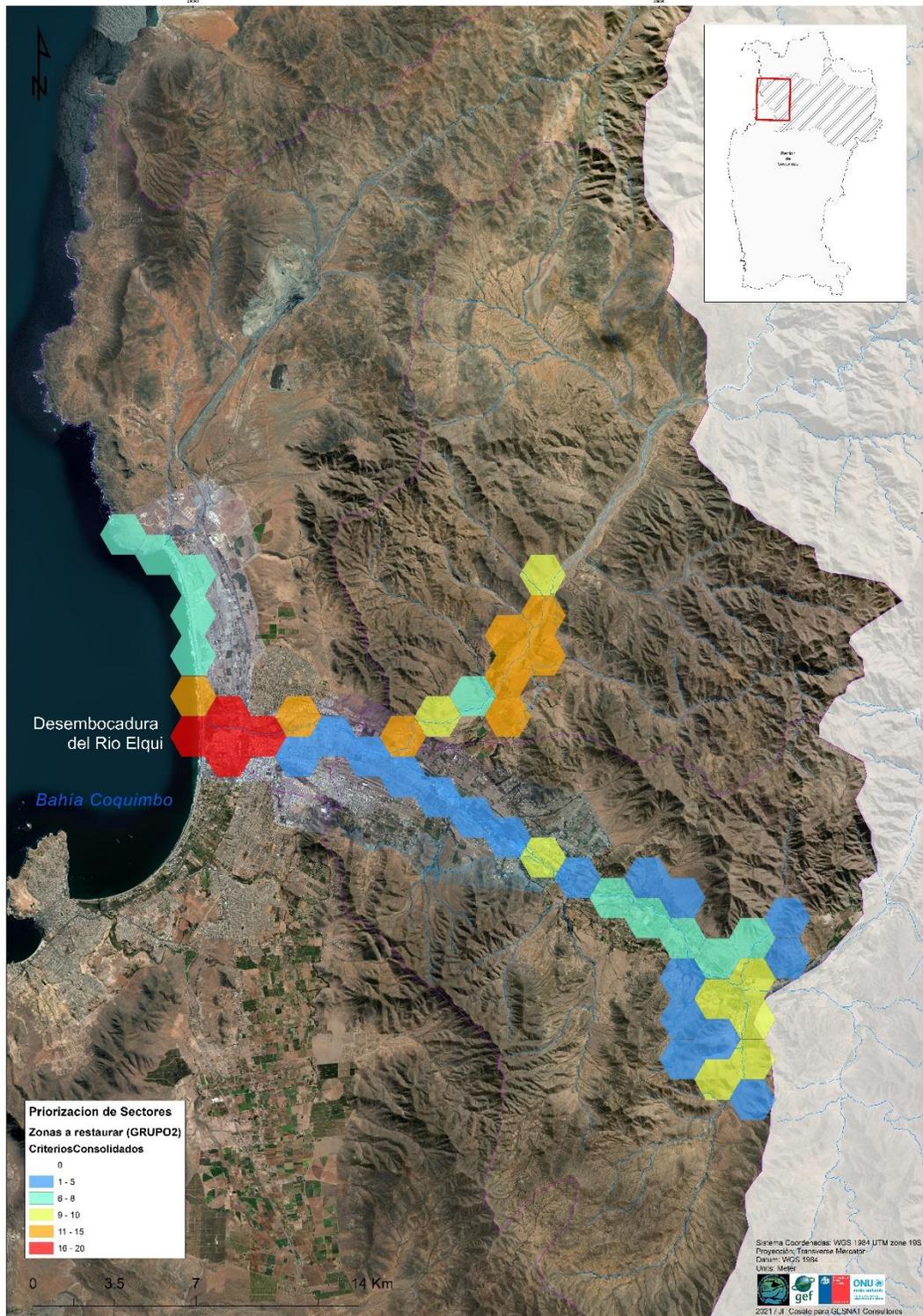


Figura 12: Priorización de sectores a restaurar en base a criterios. Resultado del trabajo grupal del Grupo 2. Fuente: Elaboración Propia.

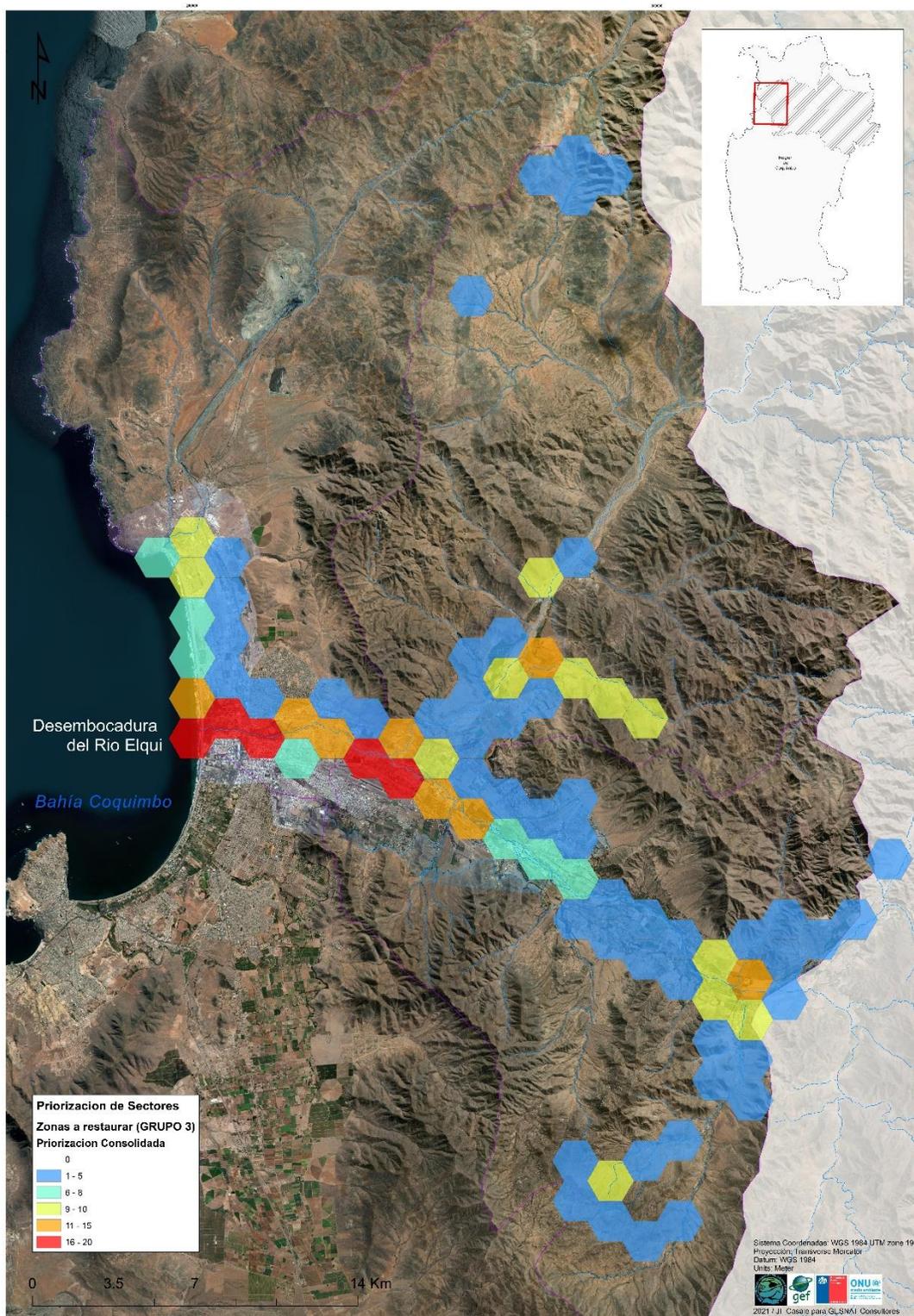


Figura 13: Priorización de sectores a restaurar en base a criterios. Resultado del trabajo grupal del Grupo 3. Fuente: Elaboración Propia

4.4 Validación de los sitios priorizados en terreno

En el Taller con actores claves de enero 2021 permitió aportar información para definir cada uno de los cinco sitios priorizados para restauración, en conjunto con el levantamiento de información bibliográfica y de información en terreno. En el mes de marzo de 2021, junto a la Contraparte Técnica del proyecto se visitó y revisó en detalle cada sitio priorizado, para la validación final.



Figura 14: Visita con la contraparte técnica de la licitación para validar los sitios priorizados, marzo de 2021.

4.5 Levantar información in situ de los sitios priorizados

Para cada uno de los cinco sitios priorizados se levantó una línea de base biológica. Se levantó información para desarrollar acciones efectivas de restauración que conduzcan a mejorar la condición ecológica del humedal, cubriendo vacíos de información. Esta información es además relevante para el diseño de los futuros planes de monitoreo de las acciones de restauración, usando como base la información biológica colectada en esta consultoría. **Anexo 6** detalla algunos temas de la línea de base.

Colectamos información de calidad de agua basándonos en la NCh 1333 en tres de los cinco sitios priorizados. También, muestras de macroinvertebrados y macrófitas como indicadores de calidad ambiental del humedal. En fauna se levantó el catálogo de las principales taxas presentes y sus estados de conservación, tomando en cuenta los grupos que pueden ser usados como buenos indicadores de calidad (aves, anfibios), flora y vegetación (formaciones de vegetación y catálogo para cada una), servicios ecosistémicos, amenazas y presiones al humedal y sus subcuencas aportantes. De esta forma, la línea de base generada en esta consultoría permitirá evaluar las intervenciones de restauraciones más idóneas para cada estrata y/o sitio priorizado.

Para lo anterior, se contó con el apoyo de un equipo RPAS (Aeronave Pilotada a Distancia, o Drone) de los sitios que lo requieren. Esto con el fin de obtener imágenes aéreas de alta resolución actualizadas. Se utilizó un Dron Quadcopter de marca DJI, Mavic 2 Pro, con sensor RGB. Durante la operación del dron, se siguieron buenas prácticas y medidas de seguridad para evitar molestias y estrés a la fauna de la zona (Hodgson & Pin Koh 2016).

4.5.1 Línea de Base Componente Fauna (Reptiles, Aves y Mamíferos)

Resumen

Considerando que esta consultoría propuso cinco criterios para apoyar la decisión de selección de sectores realizar la restauración del Humedal Costero del Río Elqui, con base al análisis y sistematización de la información recopilada para el área de estudio, el valor de la biodiversidad fue uno de los criterios que se selección como prioridad 2. En este contexto, se elaboró una línea de base de la biodiversidad de reptiles aves y mamíferos como indicadores de partida para futuros programas de monitoreo de la restauración ecológica.

Los resultados obtenidos fueron:

Tabla 7: Resultados de la línea de base de reptiles, aves y mamíferos en el Humedal Costero del Río Elqui.

Reptiles											
Diversidad										Similitud	
Sector	Brillouin	IC (95%)	Riqueza	Chao	IC95%	Endémicos	Introducidos	Amenazados	Base datos Consultoría 1	Sectores	Chao - Sorensen (%)
1	0.96	0.46-1.15	5							1 - 2	94.3
2	1.21	0.85-1.30	5							1 - 3	63.6
3	1.17	0.80-1.22	5	6	6-7	5 (6.5%)	0	1 (0.75%)	8	1 - 4	31.0
4	0.83	0.48-0.83	3							1 - 5	53.2
5	1.00	0.60-1.10	4							2 - 3	74.3
Total	1.55	1.44-1.60	6							2 - 4	55.2
										2 - 5	76.5
										3 - 4	78.3
										3 - 5	96.3
										4 - 5	92.3

Aves											
Diversidad										Similitud	
Sector	Brillouin	IC (95%)	Riqueza	Chao	IC95%	Endémicos	Introducidos	Amenazados	Base datos Consultoría 1	Sectores	Chao - Sorensen (%)
1	3.59	3.45-3.60	68							1 - 2	33.6
2	2.37	2.13-2.41	18							1 - 3	38.3
3	3.11	2.98-3.11	35	131	106-190	5 (41.7%)	5 (0.9%)	4 (4%)	170	1 - 4	55.4
4	3.17	3.02-3.18	39							1 - 5	59.3
5	3.36	3.22-3.35	49							2 - 3	76.5
Total	3.90	3.83-3.91	87							2 - 4	75.4
										2 - 5	66.4
										3 - 4	81.4
										3 - 5	78.7
										4 - 5	92.8

Mamíferos											
Diversidad										Similitud	
Sector	Brillouin	IC (95%)	Riqueza	Chao	IC95%	Endémicos	Introducidos	Amenazados	Base datos Consultoría 1	Sectores	Chao - Sorensen (%)
1	0.0	NA	2							1 - 2	
2	0.0	NA	1							1 - 3	
3	0.0	NA	2							1 - 4	
4	0.0	NA	2	?	?	?	3 (13.6%)	?	6	1 - 5	
5	0.0	NA	3							2 - 3	
Total	0.0	NA	4							2 - 4	?
										2 - 5	
										3 - 4	
										3 - 5	
										4 - 5	

En conclusión, la línea de base presentó un buen alcance en el grupo de reptiles. Para las aves, se consideró necesario incrementar el tamaño de muestra. Dado que los micromamíferos son los de mayor riqueza y abundancia, no se pudo establecer el real parámetro de biodiversidad debido a que este trabajo no consideró la captura de ejemplares.

Introducción

En la región de Coquimbo (centro norte de Chile), existen, al menos, 16 humedales costeros, inmersos en la región costera árida-semiárida del Pacífico sudamericano. Estos humedales forman parte de un gran corredor ecológico en Sudamérica, de importancia vital para numerosas especies de aves migratorias, fauna nativa, endémica y flora característica (García *et al.* 2021). La ubicación geográfica les confiere a estos humedales un gran valor ecológico, debido a que se encuentran formando parte del desierto de Atacama y están asociados con matorrales y vegetación característica de humedales principalmente (García *et al.* 2021). Otro aspecto fundamental de la ubicación de estos humedales es que se encuentran dentro del hotspot denominado “Chilean winter rainfall-Valdivian forests (Mittermeier *et al.* 2004). Un hotspot con un alto grado de endemismos en cuanto a flora y fauna (Simonetti 1999, Mittermeier *et al.* 2004).

Las actividades industriales y mineras, entre otras, traen como consecuencia el incremento de la población en las ciudades, expansión de las ciudades, actividades recreacionales y consecuente incremento del uso de agua, convirtiendo a los ecosistemas costeros asociados en víctimas de alteraciones e impactos, colocándolos en un estado de alta vulnerabilidad (Tabilo *et.al.* 2017). Un humedal emblemático y altamente amenazado es el humedal

costero del río Elqui en la bahía de Coquimbo. Este río es el más septentrional de la zona semiárida de Chile y representa el límite sur del desierto de Atacama (Tabilo *et.al.* 2017).

En el marco de la ejecución del proyecto GEF “Conservación de humedales costeros de la zona centro-sur de Chile, a través del manejo adaptativo de los ecosistemas de borde costero” (Proyecto GEF Humedales Costeros), el mismo que pretende la conservación y uso sostenibles de los ambientes acuáticos costeros, abordando la problemática bajo un esquema de cuencas, se presenta esta línea de base de fauna, relacionado al Criterio 1 de priorización de sectores para la Restauración Ecológica del Humedal Costero del Río Elqui y sus Subcuencas aportantes. El criterio 1 de priorización está relacionado con el Valor de la Biodiversidad, considerando como indicador de restauración a la riqueza de especies y a las especies endémicas de fauna en sus taxa reptiles, aves y mamíferos.

Objetivo General

El objetivo de este anexo complementario al informe final, es dar a conocer la diversidad de especies de reptiles, aves y mamíferos, en los sectores priorizados para ser restaurados, en el Humedal Costero del Río Elqui.

Objetivos Específicos

Determinar la riqueza de reptiles, aves y mamíferos.

Determinar el origen geográfico y estado de conservación de reptiles, aves y mamíferos.

Calcular los índices de diversidad de cada grupo taxonómico.

Metodología

La evaluación se llevó a cabo en cada uno de los cinco sectores que fueron priorizados para su restauración, en el taller 1: “Identificación y Priorización de Áreas de Restauración Ecológica para el Humedal Costero del Río Elqui y sus Subcuencas aportantes, Región de Coquimbo”. Este taller fue realizado por el equipo consultor el día 20 de enero de 2021 bajo el enfoque e la metodología ROAM, consideró cinco criterios base: valor de biodiversidad, nivel de degradación del humedal y su entorno, cambio de uso del suelo del humedal y su entorno, cantidad y calidad del agua en el humedal y cauces aportantes, y propiedad de la tierra. Para cada sector se realizó una descripción general de la cobertura vegetal y tipos de sustratos.

Para el registro de fauna, en el sector 1 se trazaron tres transectos, uno paralelo al mar de 3000 m, uno perpendicular al mar de 4000 m y uno paralelo al río Elqui de 4300 m. En el sector 2 se trazó un transecto paralelo al río Elqui de 4000 m. En el sector 3, el transecto siguió la quebrada de Santa Gracia hasta su unión con el río Elqui y en dirección este (río

arriba), paralelo al río, sumando 9000 m. En los sectores 4 y 5, los transectos siguieron paralelo al río Elqui con longitudes de 4500 y 4000 m respectivamente (Tabla 8. Fig.15). Los datos se registraron desde el 12 de febrero hasta el 10 de abril de 2021, entre las 7.00 y las 18.00 horas, parando una hora para alimentación del personal. Cada transecto fue recorrido tres veces, considerando la abundancia de cada especie, a la máxima registrada en cada vez.

Tabla 8. Transectos para evaluación de fauna por sector a restaurar y la longitud de cada uno. Fuente: Elaboración propia.

Transecto	Longitud (m)
Sector 1 Transecto 1	3000
Sector 1 Transecto 2	4000
Sector 1 Transecto 3	4300
Sector 2 Transecto 4	4000
Sector 3 Transecto 5	9000
Sector 4 Transecto 6	4500
Sector 5 Transecto 7	4000
Total	32800



Figura 15. Sectores priorizados para ser restaurados y los transectos de registro de fauna en cada sector priorizado. Fuente: Elaboración propia.

El origen geográfico y estado de conservación de las especies de fauna se determinó con la lista de Clasificación de Especies, que resultó como producto de la aprobación del 16° proceso llevado a cabo por el Ministerio del Ambiente de Chile. Esta lista de Clasificación es accesible desde la siguiente dirección electrónica:

<https://clasificacionespecies.mma.gob.cl/>

Según lo señalado en el D.S. N°29/2012 (APRUEBA REGLAMENTO PARA LA CLASIFICACIÓN DE ESPECIES SILVESTRES SEGÚN ESTADO DE CONSERVACIÓN), del Ministerio del medio Ambiente, se emplearon las siguientes categorías de conservación.

- **Extinta (EX)**: cuando no queda ninguna duda razonable de que el último individuo existente de dicha especie ha muerto. Se presume que una especie está Extinta cuando prospecciones exhaustivas de sus hábitats, conocidos y/o esperados, en los momentos apropiados (diarios, estacionales, anuales), y a lo largo de su área de distribución histórica, no han podido detectar un solo individuo. Las prospecciones deberán ser realizadas en períodos de tiempo apropiados al ciclo de vida y formas de vida de la especie.
- **Extinta en Estado Silvestre (EW)**: cuando sólo sobrevive en cultivo, en cautividad o como población (o poblaciones) naturalizadas completamente fuera de su distribución original. Se presume que una especie está Extinta en Estado Silvestre cuando prospecciones exhaustivas de sus hábitats, conocidos y/o esperados, en los momentos apropiados (diarios, estacionales, anuales), y a lo largo de su área de distribución histórica, no han podido detectar un solo individuo.
- **En Peligro Crítico (CR)**: cuando la mejor evidencia disponible indica que cumple con alguno de los criterios establecidos por la UICN para tal categoría y, por consiguiente, se considera que está enfrentando un riesgo extremadamente alto de extinción en estado silvestre.
- **En Peligro (EN)**: cuando la mejor evidencia disponible indica que cumple con alguno de los criterios establecidos por la UICN para tal categoría y, por consiguiente, se considera que está enfrentando un riesgo muy alto de extinción en estado silvestre.
- **Vulnerable (VU)**: cuando la mejor evidencia disponible indica que cumple con alguno de los criterios establecidos por la UICN para tal categoría y, por consiguiente, se considera que está enfrentando un riesgo alto de extinción en estado silvestre.
- **Casi Amenazada (NT)**: cuando ha sido evaluada y no satisface, actualmente, los criterios para las categorías En Peligro Crítico, En Peligro o Vulnerable; pero está próximo a satisfacer los criterios de estos últimos, o posiblemente los satisfaga, en el futuro cercano.

- **Preocupación Menor (LC):** cuando, habiendo sido evaluada, no cumple ninguno de los criterios que definen las categorías de En Peligro Crítico, En Peligro, Vulnerable o Casi Amenazada. Se incluyen en esta categoría especies abundantes y de amplia distribución, y que por lo tanto pueden ser identificadas como de preocupación menor.
- **Datos Insuficientes (DD):** cuando no hay información adecuada para hacer una evaluación, directa o indirecta, de su riesgo de extinción basándose en la distribución y/o condición de la población.

Reptiles: Se recorrieron los transectos establecidos con ancho variable, de acuerdo al acceso y visibilidad que permitió la vegetación y el entorno. La recolección de datos de especies e individuos se realizó poniendo especial atención en sectores de formación arbustiva baja, entre rocas, bajo piedras, laderas, quebradas y/o pircas, levantando troncos y piedras, bajo los cuales algunas especies suelen permanecer ocultas (Halliday 1996). Para la identificación de las especies se empleó bibliografía especializada como Donoso-Barros (1966), Veloso y Navarro (1988), Núñez y Torres-Mura (1992), Núñez y Jaksic (1992), Pincheira-Donoso y Núñez (2005), Mella (2005) y Vidal y Labra (2008), Mella (2017).

Aves: Las aves se identificaron por observación directa en los transectos establecidos. Se emplearon binoculares Nikon 20 x 50 y un telescopio Kowa 20 - 60 x y se indicó el sustrato o formación vegetal en el que se encontraba. La identificación se realizó siguiendo bibliografía especializada como Araya y Millie (1992), Jaramillo (2003), Couve y Vidal (1999, 2003, 2004), Muñoz et al (2004), Martínez y González (2004) y Couve *et al.* (2016). Algunas vocalizaciones se compararon con la base de datos de Xeno-Canto (<http://www.xeno-canto.org/>). Finalmente, para evaluar aves nocturnas y de difícil observación, en cada punto de muestreo se utilizó reproducciones de llamado buscando respuesta o "play back" de estas especies. Se emplearon las vocalizaciones de todas las especies que podrían existir en el área de trabajo. Las vocalizaciones se obtuvieron de una base de datos propios y de una fuente proveniente de internet (<http://www.xeno-canto.org/>).

Mamíferos: Tanto para los mamíferos medianos (zorros y otros) como para micromamíferos (roedores) se recorrieron transectos establecidos, identificando indicios de presencia como heces, revolcaderos, guaridas, aromas y huellas principalmente. Se prestó especial atención a aquellos sitios de mayor probabilidad como roqueríos, vegetación densa y pircas, que favorecen la presencia de refugios para los micromamíferos. La identificación de las especies se realizó empleando bibliografía especializada como Iriarte (2008) y Muñoz y Yañez (2000).

Análisis de Datos: Todos los datos que involucraron el uso de sistemas de información geográfica, elaboración de mapas, ubicación de ejemplares amenazados,

georreferenciación, etc., fueron procesados y analizados haciendo uso de los siguientes programas: Arc Gis, disponible desde <http://www.esri.com/>, y OziExplorer, disponible desde <http://www.ozieplorer.com/>. El Datum usado fue WGS 84 por ser de uso internacional y fácilmente rastreable en el programa Google Earth.

El alcance del inventario se estimó con la curva de acumulación de especies basada en muestras, correspondiendo la asíntota al índice de Chao1 (Magurran 1988, Moreno 2001). Estas curvas se elaboraron para cada grupo taxonómico, haciendo uso del paquete BiodiversityR (R Core Team, 2018) y las asíntotas se calcularon con el programa EstimateS, disponible desde: <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/>

El análisis de la diversidad basado en riqueza y abundancia, se realizó a través del índice de diversidad de Brillouin que es útil cuando existe un inventario previamente conocido o la aleatoriedad de la muestra no puede garantizarse. Su valor es menor al del índice de Shannon-Wiener porque no hay incertidumbre: describe una colección conocida (Magurran 1988). Asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra. Adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie, y el logaritmo de la riqueza, cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Magurran 1988). Para el cálculo de este índice se empleó el software Species Diversity & Richness (Seaby y Henderson 2006), disponible desde: [http://www.pisces-conservation.com/index.html?softdiversity.html\\$softwaremenu.html](http://www.pisces-conservation.com/index.html?softdiversity.html$softwaremenu.html)

La similitud entre sectores se evaluó con el índice de Chao – Sorensen (Chao *et al.* 2002) basado en abundancia con el programa EstimateS, disponible desde: <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/>

Resultados

Los resultados que se presentan se refieren a toda el área de estudio que estuvo compuesto por los cinco sectores priorizados para su restauración. Los resultados de fauna se presentan en tablas indicando el sustrato y sector a restaurar donde cada especie (reptil, ave o mamífero) fue observado. De manera general se encontraron cinco tipos de sustrato y seis formaciones vegetales relacionadas a la fauna silvestre del área de estudio:

a) Playa Marina (PM): Sustrato que corresponde a la formación arenosa en contacto con el agua de mar y algunas formaciones de dunas.

b) Playa de la Laguna (PL): Sustrato normalmente fangoso que se encuentra en contacto con la formación a manera de laguna de la desembocadura del río Elqui.

c) Laguna: Cuerpo de agua de la formación a manera de laguna de la desembocadura del río Elqui.

d) Río: Corresponde al río Elqui.

e) Suelo Pedregoso (SP): Sustrato que corresponde al cauce del río Elqui y quebradas Santa Gracia y Talca principalmente. Se encuentran en gran parte sin agua con piedras de diferente tamaño, característico del lecho de los ríos.

Desde el punto de vista vegetacional, se identificaron:

Vegetación Psamófita (BP). Comunidad típica de ambientes arenosos de la zona supramareal, achaparrada, discontinua y dominada por la hierba perenne *Ambrosia chamissonis*. Entre sus especies acompañantes, destacan *Cristaria glaucophylla* y *Solanum trinominum*.

Vegetación Halófita (VHa). Se restringe a una estrecha franja predunar caracterizada por suelos salinos. Sus especies dominantes son *Distichlis spicata*, *Frankenia chilensis* y *Sarcocornia neei*, a las que se suman en menor proporción *Juncus acutus* y *Malvella leprosa*.

Vegetación Helófita (vegetación de vegas) (VHe). Formación semiacuática que comprende totorales de *Typha angustifolia*, pajonales de *Schoenoplectus* spp. y asociaciones cespitosas. Se desarrolla en las franjas ribereñas y en zonas de afloramiento de agua ubicadas en los márgenes fluviales.

Matorrales y Bosques Ribereños (MBR). Comunidades leñosas distribuidas en las riberas y márgenes fluviales de casi toda el área de estudio, a saber: (1) matorral de *Baccharis* spp., (2) matorral de *Tessaria absinthioides* y (3) bosque de *Salix humboldtiana*.

Vegetación Hidrófita (VHi). Comunidad de ambientes límnicos constituida por macrófitos sumergidos, natantes y flotantes. Algunos de sus componentes más comunes son *Azolla filiculoides*, *Hydrocotyle bonariensis*, *Ludwigia peploides* —todas asociadas a cuerpos lénticos o aguas de curso lento—, *Myriophyllum quitense*, *Stuckenia* sp. y *Veronica anagallis-aquatica*.

Matorral Freatófito de *Pleocarphus revolutus* (MF). Asociación leñosa circunscrita a ambientes de quebrada, compuesta principalmente por *Pleocarphus revolutus*, *Baccharis salicifolia* y *Tessaria absinthioides*. Se observó en las localidades de Islón y Quebrada de Talca.

Grupos taxonómicos

Reptiles: Se registró una riqueza de seis especies, dos especies menos respecto a la base de datos de Figueroa et al. (2021. Anexo 1, “no observado”). Respecto de su origen geográfico, cinco especies fueron endémicas de Chile (Anexo 1), lo cual representa el 6.5% de las 77 especies endémicas de reptiles de Chile, consideradas por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA 2021: 16° RCE). En el área de trabajo no se registró especies de reptiles introducidas. En cuanto al estado de conservación, una especie se encuentra en la categoría de Casi Amenazado, *Liolaemus nitidus* (Anexo 1) el cual representa el 0.75% de las 134 especies amenazadas de reptiles de Chile, consideradas por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA 2021: 16° RCE).

El alcance de la riqueza de reptiles de esta línea de base con respecto a la base de datos de la consultoría “Delimitación y Caracterización de Usos del Humedal Desembocadura del Río Elqui y sus Subcuencas Aportantes” fue de 75%. La riqueza esperada de acuerdo al índice de Chao fue de 6 especies (IC95% 6 – 7. Tabla 9), lo que indica que el muestreo de reptiles para la temporada verano – otoño 2021, en la cual se circunscribió este estudio, estuvo cercano a lo esperado, debido a que se estuvo cerca de la asíntota (Fig. 16). El Sector 2 (Fig. 15) tuvo una débil tendencia a ser más diverso que los otros Sectores, sin embargo, los intervalos de confianza al 95% indicaron que no hubo diferencias significativas entre los índices de diversidad de cada Sector (Tabla 9), excepto entre los Sectores 2 y 4, entre los cuales se evidencia que el Sector 2 fue más diverso por la no superposición de sus intervalos de confianza al 95% (Tabla 9). La diversidad general del área de estudio, de acuerdo al índice de Brillouin fue de 1.55 (IC95% 1.44 – 1.60).

Tabla 9. Índices de diversidad de Brillouin, riqueza observada y riqueza esperada (Chao) de reptiles en esta consultoría. Base de datos de la riqueza recopilada por la Consultoría 1 (Delimitación y Caracterización de Usos del Humedal Desembocadura del Río Elqui y sus Subcuencas Aportantes). IC95 = Intervalo de Confianza al 95%. Fuente: Elaboración propia.

Sector	Diversidad					Similitud		
	Brillouin	IC (95%)	Riqueza	Chao	IC95%	Base datos Consultoría 1	Sectores	Chao - Sorensen (%)
1	0.96	0.46-1.15	5				1 - 2	94.3
2	1.21	0.85-1.30	5				1 - 3	63.6
3	1.17	0.80-1.22	5				1 - 4	31.0
4	0.83	0.48-0.83	3	6	6-7	8	1 - 5	53.2
5	1.00	0.60-1.10	4				2 - 3	74.3
Total	1.55	1.44-1.60	6				2 - 4	55.2
							2 - 5	76.5
							3 - 4	78.3
							3 - 5	96.3
							4 - 5	92.3

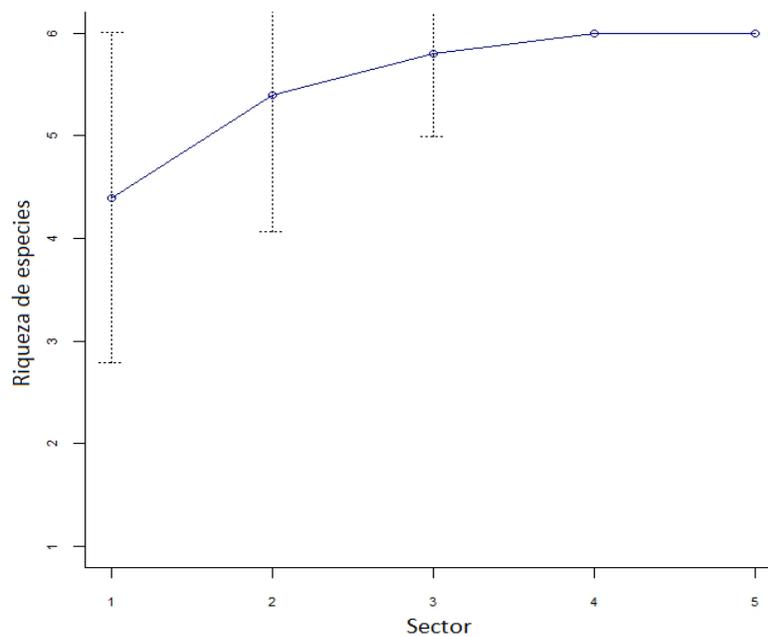


Figura 16. Curva de acumulación de especies de reptiles para la temporada verano – otoño 2021. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la similitud, los sectores 3 y 5 fueron los más cercanos en cuanto a sus diversidades con 96.3% de similitud, mientras que los más lejanos fueron los sectores 1 y 4 con 31% de similitud (Tabla 2. Fig. 3).

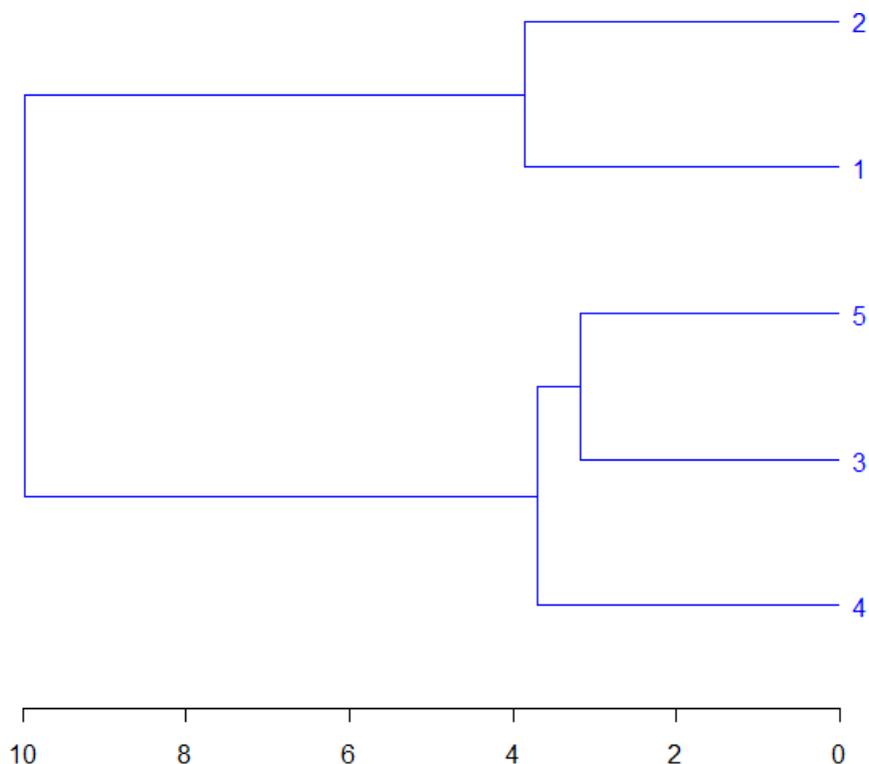


Figura 17. Gráfica (cluster) de similitud para reptiles entre los Sectores evaluados. Temporada verano – otoño 2021. Fuente: Elaboración propia.

Aves: Se registró una riqueza de 87 especies, 83 especies menos respecto a la base de datos de Figueroa et al. (2021. Anexo 1, “no observado”). Respecto de su origen geográfico, cinco especies fueron endémicas de Chile y cinco fueron introducidas (Tabla 12). Las cinco especies endémicas registradas en este estudio representan el 41.7% de las 12 especies endémicas de aves de Chile, consideradas por el portal Aves de Chile (<https://www.avesdechile.cl/aves07.htm>). Las cinco especies de aves consideradas Introducidas representaron el 0.9% de las 565 especies de aves registradas en Chile, de acuerdo al portal Aves de Chile (<https://www.avesdechile.cl/aves07.htm>). En cuanto al estado de conservación, dos se encuentran en estado Casi Amenazado (*Oreopholus ruficollis* y *Pelecanus thagus*), uno en estado vulnerable (*Cinclodes oustaleti*) y uno En Peligro (*Plegadis chihi*. Anexo 1), estas cuatro especies representan el 4% de las 100 especies amenazadas de aves de Chile, consideradas por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA 2021: 16° RCE).

El alcance de la riqueza de aves de esta línea de base con respecto a la base de datos de la consultoría “Delimitación y Caracterización de Usos del Humedal Desembocadura del Río Elqui y sus Subcuencas Aportantes” fue de 51.2%. La riqueza esperada de acuerdo al índice de Chao fue de 131 especies (IC95% 106 – 190. Tabla 3), para la temporada verano – otoño 2021, en la cual se circunscribió este estudio, lo que indica que debió incrementarse la muestra dado que se estuvo lejos de la asíntota esperada (Fig. 18). De acuerdo con los

índices de Brillouin y sus intervalos de confianza al 95%, el Sector 1 presentó la mayor diversidad de aves, mientras que el Sector 2 fue el de más baja diversidad, el Sector 5 también presentó mayor diversidad que el Sector 3 (Tabla 10). La diversidad general del área de estudio, de acuerdo con el índice de Brillouin fue de 3.90 (IC95% 3.83 – 3.91).

Tabla 10: Índices de diversidad de Brillouin, riqueza observada y riqueza esperada (Chao) de aves en esta consultoría. Base de datos de la riqueza recopilada por la Consultoría 1 (Delimitación y Caracterización de Usos del Humedal Costero del Río Elqui y sus Subcuencas Aportantes). IC95 = Intervalo de Confianza al 95%. Fuente: Elaboración propia.

Sector	Diversidad					Similitud		
	Brillouin	IC (95%)	Riqueza	Chao	IC95%	Base datos Consultoría 1	Sectores	Chao - Sorensen (%)
1	3.59	3.45-3.60	68				1 - 2	33.6
2	2.37	2.13-2.41	18				1 - 3	38.3
3	3.11	2.98-3.11	35				1 - 4	55.4
4	3.17	3.02-3.18	39	131	106-190	170	1 - 5	59.3
5	3.36	3.22-3.35	49				2 - 3	76.5
Total	3.90	3.83-3.91	87				2 - 4	75.4
							2 - 5	66.4
							3 - 4	81.4
							3 - 5	78.7
							4 - 5	92.8

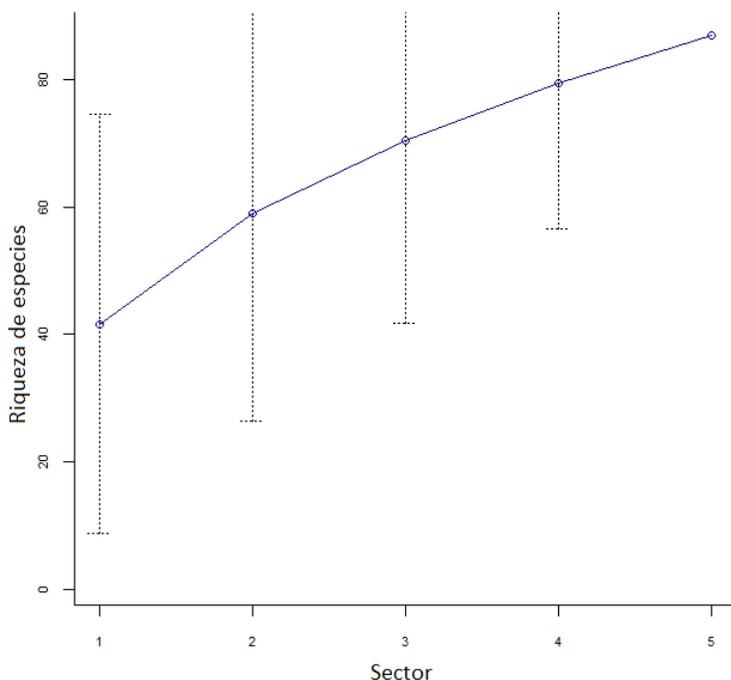


Figura 18: Curva de acumulación de especies de aves para la temporada verano – otoño 2021.

En cuanto a la similitud, los sectores 4 y 5 fueron los más cercanos en cuanto a sus diversidades y distancias geográficas con 92.8% de similitud, mientras que los más lejanos fueron los sectores 1 y 2 con 33.6% de similitud (Tabla 10. Fig.19).

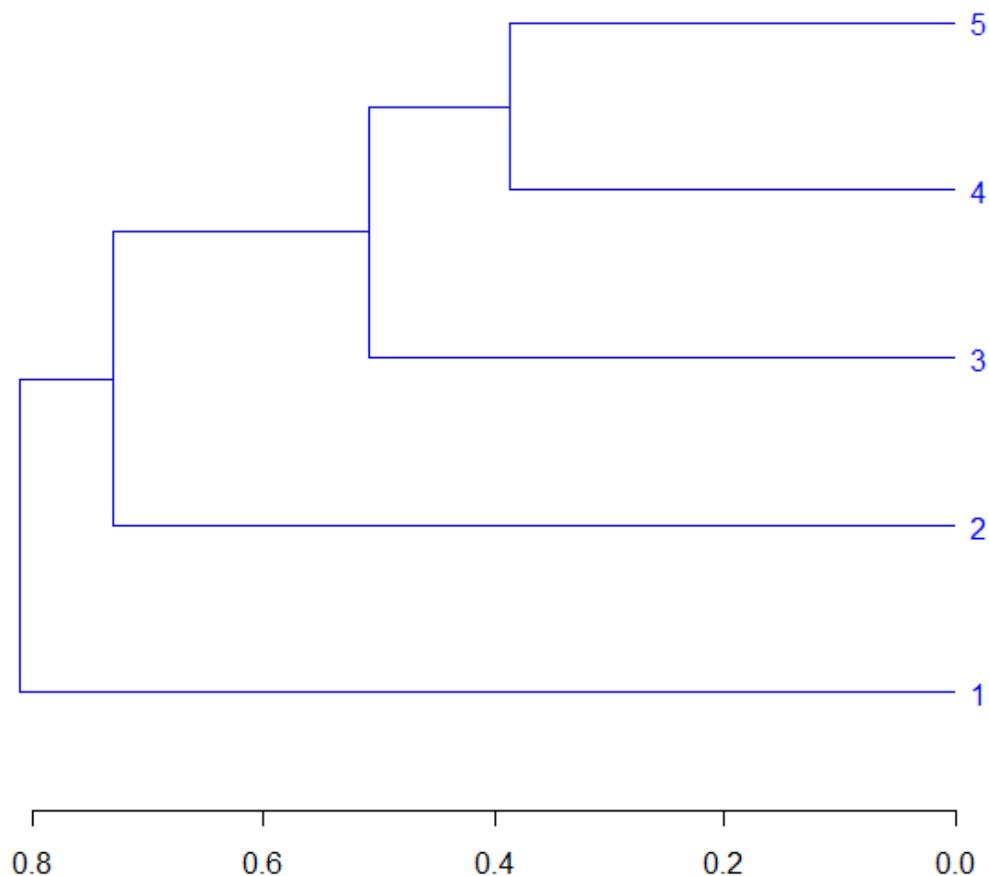


Figura 19: Gráfica (cluster) de similitud para reptiles entre los Sectores evaluados. Temporada verano – otoño 2021. Fuente: Elaboración propia.

Mamíferos: Se registró una riqueza de cuatro especies, dos menos respecto a la base de datos de Figueroa et al (2021. Tabla 12, “no observado”). Respecto de su origen geográfico, tres especies son introducidas, lo que representa el 13.6% de las 22 especies registradas como introducidas para Chile (D’Elía *et al.* 2020) y solo una es considerada nativa (*Lycalopex culpaeus*), coincidiendo con la base de datos de la consultoría antes mencionada. Esta única especie se encuentra categorizada como Preocupación Menor, en cuanto a su estado de conservación. Una sola especie con tres individuos en el área de estudio (las otras especies son introducidas por lo tanto no son materia de análisis de diversidad), no permitió el cálculo de índices de diversidad ni similitud. Cuando se presenta una sola especie, la diversidad es cero (Tabla 11).

Tabla 11. Riqueza total, incluyendo especies introducidas, en comparación con la base de datos de la riqueza recopilada por la Consultoría 1 (Delimitación y Caracterización de Usos del Humedal Desembocadura del Río Elqui y sus Subcuencas Aportantes). Fuente: Elaboración propia.

Sector	Diversidad					Base datos Consultoría 1
	Brillouin	IC (95%)	Riqueza	Chao	IC95%	
1	0.0	NA	2			
2	0.0	NA	1			
3	0.0	NA	2	NA	NA	6
4	0.0	NA	2			
5	0.0	NA	3			
Total	0.0	NA	4			

Discusión Línea de Base Componente Fauna

La biodiversidad es el eje sobre el cual se desarrollan las funciones ecosistémicas que sostienen la vida humana (Sala *et al.* 2005). La tasa de pérdida de la biodiversidad se incrementó en el planeta, incluso en mayor medida a los registros históricos, especialmente al considerar los impactos esperados del calentamiento global (Sala *et al.* 2000, Sala *et al.* 2005). La biodiversidad, al ser uno de los recursos más valiosos y a la vez vulnerables, debe ser tomada en cuenta como indicador de cambio en escenarios de degradación de paisajes, cambio climático, restauración ecológica, entre otros (Cuesta *et al.* 2012, Aguilar-Garabito y Ramírez 2015).

En un contexto de análisis del indicador, la biodiversidad se convierte en una variable respuesta a las presiones ambientales (paisaje y clima) a las que está sometida en el área donde fue estudiada. Esto significa que la medida de la biodiversidad *per se*, no cumplirá su rol como indicador, si no se monitorea en función de aquellas variables consideradas una amenaza para su pérdida o incremento. Entendiéndose por monitoreo, la actividad que tiene como meta el detectar cambios en el estatus del parámetro medido, atributo o característica (tendencias en el tiempo) (Spellerberg 2005).

En este trabajo, se presenta una vista de la biodiversidad de tres grupos taxonómicos (reptiles, aves y mamíferos) que corresponde a la temporada verano – otoño 2021. Estos grupos, por su endemismo, riqueza y abundancia, pueden ser buenos indicadores de las presiones ambientales a las que están sometidos los sectores a restaurar (Noss 1990, Pearson y Cassola 1992, Halffter *et al.* 2001, Fernández López y David Murcio 2006, Aguilar-Garabito y Ramírez 2015). Así mismo, proporciona una idea de cuál es el punto de partida para trabajos futuros de restauración ecológica. Si bien, no se cubrieron las estaciones de invierno y primavera, en el caso de las aves, la variación estacional está influenciada por las

aves migratorias principalmente (García-Olaechea *et al.* 2018), de reptiles y mamíferos no se tiene información sobre comportamientos migratorios que afecten sus riquezas y abundancias a lo largo del año. Por lo tanto, los resultados de este trabajo, sumado a la base de datos de Figueroa *et al.* (2021), proporcionaron una visión de la riqueza de reptiles, aves y mamíferos que pueden ser empleados como indicadores de las acciones de restauración después de diseñar un plan de monitoreo a largo plazo donde se tome en consideración, para el análisis, a las especies introducidas, migratorias y aquellas que fueron registradas como ocasionales, la estructura del ensamble en su contexto (Aguilar-Garabito y Ramírez 2015). Del mismo modo, se debe considerar a aquellas variables asociadas a la biodiversidad para poder explicar los cambios en espacio y tiempo, lo que, además, robustecerá el análisis estadístico. Así, por ejemplo, para detectar un cambio de -1.4% por año en la población de *Phalacrocorax pelagicus*, el programa TRENDS, para un modelo lineal, indicó que se requieren de 52 años de seguimiento (Hatch 2003).

En conclusión, se establecieron los parámetros de biodiversidad relacionados a riqueza, abundancia, origen geográfico y estado de conservación de los grupos taxonómicos relacionados a reptiles y aves en la temporada verano – otoño 2021. La línea de base presentó un buen alcance en el grupo de reptiles. En el caso de las aves, se consideró necesario incrementar el tamaño de muestra. En el caso de los mamíferos, dado que los micromamíferos son los de mayor riqueza y abundancia, no se pudo establecer el real parámetro de biodiversidad debido a que este trabajo no consideró la captura de ejemplares. Los parámetros estimados en este trabajo, quedan a disposición de quien necesite hacer uso del mismo.

Referencias

Aguilar-Garavito M. y W. Ramírez (eds.) 2015. Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá D.C., Colombia. 250 pp.

Araya, B. y G. Millie. 1998 Guía de campo de las aves de Chile. Editorial Universitaria.

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. 2011. Sistema Integrado de Información Territorial. Mapas Vectoriales. Disponible desde: http://siit2.bcn.cl/mapas_vectoriales/index.html/

Chao, A., Chazdon, R.L., Colwell, R.K. y Shen, T. 2002. Un nuevo método estadístico para la evaluación de la similitud en la composición de especies con datos de incidencia y abundancia. *Ecology Letters*, 8: 148-159.

Colwell, R. 2005. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 7.5. Persistent URL <purl.oclc.org/estimates>.

Couve, E. y C. Vidal. 2004. Aves Rapaces de Chile. CEA ediciones, Valdivia, Chile.

Couve, E., Vidal, C. y Ruiz, J. 2016. Aves de Chile sus islas oceánicas y península Antártica. Far South Expeditions, Punta Arenas.

Cuesta, F., Becerra, M.T., Bustamante, M., Maldonado, G., Devenish, C., Quiñonez, LL. 2012. Indicadores para evaluar y monitorear el estado de la biodiversidad en los Andes Tropicales en el contexto de cambio climático - Propuesta metodológica para los países de la Comunidad Andina. SGCAN, CONDESAN, INTERCOOPERATION, UICN-Sur, Lima-Quito.

Donoso-Barros, R. 1966. Reptiles de Chile. Ediciones de la Universidad de Chile, Santiago de Chile.

Fernández López A. y Lavín Murcio, P.A. 2016. Riqueza y diversidad de anfibios y reptiles en un gradiente altitudinal en la Sierra de Juárez, Chihuahua, México. Acta Zoológica Mexicana (n.s.), 32(3), 230-239.

García-Olaechea, A., Chávez-Villavicencio, C. y Tabilo-Valdivieso, E. 2018. ¿Influyen las aves migratorias neárticas en el patrón estacional de aves de los humedales costeros? Revista Peruana de Biología, 25(2): 117 – 122.

García Walther, J., Burmeister, J., Angulo Pratolongo, F., Agreda, A., Aponte Ubillus, H., Tejada, I., Montecino, S., Jarpa, C., Chávez Villavicencio, C., Tabilo, E. y Hernández, I. 2021. Atlas de Humedales Costeros de la Costa Árida-Semiárida del Pacífico Sudamericano. Disponible desde: <https://humedalescosteros.org/atlas/>

Halffter, G., C.E. Moreno y E.O. Pineda. 2001. Manual para evaluación de la biodiversidad en Reservas de la Biosfera. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 2. Zaragoza, 80 pp.

Hatch, S.A. 2003. Statistical power for detecting trends with applications to seabird monitoring. Biological Conservation, 111(3): 317-329.

Iriarte, A. 2008. Mamíferos de Chile. Lynxs Edicions. Barcelona, España, 420 pp.

Magurran, A.E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, New Jersey, 179 p.

Martínez D. y G. González. 2005. Las aves de Chile. Nueva Guía de campo. Ediciones del Naturalista, Santiago.

Mella, J. 2005. Guía de Campo Reptiles de Chile: Zona Central. Peñaloza APG, Novoa F & M Contreras (Eds). Ediciones del Centro de Ecología Aplicada Ltda. 147 páginas + xii.

Mella, J. 2017. Guía de campo de reptiles de Chile. Tomo 2: Zona Norte. Peñaloza, A.P.G (ed.). Alvimpress, Santiago.

Moreno, C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T –Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, España.

Muñoz, A. y J. Yáñez. 2000. Mamíferos de Chile. Cea Ediciones, Valdivia, Chile.

Noss, R.F. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology* 4:355-364.

Núñez, H. y F. Jakcsic. 1992. Lista comentada de los reptiles terrestres de Chile continental. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural de Chile (Chile)*, 43: 63-91.

Núñez, H. y J. Torres-Mura. 1992. Adiciones a la herpetofauna de Chile. *Noticiario Mensual del Museo Nacional de Historia Natural* Nº 322:3-7.

Pearson, D.L. y F. Cassola. 1992. World-wide species richness patterns of Tiger Beetles (Coleoptera: Cicindelidae): Indicator taxon for biodiversity and conservation studies. *Conservation Biology*, 6: 376-391.

Pincheira-Donoso, D. y Núñez, H. 2005. Las especies chilenas del género *Liolaemus Wiegmann, 1834* (Iguania Tropicuridae: Liolaeminae). *Taxonomía, sistemática y evolución. Publicación ocasional del Museo Nacional de Historia Natural, Chile* 59:7-486.

R Development Core Team. 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. Disponible desde: <http://www.R-project.org>

Sala, O.E., F.S. Chapin III, J.J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber-Sanwald, L.F. Huenneke, R.B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, D.M. Lodge, H.A. Mooney, M. Oesterheld, N.L. Poff, M.T. Sykes, B.H. Walker, M. Walker y D.H. Wall. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287: 1770-1774.

Sala, O.E., D.van Vuuren, H.M., Pereira, D. Lodge, J. Alder, G. Cumming, A. Dobson, V. Wolters a, Xenopoulos M.A. 2005. Ecosystems and Human Well-being: Scenarios: Biodiversity across Scenarios. Pages 375-406 in Rashid Hassan RSaNA, ed. *The Millenium Ecosystem Assessment, vol. 1 Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*. Washington D.C.: Island Press.

Seaby, R. y P. Henderson. 2006. Species Diversity and Richness – 4.0. Software. Pisces Conservartion. United States.

Spellerberg, I.F. 2005. *Monitoring Ecological Change*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 391pp.

The Nature Conservancy. 2000. *Nature in Focus: Rapid Ecological Assessment*. Programa de Ciencias para América Latina., Arlington, VA, USA.

Veloso A. y J. Navarro. 1988. Lista sistemática y distribución geográfica de anfibios y reptiles de Chile. *Bolletino del Museo Regionale di Scienze Naturali - Torino* 6(2):481-539.

Vidal, M. y A. Labra. 2008. *Herpetología de Chile*. Editorial Science Verlag, Santiago de Chile.

4.5.2 Línea de Base Flora y Vegetación, y descripción de las subáreas homogéneas de los sectores priorizados para la restauración en las subcuencas aportantes del Humedal Costero del Río Elqui.

Como forma de contar con la información de la flora y vegetación necesaria para contar con sustento para el diseño del monitoreo del éxito de las medidas de restauración propuesta para cada una de las cinco zonas priorizadas, es que se analizó una superficie de 1.235,05 ha, de las cuales un 47,04 % corresponde a zonas artificializadas, el 27,21 % a vegetación conservada y el 25,75 % a vegetación altamente degradada (Fig. 20).

Se determinaron siete subáreas homogéneas, a saber: zona intermareal, playa y sistema dunar, laguna costera, curso fluvial, depósitos aluviales, vegetación natural y zonas artificializadas.

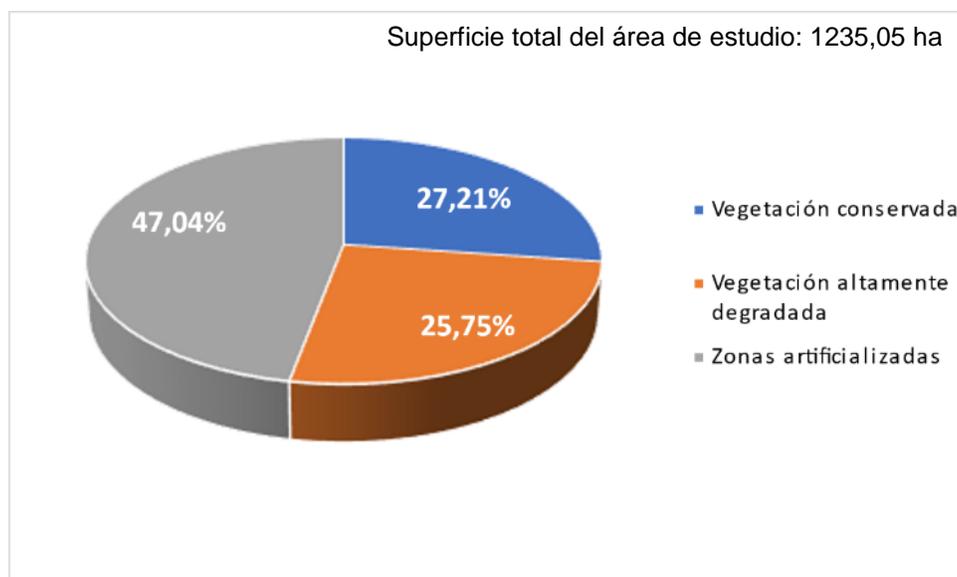


Figura 20: Cobertura de vegetación conservada, vegetación altamente degradada y zonas artificializadas con respecto al área de estudio

Zona intermareal

Franja comprendida entre las líneas de bajamar y pleamar de sizigia, en la que, por razones de afinidad funcional, se incluyen los fangales estuarinos asociados a la laguna costera. Se ubica en el sector 1 y abarca solo el 0,68 % del área de estudio. Pese a esto último, mantiene una rica comunidad bentónica, entre cuyas especies destaca la macha (*Mesodesma donacium*), y reviste particular relevancia para numerosas especies de aves migratorias (Fig. 21).



Figura 21: Vista general de la zona intermareal en el área de transición con la laguna costera. Fuente: elaboración propia.

Playa y sistema dunar

Unidad de transición marino-terrestre situada franja supramareal, es decir, sobre la línea de pleamar de sizigia. Comprende una sección de playa y un cordón de dunas embrionarias y secundarias, caracterizados por suelos arenosos, inestables y pobres en nutrientes, en los que se asienta una vegetación de tipo psamófito. Representa el 2,41 % del área de estudio y cuenta con un 16,77 % de cubierta vegetal natural. El complejo playa-sistema dunar desempeña múltiples funciones ecológicas, varias de las cuales constituyen servicios de gran importancia humana. Entre estas destacan el mantenimiento de una flora y fauna particular, la amortiguación de eventos naturales extremos, la recarga de acuíferos, ser fuente y sumidero de sedimentos (papel clave para la conservación de las playas de arena) y brindar un espacio predilecto para actividades recreativas, contemplativas y científicas.

El sistema dunar se distingue por geoformas singulares, determinadas por la dinámica costera y eólica. Impactos como el tránsito de vehículos y la actividad pedestre no regulada han alterado fuertemente su configuración y, con ello, su funcionalidad ecológica. Particular preocupación reviste la creciente fragmentación y desestabilización de las dunas litorales, que, al modificar los procesos de intercambio sedimentario, está favoreciendo la progresión de las arenas hacia humedales, campos de cultivo y zonas urbanas (Fig. 22).



Figura 22: Aspecto general del sistema dunar en estudio. Destacan el deterioro de la vegetación psamófito y la fuerte degradación de los suelos debido al tránsito de vehículos motorizados. Fuente: elaboración propia.

Cuerpos de agua

En esta categoría se incluyen todos los cursos de agua y lagunas, sean estos permanentes o semipermanentes, naturales o artificiales. Entre estos últimos se encuentran los canales de regadío, drenes y lagunas generadas por la actividad arenosa. Esta unidad comprende una superficie de 20,58 ha, de las que un 46,21 % es de carácter natural.

Laguna costera

Corresponde al sistema léntico, es decir, de aguas estancadas, contiguo a la desembocadura del río. Mide 1,10 km de largo y 130 m de ancho máximo y cubre una superficie de 6,11 ha. Entre los principales impactos que afectan a esta unidad, están la contaminación difusa por prácticas agrícolas, el vertimiento de aguas servidas, los cambios de uso del suelo y la interposición de barreras físicas de origen antrópico (p. ej., embalses). Esto último, sumado a la modificación de los caudales, está alterando de manera alarmante el régimen hídrico y sedimentario de la cuenca, lo que redundará, a su vez, en la interrupción de grandes secciones del río y una disminución progresiva del aporte de aguas fluviales y sedimentos terrígenos a la zona estuarina (Fig.23).



Figura 23: Vista parcial y general de la laguna costera del humedal del Elqui. En la imagen aérea se pueden apreciar el canal de la desembocadura, la vegetación helófito ribereña y un importante campo agrícola. Fuente: elaboración propia.

Curso fluvial

Sistema lótico, es decir, de aguas corrientes, que se extiende entre la laguna costera y Quebrada de Talca. Se caracteriza por un canal único, relativamente angosto y de escasa sinuosidad, que en las inmediaciones del puente ferroviario se conecta con un corto cauce secundario llamado «brazo norte». La terraza fluvial presenta numerosas lagunas artificiales, que en conjunto comprenden una superficie de 11,07 ha. La mayoría de estas se distribuye entre los sectores 1 y 2, donde, además, existen grandes montículos de áridos.

Esta subárea está sometida a una intensa presión antrópica, derivada de factores como la expansión agrícola y urbana, la sobreexplotación de aguas superficiales y subterráneas, la extracción no regulada de áridos y la desnaturalización de cauces, ya sea por desviación, canalización o instalación de defensas fluviales. Este conjunto de perturbaciones compromete seriamente la salud del hidrosistema y, por ende, su capacidad para proveer servicios ecosistémicos (p. ej., mantenimiento de la biodiversidad, provisión de recursos hidrobiológicos, recreación, etc.). Por lo que respecta a la recarga y conectividad hidrológica, cabe señalar que entre los sectores 2 y 3 no se observó escurrimiento superficial (Fig.24).

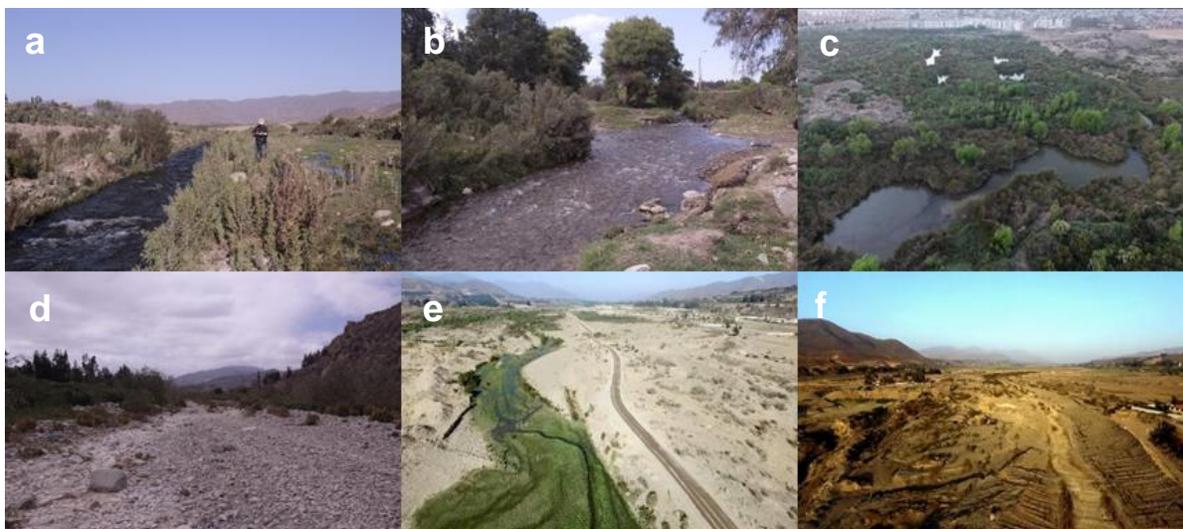


Figura 24: Vista general de las secciones del río Elqui abordadas en este estudio. Además del curso fluvial (a, b y e), se puede observar la vegetación palustre ribereña, las lagunas artificiales del sector 1 (c), tramos sin escurrimiento superficial y con presencia de depósitos aluviales (d) y zonas desprovistas de vegetación ribereña (f). Fuente: elaboración propia.

Depósitos aluviales

Masas de material detrítico (p. ej., grava, arena, limo) transportadas y acumuladas por procesos aluviales. Por su carácter altamente dinámico, suelen presentar una escasa o nula cubierta vegetal. Este tipo de cobertura abarca el 2,08 % del área de estudio. (Fig.24).

Vegetación natural

Se identificaron nueve unidades homogéneas de vegetación (UHV), de las cuales solo una, el matorral xerófito es de carácter zonal. Las intrazonales son las siguientes: vegetación hidrófita, vegetación helófita, pradera higrohelófita o vega, matorral arbustivo de *Baccharis salicifolia* y *Tessaria absinthioides*, matorral arborescente de *Salix humboldtiana*, vegetación halófita, vegetación psamófito y matorral freatófito de quebradas. En conjunto, comprenden una superficie de 600 ha; sin embargo, el 53,01 % de esta corresponde a unidades altamente degradadas. La composición, estructura, diversidad y cobertura de estas últimas han sufrido una fuerte modificación antropogénica, asociada principalmente a la alteración de la dinámica hidrológica, la extracción de áridos, el sobrepastoreo, la construcción de defensas fluviales y la introducción de especies exóticas. En general, se trata de comunidades fragmentadas, claras o muy claras, con una proporción importante de especies ruderales. La Tabla 13 muestra la superficie relativa de las UHV con respecto al sitio de estudio y a cada sector.

Las comunidades intrazonales del humedal se distribuyen en franjas paralelas según un gradiente de humedad edáfica. Esto da lugar a una zonación característica, en que las formaciones hidrófitas son gradualmente reemplazadas por asociaciones helófitas y

matorrales higrófitos. La vegetación del humedal proporciona múltiples servicios ecosistémicos, tales como albergar una fauna rica y variada, mantener la conectividad ecológica, contribuir en la depuración del agua y el aire, regular la dinámica sedimentaria, servir como sumidero de carbono, amortiguar eventos naturales extremos y controlar la erosión de los suelos, entre otros. Asimismo, constituyen una fuente de recursos alimenticios, medicinales y de valor cultural.

Vegetación hidrófita

Comunidad acuática compuesta por hidrófitos arraigados y libres, cuya distribución varía con la profundidad y velocidad del agua (Fig. 5). Comprende las siguientes agrupaciones:

Vegetación radicante. Asociación de hidrófitos arraigados que ocupa desde cursos de corriente moderada hasta aguas estancadas. Su estrato superior alcanza una altura de 0,2 m y está dominado por *Hydrocotyle bonariensis*, *H. ranunculoides* y *Ludwigia peploides*, hierbas natantes con una cobertura de entre 50 y 100 %. A orillas de los ríos y lagunas, se desarrolla un denso tapiz subacuático de *Chara* sp., el que, a partir de los 0,5 m de profundidad, da paso a asociaciones de *Stuckenia filiformis*, *Myriophyllum quitense* y *Veronica Anagallis-aquatica*.

Comunidad errante. Asociación de hidrófitos libres, flotantes y sumergidos, que se distribuye en remansos, lagunas y depresiones encharcadas. Sus especies más distintivas son *Azolla filiculoides*, *Lemna minuta* y *Utricularia gibba*.

Vegetación helófita

Conjunto de herbazales palustres, casi siempre dominados por ciperáceas, muy densos y asociados a aguas de curso lento o emergentes (Fig. 25). Su composición y estructura están determinadas por la profundidad del agua, la extensión del período de anegamiento y el grado de intervención antrópica. Abarca una superficie de 68,34 ha, el 27,30 % de la cual corresponde a totoral de *Typha angustifolia*. Comprende las siguientes formaciones:

Juncales de *Schoenoplectus californicus* y *S. pungens*. Asociaciones mono- o pauciespecíficas, de hasta 3,5 y 1,5 m de altura, respectivamente. La primera se desarrolla en aguas de entre 0,2 y 1,5 m de profundidad, mientras que la segunda se distribuye tanto en cuerpos someros, de hasta 0,5 m de profundidad, como en terrenos húmedos de inundación periódica. También se encuentra en áreas cenagosas de la pradera halófita.

Herbazal de *Eleocharis pseudoalbibracteata* y *Triglochin striata*. Comunidad ecotonal entre los juncales y la pradera higrófita, de entre 0,1 y 0,5 m de altura, dominada por la ciperácea *E. pseudoalbibracteata*. Sus principales especies acompañantes son *Triglochin striata* y *Juncus pallescens*. Por lo general, se desarrolla en áreas inundadas o anegadizas donde la profundidad del agua no supera los 0,2 m.

Total de *Typha angustifolia*.

Asociación monoespecífica compuesta por el helófito exótico *T. angustifolia*, que en áreas específicas del sector 1 contiene pequeños parches de *Arundo donax*. Alcanza una altura de hasta 3 m y se asocia a aguas de entre 0,2 y 1,5 m de profundidad. En términos de cobertura,



Figura 25: Conjunto de formaciones hidrófitas y helófitas presentes en el área de estudio. Fuente: elaboración propia.

Pradera higrohelófito o vega

Comunidad cespitosa dominada por ciperáceas del género *Eleocharis*, cuya cobertura relativa varía entre 70 y 90 %. Entre sus especies acompañantes destacan *Apium nodiflorum*, *Cyperus eragrostis*, *Nasturtium officinale*, *Paspalum vaginatum* y *Cortaderia selloana*, la última de las cuales conforma parches dispersos de hasta 1,5 m de altura. Esta unidad, que alcanza una extensión de 90,83 ha, se desarrolla en suelos húmedos o saturados, ya sea de riberas o de cauces con escorrentía episódica (*p. ej.*, quebrada El Islón). En sectores muy perturbados, está dominada por la poácea invasora *Cynodon dactylon*, que puede alcanzar una proporción cercana al 100 %. Es posible que parte importante de su extensión corresponda al primer nivel de degradación de formaciones helófitas o leñosas ribereñas (Fig.26).



Figura 26: Unidad de praderas higrohelófitas o vegas ribereñas presentes en el área de estudio. Fuente: elaboración propia.

Matorrales ribereños

Comunidades leñosas densas y de carácter higrófito asociadas a riberas y márgenes fluviales. Según su cobertura arbórea, se distinguen dos tipos: matorral arbustivo de *Baccharis salicifolia* y *Tessaria absinthioides* y matorral arborescente de *Salix humboldtiana*. Esta UHV alcanza una superficie de 304,82 ha, de las cuales el 76,27 % está fuertemente degradada (Fig. 27).

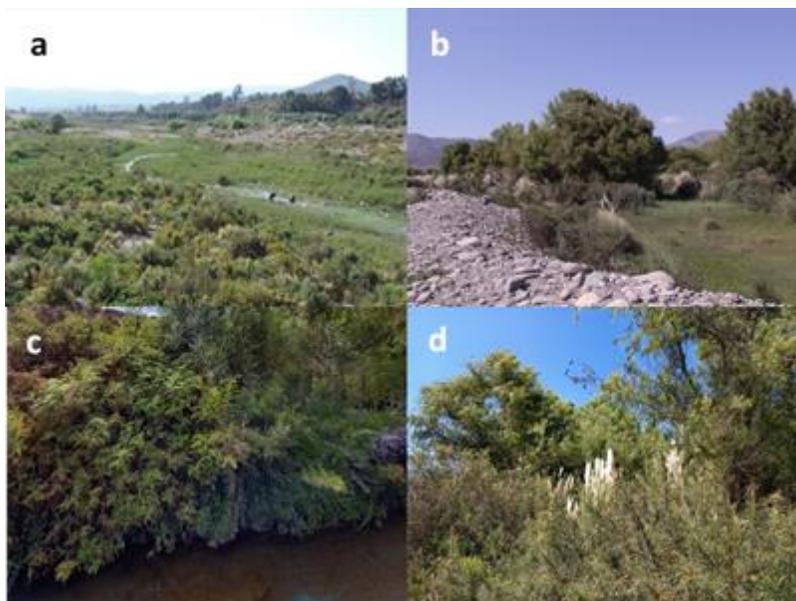


Figura 27: Matorrales ribereños presentes en el área de estudio: matorral arbustivo de *Baccharis salicifolia* y *Tessaria absinthioides* (a y c), matorral arborescente de *Salix humboldtiana* (b) y remanente boscoso de *S. humboldtiana*, *Maytenus boaria* y *Otholobium glandulosum*. Fuente: elaboración propia.

Matorral arbustivo ribereño de *Baccharis salicifolia* y *Tessaria absinthioides*

Comprende un piso arbustivo de *B. salicifolia* y otro de *T. absinthioides*, que alcanzan una altura de 4 y 2,5 m, respectivamente, y una cobertura por estrato de entre 50 y 80 %. En sectores poco perturbados, presenta un piso herbáceo muy tupido, compuesto por proporciones variables de *Baccharis glutinosa*, *C. dactylon*, *Equisetum pyramidale*, *Phyla nodiflora* y *Agalinis linarioides*. La composición de esta unidad tiende a cambiar con la humedad y salinidad del sustrato. Tal es así que en las áreas más secas del humedal contiene algunos elementos mesófitos o xerófitos, como *Acacia caven*, *Atriplex repanda*, *Baccharis linearis*, *Pleocarphus revolutus*, *Schinus polygamus* y *Solanum pinnatum*, mientras que en suelos salinos o muy artificializados, da paso a un matorral bajo dominado por *T. absinthioides* (Fig. 28).

Matorral arborescente ribereño de *Salix humboldtiana*

Presenta un estrato superior compuesto casi íntegramente por *S. humboldtiana*, que alcanza 15 m de altura y cubre entre un 10 y 25 % de la formación. Entre sus especies acompañantes figuran árboles como *Luma chequen*, *Maytenus boaria* y *Otholobium glandulosum*. El resto de la unidad tiene una composición y estructura similares a la del matorral de *B. salicifolia* y *T. absinthioides*. Esta formación vegetal representa el primer nivel de degradación de antiguas formaciones boscosas, de las que aún subsisten unos pocos remanentes locales (Fig. 28).

Vegetación halófila

Comunidad de suelos salinos y húmedos situada entre el matorral de *Tessaria absinthioides* y la zona dunar. Presenta un estrato herbáceo muy denso, dominado por la poácea rastrera *Distichlis spicata*, y un estrato arbustivo bajo, de hasta 0,5 m de altura, compuesto principalmente por *Sarcocornia neei*. Sus principales especies acompañantes son *Frankenia salina*, *Malvella leprosa*, *Suaeda foliosa* y halófitos de subsistencia como *Juncus acutus*, *Phragmites australis* y *T. absinthioides*. Estos últimos se asocian a napas subsuperficiales o emergentes. Esta unidad abarca una superficie de 11,27 ha, el 51,02 % de la cual está fuertemente degradada (Fig. 29).



Figura 28: Unidad de vegetación halófila presente en el área de estudio. Fuente: elaboración propia.

Vegetación psamófila

Comunidad de ambientes dunares constituida por parches dispersos de *Ambrosia chamissonis*, *Cristaria glaucophylla* y *Solanum trinominum*. La perturbación antrópica de la franja litoral ha alterado profundamente su composición, estructura y diversidad, lo que se refleja, por ejemplo, en la ausencia casi total de un estrato arbustivo y la introducción de especies invasoras como *Carpobrotus edulis*. Esta unidad cubre una superficie de 19,24 ha, el 87,06 % de la cual está fuertemente degradada.

Matorral freatófito de quebradas

Asociación arbustiva, de hasta 3 m de alto y 70 % de cobertura, dominada por *P. revolutus* y *B. salicifolia*. Otras de sus especies más comunes son *B. glutinosa*, *T. absinthioides*, *Heliotropium stenophyllum* y el subarbusto exótico *Ricinus communis*. Esta unidad se desarrolla en quebradas con escurrimiento episódico y napas subsuperficiales de los sectores 3 y 5. La extensión total de esta unidad es de 83,63 ha, el 60,27 % de la cual está fuertemente degradada (Fig. 29).



Figura 29: Matorral freatófito observado en la quebrada El Islón (sector 3). Fuente: elaboración propia.

Matorral xerófito

Formación arbustiva de carácter zonal dominada por *Oxalis gigantea* y *Heliotropium stenophyllum*. Se desarrolla en laderas escarpadas, alcanza 3 m de altura y una cobertura de hasta 60 %. Entre sus especies acompañantes destacan *Bahia ambrosioides*, *Balbisia peduncularis*, *Ephedra chilensis*, *Fuchsia lycioides*, *Heliotropium stenophyllum* y, en menor medida, *Aldama revoluta*, *Colliguaja odorifera* y *Nolana werdermannii*. En laderas solanas presenta una alta proporción de cactáceas columnares, en especial *Eulychnia acida* y *Miquielopuntia miquelii*. Esta unidad tiene una superficie de 21,84 ha, el 57,97 % de la cual está fuertemente degradada. Esta condición se debe sobre todo al sobrepastoreo y la extracción no regulada de leña. En estas condiciones, se presenta un matorral muy empobrecido, dominado por *Baccharis paniculata*, *Muehlenbeckia hastulata* y *P. revolutus*, sin estrato herbáceo y con una cobertura inferior al 25 % (Fig. 30).

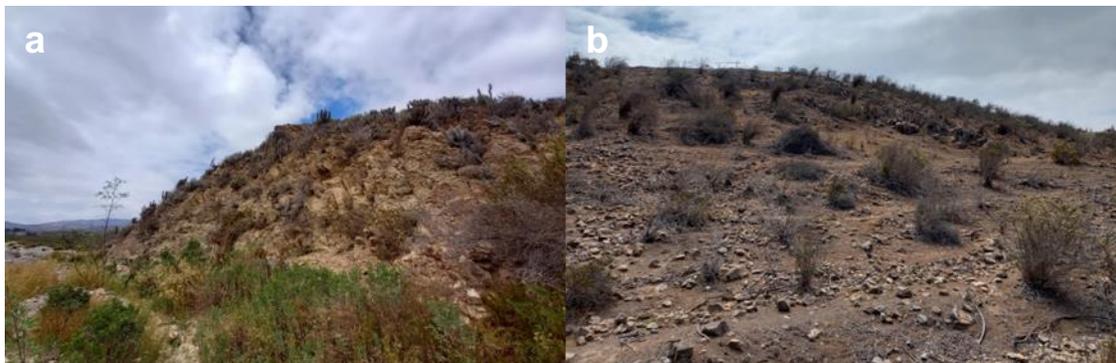


Figura 30: Matorral xerófito presente en el sector 3 del área de estudio (quebrada El Islón): (a) matorral de *Oxalis gigantea* y *Heliotropium stenophyllum* relativamente bien conservado y (b) matorral degradado en un área de alto tránsito de ganado.

Tabla 12. Superficie total y cobertura de las unidades homogéneas de vegetación (UHV) con respecto al sitio de estudio y a cada uno de sus sectores.

Unidades homogéneas de vegetación (UHV)*	Sector 1		Sector 2		Sector 3		Sector 4		Sector 5		Área de estudio	
	ha	Cob. (%)	ha	Cob. (%)	ha	Cob. (%)						
Vegetación conservada												
Vegetación helófito	26,31	9,32	9,17	5,02	16,55	3,25	12,95	7,23	3,36	4,14	68,34	5,53
Pradera higrohelófito o vega	30,70	10,87	5,87	3,22	18,45	3,62	23,14	12,92	12,67	15,62	90,83	7,35
Matorral arbustivo ribereño de <i>Baccharis salicifolia</i> y <i>Tessaria absinthioides</i>	20,46	7,25	4,19	2,30	8,32	1,63	13,13	7,33	2,97	3,66	49,07	3,97
Matorral arborescente ribereño de <i>Salix humboldtiana</i>	4,95	1,75	0,10	0,05	2,08	0,41	6,12	3,42	10,01	12,34	23,26	1,88
Vegetación halófito	5,52	1,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,52	0,45
Vegetación psamófito	2,49	0,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,49	0,20
Matorral freatófito de quebradas	0,00	0,00	0,00	0,00	33,23	6,52	0,00	0,00	0,00	0,00	33,23	2,69
Matorral xerófito	0,00	0,00	0,00	0,00	9,18	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	9,18	0,74
Vegetación degradada												
Matorral ribereño degradado	65,93	23,35	37,51	20,55	59,85	11,74	54,57	30,48	14,66	18,07	232,52	18,83
Matorral freatófito de quebradas degradado	0,00	0,00	0,00	0,00	49,78	9,76	0,00	0,00	0,62	0,76	50,40	4,08
Matorral xerófito degradado	0,00	0,00	0,00	0,00	12,66	2,48	0,00	0,00	0,00	0,00	12,66	1,03
Vegetación halófito degradada	5,75	2,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,75	0,47
Vegetación psamófito degradada	16,75	5,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,75	1,36
Superficie total de cada sector (ha)	282,33		182,56		509,97		179,06		81,13		1235,05	

(*) Esta tabla no incluye la vegetación hidrófito

Zonas artificializadas:

Esta subárea comprende todas las superficies de suelo ocupadas por asentamientos urbanos o en las cuales se desarrolla algún tipo de actividad productiva. Asimismo, incluye los cuerpos de agua artificiales (descritos en el punto 4), depósitos de desechos y extensiones de suelo desnudo o semidesnudo (Fig. 31). La Tabla 14 muestra la superficie relativa de las zonas artificializadas con respecto al sitio de estudio y a cada sector.

- Tierras agrícolas y plantaciones forestales

Las tierras agrícolas son zonas ocupadas por cultivos hortícolas, en particular de alcachofa, apio, crucíferas, lechuga y papa. La mayoría de estas se sitúa en el margen norte del río Elqui, especialmente del sector 1 (Fig. 31). Las plantaciones forestales, por su parte, son terrenos en los que se cultivan plantas leñosas exóticas, ya sea para fines madereros, forrajeros, de manejo de suelos u ornamentales. Entre las especies más utilizadas destacan *Acacia karroo*, *Eucalyptus globulus*, *Myoporum laetum* y *Tamarix ramosissima*. Ambas unidades cubren, respectivamente, el 2,54 y 1,09 % de toda el área examinada.

- Infraestructura antrópica

Comprende edificaciones, obras viales e instalaciones industriales, educativas y deportivas. Representa el 1,32 % del área de estudio (Fig. 31).

- Depósitos de residuos

En esta categoría se incluyen basurales permanentes y escombreras, por lo general no autorizados. Cubren el 2,01 % del área de estudio (Fig. 31).

- Suelos semidesnudos

Zonas que, por causas antrópicas, han perdido entre el 90 y 99 % de su cubierta vegetal. Abarcan el 12,21 % del área de estudio (Fig. 31).

- Suelos desnudos

Zonas que, por causas antrópicas, han perdido toda su cubierta vegetal. Abarcan el 26,97 % del área de estudio (Fig. 31).

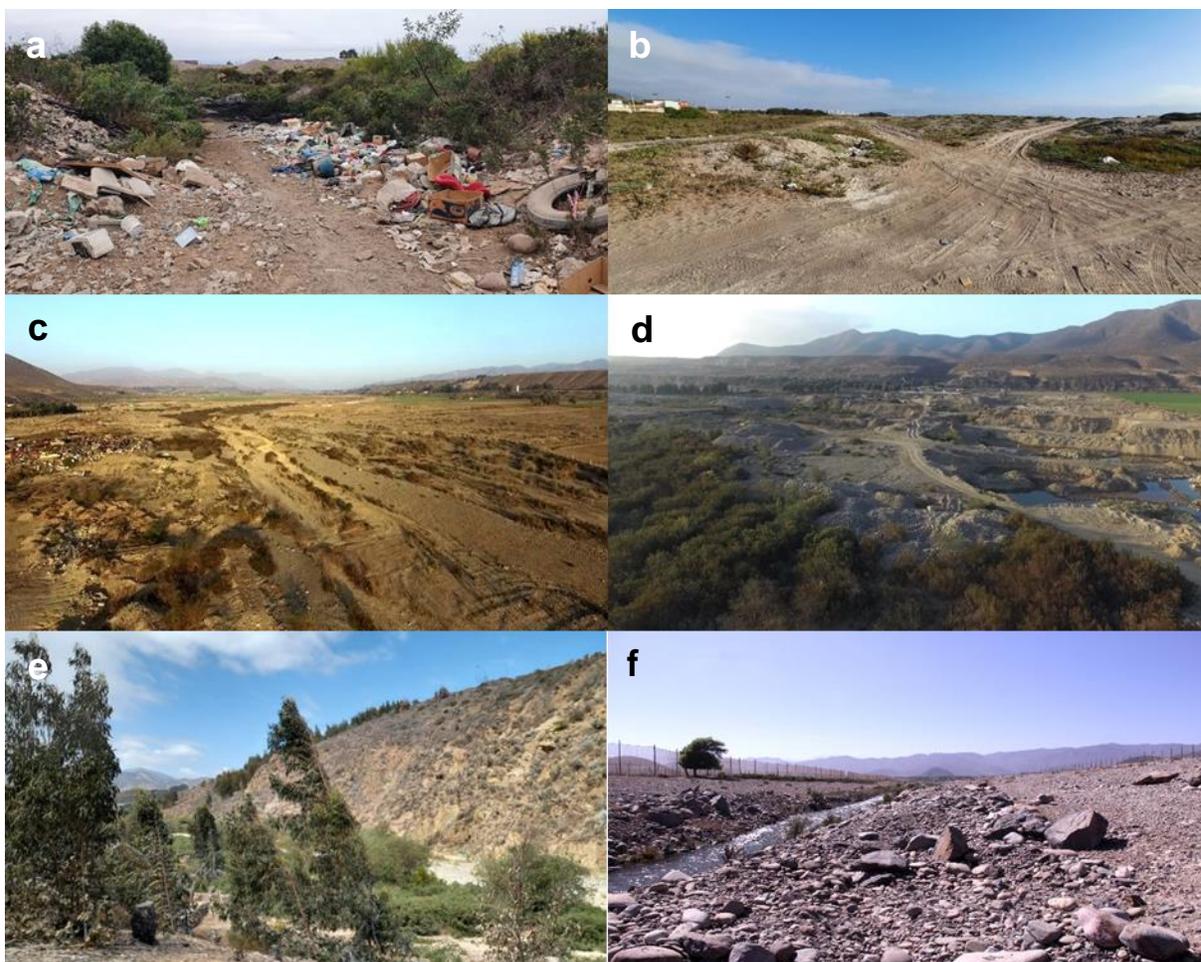


Figura 31: Zonas artificializadas presentes en el área de estudio: (a) basurales, (b) suelos dunares impactados por el tránsito de vehículos, (c) suelos semidesnudos y curso fluvial interrumpido, (d) alteración de suelos y microtopografía por extracción de áridos, (e) plantación de *Eucalyptus globulus* en la quebrada El Islón y (f) cauce linealizado por canalización y construcción de pretiles. Fuente: elaboración propia.

Tabla 13: Superficie total y cobertura de las zonas artificializadas con respecto al sitio de estudio y a cada uno de sus sectores.

Zonas artificializadas	Sector 1		Sector 2		Sector 3		Sector 4		Sector 5		Área de estudio	
	ha	Cob. (%)	ha	Cob. (%)	ha	Cob. (%)						
Depósitos de desechos	5,96	2,11	17,19	9,42	1,63	0,32	0,00	0,00	0,06	0,07	24,84	2,01
Infraestructura antrópica	10,79	3,82	3,27	1,79	2,04	0,40	0,25	0,14	0,00	0,00	16,35	1,32
Plantaciones	3,12	1,11	0,03	0,02	4,00	0,78	5,90	3,29	0,36	0,44	13,41	1,09
Suelo desnudo	35,68	12,64	66,55	36,45	179,78	35,25	28,90	16,14	22,22	27,39	333,13	26,97
Suelo semidesnudo	0,86	0,30	36,17	19,81	87,11	17,08	16,99	9,49	9,61	11,85	150,74	12,21
Tierras agrícolas	18,36	6,50	0,44	0,24	12,59	2,47	0,00	0,00	0,00	0,00	31,39	2,54
Superficie total de cada sector (ha)	282,33		182,56		509,97		179,06		81,13		1235,05	

Referencias

Etienne, M. y Prado, C. (1982). Descripción de la vegetación mediante la Cartografía de Ocupación de Tierras: Conceptos y manual de uso práctico. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales de la Universidad de Chile.

Gajardo, R. (1994). La Vegetación Natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica. Santiago, Chile: Editorial Universitaria.

Mostacedo, B. y Fredericksen, T. (2000). Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: Editora El País.

Luebert, F. & Pliscoff, P. (2006). Sinopsis Bioclimática y vegetacional de Chile. Santiago, Chile: Editorial Universitaria.

Vila, I.; Veloso, A.; Schlatter, R.; y Ramírez, C. (Eds.). (2006). Macrófitas y vertebrados de los sistemas límnicos de Chile. Santiago, Chile: Editorial Universitaria.

Rodríguez, R.; Marticorena, C.; Alarcón, D.; Baeza, C.; Cavieres, L.; Finot, V. L.; Fuentes, N.; Kiessling, A.; Mihoc, M.; Pauchard, A.; Ruiz, A.; Sánchez, P. & Marticorena, A. (2019). Catálogo de las plantas vasculares de Chile. Recuperado de http://catalogoplantas.udec.cl/base_catalogo_plantas.pdf.

QGIS, versión 3.14 Pi. (2021). Recuperado de <https://www.qgis.org/es/site/forusers/download.html>.

4.5.3 Línea de Base de variables físico-químicas y de flujo (velocidad, caudales y profundidad del cauce) como insumo para el monitoreo de calidad de aguas superficiales en los sectores de restauración priorizados del Humedal Costero del Río Elqui y sus subcuencas aportantes.

Objetivos

Caracterizar las condiciones fisicoquímicas y de flujos en los sectores priorizados para la restauración como insumo para el monitoreo y vigilancia sobre posibles perturbaciones de la calidad de las aguas superficiales mediante el análisis de concentraciones de elementos y variables físicas, químicas y de flujo.

Metodología

Se escogieron tres (3) sitios representativos dentro de los sectores de restauración priorizados del Humedal Costero del Río Elqui y sus subcuencas aportantes (ver Tabla 14 y Figura 32). Si bien en un principio se consideró un cuarto sitio en la quebrada El Romero – Islón, se tuvo que descartar por la ausencia de escorrentía superficial.

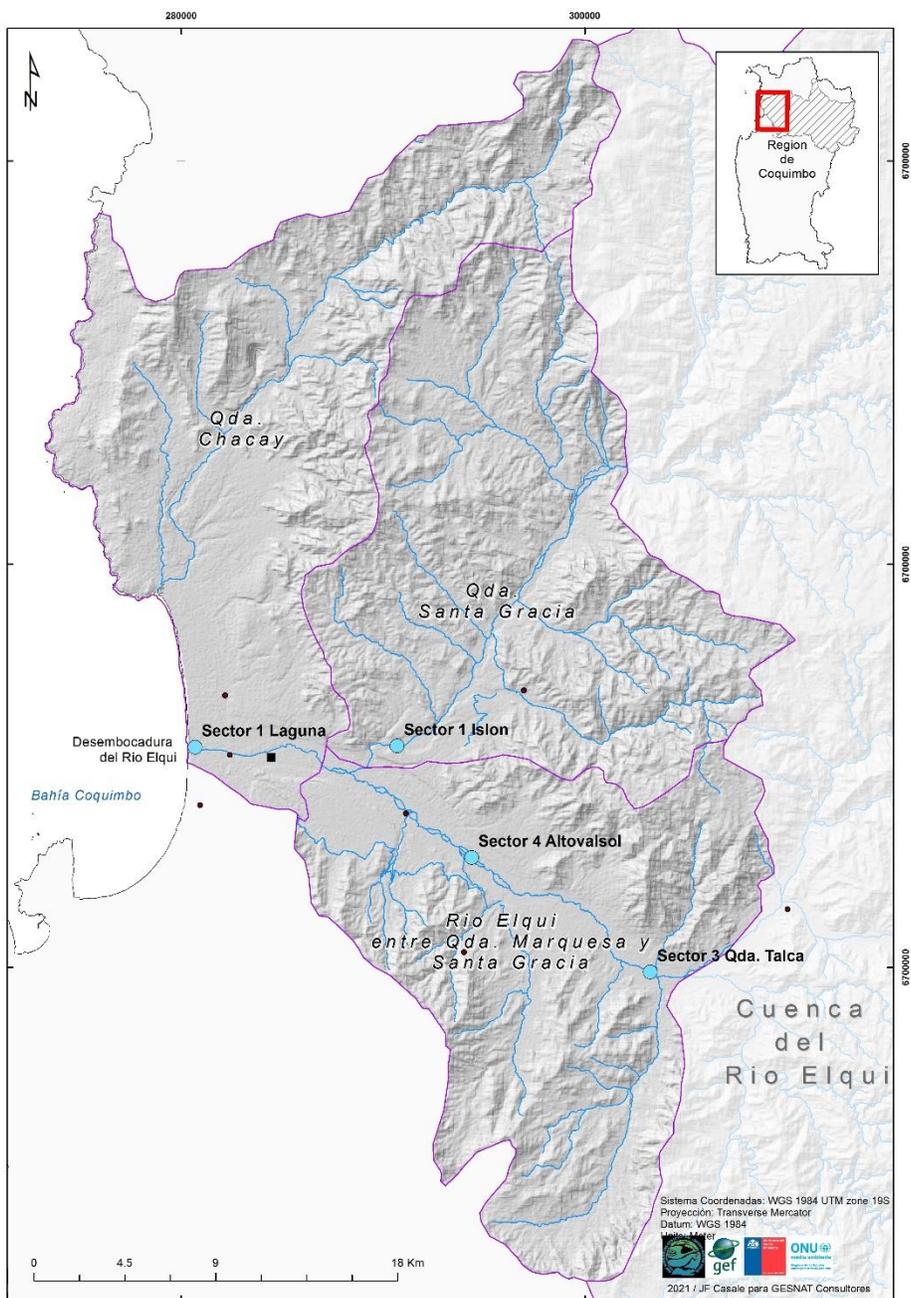


Figura 32: Ubicación de los sitios de muestreo en los sectores de restauración priorizados.

Tabla 14: Nombre y ubicación de los sitios de muestreos de variables fisicoquímicas y de flujo en los sectores priorizados. Fuente: elaboración propia.

ID Sitio	Sector Priorizado	Sitio	UTM Este	UTM_Norte	Altitud (msnm)
S1	Sector 1	Rio Elqui antes Desembocadura	281519	6690767	0
S3	Sector 4	Rio Elqui en Puente Altovalsol	294397	6685429	122
S2	Sector 5	Confluencia Rio Elqui con Qda. de Talca	303621	6679655	246

Las actividades realizadas en cada sitio para elaborar la línea de base para el monitoreo de calidad de aguas superficiales mediante variables físico-químicas y de flujo (velocidad, caudales y profundidad del cauce comprendieron:

- Las mediciones de parámetros físico-químicos *in-situ*,
- La recolección de muestras de agua para análisis de parámetros físico-químicos y microbiológicos *ex-situ*, y su derivación al laboratorio de análisis.
- La medición de perfiles de velocidad de corriente (para posterior cálculo de caudal),
- El análisis en laboratorio de las muestras de agua recolectadas (servicio subcontratado).

Los protocolos de muestreo y registro de datos siguieron la Normas Chilenas vigentes **NCh-ISO 5667/1:2017**, **NCh-ISO5667/6:2015** y **NCh 411/3:2014**, como también el protocolo de terreno CABIN 2012. Los procedimientos de extracción de muestras de agua fueron efectuados por un operador experimentado, apoyado por un ayudante con experiencia.

Medición y recolección de parámetros físico-químicos y microbiológicos

Para cuantificar las propiedades físico-químicas y microbiológicas de calidad de agua en cada punto, se registraron un total de 21 parámetros (ver Tabla 15):

El pH, Conductividad, Temperatura, Totales de sólidos disueltos (TDS), oxígeno disuelto (OD), turbidez, Potencial de Oxidación Reducción (ORP), fueron registrados en terreno (ver resultados en tablas de archivos Anexos) mediante un equipo multiparámetro de marca Hanna, modelo HI9829. El material fue debidamente verificado y calibrado antes de cada salida a terreno.



Figura 33. Equipo multiparámetro portátil marca Hanna HI9828 con su sonda, y su utilización en el muestreo

El resto de los parámetros fueron cuantificados a partir de la extracción de 1L. de agua para detección de metales, nutrientes y sales, y en 250 ml de agua para los microbiológicos; esto en

cada uno de los sitios de muestreo según protocolo estipulado en las normas vigentes ante citadas. Para el análisis microbiológico se extrajo en cada sitio 250 ml. El servicio de análisis fue externalizado, realizado por el laboratorio Hidrolab.

Tabla 15: Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos medidos

Parámetros	Unidad	ID	Análisis
Oxígeno disuelto	mg/l	Odppm	En terreno (in-situ)
pH (agua)	-	pH	En terreno (in-situ)
pH/mV Ratio entre pH y ORP	-	pHmV	En terreno (in-situ)
Saturación de oxígeno	%	OD	En terreno (in-situ)
Potencial Redox	mv	ORP	En terreno (in-situ)
Sólidos disueltos totales	ppm	TDS	En terreno (in-situ)
Temperatura (agua)	°C	Tagua	En terreno (in-situ)
Conductividad eléctrica	μS/cm	Cond	En terreno (in-situ)
Resistividad	MΩ.cm	Res	En terreno (in-situ)
Turbidez	FNV	FNV	En terreno (in-situ)
PSU	PSU	PSU	En terreno (in-situ)
Presión atmosférica	psi	pa	En terreno (in-situ)
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /L	alca	En Laboratorio (ex-situ)
Conductividad	μs/cm	cond2	En Laboratorio (ex-situ)
Sólidos sedimentables	ml/L	soSed	En Laboratorio (ex-situ)
Turbiedad	UNT	Turb2	En Laboratorio (ex-situ)
pH	unidad (25°C)	pH2	En Laboratorio (ex-situ)
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	CoFe	En Laboratorio (ex-situ)
Aceites y grasas emulsionados	mg/L	AGemu	En Laboratorio (ex-situ)
Aceites y grasas Flotantes	mg/L	AGflo	En Laboratorio (ex-situ)
Color verdadero	Pt-Co	color	En Laboratorio (ex-situ)

Toma de las muestras

Se realizó tomando todas las precauciones requeridas para obtener una muestra representativa y sin contaminación externa: con contenedor limpio, ambientado por medio de enjuagues, a una distancia adecuada de la orilla, se procedió a sumergir rápidamente el frasco debajo del agua, procurando orientar la boca del contenedor en sentido contrario a la corriente para evitar colectar materiales o residuos flotantes como fragmentos de vegetación, insectos, etc. (Figura 34). En el caso del recipiente para análisis microbiológico no se realizó una ambientación previa, esto debido a que contenía preservante.



Figura 34: Extracción de las muestras de agua para el posterior análisis, durante la campaña de muestreo.

Almacenamiento y registro

Una vez colectadas las muestras, en sus envases respectivos a cada tipo de análisis, se procedió al rotulado con el nombre y código de cada sitio, curso de agua correspondiente, fecha y hora de la toma. Los mismos datos fueron registrados en planillas, junto con la ubicación georreferenciada con GPS, y observaciones sobre características físicas del cauce y del hábitat acuático: condiciones de sustrato, perturbaciones o contaminaciones visibles en el cuerpo de agua, el color aparente y la transparencia. Los envases respectivos para los diferentes análisis fueron inmediatamente almacenados en un *cooler* hermético, cuidadosamente repartidos y abultados, con unidades de frío (*Icepack* o *ice-blue*) para procurar una temperatura ideal entre 2 a 5°C, y mantener la cadena de frío hasta la llegada al laboratorio de análisis.

Transporte de las muestras

Una vez terminada la campaña diaria de muestreo, las muestras obtenidas fueron derivadas al Laboratorio Hidrolab. Esto procurando mantener las condiciones de temperaturas requeridas y respetar un tiempo de entrega no mayor a 20 horas desde la primera toma del día hasta el laboratorio de destino (condiciones requeridas para análisis microbiológico).

Análisis

La medición de parámetros ex - situ fueron efectuados por el laboratorio Hidrolab, el cual cuenta con certificado vigente del Sistema Nacional de Acreditaciones INN LE 214 - LE 215 - LE 1273 - LE 1431 - LE 1432 de acuerdo con la NCh-ISO 17025:2017.

La Tabla 16 resume las técnicas y metodologías utilizadas según valores referenciales entregados por el laboratorio de análisis. Los resultados obtenidos fueron contrastados con los límites máximos estipulados en la normativa vigente de calidad del agua de acuerdo con su uso: Norma chilena NCh1333:1978 Mod. 1987.

Tabla 16: Metodologías aplicadas a los análisis físico-químicas y microbiológicas (ex-situ) según información del laboratorio. SI: Sin Información.

Parámetros	Símbolo	Unidad	Método
Alcalinidad	alca	mg CaCO ₃ /L	SM-2320 B(2)
Conductividad	cond2	µs/cm	SM-2510 B(2)
Sólidos sedimentables	soSed	ml/L	SM-2540 F(2)
Turbiedad	Turb2	UNT	SM-2130B (2)
pH	pH2	-	2313-1of95(1)
Coliformes fecales	CoFe	NMP/100 ml	2313-22of95(1)
Aceites y grasas emulsionados	AGemu	mg/L	SM-5520 B(2)
Aceites y grasas Flotantes	AGflo	mg/L	SM-2530C(2)
Color verdadero	color	Pt-Co	SM-2120B(2)

(1) Normas Chilenas Oficializadas, serie NCh 2313 - Aguas residuales.

(2) Standard Methods for the examination of Water and Wastewater, 23 th Edition 2017

Temperatura recepción de muestras bacteriológicas: 7,4°C

Tabla 17: Concentración máxima de elementos en agua para riego, según estipulado en la normativa vigente de calidad del agua de acuerdo a su uso para riego: Norma chilena NCh1333:1978 mod. 1987.

Parámetros	Símbolo	Unidad	Límite máximo
pH	pH	-	
Coliformes fecales	CoFe	NMP/100 ml	1000
Aceites y grasas emulsionados	AGemu	mg/L	
Aceites y grasas flotantes	AGflo	mg/L	

Mediciones de parámetros de flujo (velocidad, caudales y profundidad del cauce)

Las mediciones de velocidad de la corriente y profundidad del nivel de agua se miden en una sección transversal del cauce. En relación con el ancho del cauce (ancho mojado), medido con una cinta métrica de 50 m, se establecen subsecciones transversales homogéneas donde se realizan las mediciones. En cauces de ancho menor a 5m, se registran 3 puntos de medición equidistantes entre sí a $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ del ancho mojado (Figura), mientras que en anchos mayores a 5m, son 5 puntos equidistantes a $\frac{1}{6}$, $\frac{2}{6}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{4}{6}$ y $\frac{5}{6}$. Las mediciones de velocidad en cada punto o subsección se repiten 3 veces y se calcula el promedio.

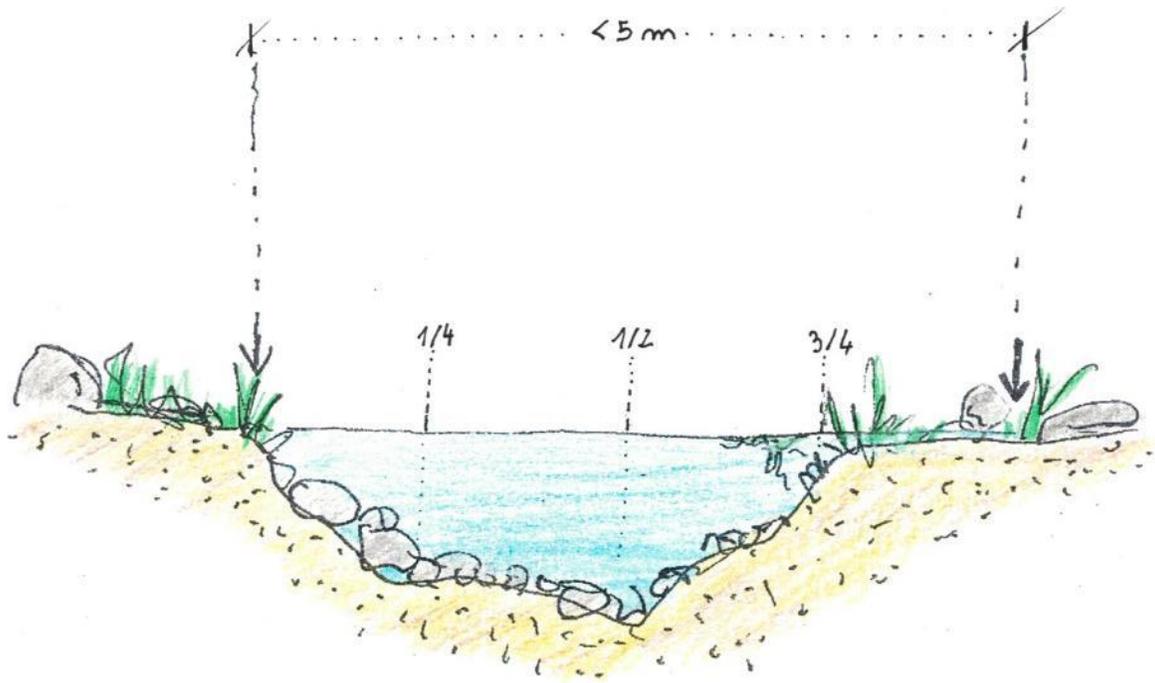


Figura 35: Esquema de medición de parámetros de flujo en cauces de ancho mojado inferior a 5 metros. Se toman 3 mediciones equidistantes ($1/4$, $1/2$ y $3/4$ del ancho total medido). Elaboración propia.

Consideraciones y precauciones preliminares:

Procurar medir en una sección homogénea del cauce. Esta sección debe ser perpendicular al flujo natural y ubicado en lo posible lejos de obstáculos naturales y artificiales tanto aguas arriba como abajo. Si no fuera posible respetar el criterio de homogeneidad, por existir más de un brazo, medir independientemente las diferentes secciones del cauce; en este último caso, el caudal total se obtiene de la suma de los caudales parciales (de cada sección de brazo).

Los flujos deben ser lo más regular posible. Para tal efecto se debe asegurar que el nivel de agua no tenga variación significativa durante el proceso de medición. Variaciones aceptables: 1 cm en periodo de estiaje, 3-5 cm en periodo de crecida. Si los niveles de agua muestran variaciones rápidas, se precisa medirlas, por lo menos, al principio, durante y al finalizar la medición de Velocidad-Área, respecto de un elemento de referencia estable (puente, vara métrica u otro elemento de referencia) (Environment Canada CABIN 2012).

Procedimiento de medición perfil de velocidad y caudal, según “Anexo Aforo en Canales No Revertidos” de la Comisión Nacional de Riego

- A. Medir el ancho superficial o espejo de agua “T”, tal como el mostrado en la figura.

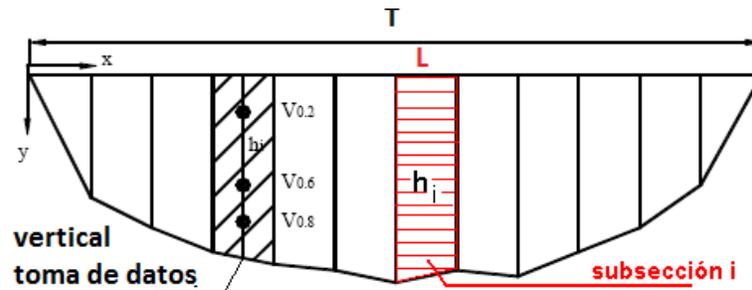


Figura 36: Esquema sintético para la medición de perfiles de velocidad de corriente. Fuente: elaboración propia.

- B. Dividir el ancho superficial T, en subsecciones.

Donde n es N° de subsecciones:

$$L = \frac{T}{n}$$

Tabla 18: regla de división en subsecciones (n) de ediciones en función del ancho mojado del cauce considerado (T)

Ancho T (m)	n
< 5	3
> 5	5

- C. Se comenzará midiendo desde el lado izquierdo del perfil mirando hacia aguas abajo
- D. Medición de la velocidad en cada subsección

Tabla 19: Consideraciones de alturas para medir las velocidades en cada subsección en función de la profundidad de la columna de agua. Fuente: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater, 23 th Edition 2017

h_{esc} subsección(m)	Medida de la velocidad en subsección
$h \leq 0,2$	$0,6 h_{esc \text{ subsección}}$
$0,2 < h \leq 0,5$	$0,2 h_{esc \text{ subsección}}$ y $0,6 h_{esc \text{ subsección}}$
$h > 0,5$	$0,2 h_{esc \text{ subsección}}$; $0,6 h_{esc \text{ subsección}}$ y $0,8 h_{esc \text{ subsección}}$

NOTA:

- $h_{esc \text{ subsección}}$ está dada por la altura de escurrimiento en la sección, mayor altura en la sección de aforo. "h" deberá ser medido desde la superficie libre.
- Para cada vertical se debe proceder de la misma forma, medir la altura de escurrimiento y tomar los datos de la velocidad con tres repeticiones en cada posición del molinete.

E. Cálculo del caudal aforado

- La velocidad media, se deberá determinar como el promedio de las velocidades medidas en la vertical respectiva.
- Para la determinación del caudal que escurre por cada subsección, se debe utilizar la velocidad promedio calculada en el apartado anterior:

$$Q_i = \Omega_i \bar{V}_i$$

Donde:

- Ω_i área de escurrimiento de la sección, calculada como $b_i * h_i$
- b_i ancho de la sección i y que corresponde a L para las secciones centrales y en extremos es igual a 1.5L

Otras consideraciones metodológicas

En lo que concierne a la información levantada in-situ, las mediciones fueron registradas en fichas de terreno detalladas, y cada sitio fue georreferenciado mediante el uso de un GPS de marca Garmin, modelo Etrex10. De esta forma, se obtuvo un registro preciso de las variables consideradas en cada punto de muestreo, posteriormente integrado en planillas Excel.

Los análisis estadísticos de los datos se hicieron usando el entorno de programación R Stats (R Core Team 2018).

La interpretación de los valores de los parámetros se apoya en la propuesta de clases de calidad de agua para la cuenca del Río Elqui, realizada por CENMA (2017) en el marco del levantamiento de información base para la Norma Secundaria de Calidad de Aguas de la cuenca. En dicho trabajo, se definen 5 clases y estados de bueno, regular o malo (ver Tabla 20 de clases de referencia para los parámetros considerados en los sitios de muestreo de los sectores priorizados).

Tabla 20: Clases de calidad propuestas para la cuenca del Elqui. Fuente: CENMA 2017

	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Coliformes fecales	46.000	46.000	160.000	274.000	> 274.000
Coliformes totales	46.000	46.000	255.500	465.000	> 465.000
Conductividad Eléctrica	262.000	363.900	4101.050	7838.200	> 7838.200
Sólidos totales disueltos (TDS)	95.670	275.400	685.484	1095.568	> 1095.568
Temperatura	12.670	20.824	21.370	21.915	> 21.915

Finalmente, los resultados obtenidos, se presentan mediante tablas en la sección 3 siguiente.

Resultados

En lo que refiere a los parámetros de calidad, las características se resumen en la Tabla 22. Junto con la distribución de los valores mostrando el rango, los promedios, medianas y desviación estándar, se destacan los valores máximos y/o rangos establecidos en la norma chilena vigente NCh 1333, 1978 Mod. 87.

Tabla 21: Resultado de los valores de las variables consideradas para cada sitio de muestreo. Elaboración propia.

Variable	Unidad	ID	S1	S3	S2
coordenadas Este – UTM 19S Datum WGS84	m	UTM_E	281519	294397	303621
coordenadas Norte – UTM 19S Datum WGS84	m	UTM_N	6690767	6685429	6679655
Altitud	m.s.n.m	alt	0.00	122.00	246.00
Índice de Trofia (Macrofitas)	-	ITFM	61.69	52.57	37.66
Ancho mojado del cauce	m	ancho	25.00	4.30	5.00
Profundidad max	m	hmax	0.76	0.16	0.32
Profundidad promedio	m	hpro	0.53	0.11	0.26
Velocidad de corriente Max	m/s	Vmax	0.36	0.29	1.13
Velocidad de corriente Promedio	m/s	Vpro	0.05	0.10	1.01
Caudal Max	m ³ /s	Qmax	0.08	0.07	0.34
Caudal promedio	m ³ /s	Qpro	0.03	0.02	0.27
Oxígeno disuelto	mg/l	Odppm	6.24	7.93	8.30
pH (agua)	-	pH	7.48	7.44	8.78
pH/mV Ratio entre pH y ORP	-	pHmV	-18.50	-16.70	-83.70
Saturación de oxígeno	%	OD	73.80	94.60	102.20
Potencial Redox	mv	ORP	81.90	164.40	119.90
Solidos disueltos totales	ppm	TDS	94.00	574.00	412.00
Temperatura (agua)	°C	Tagua	22.99	23.36	24.36
Conductividad eléctrica	µS/cm	Cond	1922.00	1149.00	852.00
Resistividad	MΩ.cm	Res	0.0005	0.0009	0.0012
Turbidez	FNV	FNV	35.90	0.87	2.40
PSU	PSU	PSU	0.98	0.57	0.40
Presión atmosférica	psi	pa	14.74	14.56	14.33
Alcalinidad (ex-situ)	mg CaCO ₃ /L	alca	253	197	104
Conductividad (ex-situ)	µs/cm	cond2	1830	1114	750
Sólidos sedimentables (ex-situ)	ml/L	soSed	<0.1	<0.1	<0.1
Turbiedad (ex-situ)	UNT	Turb2	0.82	<0.5	0.94
pH (ex-situ)	unidad (25°C)	pH2	7.5	7.61	7.43
Coliformes Fecales (ex-situ)	NMP/100 ml	CoFe	170	23	240
Aceites y grasas emulsionados (ex-situ)	mg/L	AGemu	<5.0	<5.0	<5.0
Aceites y grasas Flotantes (ex-situ)	mg/L	AGflo	<5.0	-	<5.0
Color verdadero (ex-situ)	Pt-Co	color	<5.0	<5.0	5

Tabla 22: Cuadro resumen de los valores de parámetros medidos a nivel de la cuenca (n = 3 sitios). *: S.D.: desviación Estándar. Fuente: elaboración propia.

	min	max	promedio	mediana	SD
alt	0.000	246.000	122.667	122.000	123.001
ITFM	37.660	61.690	50.640	52.570	12.131
ancho	4.300	25.000	11.433	5.000	11.754
hmax	0.160	0.760	0.413	0.320	0.311
hpro	0.110	0.530	0.300	0.260	0.213
Vmax	0.290	1.130	0.593	0.360	0.466
Vpro	0.050	1.010	0.387	0.100	0.540
Qmax	0.070	0.340	0.163	0.080	0.153
Qpro	0.020	0.270	0.107	0.030	0.142
Odppm	6.240	8.300	7.490	7.930	1.098
pH	7.440	8.780	7.900	7.480	0.762
pHmV	-83.700	-16.700	-39.633	-18.500	38.173
OD	73.800	102.200	90.200	94.600	14.702
ORP	81.900	164.400	122.067	119.900	41.293
TDS	94.000	574.000	360.000	412.000	244.188
Tagua	22.990	24.360	23.570	23.360	0.709
Cond	852.000	1922.000	1307.667	1149.000	552.364
Res	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000
FNV	0.870	35.900	13.057	2.400	19.798
PSU	0.400	0.980	0.650	0.570	0.298
pa	14.330	14.740	14.543	14.560	0.206
alca	104.000	253.000	184.667	197.000	75.262
cond2	750.000	1830.000	1231.333	1114.000	549.477
pH2	7.430	7.610	7.513	7.500	0.091
CoFe	23.000	240.000	144.333	170.000	110.753

Referencias

Environment Canada. Science and Technology Branch. (2012). Canadian Aquatic Biomonitoring Network – CABIN field manual - wadeable streams. (57).

R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>

Normas de Calidad vigentes en Chile:

NCh1333:1978 Mod. 1987. Establece los requisitos de calidad del agua de acuerdo a su uso. Se aplica a las aguas destinadas a los usos siguientes: a) agua para consumo humano; b) agua para la bebida de animales; c) riego; d) recreación y estética; d.1) estética; d.2) recreación con contacto directo; d.3) recreación sin contacto directo; y e) vida acuática.

NCh-ISO 5667/1:2017, Calidad del agua - Muestreo - Parte 1: Guía para el diseño de los programas de muestreo y técnicas de muestreo

NCh-ISO5667/6:2015 Calidad del agua – Muestreo -Guía para el muestreo de ríos y cursos de agua

NCh-ISO 9001:2015. Sistemas de gestión de la calidad - Requisitos (Adopción idéntica de la versión en español de la Norma Internacional ISO 9001:2015)

NCh 411/2. Of 96 Calidad del agua- Muestreo Parte 2: Guía sobre técnicas de muestreo

NCh 411/3. Of 2014 Calidad del agua- Muestreo- Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras

4.5.4 Índices Bióticos de Familia de Macroinvertebrados e Índice de Trofia en base a Macrófitos

Objetivo

- Caracterizar las comunidades de macroinvertebrados presentes en los sectores priorizados para la restauración.
- Describir su diversidad y las posibles perturbaciones de la calidad del agua debido a la presencia de contaminantes mediante Índices de diversidad e Índices bióticos.

Metodologías

En lo que refiere a los macroinvertebrados, el protocolo de muestreo general usado siguió las recomendaciones elaboradas en CEAZA (2017) para adaptar al contexto de las cuencas semiáridas de Chile los estándares desarrollados por el *Canadian Aquatic Biomonitoring Network – CABIN* (Environment Canada. Science and Technology Branch 2012 & 2014). Para las macrofitas, se siguió por completo la metodología desarrollada en la cuenca de Elqui por Urrutia *et al.* 2020.

Selección del área de muestreo en cada sitio

Para una mayor representatividad en término de hábitat acuático y vegetación de la ribera, el área de muestreo fue definida aproximadamente 6 veces el ancho lleno del cauce (Nivel de inundación anual, definido por el ancho del río). Esta longitud de área de muestreo debe representar, en condiciones naturales, una secuencia que abarca tanto zonas de depósito (piscinas) como zonas de erosión (rápidos), (Newberry & Gaboury, 1993) y por lo tanto abarcar la diversidad de hábitats acuáticos presentes en el sitio considerado. Además, para la selección del área de muestreo se consideraron además criterios de representatividad de los sustratos, vegetación de la ribera, tipo de flujo y facilidad de acceso para poder repetir las mediciones en el tiempo.

Muestreo de macroinvertebrados

El Muestreo fue realizado siguiendo el método “*traveling kick net*” estandarizado por el esfuerzo de muestreo (tiempo). Este método consistió en recorrer el área de muestreo definida de un lado a otro, avanzando aguas arriba en zigzag, durante 5 minutos (Figura 37). La colecta de los macroinvertebrados se realizó por este recorrido, arrastrando sobre el sustrato una red de estructura triangular de 30 cm, con un mango extensible a 1,20 cm, malla de 400 μ m de espesor y largo de 60 cm finalizando en un copo de captación de 125 cc. La estandarización a nivel de esfuerzo resulta importante para comparar sitios que varían en el tamaño de los ríos. Mientras

que el patrón en Zigzag permite incorporar macroinvertebrados bentónicos de diversos microhábitat ubicados dentro de la zona de erosión (por ejemplo, áreas alrededor de grandes rocas, rápidos, escorrentías, acantilados) en proporción a su ocurrencia a lo largo del área de muestreo, como también hábitat de las orillas asociados a macrófitos acuáticas.

Una vez colectada, cada muestra fue cuidadosamente extraída de la red mediante lavado encima de un tamiz de 400 μm . Posteriormente, se envasó en frascos de 700cc y conservados en alcohol a 95%, sin separación ni descarte de elementos de la matriz de sustratos, salvo en el caso de la presencia de materiales demasiado voluminosos o en exceso como gravas, piedras o ramas. En el caso de descartar algún material o elemento, se procuró, antes de desecharlo, limpiarlo encima del tamiz. Cada frasco fue rotulado por dentro y por fuera, anotando su código, la fecha de colecta, y el nombre del sitio. Posteriormente, en laboratorio se revisó la integridad de las muestras y se realizó un cambio del alcohol con el fin de evitar algún proceso de descomposición de la muestra por posibles diluciones del conservante.



Figura 37: imágenes referenciales sobre el muestreo de macroinvertebrados bentónicos: Izq.: Red de muestreo (kicknet); centro: patrón de muestreo en zigzag, persona realizando la colecta con el Kicknet; der.: envasado.

Mediciones variables físico-químicas y de flujo (velocidad, caudales y profundidad del cauce)

Las mediciones de velocidad de la corriente y profundidad del nivel de agua se miden en una sección transversal del cauce. En relación con el ancho del cauce (ancho mojado), medido con una cinta métrica de 50 m, se establecen subsecciones transversales homogéneas donde se realizan las mediciones. En cauces de ancho menor a 5m, se registran 3 puntos de medición

equidistantes entre sí a $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$, mientras que en anchos mayores a 5m, son 5 puntos equidistantes a $\frac{1}{6}$, $\frac{2}{6}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{4}{6}$ y $\frac{5}{6}$. Las mediciones de velocidad en cada punto o subsección se repiten 3 veces y se calcula el promedio.

Análisis de muestras y determinación taxonómica

Considerando el objetivo de monitoreo y rápida evaluación de las condiciones del río usando los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores, es que se procesó en base a una sub-muestra representativa para cada sitio. La selección/separación de la sub-muestra requiere sin embargo de un proceso previo de limpieza y clasificación de los organismos (ver detalles en CEAZA 2017 y CABIN 2014).

Preparación de la muestra en laboratorio: Contempla las etapas de lavado, tamizaje y elutriación (separación de la fracción orgánica de la muestra por centrifugación manual) previas al sub-muestreo y sorteo/clasificación, con objeto de limpiar la muestra de su agente preservante, separarla de los sedimentos finos y materiales inorgánicos de la matriz que pudieran dificultar la etapa de clasificación (Moulton et al. 2000).

Sub-muestreo: se refiere al fraccionamiento de una muestra para alcanzar un recuento fijo deseado que sea representativo de toda la muestra. Se recomienda evaluar previamente la necesidad de sub-muestreo y el método más adecuado de submuestreo colocando la muestra en un recipiente poco profundo (bandeja) con 1-2 cm de agua.

Para el caso de muestras con abundancia de alga o musgos, se llevó a cabo el protocolo de sub-muestreo y clasificación por peso. Una vez drenada y pesada, se dividió la muestra principal en porciones de peso iguales, se procesó cada fracción de peso de manera aleatoria hasta llegar a un umbral de 300 individuos contados.

Para muestras donde el sustrato predominante es arena y restos gruesos de materia orgánica, se procesa al sub-muestreo mediante el método de *Marchant Box*, donde las muestras se procesan de manera aleatoria en fracciones de volumen (celdas), también hasta el umbral de 300 individuos y un mínimo de cinco sub-muestras (celdas). Si es necesario procesar más del 50% de la muestra para obtener los 300 individuos, toda la muestra debe ser procesada.

En ambos métodos (clasificación por peso o método de *Marchant Box*), una vez alcanzado el umbral, se extrapolan las abundancias totales por taxón en función del porcentaje de muestra tratado. Es importante señalar que, para evitar sesgo o error en los conteos, es decir, para tener

mejor precisión, se excluyeron del conteo individual los grupos taxonómicos siguientes: Ostracoda, Porifera, Copepoda, Nematoda, Nematophora, Nemertea, Platyhelminthes y demás taxa no acuáticos.

Clasificación: Se refiere a la extracción de los macroinvertebrados bentónicos de la matriz de la muestra y su posterior ordenación/agrupación según grupos taxonómicos. Para efecto del monitoreo y evaluación rápida en base a índices bióticos, la resolución taxonómica de determinación fue a nivel de Familia. Dicha clasificación taxonómica sigue principalmente las nomenclaturas y claves de Tachet *et al.* (2003) y Dominguez & Fernández (2009).

Metodología de muestreo de macrófitos

El muestreo de macrófitos, en los mismos sitios considerados para los macroinvertebrados, se basó en la propuesta de Urrutia *et al* (2020). Consistió en realizar 20 parcelas de inventario de macrofitas, de 1m², siguiendo transectos paralelos a una de la orilla del cauce, de 40 m de largo.

Con los datos obtenidos de las comunidades de macrófitos, se procedió a calcular los niveles de trofia de cada sitio, mediante la aplicación del Índice trófico fluvial de macrófitos (ITFM) cuya fórmula se presenta a continuación:

$$ITFM = -25 * \left(\log_2 \left(\frac{\sum N \text{ ETA}}{\sum N \text{ ETB} + \sum N \text{ ETM}} \right) \right) + 50$$

Donde:

$\sum N$ = Sumatoria de la abundancia relativa (cobertura)

ETB= Especies indicadoras de tolerancia baja a la contaminación orgánica

ETM= Especies indicadoras de tolerancia media a la contaminación orgánica

ETA= Especies indicadoras de tolerancia alta a la contaminación orgánica

Índices bióticos

Para mantener consistencia y comparabilidad con monitoreos anteriores en la Cuenca del Rio Elqui, se calcularon los índices y métricas descritos en Alvial *et al.* (2012) así como los recomendados por CENMA (2017).

A saber, los principales índices de diversidad (Tabla 23):

Tabla 23: Métricas de diversidad de macroinvertebrados bentónicos calculados para los sitios de monitoreo de los sectores priorizados de restauración de las subcuencas del río Elqui

Índice/métrica	ID
Riqueza	S
Abundancia total extrapolada	N
Shannon-Wiener	H'
Simpson	simp
Índice de Equidad de Pielou	J
Índice de Margalef	M

Índice Biológico de Monitoreo ChBMWP

El ChBMWP (*Biological Monitoring Working Party score*) corresponde a un índice basado en valores de tolerancia determinados a nivel taxonómico de Familia por expertos, desarrollado inicialmente por Armitage (1983) y posteriormente adaptado para Chile (Figuroa *et al.* 2007, Alvial *et al.* 2012 – ver Tabla 25). Estos valores reflejan la tolerancia a contaminación de un taxón dado. De esta forma, Familias intolerantes tienen valores altos del índice mientras que las familias tolerantes tienen valores bajos del índice.

El puntaje por un sitio (ChBMWP), es decir el valor del índice, se obtiene sumando los puntajes individuales de los taxa presente en dicho sitio.

El puntaje promedio por taxón (ChASPT) se calcula dividiendo el puntaje por el número total de taxa con puntaje individual en el sitio (N-Taxa). Valores altos de ASPT (*Average Score per Taxon* según su sigla original) caracterizan sitios poco contaminados mientras que valores bajos reflejan sitios potencialmente contaminados.

Índice Biótico de Familias ChIBF

Este índice se basa en la propuesta del Índice Biótico de Familias de Hilsenoff (1988), considerando valores de tolerancia en función de la respuesta a contaminación orgánica de los taxa (ver Tabla 25). Fue adaptado para Chile por Figuroa *et al.* (2003) y modificado para la cuenca del Río Elqui por Alvial *et al.* (2013).

Requiere cuantificar la abundancia total de individuos en una muestra / sitio (N), la abundancia de individuos a nivel de familia (n_i), y asignar un valor de tolerancia para cada familia (t_i). Se calcula de la siguiente manera:

$$ChIBF = \frac{\sum n_i t_i}{N}$$

Valores de tolerancia a nivel de familia para calcular los Índices ChIBF y ChBMWP

Tabla 25: Valores de tolerancia de familias de macroinvertebrados bentónicos adaptados a la cuenca del Río Elqui para calcular los Índices ChIBF y ChBMWP.

Familia	ChIBF	ChBMWP	Familia	ChIBF	ChBMWP
<i>Haplotaixidae</i>	8	NA	<i>Caenidae</i>	7	4
<i>Naididae</i>	8	NA	<i>Leptophlebiidae</i>	2	9
<i>Enchytraeidae</i>	8	NA	<i>Collembola</i>	5	SI
<i>Lumbriculiidae</i>	8	NA	<i>Belostomatidae</i>	6	4
<i>Glossiphoniidae</i>	10	3	<i>Corixidae</i>	7	3
<i>Hygrobatidae</i>	4	4	<i>Pyrallidae</i>	5	SI
<i>Limnesidae</i>	4	4	<i>Tortricidae</i>	6	SI
<i>Sperchontidae</i>	4	4	<i>Corydalidae</i>	0	5
<i>Crotoniidae</i>	4	4	<i>Aeshnidae</i>	3	6
<i>Curculionidae</i>	5	4	<i>Coenagrionidae</i>	9	7
<i>Dytiscidae</i>	7	3	<i>Gomphidae</i>	1	7
<i>Elmidae</i>	4	6	<i>Libellulidae</i>	9	8
<i>Gyrinidae</i>	7	5	<i>Gripopterygidae</i>	1	7
<i>Hydrophilidae</i>	7	3	<i>Notonemouridae</i>	0	10
<i>Scirtidae</i>	7	5	<i>Glossosomatidae</i>	0	9
<i>Staphylinidae</i>	3		<i>Helicophidae</i>	6	10
<i>Athericidae</i>	2	9	<i>Hydroptilidae</i>	4	6
<i>Blephariceridae</i>	0	10	<i>Hydrobiosidae</i>	0	7
<i>Ceratopogonidae</i>	6	6	<i>Hydropsychidae</i>	4	5
<i>Chironomidae</i>	7	2	<i>Leptoceridae</i>	4	7
<i>Dixidae</i>	6	9	<i>Polycentropodidae</i>	3	2
<i>Dolichopodidae</i>	4	SI	<i>Sericostomatidae</i>	3	10
<i>Empididae</i>	6	4	<i>Hyalellidae</i>	4	6
<i>Ephydriidae</i>	6	2	<i>Aeglididae</i>	6	6
<i>Limoniidae</i>	6	4	<i>Palaemonidae</i>	7	SI
<i>Muscidae</i>	8	SI	<i>Sphaeriidae</i>	8	3
<i>Psychodidae</i>	10	4	<i>Ancylicidae</i>	4	6
<i>Simuliidae</i>	6	5	<i>Hydrobiidae</i>	7	3
<i>Stratiomyidae</i>	6	4	<i>Physidae</i>	8	3
<i>Tabanidae</i>	4	4	<i>Acari</i>	4	4
<i>Tanyderidae</i>	6	SI	<i>Oligochaeta</i>	8	1
<i>Tipulidae</i>	3	5	<i>Hirudinea</i>	10	3
<i>Baetidae</i>	4	5			

NA: No Aplica; SI: Sin Información respecto a la tolerancia para la unidad taxonómica considerada

Interpretación de los Índices bióticos en base a macroinvertebrados bentónicos

Tabla 26: Pauta de interpretación cualitativa de los valores de los índices bióticos ChBMWP y ChIBF. Elaboración propia en base a Figueroa et al (2007) y Alvial et al. (2013).

Clase	ChBMWP	ChIBF	Interpretación cualitativa
I	>100	0.0–3.8	No perturbado
II	61–100	3.8–4.6	Moderadamente perturbado
III	36–60	4.6–6.1	Perturbado
IV	16–35	6.1–7.3	Muy perturbado
V	<15	7.3–10.0	Fuertemente perturbado

Interpretación del Índice de Trofia en base a macrófitos (ITFM)

Tabla 27: Pauta de interpretación cualitativa de los valores del Índice de Trofia ITFM. En base a Urrutia et al. (2020)

Nivel de Trofia	Rango ITFM	Sigla
Alto	0-39	A
Medio	40-69	M
Bajo	70-100	B

Resultados Índices Bióticos de Familia de Macroinvertebrados e Índice de Trofia en base a Macrófitos

Se presenta los resultados obtenidos de los cálculos de las métricas de diversidad e índices bióticos para los 3 sitios considerados. Los valores de abundancias son derivados de abundancia extrapoladas en función de la proporción de submuestras procesadas para cada sitio.

Tabla 28: Resumen de los valores de métricas de diversidad e Índices Bióticos para los sitios considerados en el área de estudio

	N	S	H	J	simp	M	ChIBF	ChBMWP	ITFM (macrofitas)
S1	228	7	0.955	0.491	0.522	1.105	5.987	33	61.69
S2	1615	16	1.886	0.680	0.806	2.031	5.059	72	37.66
S3	990	9	1.381	0.628	0.672	1.160	5.891	38	52.57

De estos resultados, destaca lo siguiente:

La abundancia relativa de macroinvertebrados crece desde la desembocadura (S1) hacia aguas arriba (S2), al igual la riqueza, que muestra un valor intermedio en Puente Altovalsol (S=9), el más alto en Qda. de Talca (S=16) y el más bajo en desembocadura (S=7).

Los Índices de diversidad muestran valores coherentes entre-sí, pero son delicados de interpretar con tan pocas observaciones (3 sitios) y falta de calibración para el área de estudio. Sin embargo, sirven de línea de base para futuras mediciones y monitoreos donde sería relevante analizar las tendencias

El índice Biótico de Familia ChIBF si bien muestra una tendencia de valores decrecientes desde la desembocadura hacia aguas arriba, todos los sitios se encuentran en el rango de valores de clase III, es decir clasifican como perturbados.

Estos valores se contrastan un poco mejor si se comparan con el Índice ChBMWP, donde en este caso, se aprecia un gradiente de perturbación creciente. En efecto, el sitio S2 obtiene un puntaje de clase II, es decir Moderadamente perturbado. Lo sigue el sitio S3, con un puntaje de clase III, perturbado. Finalmente, el sitio S1, cercano a la desembocadura, arroja un puntaje de clase IV, muy perturbado.

El ITFM si bien muestra también un gradiente, este es antagónico con los resultados observados con los Índices de macroinvertebrados, mostrando un nivel de trofia alto en S2 (37.66), y un valor medio en S3 (52,57) y S1 (61.69).

En resumen, para los índices en base a macroinvertebrados, ambos detectan perturbación de la calidad de aguas, pero el ChBMWP parece entregar una mejor resolución, ya que logra discriminar entre sitios muy similares en cuanto a composición y riqueza de especies. Dichos índices bióticos (tanto los de diversidad como de calidad) muestran que, existe un gradiente decreciente de los valores desde desembocadura hacia aguas arriba. Los índices de calidad logran mostrar un gradiente de perturbación de la calidad en los sitios considerados desde sectores de uso principalmente agrícolas aguas arriba hasta sectores urbanos.

Sin embargo, los resultados arrojados para el índice en base a macrófitos es contradictorio con los índices en base a macroinvertebrados. Una hipótesis posible sería la diferencia entre ambas metodologías de muestreo. Por una parte, la de macroinvertebrados abarcando una mayor diversidad de hábitats y condiciones del cauce. Por otra parte, la metodología en base a macrófitos considera solo hábitats de orilla, donde las condiciones de flujo son menores y posiblemente las temperaturas más altas que en el bentos. Por ende, sería una zona de los cauces más propensa a la acumulación de sedimentos y materia orgánica.

Sería interesante explorar las correlaciones entre los valores obtenidos, y con las variables físico-químicas con el fin de explicar con más antecedentes los resultados obtenidos. Pero como señalado anteriormente, el universo muestreado (3 sitios) no permite una resolución estadística suficiente para obtener valores confiables. En consecuencia, se recomienda fuertemente

umentar el número de sitios a monitorear en las subcuencas para poder estimar las tendencias de manera confiable y con la resolución espacial necesaria para detectar cambios y alteraciones.

Referencias Índices Bióticos de Familia de Macroinvertebrados e Índice de Trofia en base a Macrófitos

Alvial, I. E., Tapia, D. H., Castro, M. J., Duran, B. C., & Verdugo, C. a. (2013). Analysis of benthic macroinvertebrates and biotic indices to evaluate water quality in rivers impacted by mining activities in northern Chile. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, (407), 01. <https://doi.org/10.1051/kmae/2012027>

Armitage, P. D., Moss, D., Wright, J. F., & Furse, M. T. (1983). The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Research*, 17(3), 333–347. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(83\)90188-4](https://doi.org/10.1016/0043-1354(83)90188-4)

Cárdenas Castro, E., Lugo Vargas, L., González Acosta, J. A., & Tenjo Morales, A. I. (2018). Aplicación del índice biótico de familias de macroinvertebrados para la caracterización del agua del Río Teusacá, afluente del Río Bogotá. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 587–597. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1004>

CEAZA. (2017). Implementación de un nuevo método holístico de evaluación del caudal ecológico basado en macroinvertebrados en la cuenca del Choapa. Proyecto FIC-BIP 30404078-0

CENMA (2016). Análisis del estado ecológico del sistema acuático río Huasco según indicadores biológicos de calidad de agua. Informe final, versión 1. Solicitado por SEREMI Medio Ambiente, Región de Atacama Ministerio de Medio Ambiente. 192 pp.

CENMA. (2017). Consultoría Técnica de recopilación y levantamiento de antecedentes como apoyo en la elaboración de un anteproyecto de normas secundarias de calidad ambiental (NSCA) para las aguas continentales superficiales de la cuenca del Río Elqui. Informe Final. Versión 1. Santiago de Chile. 56 pp.

Domínguez E. & Fernández H., (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo, Tucumán.

Environment Canada. Science and Technology Branch. (2012). Canadian Aquatic Biomonitoring Network – CABIN field manual - wadeable streams. (57).

Environment Canada. Science and Technology Branch. (2014). CABIN - Laboratory Methods, Processing, Taxonomy, and Quality Control of Benthic Macroinvertebrate Samples. 36 pág.

Figueroa R., Palma A., Ruiz V. & Niell X., (2007). Comparative analysis of biotic indexes used to evaluate water quality in a Mediterranean river of Chile: Chillán River, VIII Region. *Revista Chilena de Historia. Natural*, 80, 225–242.

Figuerola R., Suarez M., Andreu A. & Ruiz V., (2009). Caracterización ecológica de humedales de la zona semiárida en Chile Central. *Gayana*, 73,76–94.

Hauer, F. R., & Lamberti, G. A. (2007). *Methods in Stream Ecology*. 2nd Edition. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-332908-0.X5001-3>

Hilsenhoff, W. L. (1988). Rapid Field Assessment of Organic Pollution with a Family-Level Biotic Index. *Journal of the North American Benthological Society*, 7(1), 65–68. <https://doi.org/10.2307/1467832>

Newberry, R., & Gaboury, M. (1993). *Stream Analysis and Fish Habitat Design: A field manual*. Winnipeg: Newbury Hydraulics Ltd.

Oksanen J.F., Blanchet G., Friendly M., Kindt R., Legendre P., McGlenn D., Minchin P.R., O'Hara R. B., Simpson G.L., Solymos P., Stevens M. H.R., Szoecs E. and Wagner E. (2019). *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-6. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>

R Core Team (2018). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>

Tachet H., Richouxm P., Bournard M. and Usseglio P, (2003). *Invertébrés d'eau douce : Systématique, biologie, écologie*. CNRS editions, Paris.

Torres-Olvera, M. J., Durán-Rodríguez, O. Y., Torres-García, U., Pineda-López, R., & Ramírez-Herrejón, J. P. (2018). Validation of an index of biological integrity based on aquatic macroinvertebrates assemblages in two subtropical basins of central Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 46(5), 945–960. <https://doi.org/10.3856/vol46-issue5-fulltext-8>

Urrutia J., Hauenstein E., Latsagua M., Cárcamo P., Silva M. (2020). INFORME FINAL (2° versión) Plantas acuáticas como bioindicadores de calidad de agua en la cuenca del Río Elqui, y análisis de sus respuestas ecofisiológicas frente a estresores ambientales. Id: 612228-9-LE19

4.5.5 Revisión de continuidad hidráulica de tramos seleccionados del área de trabajo.

La continuidad hidráulica en un sistema de humedal es clave para asegurar continuidad en los flujos de agua superficial, responsable de los flujos de biodiversidad, nutrientes, sedimentos y otros componentes del humedal. La continuidad hidráulica es una clara señal de la salud del humedal.

De lo anterior, realizamos vuelos dron en dos sectores del área de estudio para conocer el grado de continuidad del curso superficial del río Elqui. Esta información nos permite conocer un elemento fundamental de la salud de humedal, la continuidad horizontal del curso de agua superficial en dos sectores. Evaluaciones posteriores nos permitirá conocer si el humedal mejora o empeora su grado de conexión hidráulica.

Sector Altovalsol – Quebrada el Romero



Figura 38: Continuidad hidráulica permanente entre el sector de Altovalsol y Quebrada El Romero.

Este sector mantiene flujo de agua superficial, aunque con caudal bajo, pero conectado a todo lo largo del tramo entre la Quebrada El Romero y Altovalsol.

Sector Puente Zorrilla e Islón

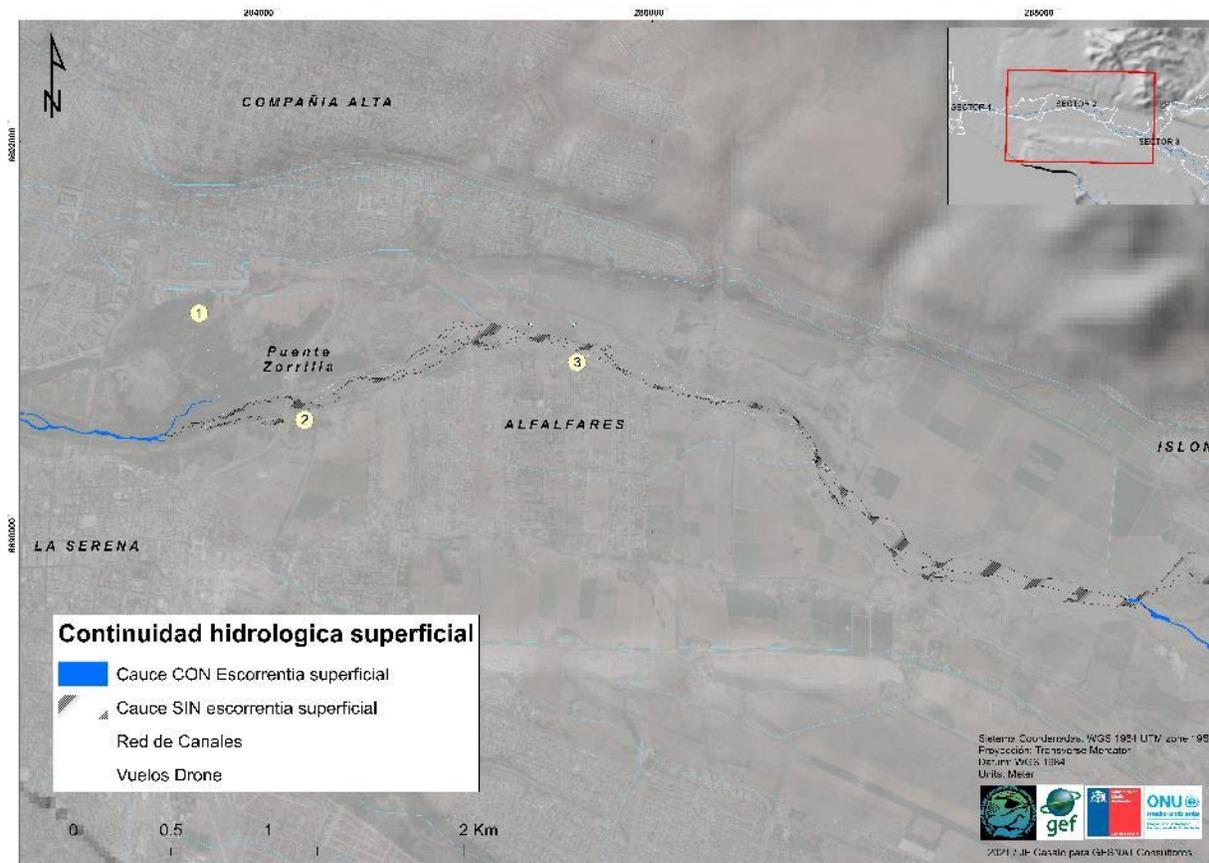


Figura 39: Sector entre Islón y Puente Zorrilla la cual no presenta continuidad hidráulica horizontal.

Se debe mantener monitoreo del grado de la continuidad hidráulica superficial en el tramo terminal del humedal del río Elqui como forma de conocer la salud del curso de agua y del humedal. La pérdida de continuidad es señal de menor caudal superficial, y es factible establecer las causas de la pérdida o disminución de flujo superficial.

4.6 Síntesis de los Talleres Participativos

Durante el desarrollo del proyecto se realizaron dos Talleres de modo consensuar las propuestas con los miembros del Comité Regional del Proyecto GEF Humedales Costeros. Ver **Anexo 5 Talleres con Actores Claves**.

4.6.1 Taller 1 - 20 de enero de 2021

El taller se realizó el miércoles 20 de enero entre las 09:00 y 12:30 horas, por la plataforma Zoom y con apoyo del mural participativo *Miro*. Para ver detalles de objetivos, agenda y asistentes ver sección 4.3.

4.6.2 Taller 2 - 21 de abril de 2021

El Taller se realizó el miércoles 21 de abril de 2021 entre las 09:30 y 11:00 horas, por la plataforma Zoom y con apoyo del mural participativo Miro. La agenda y los asistentes del taller se encuentran en el Anexo 5.

Objetivos del Taller

- Presentación de las propuestas de acciones de restauración en áreas priorizadas del humedal y sus subcuencas aportantes.
- Validar con los participantes del taller las acciones de restauración propuestas para las áreas priorizadas del humedal y sus subcuencas.

El trabajo consistió en que en cada zona (preliminarmente seleccionada en la etapa anterior), se revisó la sub-área o sub-zona: Matorral ribereño, zona artificializada, humedal, etc. Para cada una de estas se hicieron propuestas de acciones de restauración. En el esquema se resumen el proceso general en el cual trabajo cada grupo. El contenido del taller se encuentra disponible en el siguiente enlace de Miro, Mural colaborativo: https://miro.com/app/board/o9J_IKUBQOg=/ A cada grupo se le realizó una presentación de contexto sobre la zona en la cual se trabajaría. Además, se señaló las zonas propuestas a restaurar y las sub-áreas. Las propuestas de restauración se fueron revisando una por una donde los participantes realizaban comentarios al respecto.

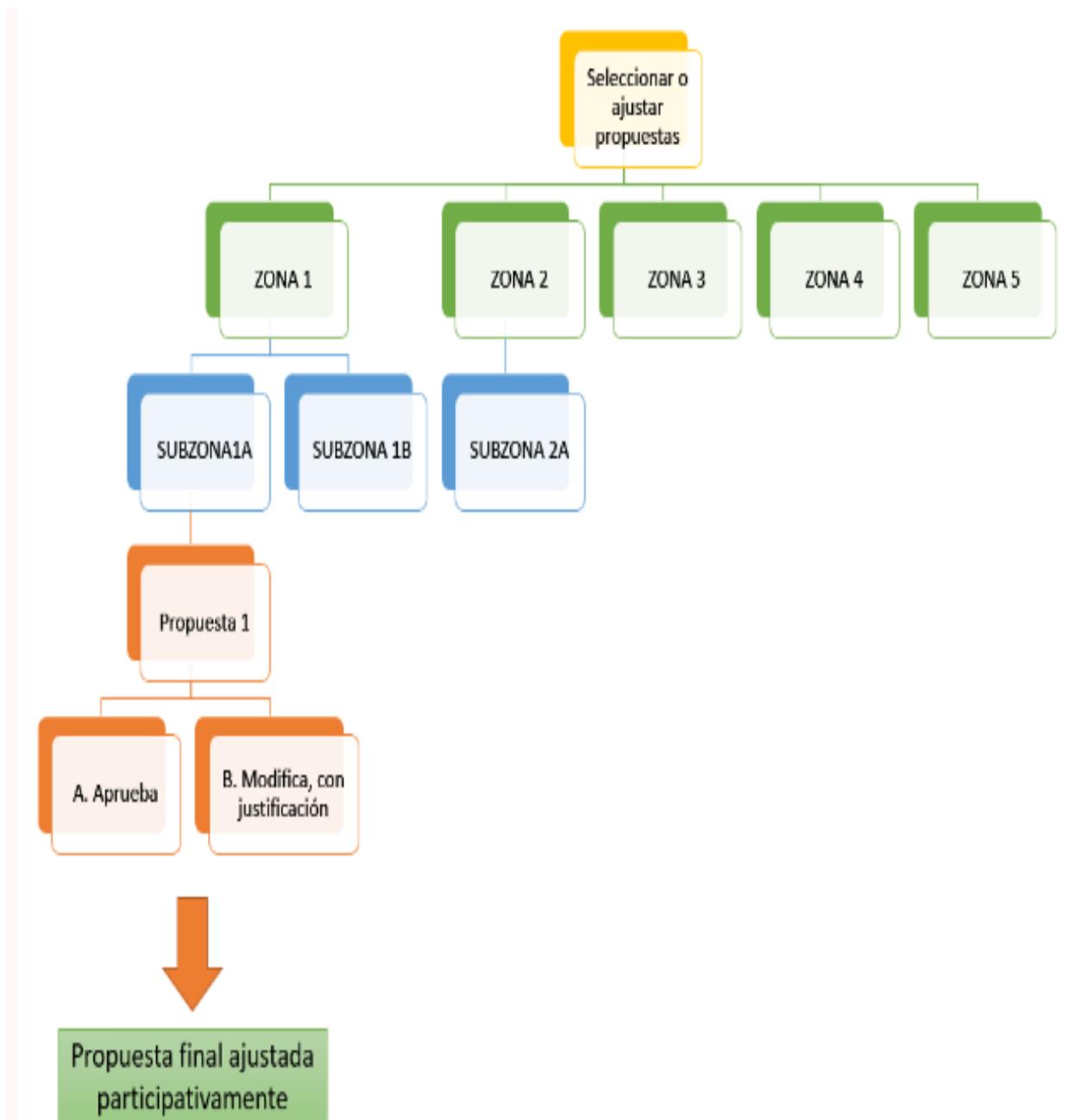


Figura 40: Esquema de trabajo del taller de validación de propuestas de restauración. Taller 21 de abril de 2021.



Figura 41: Síntesis de la presentación grupal para trabajo de propuestas de restauración



Figura 42: Registro de asistencia del Taller del 21 de abril de 2021, de validación de las propuestas de restauración del Humedal Costero del Río Elqui.

4.6.3 Taller de Presentación Final – 19 de mayo de 2021

El miércoles 19 de mayo de 2021, entre las 9:30 y 11:00 horas se realizó el taller final de presentación al Comité Regional del Proyecto GEF Humedales Costeros de la propuesta de restauración para las áreas seleccionadas.

Objetivos Taller

Dar a conocer al Comité Técnico regional del proyecto Gef Humedales Costeros las propuestas de actividades de restauración en sectores priorizados del Humedal Costero del Río Elqui y sus subcuencas aportantes.

4.7 Propuesta de acciones de restauración en áreas priorizadas del humedal y sus subcuencas aportantes.

Del trabajo previo en terreno y los talleres participativos emerge una matriz de propuestas de actividades restaurativas o intervenciones de restauración desglosadas para cada uno de los 5 sectores priorizados. Esta matriz propone un conjunto de 24 actividades o intervenciones de restauración para los sectores priorizados (**Anexo 7**):

- El tipo de intervención (pasiva o activa),
- La naturaleza de la actividad restaurativa según del concepto del “continuo de restauración” ecológica de los Estándares Internacionales,
- La temporalidad (corto, mediano o largo plazo),
- Breve descripción de la intervención y su justificación / beneficio,
- Modalidad de intervención y consideraciones técnicas,
- El alcance o lugares donde implementar,
- Propuesta de Indicadores de monitoreo de la efectividad de la intervención,
- Propuesta de actores a involucrar
- Referencias bibliográficas de apoyo

Luego de definir esta cartera de intervenciones deseables en función del estado de las sub-áreas homogéneas, se realizó un análisis espacial para determinar, dentro de cada sector priorizado al menos 1 Área de intervención prioritaria. Esto sobre la base de 3 criterios:

- Segregación de las zonas inundables reservado solo para intervenciones de tipo pasiva. Por tratarse de zonas inundables por las crecidas del río Elqui, es que no se hace recomendable invertir recursos en actividades de restauración por la alta posibilidad de perderlas con las crecidas del río.
- Superficie con Factibilidad de intervención por tenencia favorable (propiedades de Bienes Nacionales, zonas de río), dada la posibilidad de contar con apoyo del Estado para trabajar en estas zonas, y evitar conflictos por el uso de la tierra con propietarios privados.
- Focos de amenazas o presiones, como forma de seleccionar sitios en esta condición.

De esta forma, se seleccionaron 5 Áreas de Intervención prioritarias:

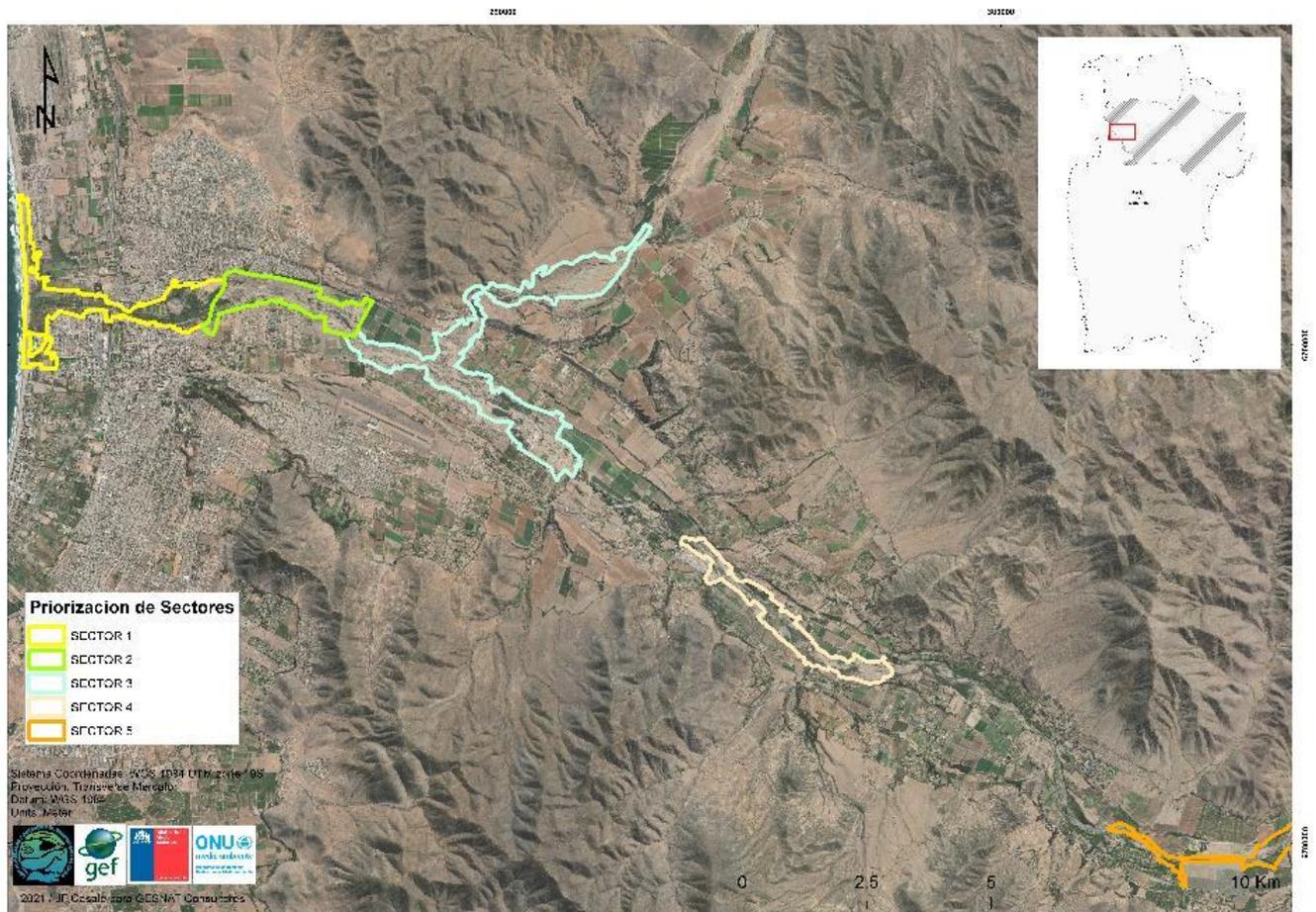


Figura 43: Distribución de cada uno de los cinco sectores de restauración del Humedal Costero del Río Elqui. Sector 1 Desembocadura Río Elqui, Sector 2 Alfalfares, Sector 3 Islón, Sector 4 Altovalsol y Sector 5 Quebrada de Talca.

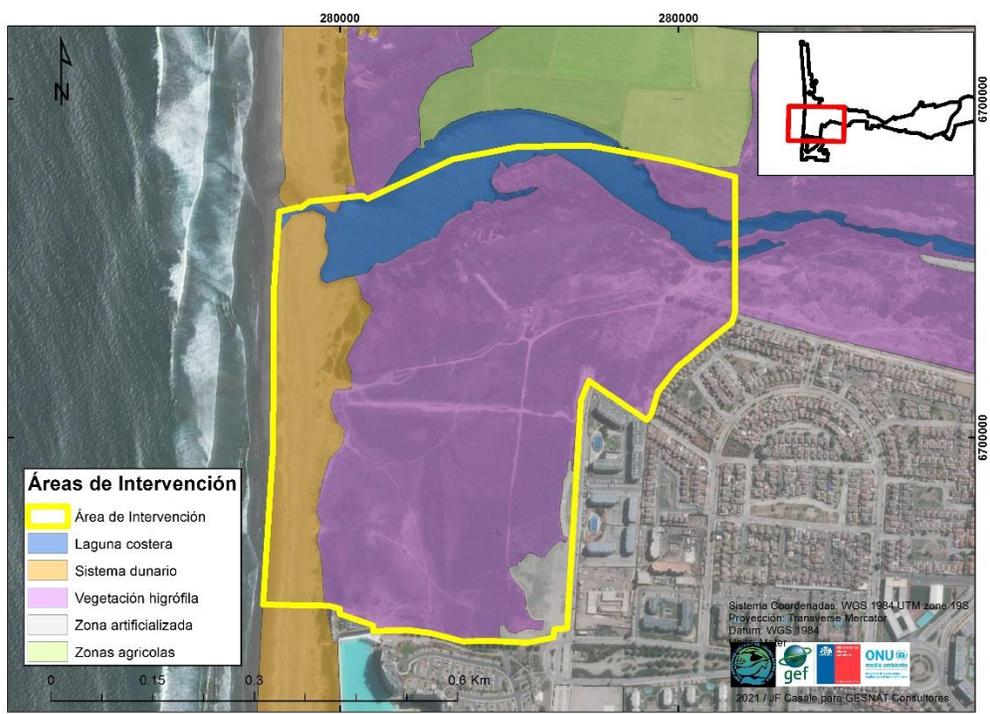
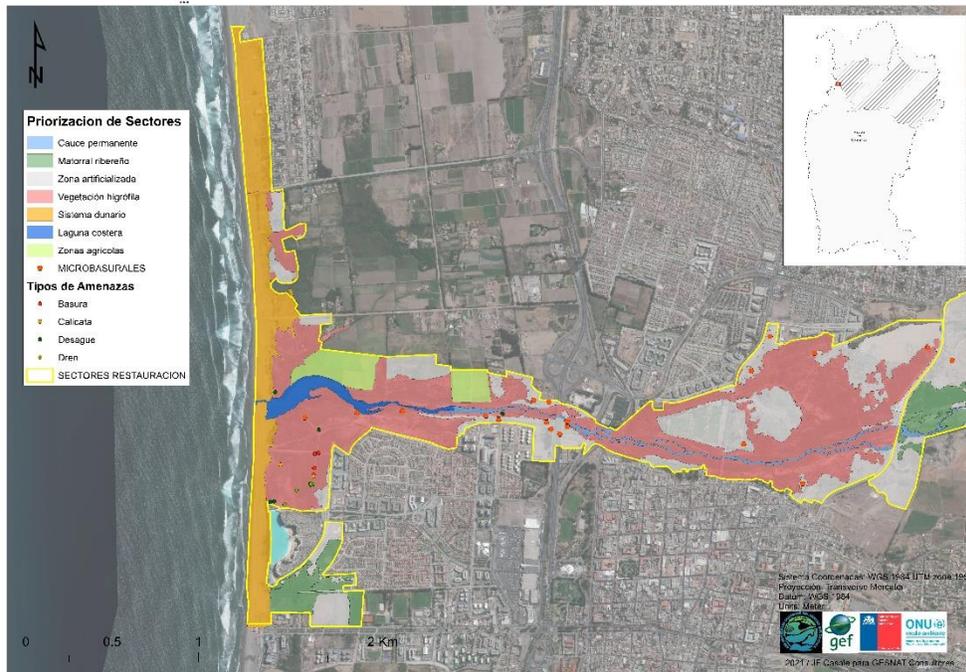


Figura 44: Área de Intervención Sector 1 Desembocadura del Río Elqui. Corresponde a la laguna, playa de arena y sectores aledaños. La segunda imagen muestra el área específica de intervención. Se trata del sector clave del proyecto por tratarse en área donde se enfocan las actividades del proyecto GEF Humedales Costeros. Por forma parte de la ciudad de La Serena, existen sectores altamente intervenidos, pero por sus características ecológicas es igualmente el sector con mas biodiversidad. Comprende desde la playa en la bahía de Coquimbo hasta la altura del puente Vicente Zorrilla. La zona costera posee campos dunarios, laguna costera, playa de arena, zonas agrícolas y

urbana. Las mayores amenazas son la presencia de microbasurales, crecimiento y presión urbana, contaminación de suelo y agua.

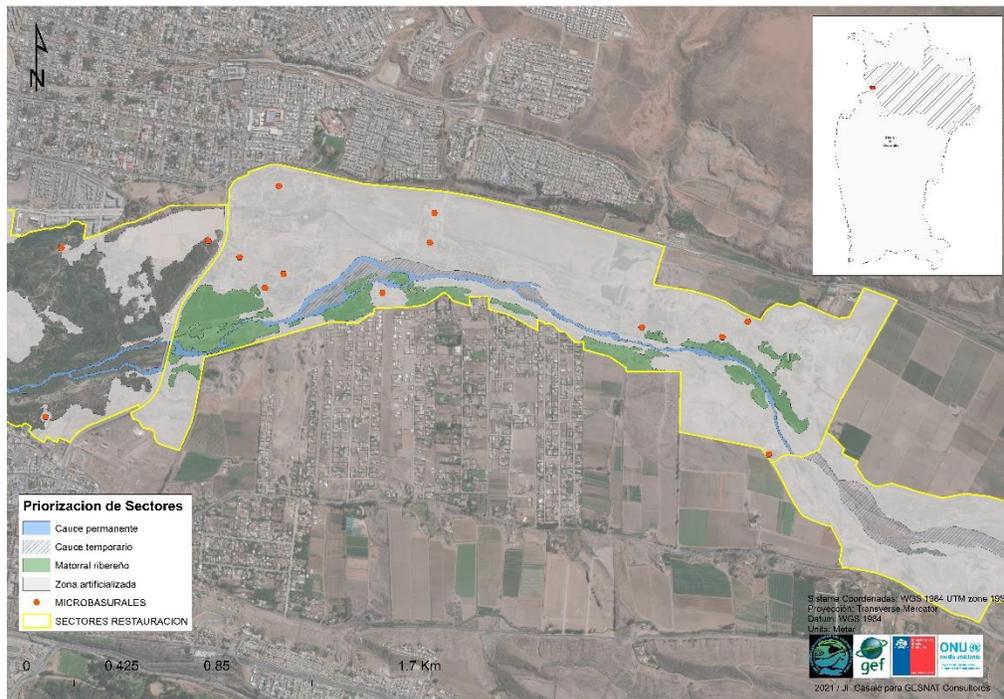


Figura 45: Área de Intervención Sector 2 Alfalfares, y corresponde al cauce del río Elqui desde el puente Vicente Zorrilla hasta Alfalfares. En este sector el cauce es permanente, y en la ribera existe matorral ribereño, zonas artificiales, microbasurales. Predominan las plantas de explotación de áridos que presionan fuertemente el río y sus recursos.

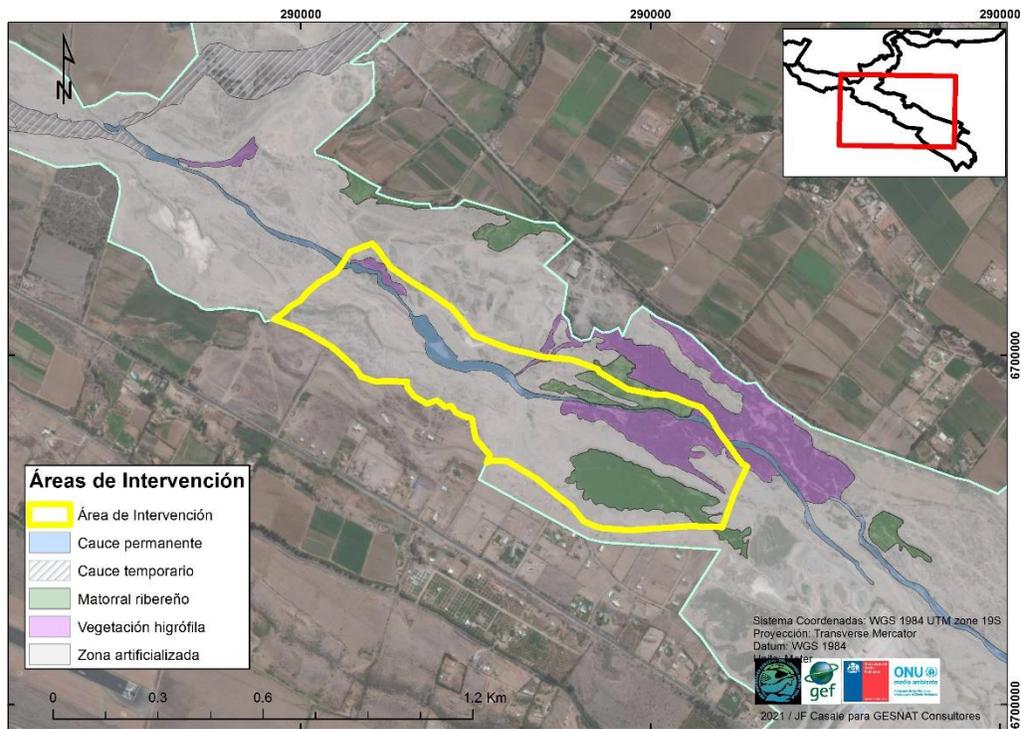
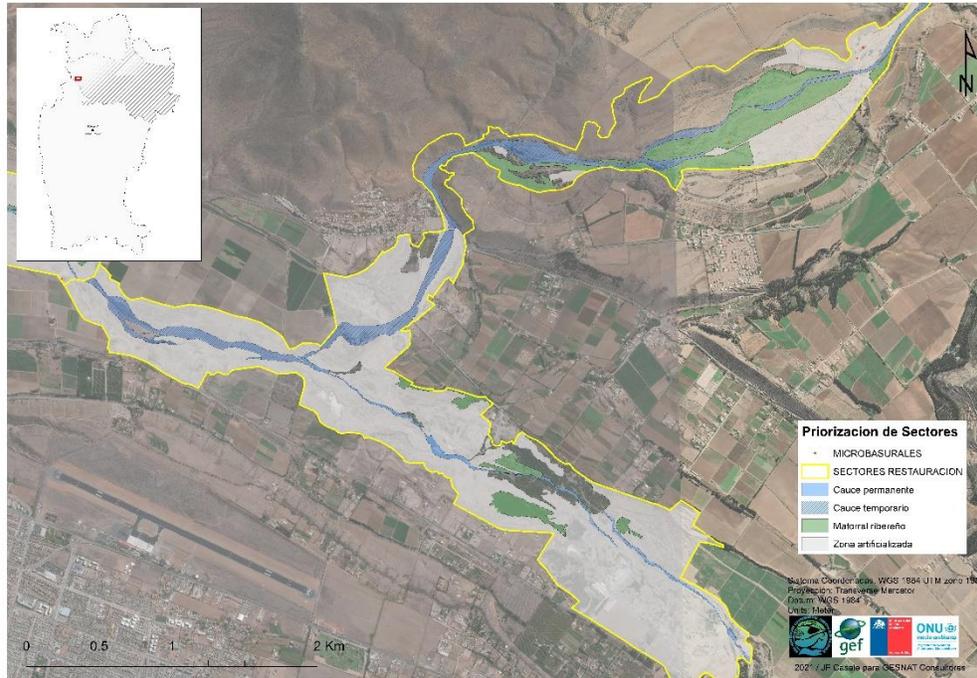


Figura 46: Área de Intervención Sector 3 Islón, y el cruce con el sector El Romero. Es un área altamente intervenida por microbasurales, población en la ribera del río, extracción de áridos. El cauce es permanente.

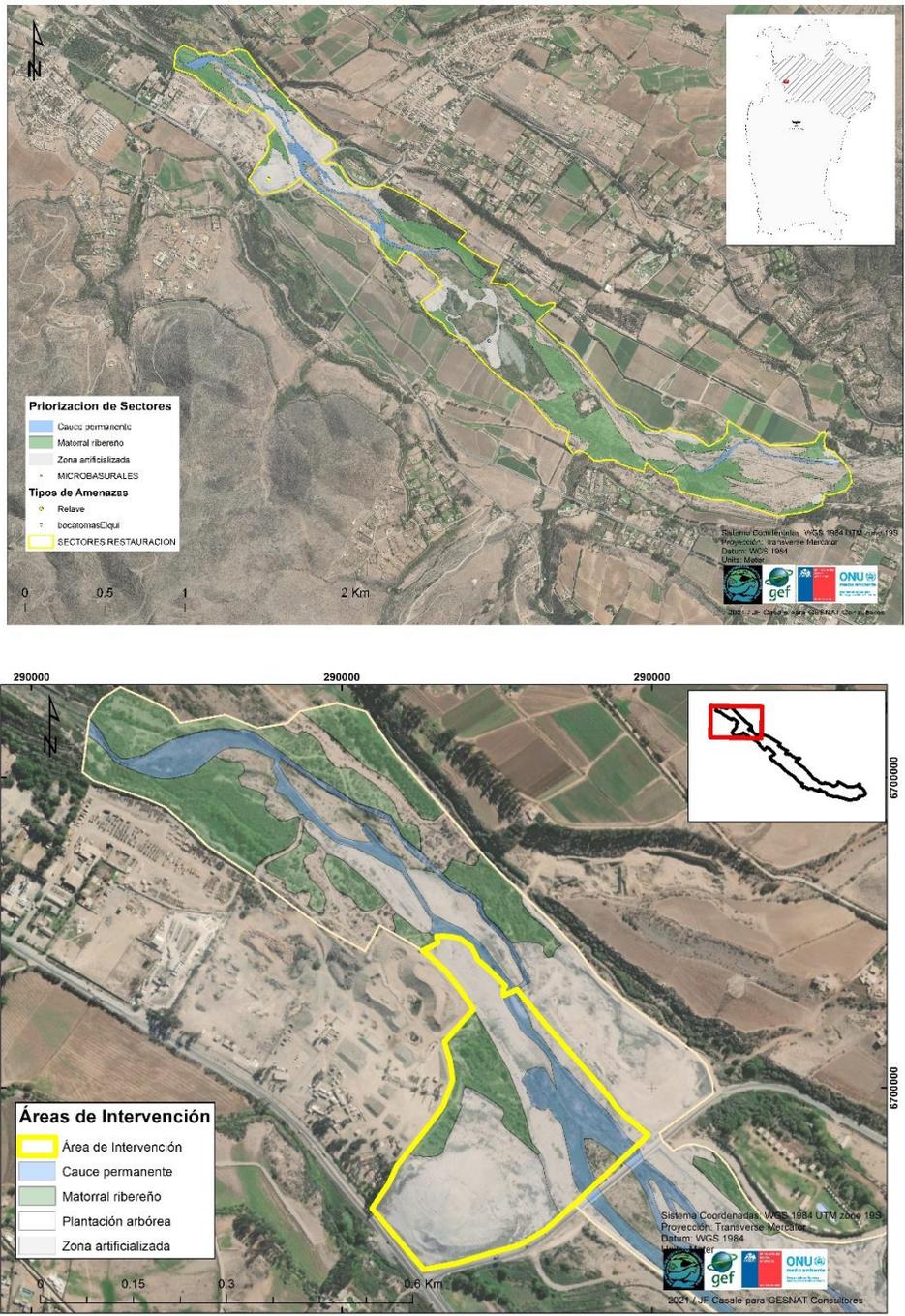


Figura 47: Área de Intervención Sector 4 Altovalsol. Se trata de un sector igualmente intervenido por proyectos de extracción de áridos, el cauce es permanente pero modificado, matorral ribereño, un tranque de relaves abandonado y la ruta puede de acceso hacia Altovalsol.

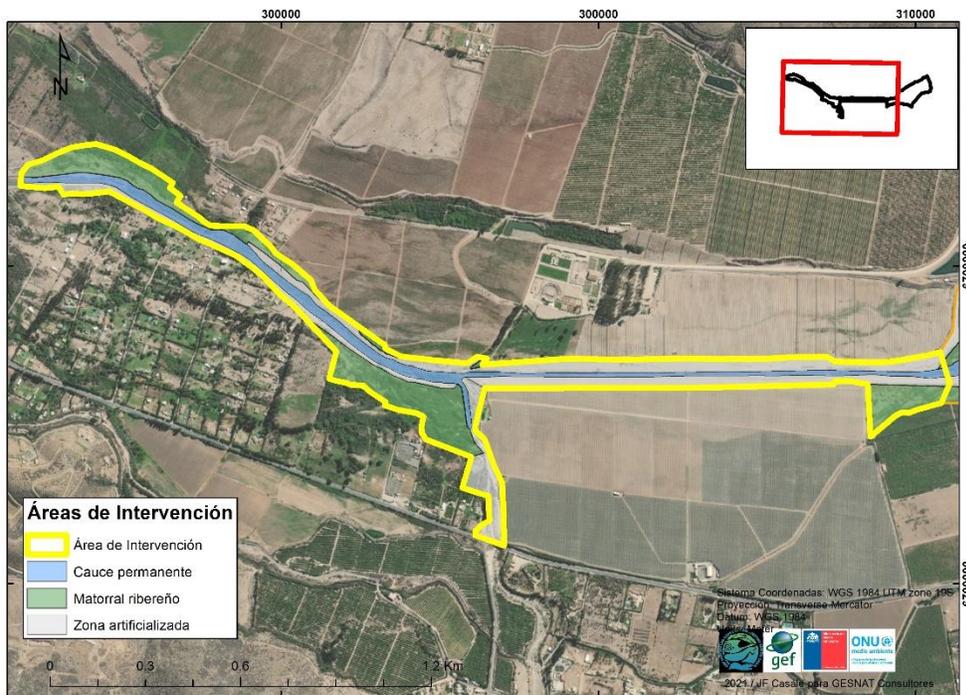
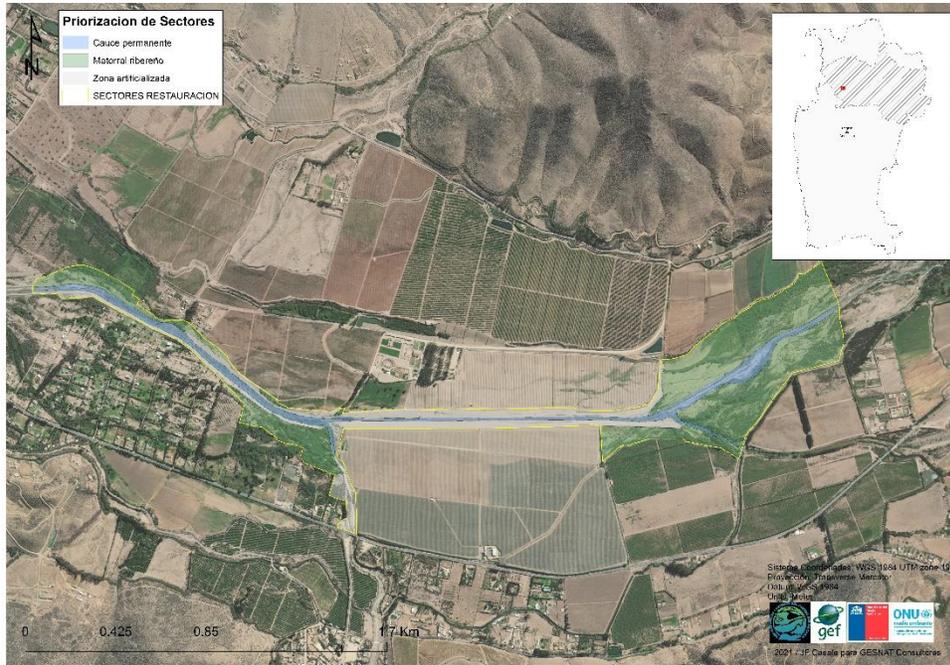


Figura 48: Área de Intervención Sector 5 Quebrada de Talca. Se trata de un área donde el río Elqui esta entubado por la DOH para contener el río y no dañar las plantaciones aledañas. Es cauce es permanente, presencia de matorral ribereño, ganadería, agricultura, extracción de agua y microbasurales.

En cada área de intervención se propone una combinación de actividades restaurativas a implementar a escala de los parches de sub-áreas homogéneas, pero coherentes con las metas a escala de paisaje que es donde ocurren los patrones y procesos relevantes para los servicios ecosistémicos. Además, las degradaciones que ocurren a gran escala pueden sobrepasar pequeños esfuerzos de restauración, y en algunos casos, invertir en mejoras graduales a gran escala puede lograr mejores resultados que trabajos intensos a pequeña escala.

Para lograr esta coherencia optimizando los recursos, minimizando los fracasos, se propone una estrategia de intervención en base a Proyectos Pilotos de pequeña escala para implementar cada acción, establecer un plan de monitoreo (en base a los indicadores propuestos) y poder actuar en base a un manejo adaptativo, e ir escalando en función de los logros.

Esta sección presenta 24 fichas sintéticas donde se describe las acciones e intervenciones consideradas y propuestas. Esta cartera de acciones sintetiza todas las propuestas hechas por el equipo consultor y las construidas colaborativamente durante los talleres participativos, sin filtro de factibilidad actual.

Cada actividad de restauración propuesta se enmarca en función de su categoría o posición en el “continuo de restauración” y su alcance temporal (Tabla 29), se señalan algunos indicadores (no exhaustivos) para efecto de monitoreo. Luego, posibles actores a involucrar en las intervenciones (desde la planificación hasta la ejecución), y finalmente se esbozan algunas consideraciones y modalidades de implementación.

Tabla 29: Alcances temporales referenciales para las intervenciones propuestas

Corto plazo	Mediano plazo	Largo plazo
2-5 años	5-10 años	> 10 años

En efecto, será en las fases de ante-proyectos de implementación que dichas modalidades deberán estar cuidadosamente diseñadas, en base a diagnósticos actualizados a escala de área de intervención. Es también en esta etapa posterior que las superficies y los emplazamientos precisos de cada intervención o combinación de intervenciones deberán ser definidos. Esto al igual que las prescripciones técnicas generales y específicas de las obras, siguiendo buenas prácticas y estándares de trabajo e intervenciones en sistemas naturales sensibles, consensuadas y autorizadas por las autoridades competentes y sus costos respectivos cuidadosamente detallados.



Figura 49: El concepto del “continuo de restauración”. Fuente: Gann *et al.* 2019

EL CONTINUO DE RESTAURACIÓN (Traducido de Gann *et al.* 2019)

El continuo de restauración es un espectro de actividades que buscan, directa – o indirectamente, ayudar, acompañar o lograr al menos cierto nivel de recuperación de atributos ecosistémicos que han sido perdidos o comprometidos. Es útil para orientar decisiones de intervención apropiadas y efectivas en función de las condiciones ecológicas, sociales y financieras. Incluye 4 grandes categorías de actividades restaurativas (Reducción de impactos, Remediación, Rehabilitación, Restauración Ecológica) que se descomponen en 6 otras subcategorías.

Reducción de los impactos de la sociedad – Se refiere en reducir los impactos negativos producto de las formas en que las sociedades extraen, producen, consumen y disponen de los bienes y servicios ecosistémicos. Implica generar nuevas, mejores formas de producir y vivir, de manera más informada ecológicamente. Es decir, cambiar las prácticas desde la producción y el consumo, las expectativas y los comportamientos sociales.

Remediación – Se refiere a una actividad de manejo que busca remover la fuente u origen de la degradación (por ejemplo, extracción de contaminantes o exceso de nutrientes).

Rehabilitación – Se refiere a actividades de manejo que buscan reinstalar un nivel de funcionalidad del ecosistema de sitios degradados, cuando el objetivo es renovar y mantener la provisión de servicios ecosistémicos más que recuperar la biodiversidad y la integridad de un particular ecosistema de referencia nativo.

Restauración Ecológica – Se refiere al proceso de asistir la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido. La restauración Ecológica siempre busca conservación de la biodiversidad e integridad ecológica, mientras la restauración de ecosistemas puede enfocar solo en la provisión de servicios ecosistémicos.

Lista de Actividades de Restauración Propuestas

1. Retirar basura y escombros
2. Plantar y revegetar
3. Deshabilitar los accesos
4. Implementar programas de información, prevención y sensibilización
5. Extraer y remover individuos de especies vegetales y animales de carácter invasor para el control de especies exóticas.
6. Descompactar los suelos dañados
7. Instalar captadores estructurales y de apoyo
8. Planificar e implementar programa de monitoreo de cantidad del agua
9. Evaluar / implementar /mantener caudal ecológico
10. Relocalizar ciertas plantas de tratamiento de aguas servidas y desagües de aguas sanitarias
11. Mejorar las gestiones y prácticas a escalas multisectoriales
12. Evitar obras de impermeabilización (barreras, diques, gaviones)
13. Facilitar la regeneración natural
14. Proteger el suelo superficial con técnicas de mulching o transferencia de biomasa cosechada
15. Mantener o crear franjas de vegetación natural
16. Recuperar el perfil topográfico natural (gradiente y heterogeneidad)
17. Compatibilizar algunos sectores para usos como parques urbanos ecológicos y proyectos de conservación del humedal
18. Aportar nutrientes al suelo
19. Implementar una estrategia de gestión de tenencia de la tierra
20. Implementar Humedales de Tratamiento Flotantes (HTF), filtros naturales y base a “islas” de depuración
21. Reconstruir el perfil natural del cauce
22. Realizar pulsos de inundaciones controladas
23. Instalar geotextiles biodegradables
24. Aplicar técnicas de fitoestabilización asistida y/o fitorremediación

1. Retirar basuras y escombros

Naturaleza de la acción (Activa/Pasiva)	Continuo de la Restauración		Temporalidad
	Tipo de acción-1er nivel de alcance	2do nivel de alcance	
Pasiva / Activa	mejora el manejo de ecosistema	reduce impactos	corto plazo

Descripción de la intervención:

Consiste en extraer todo tipo de residuos exógenos acumulados en basurales, escombros o dispersos en algún sitio de intervención, para limpiar y remover / disminuir focos de contaminación. Reducir o idealmente suprimir estos impactos es uno de los pasos preliminares imprescindibles antes de poder implementar acciones de recuperación o restauración in-situ.

Modalidades de implementación / realización:

Las modalidades dependen del contexto de cada sitio, pero generalmente se debe combinar campañas de limpieza manual periódicas con acciones de extracción de focos con volúmenes importantes concentrados (vertederos informales, por ejemplo). En este último caso, se debe considerar la factibilidad de usar maquinarias adaptadas, de bajo impacto sobre el suelo para no degradarlo. El uso de dichas maquinarias por las empresas a cargo deberá hacerse siguiendo protocolos y estándares existentes respecto a trabajos en sitios naturales sensibles. Se podrá considerar la remoción de suelos superficiales cuando el sitio se encuentra comprometido por escombros o ruinas de construcciones. De manera general, las obras de limpieza deberán ser llevadas a cabo procurando evitar el deterioro de todos los elementos a proteger / conservar señalados por el mandante en las prescripciones técnicas tales como individuos de flora, fauna, patrimonio cultural. De la misma forma se deberá tener un particular cuidado en no dañar el suelo y subsuelo natural por compactación, inversión, remoción o mezcla de sus capas u horizontes.

Dónde se deben aplicar:

En general en todas las áreas priorizadas para intervenciones de restauración.

Indicadores:

Superficie de terreno/ volumen de Basura (m^2 / m^3); densidad de sitios (basurales/Ha.)

Posibles actores (ejecución):

ONG locales, empresas de recolección y reciclaje de residuos; municipio.

2. Plantar / Revegetalizar

Naturaleza de la acción (Activa/Pasiva)	Continuo de la Restauración		Temporalidad
	Tipo de acción-1er nivel de alcance	2do nivel de alcance	
Activa	Repara e Inicia recuperación del sistema natural	Remediación y Rehabilitación	corto, mediano

Descripción de la intervención:

Consiste en plantar o sembrar especies nativas adaptadas a las condiciones del sitio para reparar zonas que han perdido más del 70% de su cobertura de vegetación natural.

Modalidades de implementación / realización:

Las modalidades y técnicas serán dependientes del tipo de vegetación que se quiere reparar. A modo general, se deberá replantar especies cuya funcionalidad será clave y estructurante de la comunidad vegetacional de referencia identificada. La distribución y proporción de especies deberá igualmente ser coherente con dicha referencia. La forma de reproducción y/o propagación será de la misma forma condicionada por la forma de vida de cada especie: siembras, esquejes, plántulas procedentes de viverización, etc. Esta acción incluye la protección pasiva de las plantaciones (mallas) y de la zona a intervenir (cercos) para evitar daños por herbivoría en las etapas críticas de crecimiento.

Por ejemplo, en el sistema dunario, la re-vegetalización se deberá realizar combinando semillas con esquejes de plantas nativas rizomatosas en la duna frontal y anteduna (doca, ambrosia, entre otras), y la incorporación de subarbustos característicos como *Nolana divaricata*, *Tetragonia ovata*, acompañado de acciones pasivas (cercos, descompactación, etc.). En estos mismos sistemas, la evolución de las superficies de vegetación pueden ser un buen indicador del estado de conservación debido a las pequeñas superficies de recubrimiento natural y donde los cambios pueden ser muy dinámicos en cortos lapsos de tiempo, sobre todo en las partes más frontales (cerca de la interfaz con la playa activa).

Es importante seleccionar especies con tipos funcionales claves para acompañar la dinámica de reconstrucción de la estructura de la comunidad de referencia. Por ejemplo, en los sistemas dunarios activos privilegiar las especies rizomatosas que puedan facilitar la acumulación y estabilización de los depósitos de arena, capaces de esta manera de conformar o mantener las características geomorfológicas del sistema dunario; en matorrales, ciertas especies arbustivas deberán privilegiarse para usarlas como “islas” de restauración ya que podrían actuar como facilitadoras del crecimiento y reclutamiento (especies nodrizas), entre otras en funciones claves dependientes del contexto local.

Dónde se puede aplicar:

En todos los espacios de sub-áreas relativas a formaciones vegetacionales con niveles de degradación o presiones que impiden una regeneración natural. Puede aplicarse en sistemas dunarios, matorrales ribereños, matorrales xerofíticos, suelos desnudos y artificializados; y combinado con otras estrategias de protección prevención y reparación.

Indicadores:

A corto plazo: Superficie acumulada de los parches de vegetación (Ha.); % cobertura; % supervivencia esquejes

Como Indicador general de restauración del sistema a mediano y largo plazo: fragmentación de los parches de vegetación y conectividad entre los parches (índices de fragmentación y conectividad). Implica medir el estado inicial previo a la implementación de las intervenciones (Tercero) dichos Índices en base a cartografía del hábitat. Se sugiere también acompañar con indicadores de biodiversidad como riqueza de especies características del hábitat y tendencia poblacional de especies claves o en alguna categoría de conservación.

Posibles actores (ejecución):

GEF HC, MMA, ONG locales; empresas del rubro forestal y/o organismos con competencia en "ingeniería vegetal" (CONAF, INFOR, INIA, otras)

3. Deshabilitar los accesos / Proteger los espacios

Naturaleza de la acción (Activa/Pasiva)	Continuo de la Restauración		Temporalidad
	Tipo de acción-1er nivel de alcance	2do nivel de alcance	
Pasiva	Reduce	reduce impactos	corto, mediano

Descripción de la intervención:

Consiste en restringir o inhabilitar el acceso de las personas y animales para proteger las áreas prioritizadas donde se implementarán acciones de restauración y de esta forma reducir los impactos. También puede entrar en esta categoría toda implementación de zona de exclusión de ciertos espacios (espacios pilotos, por ejemplo).

Modalidades de implementación / realización:

Mediante la instalación de cercos, estructuras o barreras físicas, tomando las precauciones necesarias para no dañar más el sitio y privilegiando materiales e instalaciones que se integran de manera armoniosa o no alteran el paisaje. Para tal efecto, se puede combinar, si los recursos lo permiten, mediante infraestructuras verdes que agregan una funcionalidad ecológica y/o cultural, y que valorizan los saberes y oficios tradicionales locales: cercos vivos con especies nativas, muros y pircas de piedra en seco. Dichas infraestructuras deberán en lo posible ser realizados con materiales naturales, de procedencia in-situ o local, que permite una óptima integración en el paisaje y costos reducidos. Puede ser una medida pasiva suficiente por si sola cuando 1) las condiciones de degradación sobre un sitio no son tan severas para permitir una recuperación natural, 2) las presiones son fácilmente controlables, 3) no existe urgencia de acciones más activas o el sistema es suficientemente dinámico para revertir el o los procesos de degradación en cortos y medianos plazos, 4) no hay disponibilidad inmediata de recursos suficientes para implementar intervenciones activas y es urgente actuar.

Dónde se deben aplicar:

En todas las áreas de intervención prioritizadas. En sistemas dunarios, cercos y estructuras adaptadas de protección y contención de las presiones de usos, sirven además para reconstruir la morfología natural de las geoformas.

Indicadores:

% de éxito de la intervención que se quiere proteger, en función del objeto de restauración y de las metas a lograr.

Posibles actores (ejecución):

GEF HC, MMA con Municipio y/o propietarios.

4. Implementar programas de Información, prevención y sensibilización

Naturaleza de la acción (Activa/Pasiva)	Continuo de la Restauración		Temporalidad
	Tipo de acción-1er nivel de alcance	2do nivel de alcance	
Pasiva	reduce	reduce impactos	corto, mediano

Descripción de la intervención:

Se refiere a toda acción de comunicación dirigida a un público objetivo sobre el proyecto y las acciones que se realizan para informar e influir positivamente sobre sus conductas hacia el o los entornos a restaurar. Prevención y sensibilización con los actores de toda la cuenca a través de charlas y material informativo (agrícola, areneros, comunidades, etc.).

Modalidades de implementación / realización:

De manera general y periódica a escala del proyecto de restauración, se recomienda comunicar a través de charlas y material informativo tales como folletos, animaciones, boletines y comunicados a través de redes sociales y otros medios pertinentes en función de los actores

A escala de sitio de intervención, al inicio de las fases de implementaciones de intervenciones en áreas de restauración pilotos se recomienda la instalación de paneles informativos que describen las obras a realizar, sus objetivos y elementos de valorización ecológica y cultural del sitio. Para esto se deberá recurrir al uso de material gráfico que valoriza el ecosistema, el cuidado de este y mostrar los resultados proyectados a través de esquemas o ilustraciones comparativos con el estado actual. El o los lugares de implantación de dichos paneles deberá ser estratégicamente escogido en función del estudio del uso (tipos de usos, tipos de usuarios) y de la dinámica de tránsito en el sitio (tipo de tránsito, frecuencias, densidades, tiempos y temporalidades, etc.).

Dónde se deben aplicar:

Este tipo de intervención es de carácter transversal y aplica a todas las escalas. Por lo tanto, debe aplicar a nivel general sobre los beneficios de la restauración, y a niveles específicos para cada objeto de restauración. Además, debe ser sostenida en el tiempo de ejecución del proyecto y más allá. La estrategia de paneles informativos aplica a todos los sitios donde se implementarán intervenciones.

Indicadores:

Se debe evaluar los Cambios de prácticas mediante análisis de tendencias y evoluciones en base a % de prácticas en T_0 (antes de iniciar la implementación) y % practicas adoptadas en T_1 a T_n (en intervalos regulares una vez iniciada la implementación).

Posibles actores:

GEF, MMA con Municipio o propietarios; ONG locales de conservación, educación ambiental o similares; organizaciones territoriales.

También Universidades, Centros de Investigación en co-construcción con los Actores privados (sector agrícola, Industria extractiva áridos, Turismo, etc.), ONG, Establecimientos educacionales, sociedad civil, usuarios y decidores y usuarios del recurso agua (DGA, empresas de agua potable, Juntas de vigilancia, mesas hídricas, etc.).

5. Extraer / remover individuos de especies vegetales y animales de carácter invasor para el Control de especies exóticas

Naturaleza de la acción (Activa/Pasiva)	Continuo de la Restauración		Temporalidad
	Tipo de acción-1er nivel de alcance	2do nivel de alcance	
Activa	repara	remediación	Corto, mediano y largo plazo

Descripción de la intervención:

Consiste en la planificación y realización de acciones de extracción / remociones destinadas a controlar o erradicar especies exóticas naturalizadas en los ecosistemas naturales que evidencian un comportamiento invasor o que perturban la dinámica, composición y estructura de las comunidades o ecosistemas nativos.

En las subcuencas aportantes y del Humedal Costero del Río Elqui concierne entre otras:

Modalidades de implementación / realización:

Se debe evaluar por cada especie las acciones específicas, pero privilegiar la remoción manual y sobre todo excluir la aplicación de agroquímicos (pesticidas u otros); En espera de un Plan de Acción Nacional, planificar las acciones con apoyo de la *Estrategia Nacional Integrada para la prevención, el control y/o erradicación de las especies exóticas Invasoras* - COCEI 2014;

Algunos documentos claves a considerar:

https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32012/2/BCN_Control_de_especies_exoticas_invasoras_EEI_en_Chile_2021_FINAL.pdf

<https://biodiversidad.mma.gob.cl/pda-gestion-eei/>

Las acciones locales deberán idealmente ser asesoradas / apoyadas por el COCEI (Comité Operativo para la prevención, Control y Erradicación de las especies exóticas Invasoras), y/o también el Laboratorio de Invasiones Biológicas (LIB - <http://www.lib.udec.cl/>)

De manera más específica, SERNAPESCA propone una estrategia de control de especies de peces exóticas que afectan a las poblaciones naturales, como el chanchito (*Australoheros facetus*), la trucha (*Oncorhynchus mykiss*), la carpa (*Cyprinus carpio*), entre otros, que se pudieran encontrar en el río Elqui, mediante erradicaciones por ejemplo con campañas/campeonatos de pesca recreativa dirigida exclusivamente a capturar estas especies, difundiendo a la comunidad el aporte y beneficio a la biodiversidad producto de estas actividades de erradicación.

Algunas especies de plantas vasculares con carácter invasor presente en la cuenca: *Typha angustifolia*, *Tamarix ramosissima*, *Myoporum sp.*, *Carpobrotus edulis*, *Mesembryanthemum nodiflorum*, *Mesembryanthemum crystallinum*, *Acacia saligna*.

Donde se deben aplicar:

Sistema dunario, Matorral ribereño, Vegetación higrófila e hidrófita de humedales, Cauces y cuerpos de agua.

Indicadores:

Superficie (m² o Ha.) o densidades de individuos removidos (número de removidos por superficie).

Posibles actores (ejecución):

GEF HC, MMA (Plan de Acción Nacional), ONG locales; empresas del rubro forestal y/u organismos con competencia específica (SAG, SERNAPESCA, CONAF, INFOR, INIA, otras).

6. Descompactar los suelos dañados

Naturaleza de la acción (Activa/Pasiva)	Continuo de la Restauración		Temporalidad
	Tipo de acción-1er nivel de alcance	2do nivel de alcance	
Pasiva	Inicia recuperación del sistema natural	Rehabilitación	corto plazo

Descripción de la intervención:

Intervención mecánica de tipo escarificación sobre las capas superficiales de un suelo. Consiste en general en un arado muy superficial – solo unos pocos centímetros – del suelo a tratar. Este tipo de intervención es destinada a restablecer un nivel de permeabilidad y aireación necesaria para favorecer la infiltración y retención de aguas (recarga), reactivar los procesos biológicos del suelo, así como facilitar el establecimiento de una cubierta natural.

Modalidades de implementación / realización:

Este tipo de intervención debe aplicar sobre suelos muy perturbados, desnudos, es decir que han perdido su cubierta natural y su estructura superficial natural, y donde una recuperación natural está comprometida. Son suelos en general compactados y/o mineralizados por diversas presiones tales como sobre carga de vehículos, peatones, rellenos, acumulación de elementos exógenos, revestimientos viales, u otras perturbaciones de origen industrial.

Previamente a la descompactación se deber remover todo tipo de escombros, basuras y/o revestimientos artificiales del suelo a tratar.

Las técnicas apropiadas de descompactación son dependientes de varios factores y deberán adaptarse en función del nivel de compactación, la naturaleza y composición de suelo de referencia, el contenido de humedad del suelo a intervenir, y de la cubierta vegetal que se requiere o necesita recuperar en etapas posteriores al restablecimiento de la estructura del suelo. Por lo que un diagnostico en cada micro-sitio de intervención es necesario antes de intervenir.

De manera general, no es recomendado actuar en suelos muy secos o muy saturados. Se debe esperar idealmente el periodo más favorable para la intervención y aplicar técnicas de subsolado / sacarificación que evitan volcar y mezclar la capa superficial intervenida. En función de las mismas variables ante mencionadas se podrá considerar realizar la descompactación a distintas profundidades. Sin embargo, se recomienda privilegiar una descompactación superficial, para “reactivar” el suelo antes de dejar actuar los procesos naturales. También es importante evaluar los riesgos asociados a la intervención (técnica adaptada al suelo, factores climáticos al momento

de la intervención) e idealmente acompañar con otras intervenciones de apoyo (aportes de nutrientes, geomembranas, *mulching*, siembras o plantaciones).

Donde se deben aplicar:

En todos los lugares donde la cubierta natural ha sido destruida y la estructura natural del suelo superficial ha sido perturbada y compactada por diversas causas: aterrazamientos, tránsito peatonal y vehicular que supera la capacidad de carga del suelo, rellenos y compactación por obras ingenieriles, etc.

Indicadores:

Porosidad / tasa de infiltración (mm/h o m/s) en base a valores de referencia según tipos de suelos naturales de referencia.

Posibles actores:

GEF HC, MMA, ONG locales; empresas del rubro forestal y/u organismos con competencia en "ingeniería vegetal y de suelos" (CONAF, INFOR, INIA, otras)

7. Instalar Captadores estructurales y de apoyo

Naturaleza de la acción (Activa/Pasiva)	Continuo de la Restauración		Temporalidad
	Tipo de acción-1er nivel de alcance	2do nivel de alcance	
Pasiva	Inicia recuperación del sistema natural	Rehabilitación	corto plazo

Descripción de la intervención:

Este tipo de intervención pasiva es particularmente adaptado para los sistemas dunarios. Consiste en instalar estructuras de tipo cercos o empalizadas de materiales naturales (mimbre trenzado, tableros de madera no tratada, red de fibras de coco, entre otros materiales) en dunas que se quieren proteger y restaurar. Su función principal es facilitar los procesos de depósitos de arena en dunas que sufren procesos severos de erosión y fragmentación por daños mecánicos. Emplazada a proximidad del suelo, la estructura actúa como cortaviento, propiciando el depósito y acumulación de los granos de arena.

Es una técnica comprobada para facilitar la reconstrucción de las geoformas dunarias. Es también una buena herramienta de protección (evite o suprime la presión, impidiendo el acceso a los sectores fragilizados o dañados), zonificación y manejo de sitios frágiles debido a que permite la canalización eficaz de los flujos de usuarios y una buena integración en el paisaje (Gougnet 2018).

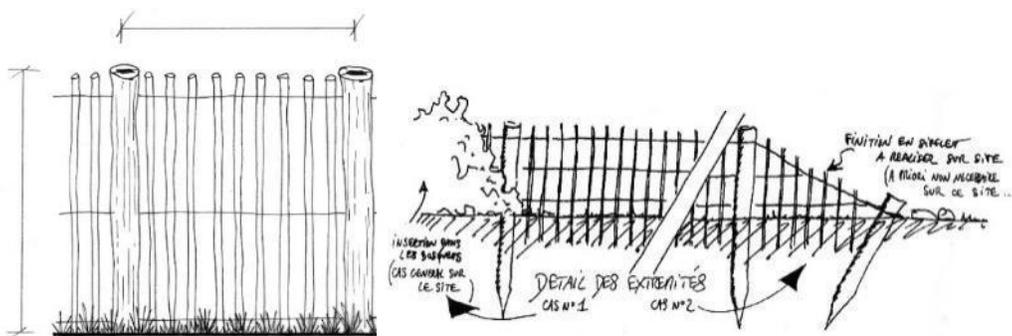


Figure 3.17. Fascines d'osier utilisées en Espagne.
© L. Gougnet/ONE



Figura 50: Ejemplo de estructuras corta viento para restaurar dunas. Arriba: detalles (elaboración propia). Abajo: estructuras de mimbre y madera en curvas de nivel (Gougnet 2018)

Modalidades de implementación / realización:

El posicionamiento y los materiales deben adaptarse en función del balance sedimentario y de las necesidades de cada micrositio de intervención, ya que las condiciones pueden variar en el tramo completo del cordón dunario a considerar.

En primera instancia se debe identificar las brechas y depresiones más severas y evaluar la dinámica sedimentaria: si el balance diagnosticado es progradante, se debe reconstruir avanzando hacia el mar; si el balance es estable, se debe reconstruir en el mismo lugar del cordón preexistente; si el balance es regresivo / retrogradante, se debe reconstruir avanzando hacia el interior, es decir detrás del primer frente dunario. Luego, generalmente se instalan las estructuras perpendicularmente a los vientos dominantes, pudiendo instalar varias líneas paralelas o en curvas de nivel si las pendientes son pronunciadas. La altura de la estructura será función de la intensidad del transporte de arenas y de la profundidad de las brechas a “cicatrizarse”.

Se recomienda combinar con plantaciones de especies nativas características de sistemas dunarios (plantas rizomatosas, por ejemplo) para apoyar el proceso de cicatrización.

De manera general, se debe considerar la factibilidad de usar maquinarias adaptadas, de bajo impacto sobre el suelo dunario para no degradarlo más. El uso de dichas maquinarias por las empresas a cargo deberá hacerse siguiendo protocolos y estándares existentes respecto a trabajos en sitios naturales sensibles.

Donde se deben aplicar:

En los cordones y sistemas dunarios (tanto los que forman parte del humedal costero del río Elqui como los de la Bahía) que sufren fragmentación, erosión y pérdida de estructura por efecto combinado de sobrecarga de tránsito de usuarios (sean peatones o vehículos), vientos dominantes y dinámica costera.

Indicadores:

Tasa o niveles de deposición de arenas entorno a las estructuras implementadas (en base a niveles basales T0, en mm o mm³)

Posibles actores (ejecución):

ONG locales (Olas limpias; RedAves, Ecoterra, otros), Municipio; juntas de vecinos; establecimientos educacionales aledaños; gremios o similares de empresas de servicios, turismo y comercios instalados o que usan el borde costero y playas

Referencias:

Gouguet L. (2018). Guide de gestión des dunes et des plages associées. Editions Quae. 225 pp.

8. Planificar / Implementar programa de monitoreo de Calidad y cantidad del agua

Naturaleza de la acción (Activa/Pasiva)	Continuo de la Restauración		Temporalidad
	Tipo de acción-1er nivel de alcance	2do nivel de alcance	
Pasiva	Reduce	Reduce impactos	Largo Plazo

Descripción de la intervención:

Si bien existe una red de sitios de monitoreo de la DGA a escala de la cuenca del Rio Elqui, así como propuestas de sitios para la futura implementación de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas (CENMA 2017) Para las subcuencas de restauración, solo hay 2 sitios de monitoreo de calidad de agua existente actualmente en el área de las subcuencas en estudio, lo que es insuficiente para efectos de monitoreo a esta escala. Aumentar la resolución posible de monitoreo/ densificar los sitios claves donde medir parámetros de calidad y cantidad de aguas superficiales a escala de las subcuencas e implementar programa.

El monitoreo tiene doble propósito:

- 1) vigilar tendencias de los indicadores y variables relacionadas a presiones;
- 2) Evaluar efectividad de las acciones de restauración en el tiempo (manejo adaptativo)

Modalidades de implementación / realización:

Para escalar y monitorear de manera adecuada los distintos parámetros de calidad y cantidad de aguas, se necesita aumentar la resolución a través de la densificación de la red, incorporando al menos 8 sitios estratégicos a escala de las subcuencas. Esto para obtener una resolución suficiente y robusta estadísticamente para poder en el futuro detectar de manera adecuada y significativa perturbaciones y tendencias de parámetros claves (poder de detección), tanto de parámetros físico-químicos, de flujos de agua y sedimentos, como de indicadores biológicos (macrófitos, fauna de macro invertebrados, fauna íctica, entre otras).

Durante la presente consultoría se levantó información de calidad físico-química, Índice de trofia en base a macrófitos e índices bióticos de calidad en base a macro invertebrados en 3 sitios dentro de los sectores priorizados.

Esta acción se debe coordinar con las iniciativas existentes o en construcción (Plan de monitoreo de los pilotos GEF Humedales, futura Norma Secundaria de Calidad de Agua, entre otras) y combinar con estrategias de gestión social, involucramiento y sinergias de actores claves en torno a la gestión del agua para poder mantener la regularidad y periodicidad de los monitoreos.

Donde se deben aplicar:

A escala de las subcuencas aportantes al humedal costero del rio Elqui

Indicadores:

Umbrales establecidos en las Normas chilenas de calidad de agua (NCh1333) y Futura norma secundaria de Calidad para la Cuenca del Río Elqui; Índices bióticos (macro invertebrados) e Índices de Trofia en base a macrofitas.

Posibles actores:

GEF HC, MMA, DGA, Otros actores de la sociedad civil que puedan ser capacitados para monitoreos ciudadanos (Establecimientos educacionales, juntas de vigilancia, mesas hídras, ONG locales, Juntas de vecinos, etc.)

Referencias:

CENMA (2017). Consultoría Técnica Recopilación y Levantamiento antecedentes para apoyo en la elaboración de anteproyecto de normas secundarias de calidad ambiental (NSCA) para las aguas continentales superficiales de la cuenca del Río Elqui. Informe Final. Solicitado por SEREMI Región de Coquimbo, Ministerio del Medio Ambiente. 56 pp.

9. Evaluar / Implementar / Mantener Caudal Ecológico

Naturaleza de la acción (Activa/Pasiva)	Continuo de la Restauración		Temporalidad
	Tipo de acción-1er nivel de alcance	2do nivel de alcance	
Activa	Mejora / repara las funciones ecosistémicas	Remediación / rehabilitación	Corto Plazo, mediano y largo plazo

Descripción de la intervención:

El caudal ecológico corresponde en su más simple definición a una Cantidad mínima de agua que necesita un cuerpo de agua corriente y sus componentes bióticos para “sobrevivir”. Las definiciones más recientes enfatizan en las necesidades de respetar un régimen de caudal variando de manera natural para mantener los ecosistemas dulceacuícolas (Pouilly & Aguilera 2012, CEAZA 2017)

En Chile, el caudal ecológico ha sido incorporado en la legislación chilena mediante el Decreto 14 del MMA de 2012, modificado por el Decreto Supremo 71 de 2015, cuyo reglamento establece los criterios por los cuales se regirá la determinación del caudal ecológico mínimo, de conformidad con lo establecido en el artículo 129 bis 1 del Código de Aguas. Para la ley chilena, el concepto si bien busca proteger los valores ecológicos de los ríos, como su flora y fauna, actúa solamente en valores mínimos de caudales (metodología hidrológica) a través de los derechos otorgados.

Sin embargo, la aplicación de dicho caudal no es retroactivo para los derechos adquiridos antes de la promulgación del decreto como es el caso en toda la cuenca del Rio Elqui. En consecuencia, no se aplica en la cuenca hoy en día (comunicación personal DGA).

Modalidades de implementación / realización:

Existe un estudio reciente de la DGA sobre el o los impactos y consecuencias potenciales de la aplicación retroactiva del caudal ecológico mínimo definido según metodologías oficiales de tipo hidrológico, para las cuencas de la Región de Coquimbo (sin considerar la cuenca del Rio Elqui), Valparaíso y O’Higgins (DGA 2016). Este estudio, basado en simulaciones de los cambios que generaría en los balances entre la demanda y oferta del recurso concluye que *“el establecimiento de un caudal ecológico obligatorio retroactivo empeora la situación de escasez en la zona centro norte del país y tiene impactos determinantes en la zona sur sólo en épocas de crisis”* pero matiza en que el *“establecimiento de los caudales ecológicos debería ser definido para cada zona en particular como objetivos a perseguir, por ejemplo, dentro de los planes estratégicos de recursos hídricos, considerando su situación histórica, disponibilidad hídrica y vocación productiva, de tal manera de alinear a los servicios públicos y actores privados a cumplir dicho objetivo”*.

En consecuencia, se propone para el corto plazo buscar estrategias para fomentar las sinergias de actores en vista a evaluar caudales ecológicos y su factibilidad de implementación futura (mediano plazo), más allá del marco legal y sus restricciones. Se sugiere que dichas evaluaciones se basen en metodologías holísticas en sitios claves de la cuenca o en su defecto de las subcuencas de aplicación del proyecto de restauración.

En términos prácticos de métodos de evaluación e implementación, son muchos los enfoques existentes y posibles. Se cita aquí dos estudios / propuestas holísticas recientes entorno a cuencas chilenas de condiciones ecológicas similares que pueden servir de referencia:

Por una parte, un proyecto piloto en la Región de Coquimbo que ha desarrollado una propuesta de método holístico para determinar Caudal ecológico adaptado al contexto de las cuencas semiáridas usando como organismos indicadores macroinvertebrados bentónicos (CEAZA / FIC 2015-2017)

Por otra parte, la propuesta de Pouilly & Aguilera (2012) "Evaluación Inicial de Caudales Ecológicos/Ambientales en la cuenca del río Huasco-Chile"

Donde se deben aplicar:

Idealmente se debería establecer las evaluaciones y diagnósticos a escala de la cuenca en su conjunto. De manera alternativa se podría evaluar e implementar a escala de las subcuencas de restauración.

Indicadores:

Índice de Caudal Ecológico evaluado en los sitios claves (m³/s)

Posibles actores:

DGA, Juntas de vigilancia, mesas hídras, centros de estudios, GEF, MMA

Referencias:

DGA (2016), Impacto Aplicación Caudal Ecológico Mínimo Retroactivo en Cuencas de la IV, V y VI Región, SIT N° 392, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile, Realizado por: GeoHidrología Consultores Ltda.

M. Pouilly, G. Aguilera (2012). Evaluación Inicial de Caudales Ecológicos/Ambientales en la cuenca del río Huasco – Chile, mediante la simulación del hábitat físico del pejerrey *Basilichthys microlepidotus* y el camarón de río *Cryphiops caementarius*. UICN, Quito, Ecuador. 57 pp.

CEAZA. (2017). Implementación de un nuevo método holístico de evaluación del caudal ecológico basado en macroinvertebrados en la cuenca del Choapa. Proyecto FIC-BIP 30404078-0

10. Relocalizar ciertas Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) y desagües de aguas sanitarias o de retratamiento

Naturaleza de la acción (Activa/Pasiva)	Continuo de la Restauración		Temporalidad
	Tipo de acción-1er nivel de alcance	2do nivel de alcance	
Activa	Mejora	Remediación	Mediano Plazo

Descripción de la intervención:

Si bien la mayoría de los puntos de descargas existentes están autorizados legalmente (descargas de emergencias) y el control de los niveles y caudales permitidos de emisiones se fiscalizan a través del D.S. MINSEGPRES N°90/2000 no existe un mecanismo dentro de este marco legal que permite relocalizar la fuente contaminante como las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas y desagües de aguas sanitarias o de retratamiento, cuando a pesar de mantener niveles autorizados, se emplazan y ponen en peligro ecosistemas frágiles, con necesidades urgentes de conservación y/o restauración.

Modalidades de implementación / realización:

Se requiere previamente una línea de base de niveles de descarga y calidad en dichos puntos para identificar las instalaciones que más impacto generan o las ubicadas a proximidad de sectores diagnosticados sensibles del río (biodiversidad, flujos deficientes, por ejemplo), para luego evaluar la factibilidad de relocalizar. Si no es factible la relocalización, se sugiere reforzar o adaptar el sistema de tratamiento de aguas o reciclaje.

Donde se deben aplicar:

Se debe evaluar a escala de las subcuencas aportantes.

Indicadores:

N° de plantas y fuente contaminante relocalizadas;

También medir el impacto post-implementación en la calidad de agua (a coordinar con los Monitoreos fisicoquímicos y otros componentes de medición de calidad de las aguas)

Posibles actores (ejecución):

GORE, MINSAL, Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS)

Referencias:

D.S. MINSEGPRES N°90/2000 Regula los contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.

11. Mejorar las gestiones y prácticas a escalas multisectoriales

Naturaleza de la acción (Activa/Pasiva)	Continuo de la Restauración		Temporalidad
	Tipo de acción-1er nivel de alcance	2do nivel de alcance	
Pasiva	Reduce	Reduce impactos	Mediano a largo Plazo

Descripción de la intervención:

Se refiere a acciones destinadas a impulsar mejoras y sinergias que permiten generar cambios en todos los niveles de gestión social, tanto institucionales como profesionales, gremiales, ciudadanos u otros sectores de la sociedad, entorno a focos de prácticas que impactan negativamente sobre los ecosistemas del humedal y sus subcuencas aportantes para reducir o suprimir dichos impactos.

Modalidades de implementación / realización:

A través de alianzas estratégicas, coordinación de actores, mesas de trabajo, entre otras, para la optimización de usos, definiciones de buenas prácticas, elaboración o modificación de normativas entorno a prácticas y gestión territorial tales como gestión de residuos, aguas servidas, industrias extractivas y productivas, servicios territoriales, entre otros.

Es de suma importancia que estas iniciativas puedan construirse de formas colectivas, participativas, inclusivas y por lo tanto integrar a las comunidades y a la ciudadanía en general para poder motivar cambios duraderos y aceptados.

Donde se deben aplicar:

Medida transversal, en varias escalas administrativas e institucionales en relación con la cuenca.

Indicadores:

Indicadores medibles de cambios en las prácticas, por ejemplo % de usuarios usando aguas recicladas; largo plazo: Normas nuevas

Posibles actores (ejecución):

GEF HC, MINSAL, Municipios, MMA, GORE, Actores de la legislación ambiental (abogados, Entidades fiscalizadoras, entre otros), ONG nacionales o regionales, sociedad civil

12. Evitar obras de impermeabilización (barreras, diques, gaviones)

Naturaleza de la acción (Activa/Pasiva)	Continuo de la Restauración		Temporalidad
	Tipo de acción-1er nivel de alcance	2do nivel de alcance	
Pasiva	Mejora	Remediación	Mediano Plazo

Descripción de la intervención:

Evitar la construcción de obras ingenieriles en los cauces, quebradas, lechos y cuerpos de agua que impiden el escurrimiento libre y natural de los flujos (longitudinal, lateral y vertical), y tienden a impermeabilizar los suelos, comprometiendo la circulación del agua, sedimentos, nutrientes, biodiversidad, y la recarga de los acuíferos. Estas sean barreras de contención, diques, gaviones, embalses impermeables, canales revestidos y cubiertos.

Modalidades de implementación / realización:

Mediante un comité o una mesa de expertos actuando a través de convenios, asesorías, u otra forma de colaboración con las instituciones y sectores a cargo de la planificación e implementación de dichas obras, para consensuar alternativas posibles.

Donde se deben aplicar:

Medida que aplica potencialmente en cualquier tramo o punto donde se evalúa que dichas obras planificadas impactarían sobre la continuidad y/o conectividad de los flujos naturales.

Indicadores:

Acuerdos con las Instituciones responsables; cambios en las practicas / Cese de obras

Posibles actores (ejecución):

DGA/MOP, DOH, profesionales y/o expertos en ingeniería ecológica, restauración ecológica, conservación, entre otros pertinentes.

13. Facilitar la regeneración natural

Naturaleza de la acción (Activa/Pasiva)	Continuo de la Restauración		Temporalidad
	Tipo de acción-1er nivel de alcance	2do nivel de alcance	
Activa	Inicia recuperación natural	rehabilita	corto plazo

Descripción de la intervención:

Parte de herramientas de Manejo silvicultural consistiendo en aplicar distintos tipos de podas y clareos sobre especies leñosas arbustivas o arbóreas de un rodal o comunidad vegetacional. Estas podas están dirigidas a fortalecer los individuos, estimular el crecimiento vegetativo o floral (y por consiguiente la producción de frutos y semillas) de individuos, y dinamizar las distintas estratas presentes, para lograr actuar positivamente sobre la cobertura, la productividad y las dinámicas estructurales y composicionales.

Modalidades de implementación / realización:

Realización de podas selectivas y dirigidas, diferenciales en función del tipo de crecimiento y arquitectura específica a cada taxón o grupos de taxa leñosos. Se deben efectuar en periodos favorables para cada tipo de formación vegetacional a intervenir, idealmente durante reposo vegetativo.

Se acompañan generalmente de manera beneficiosa para efectos de restauración de las comunidades vegetacionales en conjunto con otras actividades de manejo silvicultural, como por ejemplo aprovechando los restos de podas para confeccionar y aplicar mulch en las zonas desnudas o claros con el objeto de proteger el suelo y/o algún sustrato agregado, permitiendo detener la erosión, retener la humedad, estabilizar las temperaturas a nivel del suelo.

Consideraciones generales sobre el Matorral ribereño: Privilegiar / restringir las acciones activas en las zonas donde los tiempos de retorno de inundaciones son superiores a 10 años; idealmente no intervenir activamente en las zonas con retornos inferiores a 10 años; misma consideración para el cauce;

SERNAPESCA, durante los procesos participativos, énfasis sobre la importancia de la vegetación ribereña nativa, lo cual ante su restauración esté en sintonía con la vegetación que se distribuye naturalmente en la zona, pudiendo así enriquecer el hábitat de macroinvertebrados, y por consiguiente las especies de fauna íctica y otros vertebrados que se alimentan de estos macroinvertebrados.

Donde se deben aplicar:

En todas las zonas de sub-áreas donde la cobertura vegetal es baja pero que tiene capacidad para recuperarse naturalmente: matorrales ribereños, vegetación de humedales, matorrales xerofíticos, vegetación dunaria, etc.

Indicadores:

Tasa de crecimiento vegetativo (%); cobertura vegetal (%)

Posibles actores (ejecución):

GEF HC, MMA, ONG locales; empresas del rubro forestal y/u organismos con competencia en "ingeniería vegetal" (CONAF, INFOR, INIA, otras).

14. Proteger el suelo superficial con técnicas de mulching o transfer de biomasa cosechada

Naturaleza de la acción (Activa/Pasiva)	Continuo de la Restauración		Temporalidad
	Tipo de acción-1er nivel de alcance	2do nivel de alcance	
Pasiva	Inicia recuperación natural	rehabilita	corto plazo

Descripción de la intervención:

Intervención de manejo silvicultural que consiste en aplicar capa permeable de biomasa o materia orgánica gruesa para proteger un suelo. Se conoce como "mulching, y sirve para conservar la humedad del suelo, mejorando su estructura, regular temperatura a nivel de suelo, incentivar la dinámica de nutrientes, reducir la escorrentía superficial, la erosión y la compactación. El tamaño y característica estructural / composición del material influye de manera distinta sobre todas las variables antes mencionadas (ver Chalker-Scott L. (2007). Impact of Mulches on Landscape Plants and the Environment: A Review. J. Environ. Hort. 25(4):239–249).

Modalidades de implementación / realización:

Para efectos de restauración ecológica y de costos, se recomienda usar como materia prima los mismos restos de vegetación obtenidos de podas de limpieza o podas de estimulación de regeneración dentro de las mismas formaciones vegetacionales o mismas áreas de intervención, o en su defecto procedentes de otras áreas aledañas. En función de las necesidades de zonas a proteger, del grado de permeabilidad deseado o bien de la temporada de aplicación, de la naturaleza, grado de humedad inicial, de la pendiente y del estado del suelo, se podrán esparcir los restos sin más tratamientos o bien el mismo material "chipeado". Algunas precauciones a considerar son: NO usar materiales procedentes de especies exógenas, formar capas demasiado gruesas o demasiado densas que podrían inhibir el crecimiento de especies herbáceas anuales, salvo si se requiere controlar herbáceas de carácter invasor.

Donde se deben aplicar:

En todas las zonas de sub-áreas donde la cobertura vegetal es baja, algo degradada, presenta suelos fragilizados o con algún signo de erosión o pérdida de materia orgánica en los horizontes superficiales pero que tiene capacidad para recuperarse naturalmente: matorrales ribereños, vegetación de humedales, matorrales xerofíticos, vegetación dunaria, etc.

Indicadores:

humedad del suelo; % de regeneración

Posibles actores (ejecución): GEF HC, MMA, ONG locales; empresas del rubro forestal y/u organismos con competencia en "ingeniería vegetal" (CONAF, INFOR, INIA, otras)

15. Mantener o crear franjas de vegetación natural

Naturaleza de la acción (Activa/Pasiva)	Continuo de la Restauración		Temporalidad
	Tipo de acción-1er nivel de alcance	2do nivel de alcance	
Activa / Pasiva	Mejora el manejo de ecosistema	Reduce impactos	corto a mediano plazo

Descripción de la intervención:

Consiste en crear, mantener y/o mejorar franjas de vegetación natural, espontánea, o bien sembrada o plantada de especies nativas.

Estas franjas son un tipo de infraestructura verde que puede tener múltiples funcionalidades beneficiosas: en los bordes y límites de parcelas de uso agrícola, colindantes a cuerpos o riberas de cursos de agua, incluyendo canales no revestidos, sirven de franjas de amortiguamiento frente a fuentes de contaminación difusa debido al uso de agroquímicos y el control de plagas (Möller 2011). También son útiles para efectos de restauración creando corredores e infraestructuras de conectividad, el control de plagas, entre otros.

Modalidades de implementación / realización:

Las modalidades de implementación pueden ser muy variadas, desde dejar una franja de 5 a 10 m sin labrar ni cultivar en los márgenes de parcelas de cultivos para que se instale una vegetación herbácea espontánea hasta estructuras más complejas combinando franjas multi estratas de cercos vivos de especies nativas para recrear franjas y ecotonos naturales. Siempre se deberá privilegiar el uso de especies nativas y pertinentes según las condiciones edáficas y micro climáticas a escala de sitio o parcela a intervenir. En zonas muy productivas, se deberá considerar las labores de mantención de estos espacios, cuyos subproductos podrían ser reutilizados dentro del predio o sitios aledaños para actividades de restauración (restos de podas, por ejemplo).

Fuera de la matriz agrícola, esta misma intervención puede servir para el propósito de reconectar parches de vegetación aislados en la matriz del paisaje, proteger espacios o áreas de intervención, pilotos, etc.

Esta actividad será pasiva si solamente se requiere mantener franjas existentes; o bien activa cuando será necesario crearlas o mejorarlas por ejemplo incluyendo especies nativas, aumentando la diversidad específica, la diversidad de rasgos funcionales (tipos biológicos, plantas depurativas, plantas fijadoras de nitrógeno, melíferas, etc.) y/o la diversidad estructural.

Donde se deben aplicar:

De manera preferencial en los márgenes, bordes de parcelas agrícolas colindantes a cuerpos y cursos de agua, también en bordes de canales no revestidos.

Indicadores:

A corto plazo: superficies o longitud de franjas (ha. o metros lineales); a mediano plazo y/o a escala de paisaje se recomienda evaluar el grado de conectividad entre franjas y parches de vegetación natural (Índice de conectividad)

Posibles actores (ejecución):

GEF HC, MMA, Propietarios, apoyo de profesionales de la gestión silvoagropecuarias y agricultura ecológica

Referencias:

Möller, P. (2011). The riparian vegetation and their buffer function, an important consideration for wetlands conservation. *Gestión Ambiental* (Vol. 21).

16. Recuperar el perfil topográfico natural (gradiente y heterogeneidad)

Naturaleza de la acción (Activa/Pasiva)	Continuo de la Restauración		Temporalidad
	Tipo de acción-1er nivel de alcance	2do nivel de alcance	
Activa	repara	Remediación	Corto plazo

Descripción de la intervención:

Se trata de una intervención similar, de misma índole que las relativas a la descompactación de suelos, pero más adecuada para suelo higromórficos o saturados, y al gradiente natural de hidromorfismo presente en los sistemas de humedales. Su función es recuperar cierto grado de heterogeneidad natural en la topografía de suelos de humedales donde, junto con la estructura del suelo, ha sido perturbada. Estudios recientes resaltan la importancia y múltiples funciones de la microtopografía en humedales, con influencia crítica sobre los procesos hidrológicos, biogeoquímicos y biológicos a escala local. También sobre su contribución a patrones espaciales que facilita la emergencia de funciones a escala del ecosistema: reservas y flujos hidrológicos, ciclo del carbono, dispersión de organismos y biodiversidad (Diamond *et al.* 2020). Así, actuar sobre este componente abiótico permite facilitar las infiltraciones y recuperar los gradientes de hidromorfismos y los niveles de saturación (*water table*) naturales generalmente presente en suelos de humedales (Holl 2020). En concreto, se puede de esta forma reactivar la dinámica de nutrientes y procesos biológicos (Wolf, Ahn & Noe 2011), ofrecer diversos refugios para la micro y mesofauna de invertebrados, facilitar la recuperación de la vegetación (Wang *et al.* 2020) y su distribución en franjas (zonación) si se logra recrear un gradiente de humedad desde los cuerpos de agua y sus periferias.

Modalidades de implementación / realización:

Para recuperar / reconstruir la heterogeneidad topográfica, el procedimiento consiste, una vez retirada la capa de relleno / material exógeno al suelo de origen, en recrear de manera manual pozas y motas (o con maquinarias livianas adaptadas a este tipo de trabajo en suelos frágiles en función de la escala de la topografía deseada).

El gradiente se trabaja también de manera manual o mecánica para formar una pendiente suave creciente desde los niveles topográficos por debajo del nivel freático, es decir desde cuerpos de aguas existentes o por recrear (lagunas, pozas, arroyos, etc.) hasta niveles topográficos más elevados hacia la periferia de los cuerpos de agua. La pendiente adecuada se debe estimar in-situ en función de la escala de los cuerpos de aguas y de la evaluación de las variaciones y extremos de los niveles freáticos (periodicidad, frecuencia, intensidad).

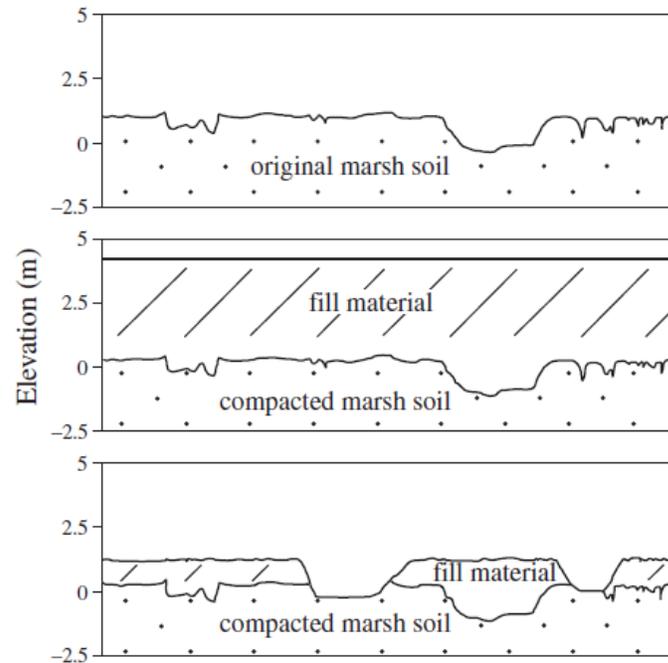


Figura 51: Esquema mostrando la rehabilitación de la heterogeneidad topográfica de un suelo de humedal después de una perturbación por relleno y compactación. Fuente: Zedler, 2001

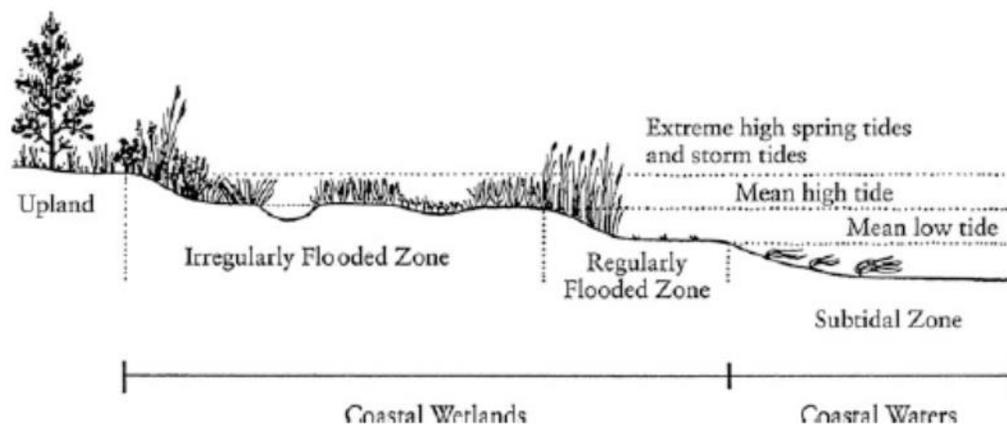


Fig. 5 Two main zones of coastal wetlands created by flooding frequency: regularly flooded and irregularly flooded. The irregularly exposed zone (not shown) occurs between the regularly flooded zone and subtidal zone where spring tides expose shallow bottoms but can be exposed by strong offshore winds (Copyright: Tiner 2013)

Figura 52: Ejemplo de gradiente de hidromorfismo, niveles de variación freáticos y zonación de la vegetación en un humedal costero. Fuente: Tiner 2013

Donde se deben aplicar:

En suelos higromórficos, saturados particularmente en las formaciones de vegetación de humedales adenañas a cuerpos de agua o afloramientos freáticos.

Indicadores:

A corto plazo: % de regeneración natural; a corto y mediano plazo: Medir el cambio en proporciones y composición de especies higrófilas a lo largo del gradiente de humedad deseado.

Posibles actores:

Universidades, Servicios públicos, empresas (tanto para las fases de diseño como de implementación)

Referencias:

Barry, W., Garlo, A., & Wood, C. (1996). Duplicating the Mound-and-Pool Microtopography of Forested Wetlands. *Restoration & Management Notes*, 14(1), 15-21.

Diamond, J. S., Epstein, J. M., Cohen, M. J., McLaughlin, D. L., Hsueh, Y. H., Keim, R. F., & Duberstein, J. A. (2020). A little relief: Ecological functions and autogenesis of wetland microtopography. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*. <https://doi.org/10.1002/wat2.1493>

Holl, K. D. (2020). *Primer of Ecological Restoration*. Island Press.

Tiner, R.W. (2013). *Tidal wetlands primer: an introduction to their ecology, natural history, status, and conservation*. Amherst: University of Massachusetts Press.

Zedler, J. B. (2001). *Handbook for Restoring Tidal Wetlands*. (J. B. Zedler, Ed.). CRC Press.

17. Compatibilizar algunos sectores para usos como parques urbanos ecológicos y proyecto de conservación del humedal

Naturaleza de la acción (Activa/Pasiva)	Continuo de la Restauración		Temporalidad
	Tipo de acción-1er nivel de alcance	2do nivel de alcance	
Activa	repara	Reduce impactos	Mediano/largo plazo

Descripción de la intervención:

Convertir en parques, áreas verdes ciertos espacios relacionados con los sectores urbanos del humedal, como los espacios de rellenos, para conectar la ciudad con el humedal (infraestructura verde) y devolver su vocación de espacio natural, lugar de esparcimiento y educación ambiental.

Modalidades de implementación / realización:

En base a Zonificación, destinar ciertos espacios fuertemente degradados del humedal, pero con potencial ecológico y paisajístico para el esparcimiento y la educación ambiental. Una vez definidos y consensuados los espacios posibles, fomentar sinergias de actores públicos, institucionales y ciudadanos para planificar dicho espacio.

Donde se deben aplicar:

En ciertos espacios de las áreas de intervención de restauración del humedal a definir en base a zonificación de usos.

Indicadores:

Concreción de algún proyecto en el mediano o largo plazo.

Posibles actores:

MINVU, Municipio, MMA, organizaciones ciudadanas

18. Aportar nutrientes al suelo

Naturaleza de la acción (Activa/Pasiva)	Continuo de la Restauración		Temporalidad
	Tipo de acción-1er nivel de alcance	2do nivel de alcance	
Activa	mejora	Remediación / rehabilitación	Corto plazo

Descripción de la intervención:

A diferencia del mulching, realizado con materiales gruesos, esta intervención consiste en aplicar nutrientes y/o materia orgánica fina para reactivar funciones esenciales del suelo como la regulación de la infiltración del agua, su capacidad de retención y mejorar la estructura misma del suelo. El contenido de materia orgánica del suelo es de hecho considerado como uno de los elementos más importantes en la capacidad del suelo en proveer servicios ecosistémicos (Costantini et al. 2016). Es aún más importante para las zonas áridas o semiáridas degradadas, donde la cubierta vegetal ha sido removida, el aporte de residuos orgánicos se encuentra muy reducido y los procesos erosionales acentuados.

Modalidades de implementación / realización:

Se trata de enmendar las zonas dañadas y desnudas de suelo (después de haber removido basuras y escombros, y haberlo descompactado mediante escarificación superficial) con lodos procedentes de zonas circundantes de acumulación y deposición del río, canales y/o cuerpos de agua de humedales. Se pueden aprovechar la limpieza de canales para remover sedimentos que son generalmente buenos fertilizantes.

Donde se deben aplicar:

En todos los suelos degradados y erosionados que han perdido su cubierta vegetal, contenidos en materia orgánica y horizontes superficiales

Indicadores:

indicadores fisicoquímicos y biológicos relativos al aporte de nutrientes (Costantini *et al.* 2016)

Posibles actores (ejecución):

GEF HC, MMA, ONG locales; empresas del rubro forestal y/o organismos con competencia en "ingeniería vegetal y del suelo" y/o control de erosión (CONAF, INFOR, INIA, otras).

Referencias: Costantini, E. A. C., Branquinho, C., Nunes, A., Schwilch, G., Stavi, I., Valdecantos, A., & Zucca, C. (2016). Soil indicators to assess the effectiveness of restoration strategies in dryland ecosystems. *Solid Earth*, 7(2), 397–414. <https://doi.org/10.5194/se-7-397-2016>

19. Implementar una estrategia de Gestión de tenencia de la tierra

Naturaleza de la acción (Activa/Pasiva)	Continuo de la Restauración		Temporalidad
	Tipo de acción-1er nivel de alcance	2do nivel de alcance	
Activa / Pasiva	Reduce los impactos sociales	Reduce impactos	Mediano a largo plazo

Descripción de la intervención:

Implementar estrategias de planificación, gestión y modalidades de tenencia de la tierra favorables para la implementación de proyectos y actividades restaurativas en terrenos o espacios cuya tenencia resulta ser en la actualidad un freno o impedimento.

Modalidades de implementación / realización:

A través de la adquisición de terrenos privados por el estado, algún *land trust*, acuerdos público-privados, la conformación de áreas protegidas privadas u otro mecanismo existente en Chile, o a través de una innovación que aumente la factibilidad de implementar acciones o proyectos de restauraciones sitios estratégicos (núcleos, corredores, etc.).

Dichos sitios estratégicos deberán ser definidos en base a la priorización realizada y complementada en base a estudios relativos a la planificación sistemática para la conservación, estudios de conectividad, delimitación de zonas refugios, etc.

Esto con el fin de aumentar las oportunidades de cambiar hacia usos compatibles con conservación de los Recursos Naturales, la restauración de Servicios Ecosistémicos, ecosistemas o restauración ecológica; también para aumentar las oportunidades de re-crear corredores y conectividad ecológica a escala del paisaje de las subcuencas.

Donde se deben aplicar:

Transversal, como mínima, a escala de las subcuencas aportantes al humedal, o bien idealmente a escala de cuencas.

Indicadores:

Mediano plazo: Superficie disponible para las gestiones de restauración (Ha.); Mediano a largo plazo: Conectividad de los espacios disponibles para implementar intervenciones de restauración (Índice de conectividad con sitios claves y con las infraestructuras naturales claves en el paisaje de las subcuencas).

Posibles actores (ejecución): Servicios públicos, MMA, Bienes Nacionales, Municipio, organizaciones ciudadanas, propietarios privados

20. Implementar Humedales de Tratamiento Flotantes (HTF), filtros naturales en base a "islas" de depuración

Naturaleza de la acción (Activa/Pasiva)	Continuo de la Restauración		Temporalidad
	Tipo de acción-1er nivel de alcance	2do nivel de alcance	
Pasiva	Mejora / repara las funciones ecosistémicas	Remediación	Corto a Mediano Plazo

Descripción de la intervención:

Es una categoría particular de humedales artificiales con fines de fitorremediación. Se componen generalmente de un sistema flotante en base a una matriz porosa con macrófitos que pueden ser acompañados de biofilms de micro-organismos de apoyo. Se usan para el tratamiento o intensificación de los procesos depurativos en aguas contaminadas y control de eutroficación. Según las combinaciones de especies y modos de implementación pueden ser una herramienta de apoyo para la transformación y/o remoción de contaminantes: materia orgánica, sólidos suspendidos, exceso de nutrientes, remoción de patógenos, acumulación o sedimentación de metales y metaloides.

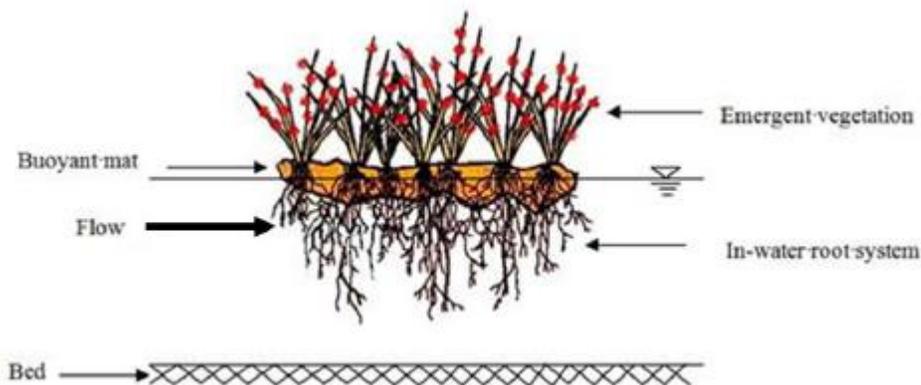


Figura 53: Esquema de un Humedal de Tratamiento Flotante (HTF) o "isla de depuración". Fuente: Pavlineri et al. 2017

Modalidades de implementación / realización:

Se debe realizar un diseño de implantación usando un conjunto de especies de macrófitos y sus micro-organismos acompañantes debidamente seleccionadas en función de los elementos o contaminantes presentes en los cuerpos de agua a tratar, de los niveles de tolerancia de cada especie, de su adaptación al clima local y al tipo de cuerpo de agua, entre otros parámetros importantes. Para mantener una buena eficiencia, es importante cosechar periódicamente y renovar la biomasa para no devolver los contaminantes capturados en el sistema cuando las plantas mueren o renuevan sus tejidos.

Si bien existen soluciones comerciales ofreciendo este tipo de producto, se recomienda poder idealmente privilegiar especies presentes naturalmente en la cuenca, y evitar especies exógenas es particularmente relevante en ambientes acuáticos debido a la facilidad de propagación en general de las especies hidrófitas, por sus capacidades de reproducción vegetativa y propágulos flotantes, aumentando los riesgos de invasión en los cuerpos de agua.

En el caso donde se busca remover metales pesados u otro contaminante no metabolizado sino más bien acumulado en los tejidos de las plantas, se deberá considerar el destino final de la materia vegetal o sedimentos cosechados.

Pueden combinarse con otras intervenciones y otros objetivos de restauración como la recreación de hábitats de fauna acuática, aves, protección de riberas; también existe la posibilidad de usar la biomasa cosechada para aportar materia orgánica o transferir nutrientes en otras áreas de intervención de restauración con la precaución de analizar las concentraciones en ciertos elementos, sobre todo metales, para no transferir la contaminación a otros sitios.

Donde se deben aplicar: En cuerpos de agua que requieren mejorar su calidad en cuanto a contaminantes orgánicos y químicos. Puede acompañar el tratamiento de aguas residuales en los Puntos de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) u otros focos de contaminación.

Indicadores: Porcentaje de filtros funcionales y monitoreo de niveles de cargas de contaminantes, normas de las concentraciones de contaminantes en los cuerpos de agua objetos de la intervención.

Posibles actores (ejecución): GEF, MMA, Universidades, Centros de Investigación, profesionales en biotecnología o bioingeniería, en co-construcción con ONG locales u otras organizaciones comunitarias.

Referencias:

Alarcón Herrera, M. T., Zurita, F., Lara-Borero, J. A., & Vidal, G. (2018). Humedales de tratamiento: alternativa de saneamiento de aguas residuales aplicable en América Latina.

Colares, G. S., Dell’Osbel, N., Wiesel, P. G., Oliveira, G. A., Lemos, P. H. Z., da Silva, F. P., ... Machado, Ê. L. (2020). Floating treatment wetlands: A review and bibliometric analysis. *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136776>

Pavlineri, N., Skoulikidis, N. T., & Tsihrintzis, V. A. (2017). Constructed Floating Wetlands: A review of research, design, operation and management aspects, and data meta-analysis. *Chemical Engineering Journal*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.09.140>

Shahid, M. J., Arslan, M., Ali, S., Siddique, M., & Afzal, M. (2018). Floating Wetlands: A Sustainable Tool for Wastewater Treatment. *Clean - Soil, Air, Water*. Wiley-VCH Verlag. <https://doi.org/10.1002/clen.201800120>

21. Reconstruir el perfil natural del cauce

Naturaleza de la acción (Activa/Pasiva)	Continuo de la Restauración		Temporalidad
	Tipo de acción-1er nivel de alcance	2do nivel de alcance	
Activa	Mejora / repara las funciones ecosistémicas	Rehabilitación	Corto plazo

Descripción de la intervención:

Actividad restaurativa de naturaleza estructural a través de la reconstrucción de la geometría natural de cauces y ríos que han sido artificializados, el flujo canalizado y los perfiles simplificados. Tales modificaciones tienen múltiples impactos sobre los hidrosistemas y sus ecotonos ribereños (Charlton 2007): impactos físicos e hidrológicos al aumentar la inestabilidad del cauce y la escorrentía reduciendo los intercambios laterales y verticales de flujos y sedimentos, disminuyendo la recarga de los acuíferos; impactos ecológicos al simplificar y reducir la heterogeneidad y por consecuencia la diversidad de los hábitats disponibles para las especies; impactos estéticos finalmente, simplificando y artificializando el paisaje fluvial.

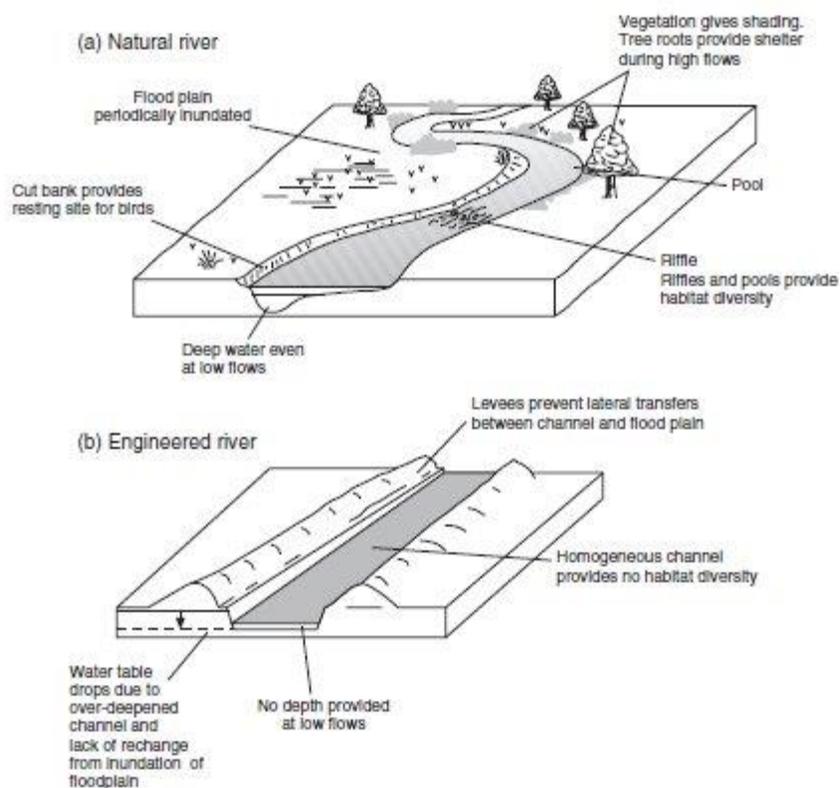


Figure 10.2 The habitat diversity provided by (a) natural and (b) engineered channels.

Figura 54: Comparación de la diversidad de hábitats entre cauces naturales (a) y cauces artificializados (b). Fuente: Charlton 2007

Modalidades de implementación / realización:

Existen varias técnicas de intervenciones que permiten recobrar cierta configuración natural de los cauces, desde la instalación de estructuras (preferentemente de materiales naturales como troncos o estructuras de madera) en el cauce para modificar localmente el hidrodinamismo y recrear de esta forma secuencias de acreción y erosión. También mediante micro ingeniería del perfil transversal del cauce y remodelación de la configuración lateral, para recobrar la geometría sinusoidal de un cauce natural (curvas de meandros y rápidos) y la disimetría del fondo del cauce. Esta última intervención requiere calcular la longitud de una secuencia natural para el tramo considerado que es función del ancho natural del cauce inundable.

Estas intervenciones deben ir en coordinación con las instituciones y organismos técnicos a cargo de la planificación y construcción de infraestructuras ligadas a la gestión de los recursos hídricos, y de obras de protección de las propiedades aledañas a los cauces.

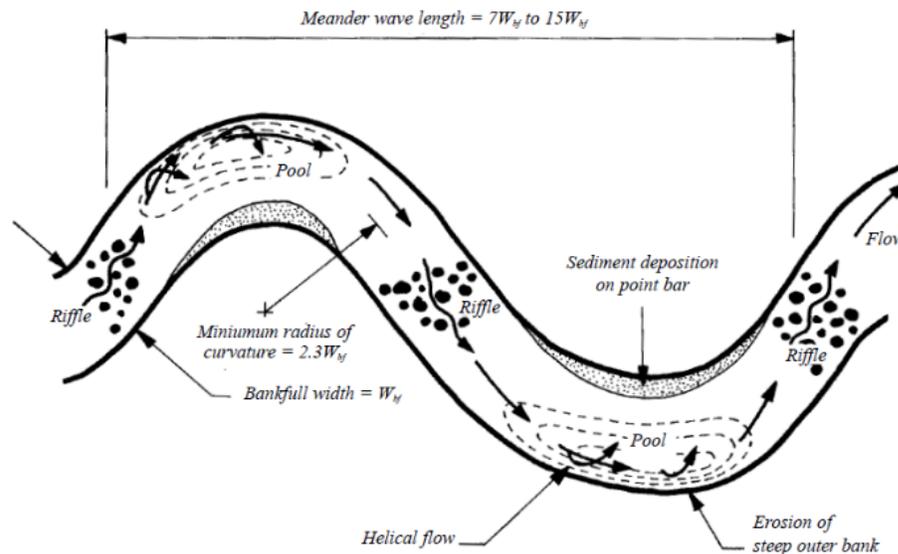


Figure 3: Meandering stream channel form.

Adapted from *Stream Analysis and Fish Habitat Design*, Newbury & Gaboury (1993).

Figura 55: Características de una unidad de meandros-rápidos. Fuente: Charlton 2007

Donde se deben aplicar:

En tramos del río donde la naturalidad ha sido drásticamente artificializada, con cauces linealizados y poca o nula factibilidad de implementar técnicas de restauración más pasivas o más drásticas: franjas ribereñas de amortiguación, recuperación de los regímenes de caudales ecológicos, o pulsos de inundaciones controlados, por ejemplo)

Indicadores:

Longitud de cauce rehabilitado (m o km)

Posibles actores (ejecución):

DOH, DGA, Juntas de vigilancia

Referencias:

Charlton, R. (2007). Fundamentals of fluvial geomorphology. Taylor and Francis. 234 pp.
<https://doi.org/10.4324/9780203371084>

22. Realizar pulsos de inundaciones controladas

Naturaleza de la acción (Activa/Pasiva)	Continuo de la Restauración		Temporalidad
	Tipo de acción-1er nivel de alcance	2do nivel de alcance	
Pasiva	Mejora / repara las funciones ecosistémicas	Rehabilitación	Corto y mediano Plazo

Descripción de la intervención:

Pulso de inundación: Se trata de un proceso ecológico natural que ocurre en cuencas de clima árido y semiárido relativo al comportamiento particular de los flujos de los cursos de agua de una cuenca dentro de un periodo de tiempo establecido. Puede verse como una unión de ondas que permiten ver cómo sale y entra el agua a su canal principal de forma repetitiva. Los extremos de estas ondas son conocidos como cresta y valle. El pulso de inundación está directamente relacionado con los periodos de lluvia y de sequía, pues es entonces cuando el agua tiende a aumentar o disminuir. Sin embargo, otro tipo de factores como la transpiración de las plantas - es decir, el proceso de evaporación en el que las plantas eliminan el agua que ya no necesitan- o los abastecimientos de las aguas subterráneas, pueden ayudar a desencadenarlo. Como medida de restauración de los regímenes de flujos naturales con impactos positivos sobre el ecosistema ribereño y la conectividad hidrológica, se propone implementar experimentos de pulsos inducidos (artificiales) en la cuenca.

Este tipo de intervención puede ser relevante en contextos de cuencas semiáridas por la variabilidad intrínseca de los regímenes de flujos, influyendo sobre sus ritmos con el propósito de facilitar la recuperación de las estructuras y funciones de los hidrosistemas y de sus servicios ecosistémicos: mejora de la calidad del agua, restauración de los hábitats ribereños y acuáticos y de su biodiversidad, con varios impactos socio económicos por la recuperación de servicios de provisión (cantidad de agua, recursos pesqueros, productividad primaria, etc).

Modalidades de implementación / realización:

Intervención sobre la dinámica de flujos de carácter experimental consistiendo en crear, realizar pulsos de inundaciones artificiales controlados, a mediana o gran escala como medida de manejo adaptativo para la restauración pasiva de los micro sistemas (Olden *et al.* 2014). Se puede realizar descargas controladas tanto en intensidad y duración de (altos) volúmenes de agua desde represas, embalses, canales. De esta forma, se puede experimentar tanto sobre los volúmenes, la variabilidad temporal, las intensidades, o efectos combinados.

Donde se deben aplicar:

Localmente en zonas donde se puede controlar el flujo, con impactos directos posibles en toda la zona inundable aguas abajo en función de la intensidad y duración del pulso creado.

Indicadores:

Corto plazo: Cambios morfológicos del cauce (fotointerpretación), balance sedimentario, y continuidad hidrológica (caudales (m³/s)); a mediano plazo cobertura de vegetación en función de los tipos (ribereño e hígrófilas)

Posibles actores (ejecución):

DGA/DOH; junta de vigilancia del Rio Elqui, propietarios y usuarios

Referencias:

Olden, J. D., Konrad, C. P., Melis, T. S., Kennard, M. J., Freeman, M. C., Mims, M. C., Williams, J. G. (2014). Are large-scale flow experiments informing the science and management of freshwater ecosystems? *Frontiers in Ecology and the Environment*. Ecological Society of America. <https://doi.org/10.1890/130076>

23. Instalar Geotextiles biodegradables

Naturaleza de la acción (Activa/Pasiva)	Continuo de la Restauración		Temporalidad
	Tipo de acción-1er nivel de alcance	2do nivel de alcance	
Activa	mejora	Rehabilitación	Corto plazo

Descripción de la intervención:

Los geotextiles biodegradables son redes, matrices, mantas, hasta celdas formando redes tridimensionales, hechas de fibras vegetales (las más comunes de yute o coco). Estas estructuras están destinadas a estabilizar suelo en pendientes, capturar sedimentos y con buena capacidad de absorción o retención de agua. Pueden ser de densidad y malla variable en función de las necesidades, de la pendiente y tipo de suelo a estabilizar. Mallas más densas permitirán retener partículas más finas y semillas de herbáceas mientras mallas más abiertas serán más adecuadas para captar partículas más gruesas y se pueden combinar con plantaciones de especies arbustivas, por ejemplo.

Modalidades de implementación / realización:

Se aplican en bandas sobre la superficie de los suelos destinados a ser estabilizados, previamente limpiados de basuras o escombros o todo material exógeno al suelo original. La sujeción se puede realizar con corchetes o grapas, o bien acompañados de estacas de madera y franjas reforzadas con entramado de ramas flexible (sauce o mimbre, por ejemplo).

Se puede combinar y acompañar la instalación con la agregación de nutrientes, materia orgánica y siembras o plántulas.

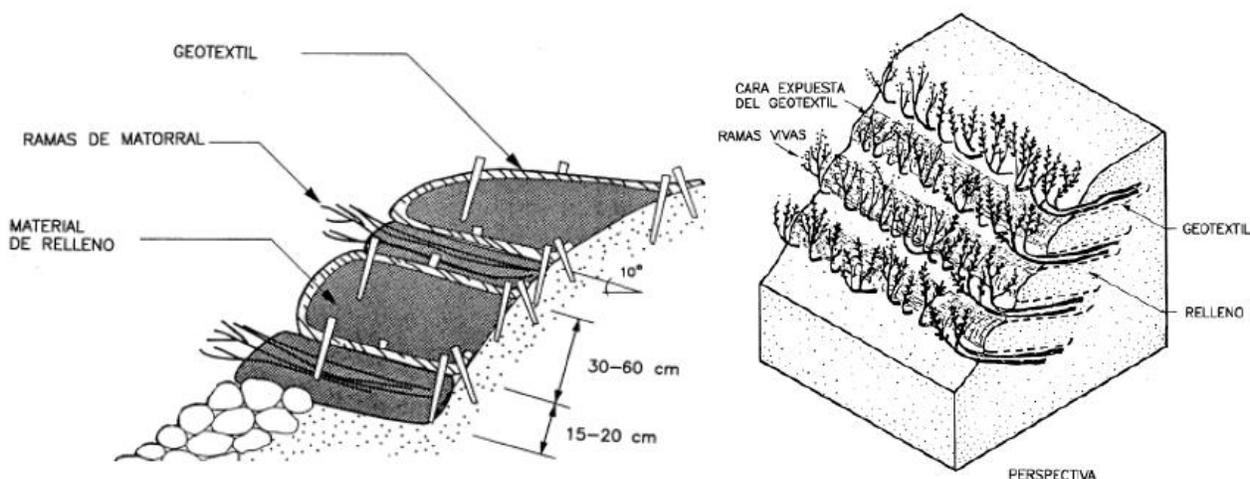


Figura 56: Ejemplo de instalación combinando mantas biodegradables y esquejes en pendientes fuertes. Fuente: Mataix 2007



<https://www.genie-ecologique.fr/restauration-ecologique-dun-cours-deau-quinze-ans-apres/>

Figura 57: Imágenes referenciales acerca de la instalación de geotextiles biodegradables para la estabilización y restauración de riberas. Fuente: www.genie-ecologique.fr

Donde se deben aplicar: En suelos degradados o desnudos con pendientes, en riberas y cuerpos de agua erosionados.

Indicadores: % de regeneración natural

Posibles actores (ejecución): GEF, MMA, ONG locales; empresas del rubro forestal y/u organismos con competencia en "ingeniería vegetal" y/o control de erosión (CONAF, INFOR, INIA, otras)

24. Aplicar técnicas de fitoestabilización asistida y/o fitorremediación

Naturaleza de la acción (Activa/Pasiva)	Continuo de la Restauración		Temporalidad
	Tipo de acción-1er nivel de alcance	2do nivel de alcance	
Activa	repara	remediación	corto y mediano plazo

Descripción de la intervención:

Parte de un conjunto de técnicas de reparación de sitios tales como los depósitos de relaves o un suelo contaminado, al dejarlos en formas inocuas para los seres vivos (no biodisponibles). En relación con los depósitos de relaves, la fitoestabilización consiste en el uso simultáneo de un tipo particular de plantas tolerantes a concentraciones elevadas de metales, denominadas metalófitas excluyentes, y de acondicionadores de sustrato adecuados para lograr la estabilización física, química y biológica de los relaves, en el marco conceptual de la rehabilitación ecológica.

De esta forma, los objetivos últimos de un programa de fitoestabilización de depósitos de relaves son:

- Inmovilizar o reducir la biodisponibilidad de los metales presentes (estabilización química). Los metales son complejados, precipitados, absorbidos (incorporados) y/o adsorbidos (adheridos en la superficie de los tejidos) por las raíces de las plantas, los microorganismos asociados a las raíces de las plantas (rizósfera) y por los acondicionadores de sustrato, donde son acumulados en formas inocuas, evitando así los efectos tóxicos sobre otros seres vivos y el lavado de elementos tóxicos a las napas freáticas.
- Prevenir la dispersión eólica e hídrica del material hacia las zonas aledañas al disminuir eficientemente el potencial de erosión de los relaves (estabilización física).
- Asegurar la auto sustentabilidad del sistema vegetal recreado artificialmente, al restituir la actividad de la microbiota encargado del ciclo de los nutrientes (estabilización biológica) y al mitigar los factores físicos (ej., compactación y mal drenaje) y nutricionales (e.j., ausencia de nitrógeno y de materia orgánica) limitantes de los relaves. Esto permite asegurar el adecuado establecimiento y crecimiento de las plantas introducidas, tanto en el corto como en el largo plazo.

Modalidades de implementación / realización:

Existen experiencias locales en la región y manuales prácticos sobre las modalidades y técnicas de implementación de intervenciones de fitoestabilización, trabajando con especies nativas bioacumuladoras (Ginocchio *et al.* 2010; UTEM-CODECIAM-CMA 2014)

Donde se deben aplicar:

En suelos muy contaminados, con volúmenes importantes de material fino exógeno, como polvos y lodos producto de desechos de procesos de actividades extractivas, cuyo retiro a corto o mediano plazo no es factible.

Indicadores:

% éxito, superficie estabilizada, % de cobertura vegetal, evolución de las concentraciones de contenidos en contaminantes en el tiempo en base a diagnóstico inicial.

Posibles actores (ejecución):

GEF HC, MMA, Empresas mineras; INIA / INFOR / CONAF; Centros de Estudio en Fito remediación y Fitoestabilización.

Referencias:

Ginocchio *et al.* 2010 -2011 – Guías de Fitoestabilización de Depósitos de Relaves en Chile. CIMM – INIA.

UTEM-CODECIAM-CMA (2014). Manejo Sustentable de Residuos Mineros. Una Nueva Tecnología para la Fitoremediación de Suelos Contaminados por Metales Pesados. Proyecto FPA NAC-IE-086-2014.

4.8 Estimación de costos de restauración

Estimaciones detalladas del costo de ejecución de las actividades propuestas se hace complejo dada la necesidad de incluir parámetros como propiedad de la tierra, superficie de los proyectos piloto, cantidad de proyectos piloto, equipo de profesionales encargados de dirigir el proceso de restauración, nivel de urgencia de implementación, etc.

De lo anterior, es que proponemos que el valor de un programa de restauración debe ser expresado en el valor de la gestión (Tabla 30) del proyecto de restauración, y el costo de cada proyecto piloto (Tabla 31). Los valores son expresados en UF para mantener actualizado el valor real de la restauración. Los datos se presentan por valor unitario, valor de la gestión a un año, y el valor de la gestión a 5 años. Lo anterior, considerando que la restauración es un proceso de largo aliento, y 5 años es un tiempo adecuado para lograr resultados en algunos proyectos piloto.

Tabla 30. Valor en UF de la gestión para implementar el proyecto de restauración. Elaboración propia.

ID	ITEMS	DESCRIPCIÓN	UF UNITARIO	UF 1 AÑO	UF 5 AÑOS
1	Profesionales				
	Director Proyecto	Encargado de dirigir el proyecto de restauración	50	600	3000
	Encargado Biodiversidad	Encargado de monitoreo biodiversidad en cada proyecto piloto	40	480	2400
	Encargado Monitoreo	Encargado del monitoreo de indicadores de éxito de los proyectos piloto	40	480	2400
	Encargado Social	Encargado de establecer alianzas entre actores, capacitaciones, etc.	40	480	2400
	Administración y logística	Encargado de administrar la ejecución del proyecto de restauración y de los aspectos logísticos del equipo a cargo	40	480	2400
2	Inversión				
	Equipos de computación	Laptop para cada profesional	100	100	100
	Equipos de biodiversidad	GPS, dron, software	250	250	250
	Equipos de monitoreo	Multiparametros, análisis de agua y otros	200	200	1000
3	Operaciones	Transporte, viáticos, y otros gastos	100	100	500
	SubTotal UF			3170	14450
4	Gastos Generales 15%			475	2168
5	Imprevistos 10%			3317	1445
	Total UF			10132	32513

Tabla 31. Costo de la implementación de cada uno de los proyectos piloto propuestos. Elaboración propia.

ACTIVIDAD	SECTOR 1			SECTOR 2		SECTOR 3			SECTOR 4			SECTOR 5		TOTAL UF POR ACTIVIDAD
	PILOTO 1	PILOTO 2	PILOTO 3	PILOTO 4	PILOTO 5	PILOTO 6	PILOTO 7	PILOTO 8	PILOTO 9	PILOTO 10	PILOTO 11	PILOTO 12	PILOTO 13	
Retiro de basura	100	120	150	200	150	100	150	180	100	100	80	80	50	1560
Descompactar suelo	125	145	160	100	150	125	100	180	100	100	80	50	150	1565
Regeneración natural	100	100	100	100	120	80	100	150	70	50	50	50	200	1270
Remover especies exóticas	100	120	120	160	160	100	120	150	120	50	50	70	70	1390
Captadores estructurales	100													100
Mulching				120	120	100	180	150	50	80	50	70	150	1070
Revegetar	100	100	150	50	50	200	200	250	75	80	40	50	250	1595
Aportar nutrientes	50	50	50	50	50	50	50	50	40	50	50	50	80	670
Recuperar perfil natural	100	100	150	200	175	150	150	200	80	180	50	100	180	1815
Geomembrana de estabilización				100	100	80	100	130	100	120	50		150	930
Cercado	200	200	200	250	250	200	250	250	100	200	150	100	250	2600
TOTAL UF POR PILOTO	975	935	1080	1330	1325	1185	1400	1690	835	1010	650	620	1530	14565

4.9 Identificación de actores claves para potenciales acuerdos y alianzas.

Primeramente, es importante señalar que estaremos refiriéndonos a los grupos de actores tal como los define la metodología ROAM, clasificándolos en 3 categorías (Fig.31):

- **Participantes primarios:** usuarios de la tierra/ dueños de la tierra/ comunidades ubicadas en la zona de interés (o aquella que tienen interés en cómo se gestiona la tierra en un área de intervención). Actores DIRECTOS (Fig. 50).
- **Participantes secundarios:** Instituciones gubernamentales, responsables de los recursos naturales, de bosques, de medio ambiente, gestión de recursos hídricos, de la tierra, etc.
- **Grupos de interés particular:** Expertos nacionales, ONG nacionales, organizaciones internacionales. Tanto del área del medio ambiente como de temas de desarrollo rural, etc.



Figura 58: Grupos típicos de participantes pertinentes según metodología ROAM. Fuente: extraído de UICN & WRI (2014).



Figura 59: Ocho principios claves de la restauración ecológica (Gann *et al* 2019). La traducción de estos 8 principios sería: 1. Involucra a las partes interesadas, 2. Se basa en muchos tipos de conocimiento, 3. Esta basada en ecosistemas nativos de referencia, aunque considera el cambio ambiental, 4. Apoya los procesos de recuperación de los ecosistemas, 5. Se evalúa en función de objetivos y metas claras usando indicadores medibles, 6. Busca el nivel más alto de recuperación posible, 7. Acumula valor cuando se aplica a grandes escalas, 8. Es parte de un continuo de actividades restaurativas.

Para la propuesta de restauración con actores claves nos hemos basado en el **Principio 1 y Principio 2** (Gann *et al.* 2019) mostrados en la Fig. 59. Destacamos algunos aspectos relevantes de estos dos principios:

- Participar en un proyecto de restauración puede ser una experiencia transformadora. Por ejemplo, comunidades que **viven dentro o cerca** de ecosistemas degradados involucradas en la restauración pueden ganar salud y otros beneficios desde la restauración que mejora la calidad del agua, la tierra, el aire y hábitats de especies nativas.
- Adicionalmente, la restauración puede **proveer en el corto y largo plazo** oportunidades de empleo para los actores locales, creando una retroalimentación ecológica y económica positiva.

- Los actores claves pueden hacer que **un proyecto se realice, así como pueden derribarlo**. Es importante reconocer las **expectativas e intereses** de los actores claves, y directamente involucrándolos es clave para asegurar que los beneficios sociales y ecológicos.
- Los actores claves pueden **ayudar a priorizar la distribución** de las acciones de restauración a través del paisaje, establecer metas del proyecto, contribuir al conocimiento de las condiciones ecológicas y patrones sucesionales, e incluso involucrarlos en monitoreo participativo.
- Al hacer restauración ecológica, se deben considerar todos los tipos de saberes y conocimientos. No solo integrar el conocimiento ecológico (científico), sino que también considerar e integrar conocimiento ecológico local y conocimiento tradicional local.
- El mejor conocimiento disponible deberá informar el diseño e implementación de la restauración ecológica y contribuir al manejo adaptativo.



Figura 60: Criancero de Quebrada de Talca, abril 2021 identificado dentro de los actores primarios. Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta la **Tabla de sistema social de 5 estrellas** (Fig. 52 y **Anexo 8**) para evaluar el progreso hacia objetivos sociales en proyectos de restauración (Gann *et al.* 2019). Acá se mencionan algunos atributos a considerar como sugerencias en el proceso de restaurar:

- **Involucramiento de actores:** número de actores claves involucrados y en qué fase (planificación/implementación).
- **Distribución de los beneficios:** cómo se distribuyen los beneficios del proyecto en las comunidades, se deben considerar elementos de tradición cultural.

- **Enriquecimiento del conocimiento:** Integrar diferentes fuentes de conocimiento existente.
- **Economía sustentable:** Aportar e integrar modelos de negocios y mejora de la economía local a través de la restauración
- **Bienestar de la comunidad:** cómo se beneficia la comunidad de la restauración del ecosistema (recreación).

En la tabla del sistema social en una escala del 1 al 5, donde 5 es la situación ideal, estaremos apuntando a lograr un punto medio de 3 o 2 estrellas (Fig. 33). En la realidad local hay ciertas limitaciones de tipos de accesos a los recursos hídricos o de la tierra, que impiden lograr alcanzar la situación ideal de 5 estrellas. La tabla completa y traducida al español se encuentra en **Anexo 8**.

Atributos	**	***
Participación de actores relevantes	Actores clave en labor de apoyo, e involucrados en la fase de planificación del proyecto.	Número de actores relevantes, apoyo e involucramiento en aumento al inicio de la fase de implementación.
Distribución de beneficios	Beneficios para comunidades locales iniciando e igualdad de oportunidades mantenida. Elementos culturales tradicionales integrados, según corresponda, en la planificación del proyecto.	Beneficios a locales en nivel intermedio e igualdad de oportunidades mantenida. Todos los elementos culturales tradicionales bien asegurados dentro de la implementación del proyecto.
Enriquecimiento del conocimiento.	Fuentes relevantes de conocimiento existente (y potencial para nuevo conocimiento) informan la planificación del proyecto y el diseño del monitoreo.	Fase de implementación utilizando todo el conocimiento relevante, retroalimentaciones de actores relevantes y resultados preliminares del proyecto.
Capital natural	Sistemas de manejo de tierra y agua se traducen en un bajo nivel de recuperación y conservación del capital natural del sitio.	Sistemas de manejo de tierra y agua se traducen en un nivel intermedio de recuperación y conservación del capital natural (incluyendo una mejora en el balance de carbono).
Economías sustentables.	Modelos de negocio y empleo sustentables iniciados.	Modelos de negocio y empleo sustentables en fase de prueba.
Bienestar de la comunidad.	Todos los participantes se identifican y probablemente se benefician de la mejora en vínculos sociales y sentido de pertenencia.	Muchos actores relevantes probablemente se benefician de la mejora en vínculos sociales, sentido de pertenencia, y del retorno de servicios ecosistémicos, incluyendo recreación.

Figura 61: Síntesis de la Tabla de sistema social de 5 estrellas presentada por Gann (2019) sobre la importancia del sistema social en la restauración y los diferentes niveles y atributos claves para realizar una restauración socialmente adecuada. Fuente

Estrategias transversales

- Las propuestas deben considerar una gran diversidad de actores: comunidades locales, científicos, tomadores de decisiones y propietarios de la tierra para reparar el daño ecológico y reconstruir una relación saludable entre las personas y la naturaleza.
- Los principios y estándares para la práctica de la restauración ecológica proponen que es **importante involucrar efectivamente** una amplia variedad de actores claves, y usar todos los conocimientos disponibles (científicos, tradicional, y local) (Principios 1 y 2).
- La restauración ecológica es parte de un **largo set de prácticas de manejo de ecosistemas** designadas a conservar, y cuando es necesario, a usar de manera sustentable los ecosistemas nativos.
- Es importante realizar una buena identificación de los actores a participar en la restauración, según lo expuesto en la Figura 31, para que la participación sea equilibrada para garantizar un análisis rico en conocimientos y experiencias, y tome en cuenta los diferentes puntos de vista.
- Mientras más temprano se informe o involucre a los actores las estrategias existe mayor posibilidad de éxito en la implementación de las acciones de restauración.

A continuación, se describen diferentes vías para mantener a los actores claves debidamente informados en todo el proceso.

1. **Comunicados escritos:** La comunicación escrita asegura la información de manera permanente y fácil de transmitir. Se proponen dos vías de comunicación escrita:
 - a. **Boletín bianual:** Documento simple, de fácil lectura, acompañado de gráficas y fotografías. Informa los avances, resultados y siguientes etapas del proyecto. Se sugiere una frecuencia de 2 veces al año. Se debe asegurar que el documento se entregue a todos los grupos de actores mencionados en la Fig. 34.
 - b. **Manual de buenas prácticas:** De manera más puntual, se requerirá elaborar manuales de buenas prácticas asociados a acciones concretas dentro de las actividades de restauración. Los manuales de buenas prácticas son destinados a públicos específicos, ejemplo de ello puede ser manual de buenas prácticas de remoción de escombros, manejo de aguas servidas, etc. Estos manuales pueden ir acompañados de capacitaciones para mejorar la transmisión de la información.
2. **Reuniones grupales o individuales:** deben considerarse instancias de reunión regular con los actores identificados. De tipo informarles y hacerles partícipes desde el principio del proceso. Si las reuniones grupales no son posibles, buscar formas de reunión individual o programar visitas de modo de que estén con la información actualizada. Al grupo de actores secundarios, se pueden informar a través de reuniones con menos frecuencia (1-

- 2 veces al semestre). Sin embargo, es igualmente importante mantenerlos informados regularmente.
3. **Talleres de educación ambiental:** Realizar instancias de educación ambiental en torno a la restauración del humedal, destinadas a la comunidad general (usuarios del humedal, turistas, etc.), como también a público específico. A realizar 1-4 veces al año.
 4. **Monitoreo:** Un elemento importante en las propuestas de restauración es monitorear las acciones de restauración en el tiempo, y una manera efectiva de sensibilizar a la comunidad y comprometerla es hacerlas partícipes del monitoreo. Los actores involucrados en el monitoreo pueden ser diversos, desde escuelas, universidades, ONGs, comunidad en general, hasta comunidades agrícolas o ganaderas. El monitoreo debe ser diseñado y planificado con los actores que llevan la acción, idealmente integrando a los actores que harán el monitoreo desde el comienzo.
 5. **Capacitaciones:** Para los monitoreos se deben realizar capacitaciones a los actores destinatarios. Las capacitaciones son esenciales para asegurar un adecuado monitoreo. La frecuencia estará acotada a las necesidades del monitoreo.

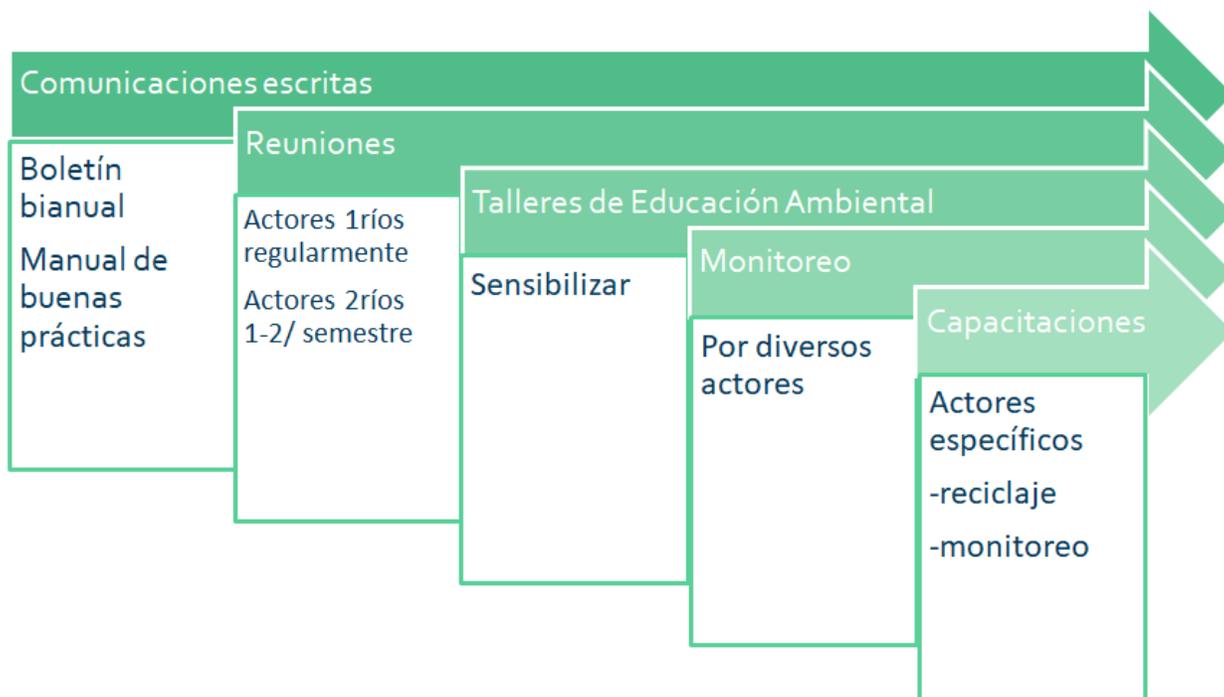


Figura 62: Actores claves en un proceso de restauración, según metodología ROAM UICN & WRI (2014).

4.10 Análisis e identificación de brechas de información

Se realizó un análisis de vacíos de información siguiendo la metodología del Modelo de congruencia de Nadler y Tushman (1997), adaptado a la realidad de esta consultoría.

En planificación, el concepto de “brecha” se refiere a la diferencia entre la situación actual y la situación deseada futura. Para el caso de este proyecto, el concepto de brecha se refiere a la información identificada y deseada para un óptimo proceso de restauración. Las brechas de información identificadas para este proceso de restauración ecológicas fueron sistematizadas y se pueden agrupar en los siguientes aspectos clave: a) **Ingeniería**, que permitirá determinar el balance y dinámica de flujos en el río Elqui; b) **Paisaje**, que permitirá conocer la dinámica ecológica de los sectores a restaurar (espacio/tiempo) poniendo a los tomadores de decisiones en la capacidad de establecer el punto al que se quiere restaurar con indicadores de filtro grueso; c) **Biodiversidad**, que permitirá tener los indicadores de filtro fino para realizar el monitoreo del éxito de las medidas adoptadas; d) **Gestión/Gobernanza**, que permitirá conocer el marco jurídico y los instrumentos de política pública (catastro, propiedad de la tierra), útiles para fomentar y contextualizar acciones de restauración, así como las herramientas de gestión (caudal ecológico) para una implementación efectiva; e) **Capacidades**, que permitirán la articulación de los temas anteriormente descritos. Para cada brecha identificada se propone una estrategia y una meta.

Trabajar y llenar estas brechas contribuirá no solamente a consolidar el proceso de restauración sino también en aumentar los niveles y metas entorno a los beneficios sociales: involucramiento de actores, capital natural, enriquecimiento de los conocimientos, redistribución y equitatividad de los beneficios, sustentabilidad de las economías locales, bienestar de las comunidades (ver Gann *et al.* 2019).

Tabla 32. Análisis de “brechas” identificadas y analizadas en información para el óptimo proceso de restauración del Humedal Costero del río Elqui y sus subcuencas aportantes.

TIPO / CATEGORÍA	ESTADO ACTUAL	BRECHA	ESTRATEGIA	ESTADO ESPERADO
INGENIERÍA	Escasa información del flujo de sedimentos en subcuencas aportantes	Se desconoce el balance y dinámica de los flujos de sedimentos en las subcuencas aportantes de del humedal, comprometiendo la toma de decisiones en cuanto a posibles medidas de restauración de la conectividad en el ecotono entorno al humedal costero del Río Elqui	Generar estudios de balance y dinámica sedimentario en las subcuencas aportantes a través de consultorías o convenios con universidades	Para el 2025 la información generada sobre el balance y dinámica de flujos de sedimentos permite tomar decisiones para restaurar la conectividad en el humedal
PAISAJE	Desconocimiento de ecosistemas de referencia (Espacio - Tiempo).	Para avanzar en el continuo de restauración ecológica hacia metas de recuperación de ecosistemas nativos, existe dificultad para determinar ecosistemas de referencia pertinentes en las subcuencas aportantes en espacio y tiempo. Esto debido a los niveles de perturbación encontrados y a la ausencia de diagnósticos a la escala pertinente.	Elaborar una base de datos con sitios que presenten un paisaje similar o ecosistemas de referencia (ecosistemas nativos) al que se pretende restaurar (contexto espacial: McDonald et al 2016) y sistematizar la información del cambio del paisaje en una línea de tiempo. Esta estrategia bajo el enfoque de la hipótesis de perturbación intermedia (Connell 1978) y sucesión comunitaria (Cowles 1889).	Para el 2025 se cuenta con una matriz de datos que incluye los ecosistemas de referencia para la restauración del humedal, así como, la reconstrucción del paisaje en una línea de tiempo.
	Escasos estudios de ecología del paisaje en las subcuencas.	Se desconoce las dinámicas de cambios de usos de suelo, fragmentación/conectividad de hábitats clave y métricas de paisaje en la subcuenca a restaurar. Se debe disponer de indicadores relevantes de filtro grueso.	Financiar la investigación de la ecología del paisaje en la subcuenca involucrando las brechas identificadas, ojalá al corto plazo.	Para el 2025 existen al menos cinco estudios que redujeron la brecha de conocimiento que proponen los indicadores de filtro grueso (métricas de paisaje) necesarios para el monitoreo de la restauración.

	Poca integración de la dimensión geológica y geomorfológica en los procesos de conservación y restauración.	Existe poca integración o consideración de las dimensiones y procesos geológicos y geomorfológicos como variables a integrar en procesos de conservación, evaluación de servicios ecosistémicos, herramienta como insumo para el manejo adaptativo entorno al efecto del cambio climático. Gan et al. (2019) y Gordon & Barron (2010) indican que la comprensión y la integración de la geodiversidad en procesos de conservación ayudaría a construir mejores estrategias para el manejo de las respuestas de los ecosistemas ante futuros impactos, guiar manejo adaptativo, y contribuir a la restauración de ecosistemas; esto a través de la comprensión de dinámismos y conectividad temporal y espacial de los procesos geomorfológicos y de los suelos. (Brazier <i>et al.</i> 2012).	Buscar incentivar e involucrar / integrar profesionales del área de las ciencias de la Tierra en procesos de conservación y restauración.	Para el 2025 se espera que parte de los equipos dedicados a la restauración estén integrados por geólogos, geógrafos, geomorfológicos.
BIODIVERSIDAD	Desconocimiento de especies clave y especies ingenieras en la subcuenca.	Existen vacíos en la identificación de especies claves e ingenieras para los principales ecosistemas y/o hábitats (paisaje) dentro de las subcuencas aportantes (concepto de meta comunidad: Leibold et al 2004/Degradación trófica: Estes et al. 2011).	Promover estudios que determinen cuáles son estas especies, sus dinámicas poblacionales en la subcuenca/humedal y subcuencas aledañas.	Para el 2025 se tienen identificadas las especies clave e ingenieras que aporten a la restauración ecológica del humedal y faciliten el monitoreo del éxito de las medidas adoptadas.
	Carencia de un plan local de control/erradicación de especies invasoras/exóticas/introducidas.	A excepción de los permisos de caza del SAG, no existe un plan dirigido a controlar/erradicar la presencia de especies invasoras/exóticas/introducidas (flora y fauna) en el humedal y sus subcuenca aportantes.	Convocar a los sectores especializados, en coordinación y asesoría con los organismos pertinentes para la elaboración de un plan local que permita controlar/erradicar las especies invasoras/exóticas/introducidas tanto de flora como de fauna.	Para el 2025 se cuenta con un plan de control/erradicación de especies invasoras/exóticas/introducidas (flora y fauna).

	Escasa viverización de especies nativas.	Existe escasa oferta de especies nativas de procedencia local viverizadas en la comuna/provincia (existe un solo proveedor de especies nativas locales en la provincia según catastro de CONAF).	Generar la sinergia entre actores institucionales relacionados con la conservación ex-situ de recursos vegetales nativos (INIA, Intihuasi, CONAF), las empresas de viveros ubicados en la comuna o en comunas aledañas y otros actores territoriales pertinentes (municipio, comunidades agrícolas, etc.), a través de capacitaciones, convenios, colectas de semillas, etc.	Para el 2024 se cuenta con un catastro de proveedores (viveros) de especies vegetales nativas en la comuna/provincia. Igualmente, se debería promover con INDAP y CONAF por ejemplo, la existencia de nuevos proveedores de especies nativas.
	Red de monitoreo de cantidad y calidad de agua aún insuficiente	La red de estaciones de monitoreo <i>in situ</i> de parámetros de cantidad y calidad de aguas superficiales y subterráneas es insuficiente a escala de las subcuencas aportantes y del Humedal Costero del Río Elqui, lo que imposibilita detectar cambios en los parámetros en relación con sus amenazas sobre los cuerpos de agua, con eficiencia. Además, no existe en la cuenca sitios o estaciones de monitoreo con el uso de indicadores biológicos, aun existiendo estudios puntuales que proponen sitios de monitoreo en la cuenca (como macro invertebrados bentónicos, macrófitas, etc.)	Replantear el diseño y red de monitoreo con base en hipótesis de cambio en los parámetros evaluados. Ubicar las estaciones de monitoreo de cantidad y calidad de agua a largo plazo en sitios estratégicos (diseño metodológico que responda a la hipótesis de monitoreo: Hatch 2003; Spellerberg 2005) dentro de las subcuencas aportantes. Incluir herramientas de monitoreo en base a Índices Bióticos (Carrera y Fierro 2001; Figueroa et al. 2003; 2007). Coordinar las iniciativas GEF, DGA, Futura norma secundaria de calidad de aguas, entre otras.	Para el 2024 se cuenta con un diseño de monitoreo y una red de estaciones de muestreo, adicionales a los existentes, que responden a una hipótesis y diseño de monitoreo para determinar cambios en la calidad y cantidad de agua en relación con las amenazas identificadas, sobre la cuenca o al menos, el humedal.
GESTION / GOBERNANZA	Inexistencia del valor del caudal ecológico/ambiental para la subcuenca y el humedal	Se desconoce el caudal ecológico/ambiental en sectores claves dentro de las subcuencas aportantes e incluso a escala de cuenca. Este dato es un insumo esencial para poder tomar decisiones en torno a la restauración de regímenes de flujos naturales, conectividad hidrológica y gestión sustentable del agua. A pesar de existir una legislación en torno a caudales mínimos y estudios piloto en las cuencas del semiárido chileno, que podrían adaptarse al contexto de la cuenca del Río Elqui, esta brecha persiste.	Establecer alianzas estratégicas y convenios con actores de la gestión del agua (juntas de vigilancia, DGA, DOH, universidades, centros de investigación, ONG´s), para gestionar e impulsar estudios relacionados a la determinación de caudal ecológico/ambiental a escala de subcuencas aportantes y de toda la cuenca del Río Elqui.	Para el 2025 se conoce el valor estimado del caudal ecológico/ambiental al menos para los sectores propuestos a ser restaurados (Quebrada de Talca desembocadura del río Elqui).

	<p>Escaso involucramiento de propietarios/usuarios en la subcuenca para la restauración.</p>	<p>Se identifica un poco o nulo nivel de involucramiento por parte de los propietarios (usuarios, privados) en aportar a la restauración del humedal considerando que usan e impactan directa o indirectamente sobre ecosistemas claves: rubros relacionados con actividades extractivas, actividades agroindustriales, urbanización y parcelación, etc., lo cual representa una amenaza para el éxito y eficiencia de la restauración a escala de paisaje.</p>	<p>Desarrollar un programa de involucramiento entorno a estos actores clave, basado en el entendimiento de sus intereses propios y su visión de los servicios ecosistémicos (recursos): Gestión de riesgos, costo-beneficios, disponibilidad a pagar. Acompañar con sensibilización, estrategias de involucramiento de actores privados, para ampliar el territorio disponible para efectos de implementaciones de restauración.</p>	<p>Para el 2026, 60% de los propietarios/usuarios se involucran directamente con el proceso de restauración, al menos de los sectores seleccionados entre Quebrada de Talca y la bocana del río Elqui.</p>
	<p>Deficiente delimitación de la propiedad estatal y privada (Catastro).</p>	<p>Se desconoce los límites exactos de los terrenos/parcelas (plano catastral). Límites de la propiedad privada, incoherencia en los datos catastrales, espaciales y legales, disponibles en sectores de propiedad pública, lo cual genera conflictos y/o desvinculación de responsabilidades entre los actores institucionales involucrados (Municipio, Bienes Nacionales, Servicio de Impuestos Interno, etc.), lo que reduce la oportunidad de actuar a corto plazo.</p>	<p>Subsanar las incoherencias catastrales entorno a la propiedad pública/privada. Evaluar la factibilidad a mediano-largo plazo de adquirir fideicomisos de tierras ("land trusting") por parte de algún actor clave, es decir, parcelas estratégicas para lograr metas de restauración a escala de paisaje.</p>	<p>Para el 2030 existe un plano catastral con los límites de la propiedad inmobiliaria, que ubica, describe y registra las características físicas de cada propiedad.</p>
CAPACIDADES	<p>Desconocimiento de la oferta de capacidades técnicas específicas (oficios) en contexto de restauración ecológica.</p>	<p>Se desconoce la oferta y capacidades técnicas disponibles o intereses de profesionales / emprendedores locales en capacitarse para realizar obras, implementaciones, monitoreos requeridos en los procesos de restauración.</p>	<p>Realizar un catastro de capacidades técnicas requeridas entorno a la implementación de acciones / intervenciones de restauración (Arquitectos paisajistas, constructoras, ingeniería forestal, oficios tradicionales entorno a la construcción, etc.) en la provincia / región. Interés de actores potenciales en capacitarse. Incluir actores cuyas actividades laborales pueden estar relacionados con conocimiento y prácticas tradicionales de relevancia o vinculados a conocimientos ecológicos locales que se podrían transmitir</p>	<p>Para el 2023, existe un catastro de profesionales capacitados para efectuar implementaciones y acciones de restauración.</p>

			(gestión tradicional agropecuaria, agroecología, técnicas de construcciones tradicionales en base a recursos vernáculos: pircas y muros de piedra en seco, construcciones en adobe, mimbres, etc.).	
COMENTARIO	Trabajar y llenar estas brechas contribuirá no solamente a consolidar el proceso de restauración sino también en aumentar los niveles y metas entorno los beneficios sociales: involucramiento de actores, capital natural, enriquecimiento de los conocimientos, redistribución y equitatividad de los beneficios, sustentabilidad de las economías locales, bienestar de las comunidades (ver SER Standards 2019).			

5. DISCUSION

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 (GEF Humedales Costeros)”, busca la conservación y usos sostenibles de los ambientes acuáticos costeros, abordando la problemática bajo un esquema de cuencas.

Entre las acciones del Proyecto GEF Humedales está la de identificar y priorizar áreas de restauración ecológica para el humedal, como también la de proponer acciones de restauración del Humedal Costero del Río Elqui, y sus subcuencas aportantes, tomando en consideración principios de buena gobernanza, aplicando el conocimiento científico, saberes tradicionales y considerando aspectos de innovación tecnológica.

La restauración de ecosistemas relevantes como los humedales es prioritaria dada la velocidad del deterioro y pérdida de superficie por unidad de tiempo. No solo es importante detener los forzantes del deterioro ambiental, también se hace necesario revertir el deterioro, encaminando los ecosistemas a través del continuo recuperativo hacia estados que aseguren su viabilidad futura.

Cuando se trata de ecosistemas valiosos como los humedales, que forman parte de los centros urbanos se convierte además en una oportunidad de trabajo colaborativo entre ciudadanos y los gobiernos locales, y una oportunidad de enseñanza sobre el manejo de ecosistemas. El actual escenario de presión antrópica sobre humedales costeros, y los efectos del calentamiento global convierten en un imperativo ético de las sociedades actuales.

El presente estudio ha generado las bases técnicas y conceptuales para poder implementar actividades restaurativas a escala del paisaje del Humedal Costero Río Elqui y sus subcuencas aportantes. De concretarse las medidas propuestas, sin dudas se propiciará un mejoramiento de la funcionalidad ecosistémica del humedal y de los servicios ecosistémicos que provee, aumentando así la resiliencia del territorio y las comunidades humanas frente al cambio climático y otros factores de degradación.

Hemos propuesto medidas a escala pertinente para explorar métodos a costos prudentes, de modo que de no darse resultados positivos tener la opción de usar el concepto de “manejo adaptativo”, y reformular las medidas de restauración. Los proyectos piloto que estamos proponiendo son una medida que puede asegurar poner a prueba las acciones propuestas, permitiendo aumentar la escala de las intervenciones de ser necesario.

La restauración ecológica es una disciplina que requiere unir la técnica con la planificación entre usuarios del territorio, y dada su relevancia para la conservación a escala global es que el gobierno de Chile, a través del Ministerio de Medio Ambiente, y otros organismos gubernamentales buscan poner en marcha ejemplos de restauración de ecosistemas relevantes del país, y en este caso, de los humedales costeros.

El régimen de propiedad del área donde está el Humedal Costero del Río Elqui hace necesario la existencia de un organismo coordinador del proceso de restauración, que sea capaz de convocar y organizar a los diversos actores públicos, ciudadanos y privados. Especialmente relevante es lograr que los propietarios privados, como también los que sin ser propietarios realizan actividades productivas (areneros) se integren a la meta de recuperar la calidad ambiental del Humedal Costero del Río Elqui.

Por lo que la restauración del humedal debe ser un proceso ampliamente participativo, convocado por actores relevantes, que organicen la restauración con base científica, pero cuyas decisiones estén basadas en el concepto de “manejo adaptativo” para facilitar el rediseño de las medidas en el caso de no observar cambios en la calidad del sistema restaurado.

6. CONCLUSIONES

Este proyecto ha permitido concluir que respecto a la restauración del Humedal Costero Río Elqui:

- La situación actual del Humedal Costero Río Elqui es variada en diversidad, intensidad y origen de los factores de impacto del humedal. La desembocadura muestra elevada presión antrópica, pero a medida que se aleja hacia el sector de Alfalfares, Altovasol, y finalmente la Quebrada de Talca esta presión cambia de intensidad y variedad por lo que no es factible aplicar la misma estrategia de restauración a lo largo del sitio de trabajo.
- Existe información técnica, que junto a la generada por este proyecto nos permiten iniciar prontamente un programa de restauración del Humedal Costero Río Elqui.
- Existe un grupo de actores sociales, académicos, privados y gubernamentales capaces de diseñar y ejecutar una iniciativa de restauración. La restauración, dada la complejidad de factores de impacto, y los diversos actores involucrados en los destinos del área de este proyecto permiten definir como estrategias de gobernanza criterios de manejo integrado de recursos y el territorio.
- Este estudio propone 5 sectores donde se recomienda enfocar algunas intervenciones precisas de restauración. La priorización ha surgido de la revisión de la información disponible, y del 1er Taller con los actores claves, los que participativamente definieron los 5 sectores donde enfocar los trabajos de restauración. Como parte de los criterios de selección estaba la posibilidad real de implementar las medidas propuestas.
- Se propone que estas intervenciones se realicen en base a proyectos piloto, acompañado de una cartera de 25 acciones de restauración con la mira a poder escalar, ampliar o adaptar en función de las evaluaciones futuras.
- Los costos de estos proyectos piloto pueden ser abordados a nivel gubernamental.

7. REFERENCIAS

Brazier V., Bruneau PMC, Gordon JE., Rennie AF. (2012). Making Space for Nature in a Changing Climate: The Role of Geodiversity in Biodiversity Conservation

Canales, M. (2006). "Metodologías de investigación social. Introducción a los oficios". Ediciones LOM. Santiago. Chile.

Carrera, C. y Fierro, K. 2001. Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. EcoCiencia. Quito.

Cepeda-Pizarro, J. (2008). Los sistemas naturales de la cuenca del Río Elqui (Región de Coquimbo, Chile): Vulnerabilidad y cambio del Clima. (J. CEPEDA-PIZARRO, Ed.). Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile.

Chambers, R., Corbett, J., McCall, M., Olson, R., Muchemi, J., Kyem (2006). Mapping for change: Practice, Technologies and Communication. London.

Connell, J. H. 1978. Diversity of tropical rainforests and coral reefs. *Science*, 199:1304-1310

Cowles, H.C. 1899. The ecological relations of the vegetation on the sand dunes of Lake Michigan. *The Botanical Gazette* 27:95-117

Estes, J.A., J. Terborgh, JS Brashares. 2011. Trophic Downgrading of Planet Earth. *Science* 333, 301-306.

Everard, M. (Institution of E. S., Waters, R., & Institution of Environmental Sciences. (2013). Ecosystem services assessment: How to do one in practice, (October), 34 pp.

Figueroa, R., Suarez, M. L., Andreu, A., Ruiz, V. H., & Vidal-Abarca, M. R. (2009). Caracterización ecológica de humedales de la zona semiarida de Chile Central. *Gayana*, 73(1), 1–9. <https://doi.org/0717-652X>

Figueroa, R., A. Palma, V. Ruiz y X. Niell. 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*. Chile.

Figueroa, R., C. Valdovinos, E. Araya y O. Parra. 2003. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. Chile.

GRASS Development Team, 2017. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 7.2. Open Source Geospatial Foundation. Electronic document: <http://grass.osgeo.org>

Gann, G. D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C. R., Jonson, J., ... Dixon, K. W. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology*, 27(S1), S1–S46. <https://doi.org/10.1111/rec.13035>

Gordon JE., & YF Barron (2010). El papel de la geodiversidad en la presentación de servicios y beneficios de los ecosistemas de Escocia. *Revista Escocesa de Geología* 49 (1): 41-58.

Hatch, S.A. 2003. Statistical power for detecting trends with applications to seabird monitoring. *Biological Conservation*, 111(3): 317-329.

Leibold, M. A., M. Holyoak, N. Mouquet, P. Amarasekare, J. M. Chase, M. F. Hoopes, R. D. Holt, J. B. Shurin, R. Law, D. Tilman, M. Loreau & A. Gonzalez, 2004. The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. *Ecology Letters* 7: 601–613.

McDonald, T., Gann, G.D., Jonson J. y Dixon, K.W. 2016. International standards for the practice of ecological restoration—including principles and key concepts. Society for Ecological Restoration, Washington, D.C.

MMA (2018). Plan Nacional de Protección de Humedales 2018-2022. 33 pp.

Morris A., Jankowski P. (2005) Spatial Decision Making Using Fuzzy GIS. In: Petry F.E., Robinson V.B., Cobb M.A. (eds) *Fuzzy Modeling with Spatial Information for Geographic Problems*. Springer, Berlin, Heidelberg.

Nadler, D. y Tushman, M. (1997). *Competing by design: The power of organizational architecture*. New York: Oxford University Press

Paine D. & Kiser J. Eds. (2012) *Aerial Photography and Image Interpretation*. Third Edition. John Wiley and Sons. 637 pp.

Peh, K. S.-H., Balmford, A., Bradbury, R. B., Brown, C., Butchart, S. H. M., Hughes, F. M. R., Birch, J. C. (2013). TESSA: A toolkit for rapid assessment of ecosystem services at sites of biodiversity conservation importance. *Ecosystem Services*, 5, 51–57. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.06.003>

QGIS Development Team (2017) QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>

Rocchini, D., Petras, V., Petrasova, A., Chemin, Y., Ricotta, C., Frigeri, A., Neteler, M. (2017). Spatio-ecological complexity measures in GRASS GIS. *Computers & Geosciences*, 104, 166–176. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.05.006>

Salafsky N, Salzer D, Stattersfield AJ., Hilton-Taylor C, Neugarten R, Butchart SHM, Collen B, Cox N, Master LL, O'Connor S & Wilkie D (2008). A Standard Lexicon for Biodiversity Conservation: Unified Classifications of Threats and Actions. *Classifications of Threats & Actions*, DOI: 10.1111/j.1523-1739.2008.00937.

Secretaría de la Convención de Ramsar (2006). Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971), 4a. edición. Gland (Suiza)

SNIT. (2017). Aplicación de Normas Chilenas de Información Geográfica. Documento técnico. Segunda Versión. 394 pp.

Spellerberg, I.F. 2005. *Monitoring Ecological Change*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 391pp.

Tabilo, E. (2004). El Beneficio de los Humedales en la región Neotropical. Centro Neotropical de Entrenamiento en Humedales, La Serena, Chile, 73 pp.

Tabilo, E. (1996). Patrones del paisaje en los humedales de Costa Rica: Implicancias para su conservación y manejo. Tesis de Magister Scientieae del Instituto Internacional de Conservación y Manejo de Vida Silvestre (ICOMVIS) de la Universidad Nacional de Costa Rica.

Tabilo, E. R. Jorge, R. Riquelme, A. Mondaca, C. Labra, J. Campusano, M. Tabilo, M. Varela, A. Tapia & M. Sallaberry. 1995. Management and conservation of the habitats used by migratory shorebirds at Coquimbo, Chile. *International Waders Studies* 8: 79-84.

Tabilo, E., Burmeister, J., Chávez, C. & C. Zuckler (2016). Humedales y aves migratorias en la costa árida del Pacífico sudamericano. Etapa 1. Centro Neotropical de Entrenamiento en Humedales y Manfred Hermsen Stiftung. 93 pp.

Talley, J. L., Schneider, J., & Lindquist, E. (2016). A simplified approach to stakeholder engagement in natural resource management: The Five-Feature Framework. *Ecology and Society*, 21(4). <https://doi.org/10.5751/ES-08830-210438>

The Conservation Measures Partnership. (2017). Estándares abiertos para la práctica de la conservación, Versión 3.0. Conservation Measures Partnership (CMP). Agencia para el Desarrollo Internacional (USAID) de los Estados Unidos. 39 pp.

UICN & WRI (2014). Guía sobre la Metodología de evaluación de oportunidades de restauración (ROAM): Evaluación de las oportunidades de restauración del paisaje forestal a nivel nacional o subnacional. Documento de trabajo (edición de prueba). Gland, Suiza: UICN. 125 pp