



UNIVERSIDAD DE CHILE

CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Fundación de la Universidad de Chile

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

Versión 1

Solicitado por

SEREMI Región de Coquimbo, Ministerio del Medio Ambiente



Santiago de Chile
Septiembre de 2017

INFORME FINAL

Revisión n°: 1

Fecha: 29 de septiembre de 2017

Nombre del Estudio: **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.**

ID N° 612228-1-LE17

Realizado por Unidad de Biodiversidad, Centro Nacional del Medio Ambiente

Revisado por SEREMI del Medio Ambiente, Región de Coquimbo.

Equipo de Trabajo

Rodrigo Ramos Jiliberto

Alejandro Palma I.

Valentina Escanilla J.

Mauricio Carter M.

Nahuel Canelo.

Unidad de Biodiversidad, Centro Nacional del Medio Ambiente.

Contraparte Técnica

Sergio Troncoso

Carolina Cordero

SEREMI del Medio Ambiente, Región de Coquimbo.

Contenido

RESUMEN EJECUTIVO	7
INTRODUCCIÓN.....	8
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos	9
Características generales de la cuenca del Elqui.....	10
METODOLOGÍA GENERAL DEL ESTUDIO.....	13
Metodología Objetivo 1: Realizar un Diagnóstico de la información físicoquímica y biológica en las cuencas de los ríos Elqui, Huasco, Limarí y Choapa. Incluye en la cuenca del río Elqui una identificación de las principales presiones.....	13
Información físicoquímica y biológica.....	13
Identificación de las principales presiones.....	15
Identificación de Servicios Ecosistémicos.....	16
Metodología Objetivo 2: Realizar un análisis multivariante con la información de las cuatro cuencas.	18
Metodología Objetivo 3: Seleccionar estaciones de referencia en la cuenca del río Elqui.	19
Metodología Objetivo 4: Realizar propuesta de Tablas de Clases de Calidad de agua, donde especifiquen si la calidad del agua es buena, regular, o mala para la cuenca del río Elqui.	20
RESULTADOS DEL ESTUDIO.....	21
Resultado Objetivo 1: Realizar un Diagnóstico de la información físicoquímica y biológica en las cuencas de los ríos Elqui, Huasco, Limarí y Choapa. Incluye en la cuenca del río Elqui una identificación de las principales presiones.....	21
Información físicoquímica y biológica.....	21
Identificación de las principales presiones.....	25
Identificación y valoración de SS.EE.....	29
Resultado Objetivo 2: Realizar un análisis multivariante con la información de las cuatro cuencas.	35

Cuenca del Elqui:	35
Cuenca del Choapa:.....	38
Cuenca del Limarí:.....	38
Cuenca del Huasco:	41
Resultado Objetivo 3: Seleccionar estaciones de referencia en la cuenca del río Elqui.	44
Resultado Objetivo 4: Realizar propuesta de Tablas de Clases de Calidad de agua, donde especifiquen si la calidad del agua es buena, regular, o mala para la cuenca del río Elqui.	45
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	51
REFERENCIAS.....	53

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo constituye el informe final, el cual incluye el desarrollo de un total de cuatro objetivos presentados en este documento, y que corresponden a la evaluación de la biota y la fisicoquímica de las cuencas de los ríos Elqui, Huasco, Limarí y Choapa, además de seleccionar estaciones de referencia y establecer una tabla con propuesta de calidad de agua para la cuenca del Elqui.

Se ha recopilado una base de datos fisicoquímica y biológica, eliminado datos dudosos, y outliers. Una vez se tiene la base de datos corregida, se ha aplicado un análisis multivariante para correlacionar la biota a la fisicoquímica, con el fin de obtener un diagnóstico de las mismas.

Se obtuvo información fisicoquímica para las cuatro cuencas evaluadas, pero no se obtuvo información biológica para el Choapa. Al respecto se evidencia que existen pocos estudios desarrollados que consideren ambos elementos en un muestreo conjunto para todas las cuencas en este estudio.

La correlación entre parámetros fisicoquímicos y biológicos es consistente con evidenciar las siguientes familias como mejores predictores de buena calidad de agua y ecológica: Leptophlebiidae, Gripopterygidae, Elmidae, Hyalellidae, Hydrobiosidae, Hydropsychidae, Leptoceridae, Athericidae, Sericostomatidae, razón por la cual su presencia sustenta el establecer estaciones de referencias donde se les encuentre en conjunto.

Al respecto, las estaciones que fueron seleccionadas para ser consideradas referencias basadas en la información de bioindicadores para la cuenca del Elqui fueron las que se encontraban en río Claro, río Derecho y río Cochiguaz, todas en sus partes altas, correspondientes a las cercanas a las nacientes. Basados en las estaciones de referencia, se establecieron las clases de calidad que se proponen para la cuenca del Elqui, con la cual se evaluó la calidad de la cuenca para los años 2016 y 2017 obteniéndose como resultado que es mayoritariamente de regular a buena.

Se recomienda utilizar siempre a los bioindicadores como una herramienta de evaluación ambiental paralela a la evaluación fisicoquímica, de modo de asegurar que la norma esté protegiendo a la biota de la cuenca en evaluación, y la información resultante sirva como insumo para tomar medidas de gestión adecuadas.

INTRODUCCIÓN

Las normas secundarias de calidad ambiental son una valiosa herramienta para la conservación de la biodiversidad de especies, por lo cual ante la declaración de zonas latentes o saturadas, la elaboración e implementación de Planes de prevención y descontaminación deben estar asociados a recuperación, conservación y gestión de especies y la puesta en marcha de medidas para su preservación. Las normas secundarias de calidad ambiental son aquellas que establecen los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos, permisibles de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la protección o conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza (Decreto Supremo N° 38/2013 MMA).

Objetivo general

Realizar un análisis de la relación entre los datos fisicoquímicos y los datos biológicos en cuencas seleccionadas de la región de Atacama y Coquimbo, con énfasis en el río Elqui para apoyar la elaboración de anteproyecto de las normas secundarias de calidad ambiental (NSCA) para las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Elqui.

Objetivos específicos

- a) Realizar un Diagnóstico de la información fisicoquímica y biológica en las cuencas de los ríos Elqui, Huasco, Limarí y Choapa. Incluye en la cuenca del río Elqui una identificación de las principales presiones.
- b) Realizar un análisis multivariante con la información de las cuatro cuencas.
- c) Seleccionar estaciones de referencia en la cuenca del río Elqui.
- d) Realizar propuesta de Tablas de Clases de Calidad de agua, donde especifiquen si la calidad del agua es buena, regular, o mala para la cuenca del río Elqui.

Características generales de la cuenca del Elqui

La cuenca hidrográfica del río Elqui se sitúa entre los paralelos 29°35' y 30°20' de latitud sur, en el sector septentrional de la IV Región de Coquimbo. Su extensión es de 9.826 Km². A una altura de 815 m., a 2 Km. aguas arriba de Rivadavia se unen los ríos Turbio, que viene desde el oriente y el río Claro o Derecho que proviene del sur, dando origen al río Elqui.

Desde Rivadavia, a 75 Km. de La Serena, el río principal se desarrolla casi en dirección E-W y prácticamente no recibe afluentes, salvo varias quebradas de considerable desarrollo, pero normalmente secas y que sólo le aportan agua en caso de lluvia directa en los años muy húmedos. Normalmente, un área cercana a 3.900 Km², no participa del comportamiento hidrológico del Elqui. Por la ribera norte las quebradas más importantes son Marquesa y Santa Gracia, que confluyen en su curso medio e inferior, respectivamente. Por el sur, recibe las quebradas San Carlos, Arrayán y Talca, aparte de otras menores.

El río Turbio se forma 43 Km. aguas arriba de Rivadavia y a 1.370 m., de la unión de los ríos Toro y La Laguna, drenando un área de 4.196 Km². A partir de la confluencia de sus tributarios, toma rumbo al NW y a la altura del pueblo de Guanta, describe un gran arco para definir un rumbo final N-S, que es la prolongación del rumbo que trae la quebrada tributaria del Calvario. El río Claro o Derecho nace también en la alta cordillera y su único afluente es el río Cochiguaz. El área drenada es de 1.512 Km², y toma rumbo N-S con una longitud de 65 Km.

División político-administrativa: se encuentra en la IV región de Coquimbo, abarcando la provincia de Elqui y las comunas de La Serena, Coquimbo, Andacollo, La Higuera, Paiguano y Vicuña. La cuenca posee una superficie de 980.059 Ha equivalentes al 24% de la Región.

Clima: En la cuenca se presentan tres tipos de climas: el Estepárico costero o Nuboso, Estepa Cálido y Templado Frío de Altura. El primero de ellos se presenta a lo largo de toda la costa. Su influencia llega hasta el interior hasta 40 Km., por medio de los valles transversales y quebradas. Su mayor característica es la abundante nubosidad; humedad, temperaturas moderadas, las cuales no presentan grandes contrastes térmicos diarios. El segundo tipo de Estepa Cálido se sitúa en el valle del río Elqui, donde la influencia oceánica tiende a desaparecer, por sobre los 800 m. y se caracteriza por la ausencia de nubosidad y sequedad del aire. Sus temperaturas son mayores que en la costa, las precipitaciones no son tan abundantes y los períodos de sequía son característicos. Por

último, el clima Templado Frío de Altura se localiza en la Cordillera de Los Andes sobre los 3.000 m. con características de altas precipitaciones, temperaturas bajas, fuertes vientos y nieves permanentes que constituyen un aporte significativo de agua en el período estival.

Actividad económica: principalmente se desarrollan actividades mineras y agrícolas. La actividad agrícola, se desarrolla en el Valle del río Elqui, donde sus principales cultivos son los de papaya, palta, chirimoya, higo, durazno y uva. Esta actividad ha dado origen a importantes plantas disecadoras de frutas y de producción de licores, como pisco, aguardiente y vino. En la cuenca existen dos cooperativas agrícolas que extraen su materia prima de las uvas tipo moscatel, Capel Ltda. y la Cooperativa Agrícola Control Pisquero de Elqui Ltda. La zona también es ampliamente utilizada para el pastoreo de ganados caprinos, bovinos y caballares. Con respecto a la actividad minera de la cuenca, se puede decir que después del cierre de operaciones de la faena El Indio, la minería a nivel industrial se sitúa principalmente en Talcuna, Lambert y Andacollo. En Talcuna operan tres mineras que son Cía. Minera Linderos, Cía. Minera San Gerónimo y Cía. Minera Talcuna. En Lambert opera la Cía Minera San Gerónimo y en Andacollo operan la Cía. Minera Carmen de Andacollo (cobre) y la Cía. Minera Dayton (oro).

Geología y Volcanismo: Todos los cauces se encuentran sobre formaciones geológicas constituida por depósitos no consolidados y rellenos de depósitos fluviales; gravas, arenas y limos del curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas subactuales y llanuras de inundación. Los alrededores de los cauces presentan una amplia variedad de formaciones geológicas, siendo las más importantes desde el punto de vista de calidad de agua, las siguientes: sector Quebrada Santa Gracia y La Caleta, Quebrada Marquesa, Quebrada Las Cañas, Quebrada San Carlos, sector entre límite de la subcuenca de Quebrada Marquesa con la Quebrada Chacal, Quebrada Los Loros, Quebrada Uchumi, Quebrada Vega Negra, sector río Cochiguaz y San Andrés y sector estero Guanta. No existe influencia volcánica en esta cuenca.

Hidrogeología: En la parte alta de la cuenca, destaca la existencia de permeabilidad muy baja debido a la existencia de rocas metamórficas y sedimentarias, volcánicas y plutónicas e hipabisales del período paleozoico motivo por el cual el escurrimiento subterráneo ocurre paralelo a los cauces. Destacan claramente tres escurrimientos: uno en dirección ESW paralelo al río Turbio hasta el poblado de Rivadavia con una profundidad promedio de 45 m. y productividad de 50 m³/h/m. Este acuífero escurre a través de rocas de permeabilidad muy baja encauzándose paralelo al río Turbio. En dirección Sur a Norte por un lecho de rocas Plutónicas escurren aguas subterráneas paralelas al río Claro o Derecho hasta la confluencia con el Turbio en Rivadavia. Desde

Rivadavia hasta la desembocadura en La Serena el acuífero escurre en dirección EW, por depósitos no consolidados o rellenos con profundidades freáticas que varían de los 17 a los 3 metros, encajonados por rocas sedimentario – volcánicas de muy baja productividad. En este sector del valle, el acuífero freático que se extiende ininterrumpidamente a lo largo de todo el valle, sólo muestra un leve grado de semiconfinamiento en el sector terminal (La Serena). Dicho acuífero presenta valores de transmisividad variables entre 4.200 y 100 m²/día, estimándose como valor medio unos 500 m²/día. Existe un último acuífero que escurre en dirección NSW paralelo a la cordillera de la Costa por rocas volcánico – sedimentarias del período cretácico, para juntarse al flujo subterráneo principal en las cercanías de la Serena. En la parte alta de la subcuenca del río La Laguna existe un glaciar llamado El Tapado, tiene una superficie de 3,6 Km² y su importancia desde el punto de vista hidrológico es su capacidad de almacenamiento de agua.

Usos del suelo: El uso agrícola en la cuenca comprende una superficie de 23000 Ha cultivables equivalentes al 3% de la superficie total. Según el Censo Agropecuario de 2007, alrededor de 20.479 Ha están destinadas a cultivos anuales y permanentes y la superficie restante corresponde a praderas sembradas. Los terrenos agrícolas se presentan principalmente a lo largo del valle del río Elqui aguas abajo de la localidad de Vicuña hasta la desembocadura en La Serena. Estos terrenos se presentan únicamente en áreas aledañas a las terrazas fluviales de este cauce, mayoritariamente entre la localidad del Almendral y ciudad de La Serena. En el sector alto del río (nacimiento en la confluencia de los ríos Turbio y Claro o Derecho) la superficie de terrenos de agrícolas es muy reducida pero, se logra desarrollar una pequeña superficie en algunos sectores del río Claro o Derecho y el río Cochiguaz afluente de este último. El sector agrícola más extenso e importante se localiza en las comunas de Coquimbo, La Serena y Vicuña.

Con respecto al uso de suelo de tipo urbano se puede decir que es reducido, comprende pueblos, ciudades e industrias y sólo alcanza el 0,03% de la superficie total. La población urbana se concentra principalmente en la ciudad de La Serena y las localidades de Vicuña y Andacollo, pero el centro urbano más importante de la cuenca es la ciudad de La Serena que se encuentra emplazada en la zona costera en la desembocadura del río Elqui.

La superficie de la cuenca destinada a la actividad minera, es reducida (menor a 156,25 Ha) pero de gran importancia económica. Existen numerosos yacimientos mineros cupríferos de pequeña envergadura distribuidos principalmente a lo largo de todo el cauce del río Elqui (aguas abajo de la localidad de Vicuña) y también localizados en la zona norponiente y surponiente de la cuenca.

METODOLOGÍA GENERAL DEL ESTUDIO

Metodología Objetivo 1: Realizar un Diagnóstico de la información fisicoquímica y biológica en las cuencas de los ríos Elqui, Huasco, Limarí y Choapa. Incluye en la cuenca del río Elqui una identificación de las principales presiones.

Revisar y actualizar toda la información disponible desde la literatura.

Información fisicoquímica y biológica

Utilizando distintas bases de datos (ver Tabla 1, archivos de consultorías, tesis y trabajos científicos disponibles en instituciones, servicios estatales y en la red) se recopilará información biológica y ecosistémica, incluyendo los parámetros fisicoquímicos e hidrológicos de las distintas áreas de la cuenca del río Elqui, así como de las fuentes de descargas puntuales y difusas.

Tabla 1. Base de datos a utilizar en este estudio con sus respectivas URL. (Fuente: elaboración propia)

Buscador web	URL
ISI web of Science	http://thomsonreuters.com/
Scopus	http://www.scopus.com/
Scielo	http://www.scielo.cl/
Google Académico	http://scholar.google.es/
Dirección General de Aguas (DGA)	http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes
Servicio de Evaluación Ambiental (SEA)	http://seia.sea.gob.cl/

Adicional a lo anterior se incluirán documentos entregados por la contraparte y aquellos que CENMA posea en su base de datos y biblioteca actual.

Análisis de los parámetros físicos y químicos.

Una vez recopilada y sistematizada toda la información, se realizan dos análisis previos para seleccionar aquella información con datos confiables.

1. Análisis cualitativo: la información recopilada se filtra primeramente según cumplimiento de los siguientes criterios básicos:

- i. Se reportan sus coordenadas geográficas
- ii. Se reporta la fecha precisa de la toma de cada dato
- iii. Se reporta la unidad de medida de cada parámetro

Aquella información que no cumpliera con todos los requisitos anteriores no es incluida en la base de datos consolidada.

2. Análisis cuantitativo: la segunda etapa de validación de la información consiste en la identificación de posibles datos anómalos (outliers), provenientes de eventuales errores de medición o transcripción de datos. Para la detección de outliers (datos extremos), utilizamos el método de Boxplot Ajustado (Vanderviere and Huber, 2004). Este método se basa en estadísticos de rangos (mediana, cuartiles) y no asume normalidad ni simetría en la distribución de las variables. Por lo anterior, este método es apropiado en general para datos donde se espera una distribución de frecuencias sesgada (Seo, 2006). De acuerdo a este método, se identifican como outliers aquellas observaciones que escapan del rango $[L, U]$, dado por:

$$[L, U] = [Q1 - 1.5 \times \exp(-3.5MC) \times IQR, Q3 + 1.5 \times \exp(4MC) \times IQR] \text{ si } MC \geq 0$$
$$= [Q1 - 1.5 \times \exp(-4MC) \times IQR, Q3 + 1.5 \times \exp(3.5MC) \times IQR] \text{ si } MC \leq 0,$$

donde $Q1$ y $Q3$ son cuartiles 1 y 3, IQR es el rango intercuartil = $Q3 - Q1$ y MC es una medida robusta de la asimetría de la distribución de observaciones, dada por:

$$MC(x_1, \dots, x_n) = med \frac{(x_j - med_k) - (med_k - x_i)}{x_j - x_i},$$

en que med_k es la mediana del conjunto de valores de la variable y , x_j , x_i son observaciones que cumplen $x_i \leq med_k \leq x_j$ y $x_i \neq x_j$.

Para aquellos casos en que no pudo ser aplicado este método, donde por extrema redundancia de valores la mediana fue igual a los cuartiles 1 y 3, aplicamos el método de la desviación estándar, donde las observaciones que escapan del rango $[L, U] = \bar{x} - 3DE, \bar{x} + 3DE$ son consideradas *outliers*, con \bar{x} y DE siendo el promedio y la desviación estándar del conjunto de observaciones, respectivamente.

Análisis de los parámetros biológicos

Una vez recopilada y sistematizada toda la información biológica de los distintos taxa, se verifica su trazabilidad y coherencia con información científica publicada y bien respaldada, con la finalidad de reconocer anormalidades tales como registros de especies que nunca han sido descritas para la región (entre otras). Con esta información se procederá a realizar los objetivos siguientes, razón por la cual es fundamental minimizar posibles errores.

Identificación de las principales presiones.

En base a las actividades económicas registradas en la cuenca del Elqui, se establecen las actividades económicas desarrolladas. Para ello, se realizó una búsqueda web de las siguientes palabras claves: “actividades económicas cuenca río Elqui”, “sectores económicos cuenca río Elqui”, “generación electricidad cuenca río Elqui”, “industria alimentos cuenca río Elqui”, “calidad de agua cuenca río Elqui”.

El conjunto de actividades económicas resultante se clasifica en categorías de actividades económicas tales como: 1) Agricultura y ganadería (incluye silvoagropecuaria), 2) Urbano e industrial (incluye empresas, turismo, plantas de tratamientos), 3) Celulosa, 4) Minería, 5) Extracción de áridos, 6) Industria de alimentos 7) Generación Eléctrica. De esta forma

se crea una caracterización de cada una de las actividades y los parámetros fisicoquímicos de descarga asociados a estas presiones para la cuenca basados en un listado de parámetros físico-químico desarrollado por nuestro equipo en la licitación “Estudio para la actualización de antecedentes técnicos para desarrollar la norma secundaria de calidad para la protección de las aguas continentales en la cuenca del río Aconcagua, región de Valparaíso”. Este producto da cuenta de los diferentes parámetros físico-químicos que se monitorean en las descargas líquidas provenientes de diversas empresas de acuerdo a los decretos supremos D.S. 90/1996 y D.S 609/1998, clasificación que se basa en parámetros físico-químicos establecidos por decreto a nivel nacional, razón por la cual es aplicable a toda cuenca del país y permite un mejor manejo de la información contenida en ella.

Una vez identificados los sectores económicos, se seleccionaron los set de parámetros, conformando un único listado para la cuenca del río Elqui.

Identificación de Servicios Ecosistémicos

Para la identificación de servicios ecosistémicos (SS.EE.) en la cuenca del río Elqui, se considera oportuno y relevante dar a conocer en esta actividad, el desarrollo y resultados de una metodología aplicada por nuestra Unidad en la licitación “Generación y complementación de información base para la elaboración de los AGIES relacionados con recursos hídricos. Aplicación práctica en la cuenca del río Elqui y en la cuenca del río Mataquito”. Este estudio se realizó entre los años 2015 y 2016, y la aplicación práctica llevada a cabo en la cuenca del río Elqui tuvo como objetivo principal la identificación y mapeo de los diferentes servicios ecosistémicos asociados al recurso hídrico. La metodología utilizada se puede consultar en detalle en el estudio adjuntado como anexo, sin embargo, a continuación se mencionan aspectos generales y relevantes de dicha metodología, lo cual además justifica de manera adecuada la incorporación al presente estudio.

Para recabar información sobre los servicios ecosistémicos presentes en la cuenca, se utilizó información proveniente de dos tipos de fuente de datos: i) información secundaria recopilada principalmente a través de documentos e información contenida en páginas web acordes a la temática, y ii) datos recopilados de dos talleres participativos realizados en las ciudades de: La Serena y Vicuña. Esta última fuente de información fue determinante para poder llevar a cabo la identificación y el mapeo de los SS.EE. debido a la cantidad de información que proporcionaron los asistentes invitados al taller. Es por ello

que los resultados expuestos en este estudio se basan solamente de este ejercicio aplicado.

Los talleres se realizaron con diversos invitados seleccionados a partir de los tipos de beneficiarios de servicios ecosistémicos identificados a nivel de cuenca, a quienes se les pidió reconocer aquellos servicios ecosistémicos de los cuales son beneficiarios directos y ponerlos en orden de mayor a menor importancia. Esto permitió realizar un ranking de SS.EE. de acuerdo al número de veces que fue identificado un cierto SS.EE. a través del Índice de Saliencia (Ecuación 1).

Ecuación 1:

$$S_{ji} = \frac{(n_i - r_{ij} + 1)}{n_i}$$

Donde r corresponde a la posición del ranking del SS.EE. j y n al número total de SS.EE. Así, el índice de saliencia general corresponde al promedio de las saliencias entre los grupos que participaron en los talleres. Este índice puede tomar valores de 0 a 1, donde un valor cercano a 1 indica que el Servicio Ecosistémico fue mencionado más veces, en posiciones más altas del ranking.

Información final:

Con toda la información se crea una base de datos con toda la información disponible y recopilada hasta el año 2016.

Metodología Objetivo 2: Realizar un análisis multivariante con la información de las cuatro cuencas.

Con la información sistematizada del objetivo uno, se realizará para cada cuenca análisis multivariantes. La metodología a utilizar es ampliamente reconocida en publicaciones científicas, la cual consiste en realizar análisis estadísticos exploratorios (análisis de correspondencia) y/o confirmatorios (análisis de correlación canónica), además de otros análisis estadísticos adecuados que fuera necesarios, de acuerdo a las distribuciones obtenidas de datos (Bonada 2004, CENMA. 2012), utilizando los paquetes estadísticos PAST y R Software, consensuando los mismos con la contraparte técnica. Mediante estos análisis estadísticos se compararán los resultados obtenidos en las cuencas, obteniendo un diagnóstico de las mismas.

Metodología Objetivo 3: Seleccionar estaciones de referencia en la cuenca del río Elqui.

Las estaciones de referencia necesariamente deben considerar el componente biológico existente, tanto en su diversidad como en la información reconocida de su historia de vida y niveles de tolerancia a las perturbaciones (indicadores biológicos).

Debido a que el grupo con mayor desarrollo en el área han continuado siendo los macroinvertebrados bentónicos por sobre los otros grupos acuáticos, será el grupo utilizado también para esta etapa del estudio. Para lo anterior se utilizarán índices bióticos de presencia y ausencia de especies reconocidas como no tolerantes a las perturbaciones según cada grupo taxonómico cuando sea posible, siguiendo la literatura científica para ello. La literatura en Chile ha desarrollado el uso de Bioindicadores mediante las familias de macroinvertebrados bentónicos, donde se utilizan los índices ChBMWP, y ChSIGNAL (Figuroa et al. 2007), utilizando la puntuación de tolerancia de las familias del mencionado trabajo. El primero de ellos (ChBMWP) ha sido adaptados para la cuenca del Elqui por nuestro equipo consultor (CENMA 2012) en el trabajo para el MMA titulado: “Campaña de monitoreo y Evaluación del Estado Ecológico de 10 Cuencas hidrográficas de Chile”, razón por la cual tenemos un valioso punto de partida para continuar con este indicador biológico en el sitio de estudio de esta propuesta, razón por la cual será el índice utilizado para definir las estaciones de referencia. Mediante la técnica de bioindicación se establecen los sitios de mejor calidad ecológica basados en aquellos que obtienen mayor puntaje en el índice BMWP, seleccionándose aquellas estaciones que obtienen desde 75 puntos hacia arriba. Esto permite obtener las estaciones con mayor potencial ecológico, taxa sensibles a perturbaciones y por tanto son determinadas como estaciones de referencia. Basadas en estas estaciones se determinan los valores de la físico-química necesarios para la protección de la vida acuática, convirtiéndose en una herramienta fundamental en la detección y control de perturbaciones en un determinado ecosistema.

Metodología Objetivo 4: Realizar propuesta de Tablas de Clases de Calidad de agua, donde especifiquen si la calidad del agua es buena, regular, o mala para la cuenca del río Elqui.

A partir de la información recopilada y validada, se establecen 5 clases de calidad para la cuenca y para cada parámetro seleccionado. Esto se realiza en base una metodología de pasos:

1. Establecer las estaciones de mejor calidad que sirven de referencia para la cuenca. (Objetivo 3 de este trabajo)
2. Siguiendo a la EPA y DMA, se calculan los percentiles 50 y 95 de la(s) estación(es) de referencia, i.e. de mejor calidad en la cuenca (“mejor caso”) y el percentil 95 de los datos históricos para obtener la peor calidad registrada (“peor caso”). Con ello se obtienen los valores fisicoquímicos para las clases 1, 2 y 4. La clase tres se obtiene de promediar las clases 2 y 4. La clase cinco son los valores que superen la clase 4 (ver figura 1)
4. La clasificación resultante es contrastada para las clases 1 y 2 con la información biológica disponible en trabajos de bioensayos y literatura general y de Bioindicadores (CENMA 2012), de modo de establecer niveles que aseguren una clase de calidad que proteja el mayor porcentaje de la biota posible

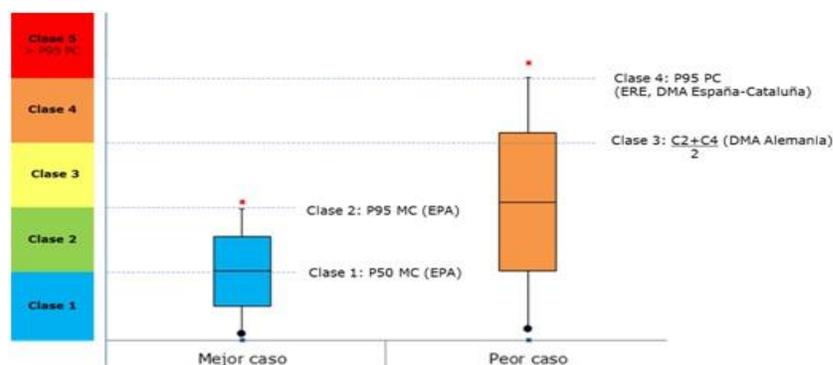


Figura 1. Metodología de determinación mediante percentiles de mejor y peor caso (Fuente: EPA, DMA).

RESULTADOS DEL ESTUDIO

Resultado Objetivo 1: Realizar un Diagnóstico de la información fisicoquímica y biológica en las cuencas de los ríos Elqui, Huasco, Limarí y Choapa. Incluye en la cuenca del río Elqui una identificación de las principales presiones.

Información fisicoquímica y biológica

Basados en la metodología expuesta se hizo una recopilación bibliográfica a la cuales se le aplicaron criterios de selección para que los datos pudieran ser incorporados y utilizados. Estos resultados se muestran en las siguientes tablas (Tabla 2 a Tabla 5).

Cada base de dato se adjunta en una planilla “Excel” con el respectivo nombre de la cuenca (ejemplo: Limari.xlsx)

La recopilación bibliográfica entregó una gran base fisicoquímica, pero una base biológica acotada, donde la mayor deficiencia fue encontrar datos biológicos que coincidan en tiempo y espacio con datos fisicoquímicos, de modo que puedan ser correlacionados y utilizados en un análisis estadístico (por ejemplo multidimensional).

Tabla 2. Fuentes de búsquedas y selección para la cuenca del Huasco. (Fuente: elaboración propia)

Cuenca	Buscador	Primer filtro	Segundo filtro	Útiles	Cumplen con todo
Huasco	Isi web	Huasco (57)	-	Strauch et al. 2009 (geo, MC y FQ)	
				Alvial et al. 2013 (prom MC)	
				Marquez-García et al. 2009 (FQ sin coordenadas)	
	Google academic	Huasco (5.570)	Macroinvertebrados (67)	Cea 2009 (MC) Alvial et al. 2013 (prom MC)	Orth et al. 2009 (MC y FQ)
			Orth et al. 2009 (MC y FQ)		
			Fisicoquímicos (86)	Orth et al. 2009 Strauch et al. 2009 (geo)	Orth et al. 2009 (MC y FQ)

Mc= Presenta información sobre macro invertebrados

FQ= Presenta información sobre parámetros físicoquímicos

Geo= No hay coordenadas de los lugares de muestreos, sin embargo presenta imagen que se puede georeferenciar

Prom= Datos son presentados como promedios, pueden ser usados de apoyo

Tabla 3. Fuentes de búsquedas y selección para la cuenca del Elqui. (Fuente: elaboración propia)

Cuenca	Buscador	Primer filtro	Segundo filtro	Útiles	Cumple con todo
Elqui	Isi web	Elqui (93)	-	Oyarzún et al., 2006, 2006b, 2007 Y 2013 (FQ) Flores et al. 2017 (prom FQ) Alvial 2012 y 2012b (prom, hay Geo) Riberiro et al. 2014 (Prom FQ) Espejo et al. 2012 (pro FQ)	
	Google académico	Elqui (5880)	Macroinvertebrados (34)	Cepeda-Pizarro et al. 2015 (usa prom, FQ y MC) Alvial 2012 y 2012b (prom MC)	
			Fisicoquímicos (101)	Cepeda-Pizarro et al. 2015 (prom FQ) Cade-idepe 2004 (no hay mes) LAFUENTE 2011 (Proyecto caminar: FQ) Ribeiro 2013 (prom FQ) Alvial 2012 (prom FQ)	LAFUENTE 2011 (Proyecto caminar: FQ)

Mc= Presenta información sobre macro invertebrados

FQ= Presenta información sobre parámetros fisicoquímicos

Geo= No hay coordenadas de los lugares de muestreos, sin embargo presenta imagen que se puede georeferenciar

Prom= Datos son presentados como promedios, pueden ser usados de apoyo

Tabla 4. Fuentes de búsquedas y selección para la cuenca del Limarí. (Fuente: elaboración propia)

Cuenca	Buscador	Primer filtro	Segundo filtro	Útiles	Cumplen con todo
Limarí	Isi web	Limarí (50)	No aplica	Oyarzún et al. 2015 (geo, FQ)	
				Oyarzún et al. 2006 (geo, FQ)	
	Google academic	Limarí (4460)	Macroinvertebrados (60)	Carvacho 2012 (MC presentes)	
			Fisicoquímicos (78)	Carvacho 2012 (Promedio FQ)	

Mc= Presenta información sobre macro invertebrados

FQ= Presenta información sobre parámetros físicoquímicos

Geo= No hay coordenadas de los lugares de muestreos, sin embargo presenta imagen que se puede georeferenciar

Prom= Datos son presentados como promedios, pueden ser usados de apoyo

Tabla 5. Fuentes de búsquedas y selección para la cuenca del Choapa. (Fuente: elaboración propia)

Cuenca	Buscador	Primer filtro	Segundo filtro	Útiles	Cumplen con todo
Choapa	Isi web	(30)	No aplica	Ninguno	
	Google academic	(3180)	Macroinvertebrados (39)	Ninguno	
			Fisicoquímicos (94)	Ninguno	

Mc= Presenta información sobre macro invertebrados

FQ= Presenta información sobre parámetros físicoquímicos

Geo= No hay coordenadas de los lugares de muestreos, sin embargo presenta imagen que se puede georeferenciar

Prom= Datos son presentados como promedios, pueden ser usados de apoyo

Identificación de las principales presiones

De acuerdo a los estudios Pérez (2005) y Cade-Idepe (2004) los principales sectores económicos que se relacionan con el recurso hídrico y su calidad son:

- Agrícola
- Industria
- Minería
- Agua potable

Adicional a lo anterior, la información recopilada en Decreto 1613/2005, Junta de Vigilancia del río Elqui (2010) y acuerdos de producción limpia en la región, justifica la presencia de las actividades: extracción de áridos, generación eléctrica e Industria de alimentos.

De acuerdo a la información anterior y basados en lo desarrollado en (CENMA 2015), las fuentes de contaminación agrupadas en actividades económicas para la cuenca del Elqui se reporta en la siguiente tabla.

Tabla 6. Parámetros fisicoquímicos agrupados en torno a las principales categorías de actividades económicas del Elqui. (Fuente: CENMA 2015).

Minería	Urbano-Industrial	Agricultura y ganadería	Extracción de áridos	Industria Alimentos	Generación eléctrica
Ag	Al	Cl ⁻	Cl ⁻	Cl ⁻	Cd
As	As	CT	N(NO ₃)	CT	Cr
B	B	DQO	NT	DQO	Cu
Cd	Cd	DBO ₅	PT	DBO ₅	DQO
Cl ⁻	Cl ⁻	Grasas	PO ₄ ⁻³	Grasas	DBO ₅
CT	CN	NT	NO ₃ ⁻	NT	Hg
Cu	Cr	N-NH ₄		PT	Ni
DQO	CT	PT		N-NH ₄	Pb
DBO ₅	Cu	PO ₄ ⁻³		PO ₄ ⁻³	SO ₄
Fe	D.Q.O	NO ₃ ⁻		NO ₃ ⁻	Zn
Grasas	DBO ₅				NT
Hg	Grasas				PT
Mn	Hg				PO ₄ ⁻³
Mo	Mn				NO ₃ ⁻
Ni	Ni				
CN ⁻	N-NH ₄				
PT	NT				
NT	Pb				
N-NH ₄	PT				
PO ₄ ⁻³	PO ₄ ⁻³				
NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻				

Dentro de las actividades económicas desarrolladas en la cuenca, actividades tales como el turismo ha sido incorporado en Urbano-Industrial y la Silvicultura en Agrícola-Ganadero por poseer parámetros de afectación asociados a los mismos y no diferenciables para incluirlos en una categoría adicional.

Considerando los seis rubros o sectores económicos mencionados anteriormente, el listado de parámetros de interés para ser monitoreados en las estaciones de la red hídrica se incluye en la siguiente tabla:

Tabla 7. Lista de Parámetros fisicoquímicos resultante de principales categorías de actividades económicas del Elqui. (Fuente: elaboración propia).

Sigla Parámetro fisicoquímico	Nombre Parámetro fisicoquímico
Ag	Plata
Al	Aluminio
As	Arsénico
B	Boro
Cd	Cadmio
Cl ⁻	Cloruro
CN	Cianuro
Cr	Cromo
CT	Coliformes Totales
Cu	Cobre
DBO ₅	Demanda Biológica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
Fe	Hierro
Grasas	Grasas
Hg	Mercurio
Mn	Manganeso
Mo	Molibdeno
NO ₃	Nitratos
Ni	Niquel
N-NH ₄	Nitrógeno Amoniacal
NT	Nitrógeno total
Pb	Plomo
PO ₄ ⁻³	Fosfato
PT	Fosforo total
SO ₄ ⁻²	Sulfatos
Zn	Zinc

Es importante considerar que algunos parámetros fisicoquímicos resultan fundamentales o básicos para determinar el estado general de la calidad de las aguas en las estaciones de monitoreo de una cuenca (Tabla 8). La evaluación de estos parámetros básicos se propone debido a que puede ser realizada de manera rápida y expedita con instrumental adecuado y de manera in situ, lo cual tiene ventajas en los costos, rapidez en la entrega del dato y pronta determinación o diagnóstico de la calidad del agua. Además los parámetros: 4, 7, 8 y 11, pueden ser utilizados para el cálculo de un índice integrado de evaluación rápida que es propuesto por la EPA, River pollution Index (EPA, 2010).

Tabla 8. Parámetros fundamentales para evaluar alteración de las aguas.

#	Parámetro	Justificación
1	CE	Conductividad Eléctrica: Evalúa la cantidad de iones y equilibrio químico existente en el agua y que puede afectar a la biota. Un exceso indica vertidos antrópicos por productos químicos como sales o metales.
2	COD	Carbono Orgánico Disuelto: Evidencia la fracción disuelta de materia orgánica, alterando las propiedades ópticas del agua, provocando efectos en la visión de organismos, la capacidad de fotosíntesis del sistema y la penetración de radiación ultravioleta.
3	COT	Carbono Orgánico Total: Evalúa el contenido orgánico total en diversos estados de oxidación. Es un indicador de eutrofización, contaminación orgánica, exceso de microorganismos en suspensión, detritus.
4	OD	Oxígeno Disuelto: Es un indicador recurrente del estado de salud de un cuerpo de agua, debido a que la biota requiere de un mínimo para su adecuado desempeño. Su déficit indica un elevado metabolismo aeróbico, exceso de microorganismos, alta carga orgánica y eutrofización.
5	pH	Permite determinar la alcalinidad y acidez del agua, lo cual es fundamental para el desarrollo de la vida. Los valores adecuados se acercan a la neutralidad. Determina la biodisponibilidad de metales, de modo que aguas más ácidas pueden re-disponer metales existentes en los sedimentos.
6	SO ₄ ⁻²	Sulfatos: En concentraciones elevadas es altamente tóxico para la actividad primaria, afectando la cadena trófica.
7	N-NH ₄	Nitrógeno Amoniacal: En concentraciones elevadas es altamente tóxico para la vida resultando en efectos perjudiciales para la flora y fauna.
8	SS	Sólidos Suspendidos: Diferentes tipos de sólidos en suspensión evidencian contaminación física de las aguas y alteración para la vida. Sus amplios efectos varían desde disminuir la visibilidad para encontrar refugio o alimento, hasta obstrucción de órganos vitales. Como indicador ambiental evidencia actividades que generan alteraciones físicas en el cauce (ej. extracción de áridos) o en ribera.
9	T	Temperatura: Parámetro básico determinante del metabolismo del sistema. Su alteración es evidencia de contaminación por fuentes generadoras de calor, con amplios efectos sobre los ritmos biológicos en distintas escalas temporales. Cambios moderados ocasionan graves efectos sobre los organismos.
10	Turbidez	Evalúa la transparencia de las aguas, al ser una expresión de la materia en suspensión (viva e inerte) y disuelta presente en el sistema. Determina las propiedades ópticas del agua y en conjunto con otros parámetros básicos permite un eficaz diagnóstico del grado de alteración del ecosistema.
11	DBO	Demanda Biológica de Oxígeno: Mide el proceso de respiración aerobia en un lugar y tiempo determinado e indica la concentración de microorganismos, así como la contaminación orgánica del sistema. Este parámetros debiera ser medido son en hábitat de potamón y/o sitios de planicies.

Identificación y valoración de SS.EE.

Agua para beber: La forma de acceder a este servicio es a través de Comités de Agua potable rural, organizaciones comunitarias encargadas de administrar y suministrar el recurso a quienes integran la organización. La mayoría de los comités capta agua subterránea. Aquellos que no son parte de un comité de agua potable, especialmente en zonas rurales semiconcentradas, obtienen el agua para beber y uso doméstico por pozos. Se indica que en el poblado de Marqueza, se reparte agua en camiones aljibes municipales para los hogares durante los meses de verano. Por último se hace mención de la situación del poblado Diaguitas, donde los pobladores muchas veces deben comprar agua embotellada para beber.

Agua para industria: El agua para industria aparece como un elemento especialmente importante en aquellas zonas donde la actividad minera es la principal fuente de trabajo, como lo son los poblados de Lambert y Marqueza. Se indica que las mineras obtendrían agua mediante bombas desde partes más altas de la cuenca.

Agua para ganadería: Se indica que ganaderos reciben agua en camiones aljibe durante todo el año. Por otro lado, crianceros obtendrían agua desde vertientes en la alta cordillera.

Agua para cultivo: Los agricultores obtienen el agua para riego a través del sistema de canales de regadío existentes en el sector. De este servicio no sólo se benefician grandes y medianos agricultores e industrias agrícolas, si no que gran parte de los residentes de la cuenca, ya que la mayoría de los hogares realiza la agricultura para consumo del hogar.

Plantas silvestres: Se reconoció la extracción de plantas silvestres en zonas ribereñas: como el carboncillo (hierba medicinal que usa para el tratamiento del resfrío); el chañar (fruto comestible del árbol homónimo), berros (con fines alimenticios); y las cañas (para la construcción); y otras hierbas de la alta cordillera. También fueron mencionados la salvia, utilizada en infusiones y el *mingo*.

Animales silvestres: Se identificó la pesca de truchas en el río y la extracción de camarones de río en algunos puntos de la cuenca.

Recreación: A diferencia de los otros Servicios Ecosistémicos identificados, el de recreación muestra una mayor dispersión territorial en el Valle del Elqui. Se indica que todos los pueblos ribereños tienen vinculado la recreación a la existencia del río, donde existen balnearios, formales e informales y otras actividades recreativas. Adicionalmente, este servicio cobra relevancia económica en la zona sur de la cuenca, ya que el turismo se encuentra fuertemente desarrollado. Actividades como caminatas, cabalgatas, ciclismo, camping, descenso en río, baños en termas se realizan a lo largo del curso de agua, junto con windsurf y kitesurf en el embalse Puclaro.

Educación: Se indicó la existencia de programas informales de educación ambiental que incluyen visitas al Río Elqui, en escuelas básicas en las zonas de Diaguitas y Vicuña. Asimismo, se hacen referencia los fondos concursables de Aguas del valle, operadora de agua potable en la cuenca, que cada año incluye una categoría para proyectos relacionados a educación ambiental y valoración del patrimonio natural.

Artístico: En este servicio, se indica la importancia del río Elqui en el trabajo de pintores, poetas y otros artistas que viven en el valle, dando el ejemplo del compositor de origen local Caupolicán Peña y sus canciones al río. En adición, también se mencionan instrumentos a partir de la caña y canciones con temática de que el agua es vida como evidencia de la provisión de este servicio.

Herencia cultural: Se reconoce el servicio de herencia cultural en tanto que “la vida en el valle se inicia alrededor del río”: agricultura, ganadería, turismo y minería no existirían sin la presencia del río y con ellos, toda la identidad que caracteriza al valle y le ha dado un sentido histórico a nivel local. Asociado a los estilos de vida mencionados se encuentran fiestas y celebraciones, como el Festival de alta cordillera “El chivato de oro”, fiesta que reúne campesinos y crianceros, en el embalse La laguna. También se hace referencia a que la vida del valle se inicia en torno al río: los primeros asentamientos Molles y Diaguitas, y sus usos ancestrales en la cuenca. En el caso de los canales, algunos se remontarían a la época prehispánica, lo que actualmente se encontrarían en uso. Se incluyó además el conocimiento acerca de las propiedades de las plantas medicinales presentes en la ribera del río, que se trasmite de generación en generación.

Religioso o espiritual: En general, se menciona la relevancia del río en el ámbito espiritual en tanto es “origen de todo”. Se indica que existirían ceremonias y ritos asociados al río, como la celebración del año nuevo mapuche We Tripantu el 24 de junio de cada año. Así mismo, se menciona el río en cuanto a su importancia para la realización de bautismos por feligreses de las iglesias evangélicas, los cuales se organizarían anualmente. Finalmente, se menciona la importancia del río como elemento del paisaje para la celebración de variadas fiestas católicas, como la festividad de la Virgen de Lourdes durante los primeros días del mes de febrero.

Entretenimiento ex - situ. Aunque menos común entre los participantes, uno de los participantes reconoció como este servicio a la Trayecto Nómada, donde se publican fotografías de la cuenca y de otras zonas del “semiárido”. A esto se suma, la presencia en Vicuña de un grupo de hip-hop que compone música en relación al valle y el río Elqui y de protesta sobre los problemas de la zona. Finalmente, se menciona que en años pasados el valle ha sido locación de distintas teleseries que han tenido alta recepción a nivel nacional.

En forma adicional, y aunque no se encontraba considerado dentro de las fichas originales, los participantes identificaron, utilizando terminología coloquial, los servicios de opción de uso y legado, como servicio asociado a los cuerpos de agua de la cuenca, por la importancia del recurso para futuras generaciones. Esto se evidenciaría a través de las distintas iniciativas de protección del patrimonio natural que existen en el valle. Los servicios de regulación de desechos (zona de descarga de residuos), agua para energía hidroeléctrica y ciencia no fueron identificados por ninguno de los grupos participantes en los talleres. La Figura 2 y Figura 3 muestran la ubicación espacial de estos SS.EE. identificados por los participantes de los talleres.

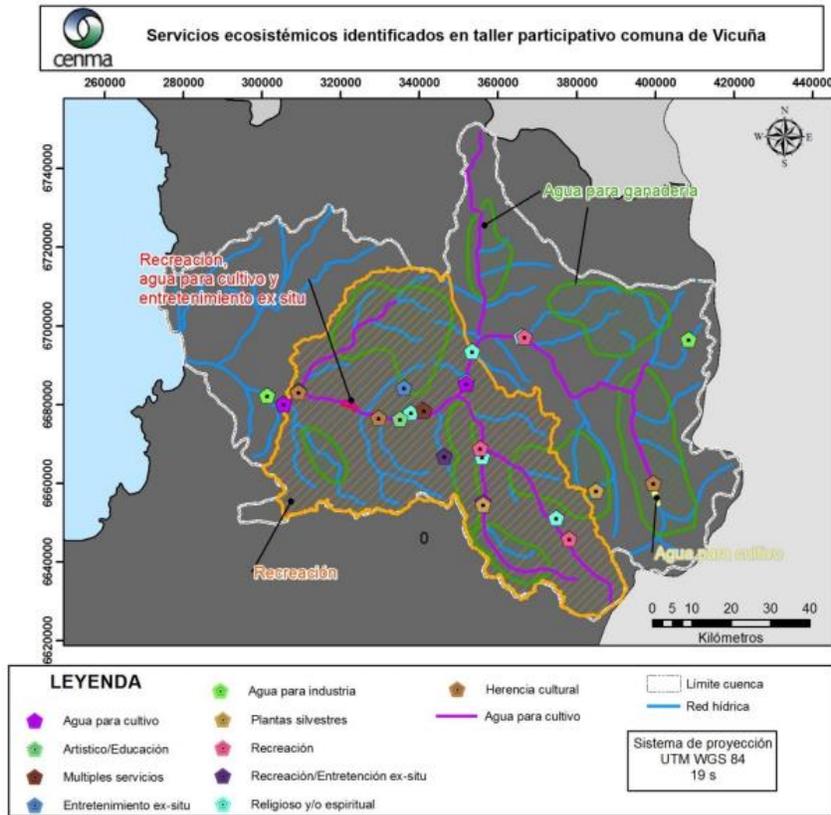


Figura 2. SS.EE. identificados en taller realizado en comuna de Vicuña.

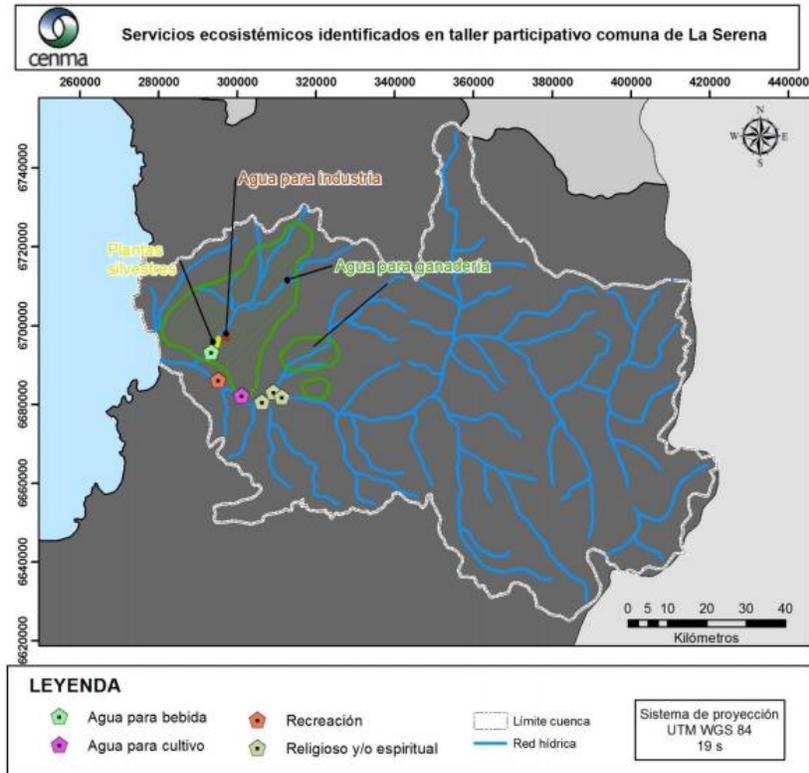


Figura 3. SS.EE. identificados en taller realizado en comuna de La Serena.

Valoración de los SS.EE.

El servicio de agua para beber fue identificado como el más importante provisto por la cuenca, por todos los grupos. Entre los siguientes identificados con mayor importancia fueron agua para uso doméstico, y agua para cultivo. Aquellos servicios que tuvieron el mayor rango en la ubicación en el ranking (Tabla 9), es decir, fueron ubicados en posiciones altas por algunos grupos, y bajas por otros, fueron: herencia cultural, agua para industria, plantas silvestres y animales silvestres. Estas diferencias se pueden explicar debido al contexto de aplicación de los talleres. Por ejemplo, los grupos donde agua para industria fue ubicado alto en la escala, actores clave provenían de poblados donde la actividad minera es la principal fuente de trabajo en la zona, como Marqueza o Lambert.

Tabla 9. Índice de saliencia de cada uno de los servicios ecosistémicos consultados en el taller. Valores cercanos a 1 indican que el servicio fue mencionado más veces, en posiciones más altas del ranking.

Servicio Ecosistémico	Índice de saliencia
Agua para beber	1,00
Agua para uso doméstico	0,92
Agua para cultivo	0,85
Recreación	0,60
Religioso o espiritual	0,60
Agua para industria	0,54
Herencia cultural	0,52
Plantas silvestres	0,50
Agua para ganadería	0,50
Artístico	0,35
Animales silvestres	0,29
Educación	0,25
Entretenimiento ex -situ	0,17
Agua para energía hidroeléctrica	0,06
Ciencia	0,06
Zona de descarga de desechos o residuos	0,06

Resultado Objetivo 2: Realizar un análisis multivariante con la información de las cuatro cuencas.

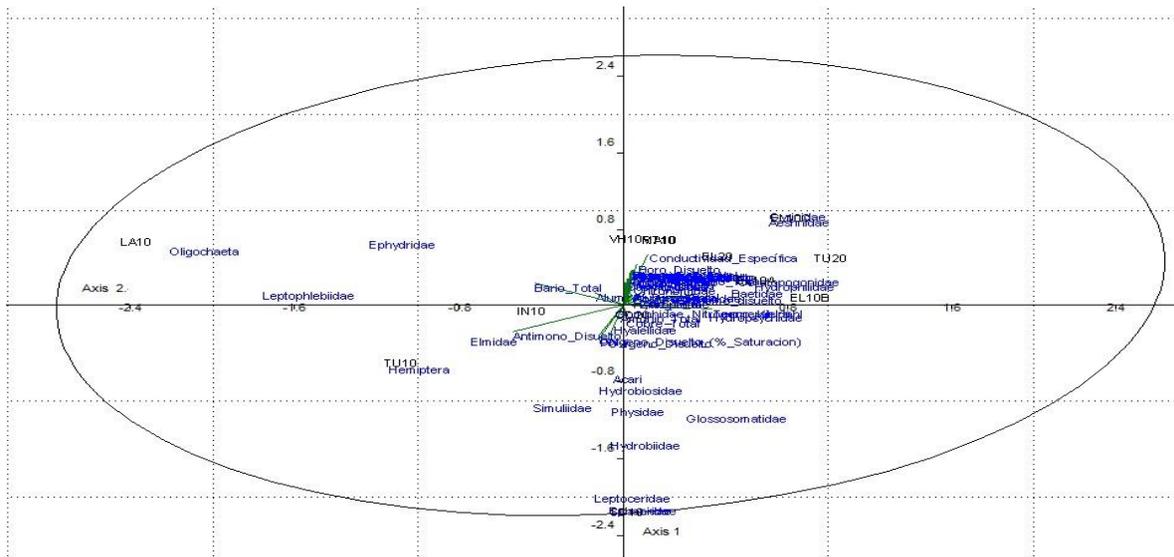
Cuenca del Elqui:

El análisis de correlación canónica (ACC) mostró que el eje 1 explica un 33% de la correlación de los datos, mostrando una relación hacia los nutrientes, mientras el eje 2 explica un 17% de la correlación de los datos, mostrando una relación hacia las sales y metales.

En la cuenca del Elqui no se evidencia una relación negativa entre parámetros fisicoquímicos y los biológicos para la mayoría de ellos. Lo anterior, porque los parámetros fisicoquímico evidenciaron generalmente escasa variación entre ellos, con niveles bajos y que no sobrepasaban valores que pudieran reflejar algún grado de alteración significativa, sugiriendo una buena calidad del agua y su biota en el momento de medir ambas variables, lo cual es corroborado por el análisis de correspondencia (AC).

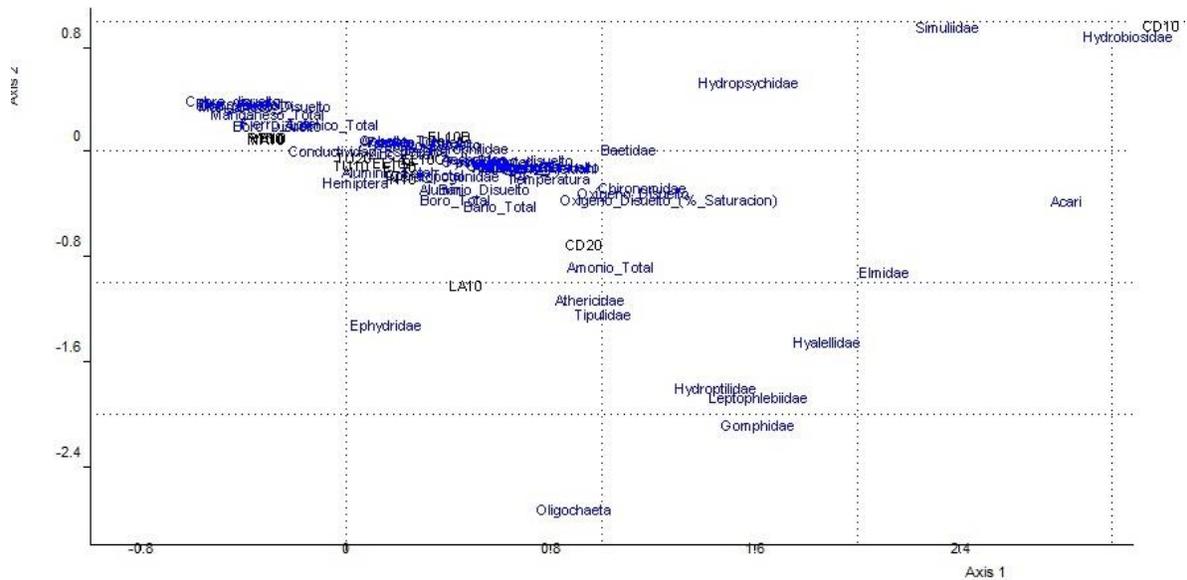
Entre los parámetros que destacan esta la relación del Bario con el grupo Ephydriidae, el Antimonio con Elmidae y Hemiptera, y el Amonio total con Athericidae y Tipúlidae. Los taxa más sensibles y por lo tanto mejores indicadores fueron Leptophlebiidae, Hydroptilidae, Hyaellidae, Elmidae, Gomphidae, Hydropsychidae, Simulidae, Hydrobiosidae.

Sin embargo existen estaciones que muestran diferencias asociadas a la fisicoquímica y la biota que debe ser considerada, pues pudiera reflejar un desmedro en la calidad ecológica de algunas de ellas.



Eje	Eigenvalue	%
1	0.53569	33.4
2	0.27104	16.9
3	0.23781	14.83

Figura 4. Análisis de correlación canónica (ACC) para evaluar el estado ecológico de la cuenca del río Elqui. La figura muestra un agrupamiento en el centro de los parámetros fisicoquímicos, donde no se evidencian parámetros que expliquen algún grado de relación negativa con la biota, sugiriendo un buen estado de la cuenca.



Eje	Eigenvalue	%
1	0.339267	48.941
2	0.106756	15.4
3	0.0980666	14.147

Figura 5. Análisis de correspondencia (AC) para evaluar el estado ecológico de la cuenca del río Elqui. La figura muestra un agrupamiento en el centro de los parámetros fisicoquímicos, donde no se evidencian parámetros que expliquen algún grado de relación negativa con la biota, sugiriendo un buen estado de la cuenca.

Cuenca del Choapa:

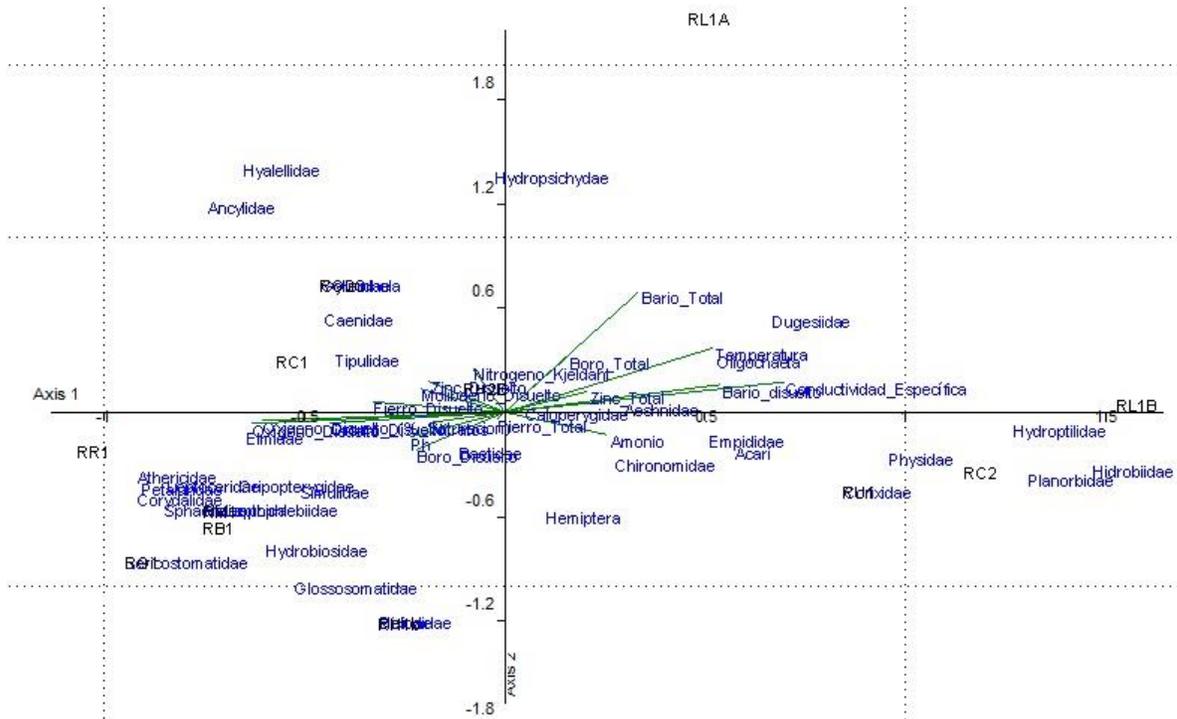
En la cuenca del Choapa no se encontraron datos biológicos con los cuales se pudiera realizar un análisis estadístico entre parámetros fisicoquímicos y los biológicos.

Cuenca del Limarí:

El análisis de correlación canónica (ACC) mostró que el eje 1 explica un 21% de la correlación de los datos, mostrando una relación hacia las sales y metales, mientras el eje 2 explica un 17% de la correlación de los datos, mostrando una relación mínima hacia los nutrientes. Esta relación en su totalidad es baja respecto a su predictibilidad estadística. Por otro lado el análisis de correspondencia (AC) evidencia que la biota no tiende a agruparse junto a determinados parámetros fisicoquímicos que pudieran ser de afectación para ella.

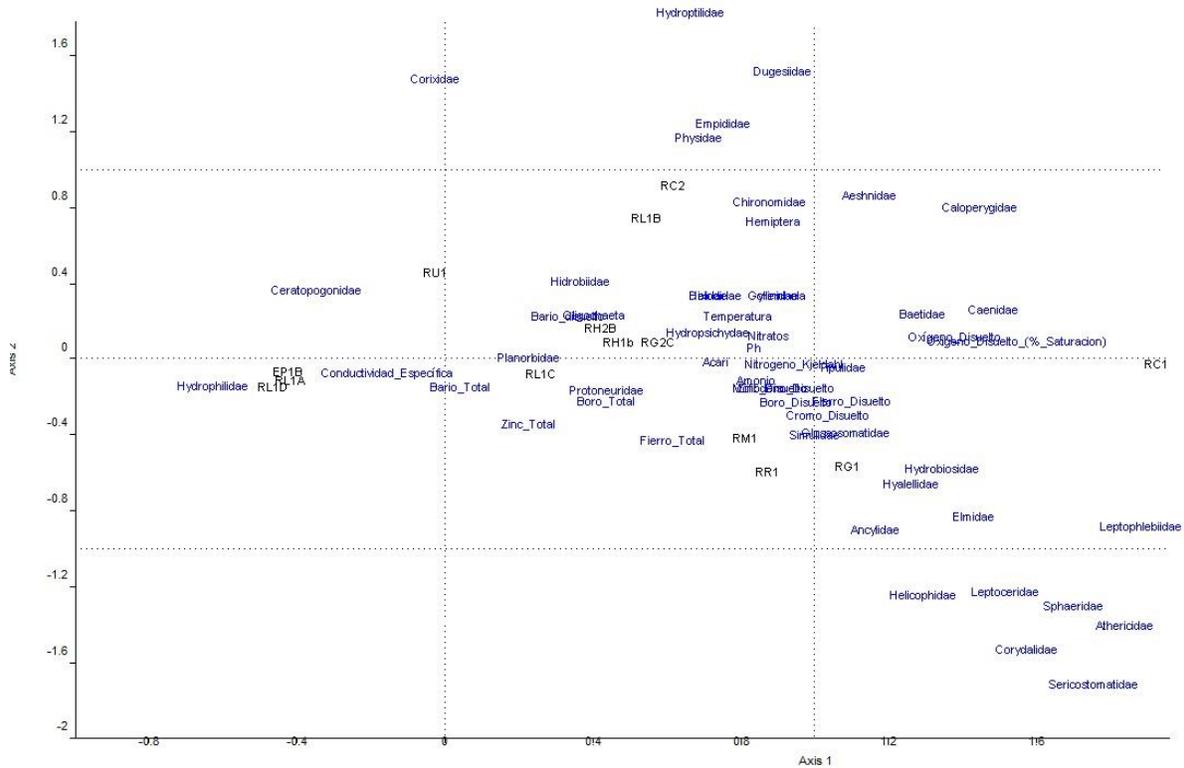
En la cuenca del Limarí se evidencia relación negativa entre algunos parámetros fisicoquímicos y los biológicos, principalmente entre parámetros fundamentales como el oxígeno y pH, y familias como Dugesiidae, Physidae y Chironomidae entre otras. Sin embargo como el porcentaje de correlación que explica el análisis es bajo, no se puede establecer una correspondencia definitiva entre ambos. Lo anterior, porque la gran mayoría de los parámetros fisicoquímico evidenciaron escasa variación entre ellos, con niveles bajos y que no sobrepasaban valores que pudieran reflejar algún grado de alteración significativa, sugiriendo una buena calidad del agua y su biota en el momento de medir ambas variables. Los taxa que mostraron ser los mejores indicadores son: Leptophlebiidae, Gripopterygidae, Elmidae, Hyalellidae, Hydrobiosidae, Ancyliidae, Helicophidae, Leptoceridae, Sphaeridae, Athericidae, Sericostomatidae, Corydalidae.

Es importante destacar que las estaciones de muestreo evidencian diferencias asociadas a la fisicoquímica y a la biota que deben ser consideradas, principalmente a la hora de establecer posibles estaciones de referencia para la calidad ecológica.



Eje	Eigenvalue	%
1	0.43918	21.49
2	0.35901	17.56
3	0.27465	13.44

Figura 6. Análisis de correlación canónica (ACC) para evaluar el estado ecológico de la cuenca del río Limarí. La figura muestra un agrupamiento en el centro de los parámetros fisicoquímicos, donde no se evidencian parámetros que expliquen algún grado de relación negativa con la biota, sugiriendo un buen estado de la cuenca.



Eje	Eigenvalue	%
1	0.415619	47.553
2	0.10328	11.817
3	0.0824108	9.4291

Figura 7. Análisis de correspondencia (AC) para evaluar el estado ecológico de la cuenca del río Limarí. La figura muestra un agrupamiento en el centro de los parámetros fisicoquímicos, donde no se evidencian parámetros que expliquen algún grado de relación negativa con la biota, sugiriendo un buen estado de la cuenca.

Cuenca del Huasco:

El análisis de correlación canónica (ACC) mostró que el eje 1 explica un 28% de la correlación de los datos, mostrando una relación hacia las sales y metales, mientras el eje 2 explica un 20% de la correlación de los datos, mostrando una relación mínima hacia los nutrientes. Aunque esta relación en su totalidad es aceptable respecto a su predictibilidad estadística, los parámetros se agrupan en el centro del gráfico, evidenciando baja predictibilidad respecto a la biota y las estaciones de muestreo. Por otro lado el análisis de correspondencia (AC) evidencia que la biota no tiende a agruparse junto a determinados parámetros fisicoquímicos que pudieran ser de afectación para ella, tales como Hierro, Aluminio y Turbiedad.

En la cuenca del Huasco se evidencia una gran dispersión de estaciones y familias (biota), pero una concentración de la fisicoquímica que no permite obtener muchas conclusiones. Es importante destacar que las siguientes familias resultan mejores predictores de buena calidad del agua, al agruparse en los cuadrantes contrarios a la tendencia de toda la fisicoquímica de metales y sales: Leptophlebiidae, Hydrobiosidae, Ceratopogonidae, Leptoceridae, Hydropsychidae y Hyalellidae. La gran diferencia en la dispersión de las estaciones de muestreo evidencian diferencias asociadas a la fisicoquímica y a la biota que deben ser consideradas, principalmente a la hora de establecer posibles estaciones de referencia para la calidad ecológica.

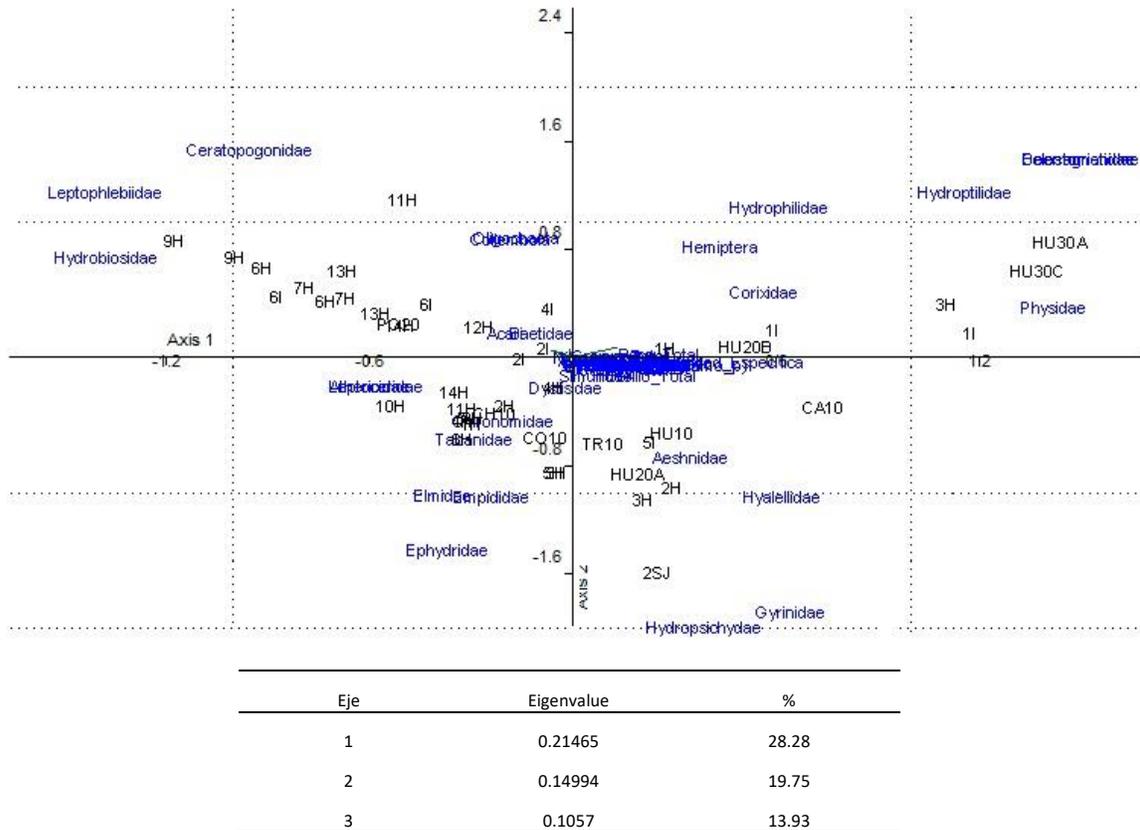
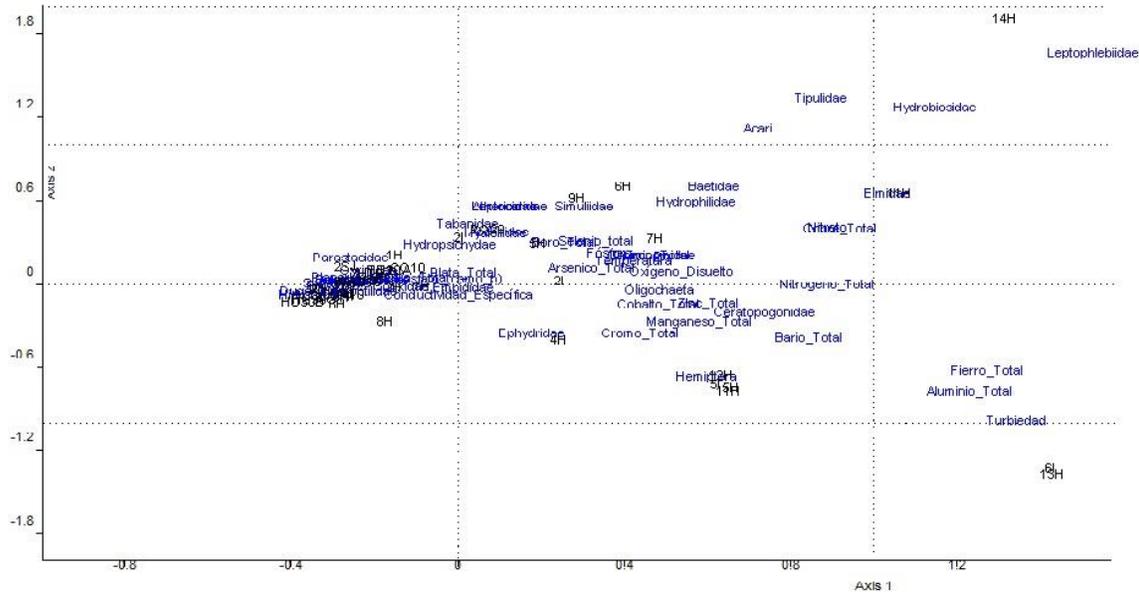


Figura 8. Análisis de correlación canónica (ACC) para evaluar el estado ecológico de la cuenca del río Huasco.



Eje	Eigenvalue	%
1	0.183987	29.124
2	0.13206	20.904
3	0.0649237	10.277

Figura 9. Análisis de correspondencia (AC) para evaluar el estado ecológico de la cuenca del río Huasco.

Resultado Objetivo 3: Seleccionar estaciones de referencia en la cuenca del río Elqui.

El análisis mediante el índice Biótico BMWP se encuentra en el archivo Excel “Elqui_Ref&ClasesCalidad_2017.xls” y arrojó las siguientes estaciones como referencia para la cuenca del Elqui.

Tabla 10. Estaciones seleccionadas como referencia en la cuenca del Elqui. (Fuente: elaboración propia).

Estación	COD	UTM E	UTM N	Fuente
RIO COCHIGUAS ANTES ESTERO DERECHO (CA)	04313002-1	355459	6669136	DGA
RIO CLARO EN MONTEGRANDE	04314001-9	356140	6670285	DGA
RIO DERECHO ANTES RIO COCHIGUAS (CA)	04311002-0	355459	6669136	DGA
ESTERO DERECHO EN ALCOHUAZ	04311001-2	356330	6655784	DGA
RIO CLARO EN RIVADAVIA	04314002-7	350216	6682584	DGA
RÍO LA LAGUNA	LA-10	400122	6658156	Alarcón et al. 2012
RÍO CLARO O DERECHO	CD-10	356239	6655537	Alarcón et al. 2012
RÍO CLARO O DERECHO	CD-20	350461	6682084	Alarcón et al. 2012
RÍO COCHIGUAZ	CO-10	382966	6632061	Alarcón et al. 2012
RÍO ELQUI	PEL-10	348474	6682264	Alarcón et al. 2012
CLARO DERECHO	CD-1	356857	6648084	Pizarro 2017
CLARO DERECHO	CD-2	356247	6653168	Pizarro 2017
CLARO DERECHO	CD-5	357030	6658337	Pizarro 2017
CLARO DERECHO	CD-6	356106	6665756	Pizarro 2017
CLARO DERECHO	CD-7	355404	6675523	Pizarro 2017
COCHIGUAZ	CO-1	367550	6662112	Pizarro 2017
COCHIGUAZ	CO-3	364865	6664468	Pizarro 2017
COCHIGUAZ	CO-4	363943	6664563	Pizarro 2017
ESTERO DERECHO EN ALCOHUAZ	CD10	356281	6655800	CENMA 2012
RÍO CLARO EN RIVADAVIA	CD20	350119	6682461	CENMA 2012

Resultado Objetivo 4: Realizar propuesta de Tablas de Clases de Calidad de agua, donde especifiquen si la calidad del agua es buena, regular, o mala para la cuenca del río Elqui.

El desarrollo de este objetivo en extenso se encuentra en el archivo Excel “Elqui_Ref&ClasesCalidad_2017.xls” y se presenta el resultado final a continuación:

Tabla 11. Propuesta de Clases de Calidad para la cuenca del Elqui. (Fuente: elaboración propia).

	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Aluminio Total	0.365	0.745	2.689	4.632	> 4.632
Amonio Total	0.010	0.201	0.141	0.080	> 0.080
Antimonio Total	0.036	0.036	0.041	0.046	> 0.046
Arsénico Total	0.002	0.011	0.051	0.092	> 0.092
Bario Total	0.029	0.035	0.054	0.073	> 0.073
Berilio Total	0.025	0.025	0.025	0.025	> 0.025
Bicarbonato	80.523	148.703	172.259	195.814	> 195.814
Boro Total	1.000	1.000	1.000	1.000	> 1.000
Cloruro	5.564	16.910	116.499	216.089	> 216.089
Cadmio Total	0.010	0.010	0.020	0.030	> 0.030
Calcio Total	28.410	53.476	173.145	292.814	> 292.814
Carbonato	11.252	22.863	24.377	25.892	> 25.892
Cianuro	0.001	0.001	0.592	1.183	> 1.183
Cobalto Total	0.010	0.040	0.069	0.098	> 0.098
Cobre Total	0.020	0.050	1.285	2.520	> 2.520
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
Cromo Total	0.030	0.050	0.050	0.050	> 0.050
Demanda Bioquímica de Oxígeno - 5 días	1.000	1.000	1.000	1.000	> 1.000
Demanda Química de Oxígeno	7.515	48.872	52.853	56.833	> 56.833
Dióxido de nitrito	0.005	0.010	0.016	0.023	> 0.023
Fierro Total	0.221	0.963	6.079	11.196	> 11.196
Fosfato	0.021	1.840	5.320	8.800	> 8.800
Fósforo de Ortofosfato	0.010	0.068	0.130	0.191	> 0.191
Fosforo total	0.600	0.600	0.889	1.178	> 1.178

Continuación.

	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Litio disuelto	0.013	0.019	0.746	1.473	> 1.473
Magnesio Total	4.579	7.359	28.829	50.299	> 50.299
Manganeso Total	0.020	0.065	0.606	1.148	> 1.148
Mercurio Disuelto	0.000	0.000	0.000	0.000	> 0.000
Mercurio Total	0.001	0.002	0.002	0.002	> 0.002
Molibdeno Total	0.050	0.050	0.050	0.050	> 0.050
Niquel Total	0.020	0.050	0.055	0.060	> 0.060
Nitrato	0.640	1.485	3.152	4.820	> 4.820
Nitritos	0.430	0.430	0.430	0.430	> 0.430
Nitrógeno de Amonio	1.694	2.479	2.428	2.376	> 2.376
Nitrogeno Kjeldahl	5.545	5.784	6.172	6.560	> 6.560
Nitrógeno de Nitrato	0.341	1.402	1.688	1.974	> 1.974
Nitrógeno de Nitrito	0.003	0.761	0.803	0.845	> 0.845
Nitrógeno de Nitrito y Nitrato	0.408	1.931	1.962	1.993	> 1.993
Oxido de silicio	8.240	9.392	15.183	20.975	> 20.975
Plata Total	0.010	0.010	0.010	0.010	> 0.010
Plomo Total	0.025	0.050	0.050	0.050	> 0.050
Potasio Total	1.381	1.993	9.025	16.058	> 16.058
Selenio Total	0.130	0.130	0.130	0.130	> 0.130
Sodio Total	9.484	16.123	732.155	1448.187	> 1448.187
Solidos totales disueltos (TDS)	95.670	275.400	685.484	1095.568	> 1095.568
Sulfato	34.542	71.627	189.516	307.405	> 307.405
Temperatura	12.670	20.824	21.370	21.915	> 21.915
Vanadio Total	0.022	0.022	0.022	0.022	> 0.022
Zinc Total	0.010	0.030	0.094	0.157	> 0.157

La evaluación de la cuenca para ver si se encuentra en estado buena, regular o mala evidencia una calidad que es mayoritariamente de regular a mala:

Tabla 12. Clases de Calidad para la cuenca del Elqui para el periodo 2016-2017. (Fuente: elaboración propia).

Parámetro	Buena	Regular	Mala	Total datos
Amonio Total	52	0	0	52
Arsénico Total	40	12	3	55
Boro Total	71	0	0	71
Cloruro	16	26	16	58
Cadmio Total	68	1	2	71
Calcio Total	38	28	15	81
Cobalto Total	67	0	1	68
Cobre Total	44	18	1	63
Conductividad Específica	25	87	6	118
Demanda Bioquímica de Oxígeno - 5 días	1	0	0	1
Demanda Química de Oxígeno	80	0	0	80
Dioxido de nitrito	28	14	6	48
Fierro Total	51	20	5	76
Fosfato	52	0	0	52
Magnesio Total	27	40	3	70
Manganeso Total	25	42	9	76
Mercurio Total	69	0	0	69
Niquel Total	76	1	4	81
Nitrato	26	19	7	52
Nitrógeno de Nitrito	1	0	0	1
Nitrógeno de Nitrito y Nitrato	21	0	1	22
Oxido de silicio	26	15	7	48
Oxígeno Disuelto (% Saturación)	105	1	13	119
Oxígeno Disuelto	112	0	1	113
pH	103	0	13	116
Plata Total	71	0	0	71
Plomo Total	22	0	0	22
Potasio Total	21	40	16	77
Selenio disuelto	59	0	0	59
Sodio Total	21	54	6	81
Sólidos totales disueltos (TDS)	26	12	14	52
Sulfato	31	29	28	88
Temperatura	121	0	5	126
Zinc Total	55	10	11	76

El resultado de la evaluación de la cuenca del Elqui se resumen en la siguiente tabla, donde se aprecia que mayoritariamente la cantidad de mediciones de parámetros que caen en la categoría de “Buena” supera a las otras categorías.

Tabla 13. Total de valores en Clases de Calidad para la cuenca del Elqui para el periodo 2016-2017. (Fuente: elaboración propia).

Buena	Regular	Mala	total
1651	469	193	2313

No obstante lo anterior, parámetros de importancia debido a su capacidad de toxicidad en el ambiente tales como arsénico, magnesio, cloruros, cobre y sulfatos caen con una gran cantidad de mediciones en categoría regular, razón por la cual se debe poner especial atención a la hora de evaluar solo los datos numéricos.

CONCLUSIONES

Se obtuvo información fisicoquímica para las cuatro cuencas evaluadas, pero no se obtuvo información biológica para el Choapa. La base de datos es amplia en cuanto a la fisicoquímica, pero escasa en cuanto a establecer correspondencia entre la biota y los parámetros, debido a que existen pocos estudios desarrollados que consideren ambos elementos en un muestreo conjunto.

La correlación entre parámetros fisicoquímicos y biológicos es consistente con evidenciar las siguientes familias como mejores predictores de buena calidad de agua y ecológica: Leptophlebiidae, Gripopterygidae, Elmidae, Hyalellidae, Hydrobiosidae, Hydropsychidae, Leptoceridae, Athericidae, Sericostomatidae, razón por la cual su presencia sustenta el establecer estaciones de referencias donde se les encuentre en conjunto. Es importante considerar que la presencia/ausencia de biota en un sistema está dado por distintas presiones (fragmentación, cambio uso de suelo, sequias, etc), donde los parámetros fisicoquímicos sólo evalúan contaminación. Por esta razón resulta fundamental incluir la biota como parte del componente que será relevante en la toma de decisiones para la normativa futura.

Por la razón anterior, el uso del índice biótico BMWP resulta fundamental para establecer las estaciones de referencia, pues mayores valores de este índice evidencian mejor calidad ecológica. Las estaciones de referencia seleccionadas corresponden a los tramos altos de la cuenca, es decir, aquellas que se encuentran sesgadas hacia los sectores nacientes de la cuenca, y que presentan menor intervención en su generalidad, y mejores condiciones ecológicas. Las estaciones que fueron seleccionadas para ser consideradas referencias para la cuenca del Elqui fueron las que se encontraban en río Claro, río Derecho y río Cochiguaz. Basados en las estaciones de referencia, se establecieron las clases de calidad “muy buena” y “buena” que se proponen para la cuenca del Elqui, con la cual se evaluó la calidad de la cuenca para los datos fisicoquímicos obtenidos durante los años 2016 y 2017, arrojando una calidad para la cuenca que es mayoritariamente de regular a buena. En este aspecto es importante poner especial atención a los resultados: una mirada rápida solo a los números nos situaría ante una conclusión de que la cuenca presenta una muy superior cantidad de mediciones que caen en la categoría de clase “Buenas”, sugiriendo de inmediato que la cuenca se encuentra en buenas condiciones fisicoquímicas en su totalidad. No obstante lo anterior, parámetros de suma importancia debido a su capacidad de toxicidad en el ambiente tales como arsénico, magnesio, cloruros, cobre y sulfatos caen con una gran cantidad de mediciones en categoría regular,

razón por la cual se debe poner especial atención a la hora de evaluar solo los datos numéricos totales, y es importante estudiar caso a caso cada parámetro.

En el archivo Excel “Elqui_Ref&ClasesCalidad_2017.xls” se puede observar cuales estaciones presentan mejor calidad, cuales regular calidad y cuales mala calidad incluso para el periodo 2012-2017. En la generalidad la tendencia de mantener una calidad “aceptable” que tiende a ser buena parece ser la misma en los distintos análisis realizados en los distintos objetivos. Así, en los análisis estadísticos de ACC y AC del objetivo 2, se aprecian las estaciones LA-10, CD-10 y CD-20 como sitios que se separan del resto al correlacionarse con una mayor diversidad de fauna y se alejan de parámetros fisicoquímicos que presentan toxicidad, tales como el Boro, Bario, Aluminio, entre otros. Esto es corroborado en los análisis para determinar las estaciones de referencia de la cuenca, las cuales presentan además resultados de calidad Buena al evaluar el estado de la cuenca durante los años 2016 y 2017. Esta coherencia en los resultados demuestra la robustez de la metodología utilizada.

Otras estaciones han demostrado ser de calidad deficiente de manera constante siendo aquellas de categoría “Regular” las estaciones pertenecientes a zona media y baja del río Elqui y de categoría “Mala” los ríos Vaca Helada, Incahuaz, Malo, Turbio y Toro.

RECOMENDACIONES

Mejorar la información

Como se vio, se obtuvo información fisicoquímica para las cuatro cuencas evaluadas, pero no se obtuvo información biológica para el Choapa. Se debe mejorar las bases de datos de los estudios solicitados por el Ministerio o SEREMI exigiendo datos mínimos tales como coordenadas y fechas. La información es amplia en cuanto a la fisicoquímica, pero escasa en cuanto a establecer correspondencia entre la biota y los parámetros, debido a que existen pocos estudios desarrollados que consideren ambos elementos en un muestreo conjunto. Se requiere mejorar este aspecto con estudios conjuntos entre la biota y la fisicoquímica

Análisis de perturbaciones

Es fundamental mantener una correlación entre parámetros fisicoquímicos y biológicos para evidenciar las familias que resultan mejores predictores de buena calidad de agua y ecológica: para la cuenca del Elqui. Es importante considerar que la presencia/ausencia de biota en un sistema está dado por distintas presiones, tales como cambio en el hábitat (represas, canalización, cambio y baja en el caudal, deforestación, etc), dificultad natural del hábitat (altura, falta de sustrato) y contaminación (urbana, industrial, silvoagropecuaria, etc.), donde los parámetros fisicoquímicos sólo evalúan esta última (contaminación) y no las otras dos. Por esta razón resulta fundamental incluir la biota como parte del componente que será relevante en la toma de decisiones para la normativa futura.

Muestreo de macroinvertebrados.

Es importante mantener los muestreos de macroinvertebrados, principalmente de tipo semi-cuantitativo multihábitat, lo que permite una buena aproximación para obtener abundancias relativas de las familias con mayor representación respecto de las menos representadas; son de más rápida realización y análisis de laboratorio, entregando una buena aproximación de mejor costo-efectividad, lo cual es recomendable para este tipo de estudios.

Uso de bioindicadores.

Los índices bióticos utilizados en Chile son una buena aproximación para detectar calidad de las aguas. Para calidad ecológica se sugiere continuar utilizando el índice usado en este trabajo (BMWP).

En resumen, los resultados avalan la pertinencia del uso de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la cuenca del Elqui. Las familias agruparon estaciones con ensambles comunitarios similares, permitiendo establecer grupos diferenciables entre estaciones de muestreo. Estas diferencias permitieron establecer clases de calidad de agua correspondiente a estaciones de buena, regular, mala y muy mala calidad.

Evaluación de Riesgo Ecológico y Uso de Bioensayos

Se recomienda incluir este tipo de análisis para el desarrollo del biomonitoreo de la norma en el futuro.

Fragilidad/robustez del ecosistema

Avanzar hacia la estimación del conocimiento de la fragilidad del ecosistema. Es decir, evaluar la sensibilidad de la biota frente a eventuales presiones futuras.

REFERENCIAS

- ALLAN, J.D. & CASTILLO, M.M. 2007. Stream ecology. Structure and function of running waters. Published by Springer, Dordrecht. 444 pp.
- BEGON, M., C.R. TOWNSEND, J.L. HARPER. 2006. Ecology. From individuals to ecosystems. 4^o Edición. Blackwell Publishing. 759 pp.
- BONADA, N. 2004. Protocolo de Muestreo y análisis para invertebrados bentónicos, Confederación Hidrográfica del Ebro, 2005. 57 pp
- CADE-IDEPE. 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objeto de calidad. 143 pp.
- CENMA (Estudio) 2010. Propuesta de utilización de biocriterios para la implementación y monitoreo de la norma secundaria de calidad ambiental - Resultados cuencas de los ríos Limarí y Mataquito.
- CENMA (Estudio). 2012. Campaña de monitoreo y Evaluación del Estado Ecológico de 10 Cuencas hidrográficas de Chile.
- CENMA, 2015. Estudio para la actualización de antecedentes técnicos para desarrollar la norma secundaria de calidad para la protección de las aguas continentales en la cuenca del río Aconcagua, región de Valparaíso. Ministerio del Medio Ambiente. Chile.
- CENMA, 2015. Generación y complementación de información base para la elaboración de los AGIES relacionados con recursos hídricos. Aplicación práctica en la cuenca del río Elqui y en la cuenca del río Mataquito. Ministerio del Medio Ambiente. Chile.
- CHESSMAN, B. 2003. SIGNAL 2-A scoring system for macroinvertebrate (wáter bugs) in Australian rivers, Monitoring River Heath Initiative. Techinal report no 31, Commonwealth of Australia, Canberra.
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO. 2005. Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva marco de agua. Ministerio del medio ambiente, Confederación Hidrográfica del Ebro, Comisaria de Zaragoza, 56pp.
- CORTES I & MONTAVO S. 2010. Aguas: calidad y contaminación. Un enfoque químico ambiental. Ed. CENMA. 328pp.
- D.S.Nº9/2015 MMA: (Santiago 2 de marzo de 2015) Establece normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Biobío. 5 pp.
- Decreto 1613/2005. Modifica ordenanza de derechos municipales por permisos, concesiones y servicios. Municipalidad de La Serena. Chile.
- DGA. 2016. "Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea" disponible en [www: http://snia.dga.cl/BNAConsultas/](http://snia.dga.cl/BNAConsultas/)

- DÍAZ C. 2010. Protocolo de muestreo, preparación y observación de diatomeas bentónicas en sistemas lóticos chilenos. Documento preparado por el Centro Nacional de Medio Ambiente para DGA.
- DÍAZ, C., MOLINA X. Y V. MONTECINO. 2011. Manual de procedimientos y medidas tendientes al control de *Didymosphenia geminata* en sistemas lóticos chilenos: muestreo, desinfección, preparación y análisis de muestras. Documento preparado por Poch Ambiental para la Subsecretaría de Pesca.
- DOMÍNGUEZ, E. Y H. FERNÁNDEZ. 2009. Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos Sudamericanos. Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Ciencias Naturales. Instituto M. Lillo. 237 pp.
- DS 609/1998. Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado. Ministerio de Obras públicas. Chile.
- DS 90/1996. Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Chile.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION ADMINISTRATION (EPA). Environmental water quality information. Disponible en, <http://wq.epa.gov.tw/WQEPA/Code/Business/Standard.aspx?Languages=en>
- EPA, Environmental Protection Administration. 2010. Environmental water quality information. Portal oficial sobre información ambiental en torno a recurso agua. Disponible en: < <https://wq.epa.gov.tw> > Consultado el miércoles 20 de Septiembre 2017.
- EPA. 1990. Biological criteria: National program guidance for surface waters. Washington, DC: Environmental Protection Agency; Office of water regulation and standards. 68 pp.
- EROS T, D SCHMERA, RS SCHICK. 2011. Network thinking in riverscape conservation – A graph-based approach. *Biological Conservation* 144: 184-192.
- FERNÁNDEZ, H.R. Y E. DOMÍNGUEZ. 2001. Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos Sudamericanos. Editorial Universitaria de Tucumán, Argentina. 282 pp.
- FIGUEROA R, A. PALMA, V.H. RUIZ & X. NEILL. 2007. Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la valuación de la calidad de aguas en un río mediterráneo de Chile: río Chillán, VIII Región. *Revista Chilena de Historia Natural* 80(2):225-242.
- FIGUEROA R, BONADA, N, GUEVARA M, PEDREROS P, CORREA-ARANEDA F, DÍAZ ME & RUIZ, VH, 2013. Freshwater biodiversity and conservation in Mediterranean climate streams of Chile. *Hydrobiologia* 719: 269–289.

- Junta de Vigilancia río Elqui. 2010. Portal web de la Junta de Vigilancia del río Elqui y sus afluentes. Disponible en: < <http://www.rioelqui.cl/>>. Consultado el martes 19 de Septiembre 2017.
- LEHMKUHL, D.M. 1974. Thermal regime alteration and vital environmental physiological signals in aquatic organisms. En: J.W. Gibbons & R.R. Scharits (eds.). 1974. Thermal Ecology. AEC Symposium Series. 216-222.
- MANSINGH, A. 1971. Physiological classification of dormancies in insects. The Canadian Entomologist. 103(7): 983-1009.
- MMA 2016. Monitoreo de calidad de aguas de la Cuenca del Río Biobío. 183 pp.
- PALMA A, R. FIGUEROA & V.H. RUIZ. 2009. Evaluación de ribera y hábitat fluvial a través de los índices QBR e IHF. Gayana 73(1): 57-63.
- PALMA A. 2013. Guía para la identificación de invertebrados acuáticos. 122 pp.
- PALMA A. 2013. Importancia de las regiones Mediterránea, Templada y Patagónica en la diversidad de Ephemeroptera, Plecoptera, y Trichoptera: implicancias de futuros cambios ambientales en sus distribuciones. Boletín de Biodiversidad de Chile 8: 37-47.
- PALMA A., J GONZÁLEZ-BARRIENTOS, C. A. REYES & R. RAMOS-JILIBERTO. 2013. Biodiversidad y estructura comunitaria de ríos en las zonas árida, semiárida y mediterránea-norte de Chile. Revista Chilena de Historia Natural 86: 1-14.
- PARRA O, DELLA N & VALDOVINOS C. 2004. Elementos de limnología aplicada y teórica. Ed. Centro EULA-CHILE. 295pp.
- PEREZ, C. 2005. Cambio climático: vulnerabilidad, adaptación y rol institucional. Estudios de casos en el valle de Elqui.
- VERDONSCHOT, P.F.M., A.A. BESSE-LOTOSKAYA, T.B.M. DEKKERS & R.C.M. VERDONSCHOT. 2014. Directional movement in response to altered flow in six lowland stream Trichoptera. Hydrobiologia. 740: 219-230.
- WELCH EB & JM JACOBY. 2004. Pollutant effects in freshwater. Applied limnology. Cambridge University Press. 504 pp.

