



MONITOREO DE HUMEDALES BOCA MAULE (REGIÓN DEL BÍO BÍO), ESTERO CAMPICHE (PUCHUNCAVÍ, REGIÓN DE VALPARAÍSO) Y DESEMBOCADURA DEL RÍO HUASCO (REGIÓN DE ATACAMA), EN EL CONTEXTO DE LA RED DE MONITOREO DE ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DEL MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE

ID: 608897-85-LE19

Preparado para:



29 Abril de 2020

Informe Final

Equipo de trabajo

Alejandro Palma Isla. Biólogo. Magister en Ciencias Biológicas. Jefe de Proyecto.

José Mena Chalmers. Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Investigador.

Cristian Ray. Biólogo, Investigador.

Tania Altamirano. Bióloga Ambiental, Investigador.

Alejandra Ponce. Médico Veterinario, Investigador.

María Victoria Hurtado. Ingeniero Civil Ambiental. Investigador.

Manuel Peña Olivós. Técnico. Toma de muestras en terreno.

Contraparte Técnica

Hernán Latuz Abarzúa. Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Ministerio del Medio Ambiente.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN EJECUTIVO	5
1. INTRODUCCIÓN	7
2. OBJETIVOS	9
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	9
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
3. MÉTODOS	10
3.1.1. <i>Analizar métodos e indicadores de condición ambiental.....</i>	<i>15</i>
3.1.2. <i>Monitoreo y determinación de condición ambiental.</i>	<i>15</i>
<i>Estado Trófico</i>	<i>17</i>
<i>Salud del Ecosistema</i>	<i>18</i>
<i>Análisis de coliformes para determinar Calidad de Aguas</i>	<i>19</i>
<i>Parámetros comunitarios:</i>	<i>19</i>
<i>Análisis integral de variables fisicoquímicas con las biológicas.....</i>	<i>21</i>
<i>Impacto aparente observado: análisis de hábitat visual in situ</i>	<i>21</i>
<i>Estimación del Grado de Amenaza Ambiental</i>	<i>21</i>
3.1.3. <i>Difusión de los resultados.</i>	<i>23</i>
4. RESULTADOS.....	24
4.1. MÉTODOS E INDICADORES DE CONDICIÓN AMBIENTAL	24
4.1.1. <i>Indicadores fisicoquímicos de Estado Trófico.....</i>	<i>25</i>
4.1.2. <i>Indicadores físicos de valoración morfológica</i>	<i>28</i>
4.1.3. <i>Parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad.....</i>	<i>32</i>
4.1.4. <i>Indicadores Biológicos Unimétricos para determinar la condición ambiental:.....</i>	<i>34</i>
4.1.5. <i>Índicadores Biológicos para determinar trofia.....</i>	<i>37</i>
4.1.6. <i>Uso de índices estadísticos multivariantes.....</i>	<i>41</i>
4.1.7. <i>Encuesta on-line para expertos.....</i>	<i>41</i>
4.2. FISICOQUÍMICA.....	46
4.2.1. <i>Clorofila, Nutrientes y Estado Trófico</i>	<i>46</i>
4.2.2. <i>Fisicoquímica Básica y Salud del Ecosistema</i>	<i>48</i>
4.2.3. <i>Fisicoquímica de Metales, DBO y DQO.....</i>	<i>49</i>
4.2.4. <i>Fisicoquímica de Sedimentos</i>	<i>50</i>
4.3. BIOTA E INDICADORES BIOLÓGICOS.	51
4.3.1. <i>Fitoplancton</i>	<i>51</i>
4.3.2. <i>Zooplancton</i>	<i>57</i>
4.3.3. <i>Análisis de Coliformes</i>	<i>58</i>
4.3.4. <i>Parámetros comunitarios.....</i>	<i>58</i>
4.4. ANÁLISIS MULTIVARIADOS	62

4.4.1.	<i>Análisis de Componentes Principales (ACP)</i>	62
4.4.2.	<i>Análisis de Correspondencia (AC)</i>	64
4.4.3.	<i>Impacto aparente observado: análisis de hábitat visual in situ.</i>	65
4.4.4.	<i>Amenaza Ambiental</i>	65
5.	CONCLUSIONES	67
5.1.1.	<i>Analizar métodos o indicadores de condición ambiental en los humedales Boca Maule, Campiche y Huasco</i>	67
5.1.2.	<i>Monitorear y determinar la condición ambiental de los humedales Boca Maule, Campiche y Huasco.</i>	68
6.	REFERENCIAS	70
7.	ANEXO	76
7.1.	ANEXO 1: FICHA DE HÁBITAT ACUÁTICO	76
7.2.	ANEXO 2: LISTA DE CORREOS DE EXPERTOS CONSULTADOS Y CORREO ADJUNTO.....	78

RESUMEN EJECUTIVO

El presente, es el informe final del proyecto “Monitoreo de humedales Boca Maule (Región del Biobío), Estero Campiche (Puchuncaví, Región de Valparaíso) y desembocadura del Río Huasco (región de atacama), en el contexto de la Red de Monitoreo de Ecosistemas Acuáticos del Ministerio de Medio Ambiente”, elaborado para la Subsecretaría del Ministerio del Medio Ambiente por Bioma Consultores Ambientales S.A.

Como primer resultado se analizaron métodos o indicadores de condición ambiental. Para ello se ha trabajado en recopilar, revisar, sistematizar y evaluar metodologías de evaluación de condición ambiental implementadas en Chile y el extranjero.

Se recopiló un total de 19 métodos agrupados en las siguientes categorías: Indicadores fisicoquímicos de Estado trófico (4), Indicadores fisicoquímicos de valoración morfológica (2), Indicadores fisicoquímicos para calidad según normativa (1), Indicadores biológicos unimétricos para calidad (7), Indicadores Biológicos de Estado Trófico (3), Índices Estadísticos Multivariados Clásicos (2).

Se sugiere para los estudios de condición ambiental de los humedales de Chile, la necesidad de utilizar a lo menos un indicador de cada área general: Fisicoquímica, Biota y Estadística, para luego analizar los resultados en su conjunto y sacar conclusiones lo más robustas posibles.

Al respecto, establecemos que pueden ser los más idóneos los siguientes: índice de estado trófico basado en clorofila a y apoyado por disco secchi y nutrientes; salud básica del ecosistema basado en el pH y los valores de Oxígeno, por ser estos los fundamentales para el correcto desarrollo de la vida; análisis de impacto aparente observado en el humedal; uso de bioindicadores cuando estén disponibles, uso de la diversidad como indicador de salud; análisis multivariados de Componente Principales (ACP), apoyado por un análisis secundario que pueda corroborar resultados y aportar más información, tales como AC, ACC; análisis de Amenaza Ambiental, que entregaría finalmente una idea de la condición ambiental actual y futura del humedal.

Como segundo resultado, se determinó que la condición ambiental es buena para el Humedal del Huasco, regular para el Humedal Boca Maule y mala para el Estero Campiche. Lo anterior se sustenta en los distintos indicadores utilizados: Fisicoquímica, Biota y Estadística, además de una matriz de Amenaza Ambiental aplicado a este estudio, y desarrollada por este equipo de trabajo con anterioridad para el proyecto “Red de Monitoreo Ambiental de Ecosistemas Acuáticos de Chile 2018-2019: Insumo para Plataforma de Humedales de Chile”.

El índice de trofia basado en la Clorofila a indica que el Humedal del Huasco es mayoritariamente oligotrófico, El humedal de Boca Maule fluctuó entre la mesotrofia y la hipereutrofia dependiendo la espacialidad de las estaciones, siendo el sector de muestreo BM3 hipertrófico en ambos periodos; el humedal de Estero Campiche evidenció valores de encontrarse continuamente en un estado hipertrófico. El análisis de impacto observado en el hábitat para cada humedal arrojó que el sistema con un bajo nivel de impacto (poca intervención aparente antrópica en el lugar) fue el humedal del

Huasco; niveles con intervención intermedia (con basura y otros impactos aparentes) fue el humedal Boca Maule; y finalmente, se evalúa con mayor nivel de impacto (alta) el humedal Estero Campiche.

El análisis de la Matriz de Amenaza Ambiental determinó que el humedal del Huasco fue evaluado mayoritariamente con un grado de amenaza bajo. El Humedal de Boca Maule fue evaluado mayoritariamente con una amenaza ambiental media, presentando en BM-3 una amenaza muy alta; mientras que el Humedal Estero Campiche fue evaluado con amenaza ambiental muy alta siempre en todas sus estaciones.

Todos estos resultados sugieren en su conjunto que la condición ambiental es buena para el Humedal del Huasco, regular para el Humedal Boca Maule con sectores de mala calidad y muy mala para el Estero Campiche.

1. INTRODUCCIÓN

Desde 2011 el Ministerio del Medio Ambiente mantiene programas de monitoreo de humedales costeros, estudiando parámetros fisicoquímicos y biológicos para determinar la calidad ambiental de estos sistemas. Los humedales comprenden una amplia variedad de hábitat tales como pantanos, turberas, llanuras de aluvión, ríos y lagos, o zonas costeras como marismas, manglares y praderas de pastos marinos, pero también arrecifes de coral y otras zonas marinas de una profundidad no superior a seis metros en marea baja, así como los humedales artificiales, tales como los estanques de tratamiento de aguas residuales y los embalses (Convención RAMSAR, Irán 1971). Estos sistemas varían enormemente como resultado de las diferencias en su hidrología y geomorfología (Van Der Valk 2006).

Entre los humedales a estudiar, la mayoría podría definirse como humedales costeros, los que se caracterizan por presentar una vinculación muy estrecha con el mar, pudiendo estar conectados en forma permanente (ej. estuarios) y/o temporal (ej. lagunas costeras saladas). En cualquier caso, son sistemas muy dinámicos espacial y temporalmente, en función del balance hídrico y de sales regulado por los caudales de los ríos y el mar. En el caso de los sistemas costeros y estuarinos, una de sus características más importantes es la presencia de gradientes, que permiten una elevada heterogeneidad espacio-temporal y por ende, disponibilidad de hábitats para especies acuáticas y riparinas. Esta condición se traduce en que los humedales costeros son sitios de alta concentración de biodiversidad, siendo particularmente relevante la presencia de numerosas especies de aves migratorias (Millennium Ecosystem Assessment 2005). Adicionalmente presentan servicios ecosistémicos, tales como alimentos, agua, servicios de regulación como control de inundaciones, sequías, degradación de tierras y enfermedades, servicios de soporte como formación de suelos y ciclos de nutrientes, servicios culturales como recreación, espirituales o religiosos, así como otros beneficios no materiales (Convención Ramsar, Resolución IX.1 Annex A.j).

En general, existe cada vez mayor conciencia acerca de la importancia de estos ecosistemas en términos de la valiosa biodiversidad que soportan y de su rol clave en funciones ecológicas (Palma et al. 2013), como por ejemplo en el control del flujo de nutrientes. Es en este contexto, que durante las últimas décadas se ha evidenciado una importante mejoría en cuanto a la promoción de diferentes estrategias de protección y conservación de estos ecosistemas tan frágiles.

En términos de gestión, el creciente deterioro de los ecosistemas acuáticos ha venido demandando el desarrollo de sistemas y metodologías que permitan conocer su grado de alteración debido a causas naturales y/o antropogénicas (Pérez et al. 2007), considerando que las perturbaciones en los sistemas acuáticos afectan a los seres vivos que los habitan. Consecuente con esto, la pérdida de los humedales en el mundo junto con el cambio de los estados tróficos de estos, ha sido una consecuencia de la actividad humana (Ten Brink et al. 2013), problema del cual Chile no es ajeno. El deterioro de los humedales trae como consecuencia la pérdida de servicios ecosistémicos tales como el suministro de

agua, purificación del agua, secuestro de carbono, mantenimiento de la pesca, la caza y las actividades de forrajeo y el turismo, recreación, educación e investigación (Nahuelhual et al. 2016).

En este contexto y con el afán de abordar una parte de los compromisos adquiridos en los tres Programas para la Recuperación Ambiental y Social (PRAS) de territorios vulnerables, en específico en Quintero Puchuncaví, Coronel y Huasco, es que se desarrolla este estudio.

Para la evaluación se utilizan diversas metodologías que monitorean el componente fisicoquímico y biológico como evaluadores del estado de un sistema, de manera de poder determinar la condición ambiental de un ecosistema y así comparar el estado actual respecto a su condición de naturalidad y las posibles desviaciones de la condición esperada para ellos. El monitoreo ejecutado en esta campaña 2019 contempla el análisis de parámetros fisicoquímicos de calidad de agua, de condición trófica y comunidades biológicas, las que estarán representadas por organismos fitoplanctónicos, y zooplanctónicos.

El presente documento entrega el diseño de muestreo, metodología de muestreo y resultados de actividades de la campaña de monitoreo del proyecto “Monitoreo de humedales Boca Maule (Región del Biobío), Estero Campiche (Puchuncaví, Región de Valparaíso) y desembocadura del Río Huasco (región de atacama), en el contexto de la Red de Monitoreo de Ecosistemas Acuáticos del Ministerio de Medio Ambiente”.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Monitoreo de los humedales Boca Maule, Campiche y Huasco con el fin de evaluar la condición ambiental de dichos territorios.

2.2. Objetivos Específicos

- I. Analizar métodos o indicadores de condición ambiental en los humedales Boca Maule, Campiche y Huasco.
- II. Monitorear y determinar la condición ambiental de los humedales Boca Maule, Campiche y Huasco.
- III. Difundir los resultados de este estudio mediante talleres en los tres territorios de desarrollo.

3. MÉTODOS

Los 3 humedales considerados en este estudio se distribuyen a lo largo de una extensa franja de territorio. El humedal localizado más al norte corresponde al Río Huasco en su zona de desembocadura en la región de Atacama, mientras que el más austral corresponde al Humedal Boca Maules en la región del Biobío.

Este amplio gradiente latitudinal determina sendas variaciones en términos climáticos, geológicos hidrológicos, vegetacionales, etc., lo que redunda en sistemas altamente diferentes en términos físicos, químicos, morfológicos, y por lo tanto en términos biológicos. Así mismo, estos presentan importantes variaciones en cuanto a su dinámica espacial y temporal.

En la Tabla 1 se detallan los distintos humedales a monitorear, indicando la zona a la que pertenecen, y además el tipo de sistema que representan, mientras que en la Figura 1 se presenta la ubicación de cada uno de ellos.

Tabla 1. Ecosistemas acuáticos priorizados. Coordenadas en UTM.

Sistema	Estuario	Coordenada Este	Coordenada Norte
Humedal Huasco	HP-1T	284423	6851891
	HP-2	284874	6851001
	HP-3	285161	6850868
Humedal Estero Campiche	EC-1	267890	6373662
	EC-2	267589	6373889
	EC-3	267212	6374171
Humedal Boca Maule	BM-1	661369	5903951
	BM-2	665132	5903607
	BM-3	667572	5903496

* En cada humedal se realiza una réplica de una estación de monitoreo, la que se denomina en los resultados con una letra "B" adicional.

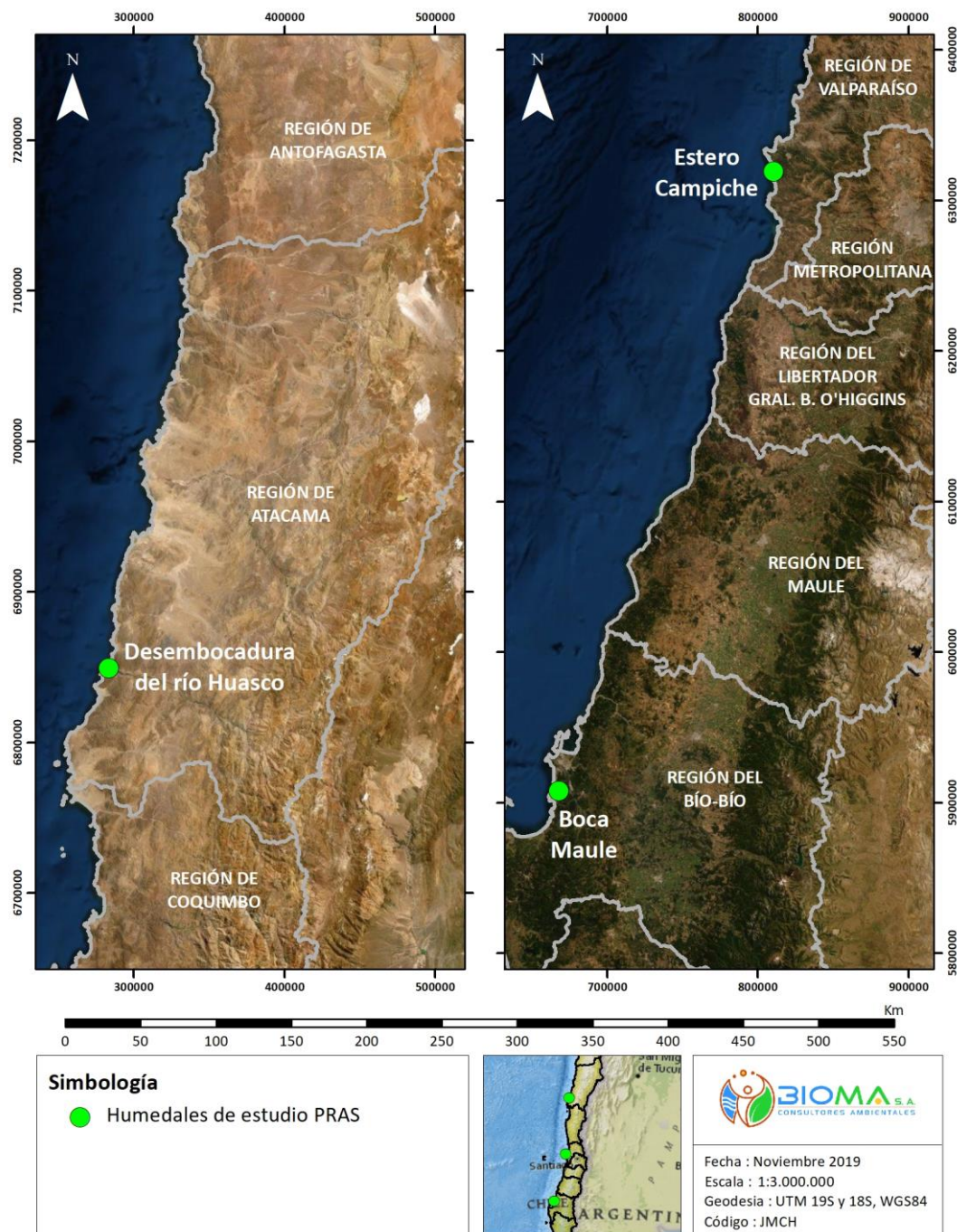


Figura 1. Ubicación geográfica de los 3 ecosistemas de Humedales PRAS.

COD	Campaña de Primavera	Campaña de Verano
HP1T		
HP2		
HP3		

Figura 2. Estaciones de monitoreo Humedal del Huasco

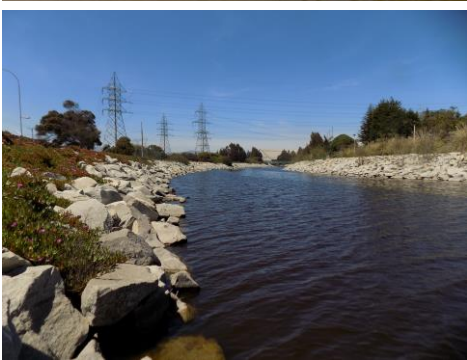
COD	Campaña de Primavera	Campaña de Verano
EC1		
EC2		
EC3		

Figura 3. Estaciones de monitoreo Humedal Estero Campiche.

COD	Campaña de Primavera	Campaña de Verano
BM1		
BM2		
BM3		

Figura 4. Estaciones de monitoreo Humedal Boca Maule.

3.1.1. Analizar métodos e indicadores de condición ambiental.

Mediante búsqueda en publicaciones científicas nacionales e internacionales se recopila, revisa, sistematiza y eligen metodologías de evaluación de condición ambiental implementadas en Chile y el extranjero.

Las metodologías son evaluadas críticamente de modo de poder implementarlas y que sean un instrumento eficaz en evaluar la condición integral de los humedales monitoreados, definiendo métricas y métodos idóneos. Se detalla cuales necesitan mayor información actual, para levantar estudios, y robustecer las metodologías. Este análisis de brechas de información considera las propuestas costo-eficientes para la gestión y conservación de estos ecosistemas.

Finalmente se desea validar mediante una consulta a expertos on line las métricas propuestas anteriormente.

3.1.2. Monitoreo y determinación de condición ambiental.

Para el monitoreo se realizan dos campañas, una en invierno y otra en primavera para los humedales Boca Maule, Campiche y Huasco. La toma de muestra considera tres estaciones de muestreo por humedal y una réplica adicional para metales pesados y nutrientes.

El monitoreo de calidad fisicoquímica de agua superficial contempló una medición de parámetros in-situ durante el muestreo, y un análisis de parámetros fisicoquímicos de muestras que son enviadas al laboratorio.

La toma de muestras, la preservación, transporte y análisis de los diversos parámetros muestreados se efectúa en base a los protocolos establecidos por las Normas Chilenas Oficiales del Instituto Nacional de Normalización (INN) NCh 411/2.Of. 96, NCh 411/3.Of. 96, NCh-ISO Of. 17025, NCh-ISO 5667/6 y metodologías contenidas en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA-AWWA-WEF, 2005). Estos estándares son oficiales y cumplen con las metodologías utilizadas por la Dirección General de Aguas (DGA) en su Red Hidrométrica Nacional.

Los parámetros monitoreados en la columna de agua son Alcalinidad, Aluminio total y disuelto, amonio, arsénico total y disuelto, Chl a, coliformes fecales, conductividad eléctrica, Bicarbonatos, Disco Secchi, Estreptococos fecales, Mercurio total y disuelto, Cobre total y disuelto, Cadmio total y disuelto, fosforo total, hidrocarburos totales, nitrato, nitrito, nitrógeno total, ortofosfato, oxígeno disuelto, carbonatos, pH, salinidad, Cromo total y disuelto, Manganeseo total y disuelto, saturación de oxígeno, Solidos suspendidos totales, sulfatos, temperatura del agua, DBO, DQO, así como la biota de fitoplancton y zooplancton.

Para el sedimento se monitorea arsénico, azufre, níquel, vanadio, cromo, mercurio, hierro, redox, MO, pH, granulometría.

El laboratorio de análisis químico de las muestras de agua superficial es ANAM S.A., Laboratorio que se encuentran debidamente acreditado según NCh-ISO 17.025.

Para el muestreo biológico de fitoplancton, el muestreo se realiza mediante el uso de una red cónica con apertura de boca de 30 cm de diámetro, y una trama de malla de 25 μm . En zonas de aguas corrientes el muestreo es por deriva y la red se instala a contracorriente durante 120 segundos midiéndose simultáneamente la velocidad de la corriente con un correntómetro digital. En zonas de aguas detenidas o de bajo flujo, se realiza muestreo por arrastre superficial en un transecto de longitud conocida (10 m).

Las mediciones de tiempo de deriva y distancia de arrastre permiten realizar una estimación del volumen filtrado, y por lo tanto una estimación de la densidad de células por litro.

Para el muestreo en sistemas profundos, el muestreo de fitoplancton se realiza integrando la sección de columna de agua dentro de la zona fótica (aproximadamente 2,5 veces la profundidad de Disco Secchi). La estimación de la densidad de células sigue el mismo principio explicado más arriba.

Finalmente, las muestras son fijadas con lugol y llevadas a identificación.

En el laboratorio, las muestras son analizadas de acuerdo al método de concentración en cámaras de sedimentación (Utermöhl 1958), utilizando un microscopio invertido a 400X. Para cada muestra se cuentan los individuos hasta que la especie más abundante alcance los 100 individuos o se llegue a 300 campos, lo que se cumpla primero. Si las muestras presentan mucho sedimento, sales o abundancia, estas son analizadas en cámara Sedwigt-Rafter de 1ml de capacidad, en microscopio invertido. Las referencias bibliográficas las cuales se usan en la identificación de las taxa son Bicudo & Menezes (2005), Bourrelly, P. (1970), Cox (1996), Parra & Bicudo (1996) y Parra et al. (1982a, 1982b, 1982c, 1982d y 1983), Parra & Bicudo (1995), Sant'Anna et al. (2006). El análisis de fitoplancton se propone sea realizado por la especialista Karina Díaz.

Para el muestreo biológico de zooplancton, se utiliza una red cónica con apertura de boca de 30 cm de diámetro, y una trama de malla de 30 μm . En zonas de aguas corrientes el muestreo es por deriva y la red se instala a contracorriente durante 120 segundos midiéndose simultáneamente la velocidad de la corriente con un correntómetro digital. En zonas de aguas detenidas o de bajo flujo, se realiza muestreo por arrastre superficial en un transecto de longitud conocida (10 m).

Las mediciones de tiempo de deriva y distancia de arrastre permiten realizar una estimación del volumen filtrado, y por lo tanto una estimación de la densidad de células por litro.

Para el muestreo en sistemas profundos, el muestreo de zooplancton se realiza mediante una muestra integrada desde los 60 cm del fondo del sistema hasta la superficie, con la misma red antes descrita. La estimación de la densidad de células sigue el mismo principio explicado más arriba.

Los organismos capturados son anestesiados con dióxido de Carbono y fijados en alcohol al 75% para su posterior traslado al laboratorio.

En el laboratorio, la identificación se realiza bajo lupa estereoscópica de 40X, en cámara de recuento de zooplancton (cámara Bogorov) con las siguientes referencias bibliográficas: Araya & Zuñiga (1985), Reid (1985), Smirnor & Timms (1983), Bayly (1992), Wallece & Snell (2001). El análisis de zooplancton se propone sea realizado por el especialista Patricio De Los Ríos.

Con los resultados de los monitoreos se establecen relaciones entre los parámetros fisicoquímicos y los biológicos mediante análisis estadísticos de correlación de variables por Análisis de Componentes Principales y Correlación Canónica.

Los resultados son presentados de acuerdo a la estructura de la información contenida en la plataforma de humedales de Chile.

De manera complementaria, en terreno, se realiza el registro y caracterización de las variables ambientales bióticas y abióticas que consideren la diversidad de hábitat y morfología de los sitios de monitoreo, así como observaciones de otra biota relevante como la presencia de aves en el lugar, y de elementos que evidencian impactos por el hombre. Las observaciones son registradas en una ficha de terreno.

Las variables y clasificaciones utilizadas para la descripción del hábitat acuático son las siguientes: Tipo de hábitat; Composición del sustrato, Elementos de heterogeneidad, Vegetación acuática y ribereña (cualitativa), Porcentaje de sombra, Forma del canal o tipo de sistema, Turbidez cualitativa del agua, Impacto humano observado y otras observaciones relevantes.

Estado Trófico

El estado trófico final de un sistema se obtiene de los resultados de valores obtenidos de Clorofila a, donde se le otorga una categoría entre Oligotrófico, Mesotrófico y Eutrófico. Valores Hipertróficos (si hubiere) son dejados como un Estado Trófico “Eutrófico”. Los resultados se evalúan según los distintos rangos de valores de estado trófico, que se encuentran en la publicación de Smith *et al.* (1999) para lagos y ríos, y Bricker *et al.* 1999 para estuario, los cuales son utilizados como los valores límites para determinar el estado trófico de cada humedal y que se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 2. Rango de Valores de Nitrógeno Total, Fósforo Total, Clorofila “a” y Disco de Secchi para los distintos sistemas estudiados. (Adaptado de Smith et al. 1999 para lagos y ríos y Bricker et al. 1999 para estuario).

Sistema	Estafo Trófico	Nitrógeno Total (ug/L)	Fósforo Total (ug/L)	Clorofila “a” (ug/L)	Disco de Secchi (m)
Lagos (Lentico)	Oligotrófico	< 350	< 10	< 3.5	> 4
	Mesotrófico	350 – 650	10 – 30	3.5 – 9	2 – 4
	Eutrófico	650 – 1200	30 – 100	9 – 25	1 – 2
	Hipertrófico	> 1200	> 100	> 25	< 1
Ríos (Lotico)	Oligotrófico	< 700	< 25	< 10	-
	Mesotrófico	700 – 1500	25 - 75	10 – 30	-
	Eutrófico	> 1500	> 75	> 30	-
Marino (Estuario)	Oligotrófico	< 100	< 10	< 5	> 6
	Mesotrófico	100 – 1000	10 – 100	5 – 20	3 – 6
	Eutrófico	>1000	>100	20 – 60	1.5 – 3
	Hipertrófico	-	-	> 60	< 1.5

(*) Esta tabla es una adaptación de la Tabla 1 encontrada en la publicación de Smith *et al* (1999).

Salud Básica del Ecosistema

Determinar la Salud del Ecosistema se puede realizar mediante distintas metodologías, debido a que este concepto abarca una amplitud de ideas y conceptos que no han sido bien determinados en una única metodología. Sin embargo, una de las más utilizadas es la evaluación de los resultados de los análisis fisicoquímicos de agua superficial, donde se verifica que estos se mantengan en los valores descritos por la literatura para el correcto desarrollo de la biota. En general se reconoce que los parámetros claves para determinar calidad de agua que permita la vida acuática son oxígeno disuelto (O.D) y pH (Lampert 2007), razón por la cual son los que utilizaremos como primer indicador de condición o salud (así como la temperatura corporal cercana a 37°C es un primer indicador de la salud básica de una persona), y la llamaremos Salud Básica del Ecosistema. Se reconoce además, que los valores óptimos son para O.D >8 y para pH se encuentran entre 6,5-8,5; mientras valores que evidencian un deterioro importante son para O.D <5 y para pH <5 y >9. Otros valores como Temperatura y Conductividad también sirven de apoyo como valores básicos referenciales a determinar una condición de salud básica. Por lo anterior es que para este estudio utilizaremos como referencia los valores basados en la NCH 1333, que si bien son valores para establecer una calidad de riego, se acercan a lo descrito en la literatura como valores que llevan a discriminar y establecer condiciones ecológicas y ambientales básicas que permiten o no el correcto desarrollo de la vida en un sistema para estos dos parámetros claves, y nos sirven de referencia para toda una lista de parámetros cuyos valores por debajo o por sobre (cuando sea el caso e.g. pH, T°, O.D.) de los

estipulados en la norma serán considerados como un primer síntoma que evidencia deterioro de la Salud Básica del Ecosistema.

Aquí se presenta una propuesta simple de cumple o no cumple, denominados bajo y medio respectivamente, donde si cumple no pone en riesgo la salud básica del ecosistema, y si no cumple sí pone en riesgo la salud básica del ecosistema, sobre lo cual se basan los resultados finales de este trabajo.

Tabla 3. Valores de los parámetros fisicoquímicos básicos basados en la Norma Chilena 1333 de se miden in situ que determinan las diferentes clases de calidad de un agua superficial.

NCh 1333 (Tabla N°2)	Unidad	Bajo (Cumple)	Medio (no cumple y pone en riesgo la Salud del Ecosistema)
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/l	>5	<5
pH		5,5-9,0	<5-5,>9
Temperatura	° C	Valor Natural + 3	Valor Natural >+3
Conductividad a 25 °C	uS/cm	4 Rangos	Fuera de 4 Rangos

Análisis de coliformes para determinar Calidad de Aguas

Para caracterizar y describir los resultados de los análisis fisicoquímicos de agua superficial, se realizan gráficas para los principales parámetros fisicoquímicos monitoreados en agua superficial durante el monitoreo ejecutado. En dichas graficas se considera, a modo referencial, las concentraciones establecidas en la NCh 1333/of. 87, de manera de dar continuidad a los análisis realizados mediante el estudio “Inventario Nacional de Humedales y Seguimiento Ambiental” (MMA-CEA-SGS, (2011-2017)).

Adicionalmente, se utiliza la relación Coliformes fecales/Streptococos fecales (CF/EF) (Geldreric & Kenner, 1969) para establecer el origen de la contaminación biológica según la Tabla 4:

Tabla 4. Relación Coliformes Fecales / Streptococos Fecales (CF/EF) (Geldreric & kenner, 1969)

Tipo de contaminación	Relación CF/EF (NMP/100ml)
Natural	0 – 0,7
Mixta	0,7 – 4,0
Antrópica	> 4,0

Parámetros comunitarios:

Para las comunidades acuáticas evaluadas en los distintos humedales, se estiman distintos parámetros comunitarios que expresan la estructura, composición y estado de conservación de los ensambles:

- Riqueza de taxa: Número de taxa diferentes en un determinado lugar y momento.
- Abundancia relativa: Relación entre el número de individuos de un taxón (especie, género o familia) y el número total de individuos.
- Densidad: Cantidad de individuos de una población biológica, determinada por unidad de espacio o volumen del ambiente en el que viven. Este parámetro se expresa como:

$$Densidad = \frac{\text{individuos de cada taxa (abundancia relativa)}}{\text{cantidad de réplicas} \times \text{área}}$$

- Índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'): Es un indicador de la incertidumbre de que un determinado espécimen tomado al azar de una muestra pertenezca a un cierto taxón. Este índice asume que los individuos fueron muestreados aleatoriamente de una población infinita y que todas las taxa están representados en la muestra. La fórmula para su cálculo se puede apreciar en la siguiente ecuación:

$$H'(\text{bits}) = - \sum_{i=1}^s p_i * \log_2 p_i \quad (\text{Krebs 1988})$$

Dónde: s = número de taxa.

p_i = proporción del taxa i en la muestra.

- Índice de Equitatividad de Pielou (J'): Mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor varía entre 0 y 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todos los taxa son igualmente abundantes. La siguiente fórmula muestra este índice:

$$J' = \frac{H'}{H'_{\max}} = \frac{H'}{\log_2 s} \quad (\text{Krebs 1988})$$

Dónde: H' = índice de Shannon-Wiener

$H'_{\max}$ = valor máximo teórico de H'

s = número de taxa

Análisis integral de variables fisicoquímicas con las biológicas

La relación entre las variables ambientales y las distintas comunidades biológicas en sistemas analizados se realiza mediante el Análisis de Componentes Principales (ACP) y Análisis de Correspondencia (AC), ambos métodos multivariados que permiten elucidar la relación entre las comunidades biológicas con el ambiente fisicoquímico (Ter Braak and Verdonschot, 1995) y agrupar estaciones relacionadas por sus componentes. Previo a la realización de ACP y AC es necesario realizar una disminución en el número de variables ambientales a incorporar en el análisis multivariante. Primero, se eliminan todas las variables ambientales que presenten sobre un 30% de valores bajo el límite de detección, luego, se calcula el coeficiente de variación de las variables seleccionadas escogiendo todas aquellas variables que presenten un porcentaje de variación $\geq 70\%$ (Ter Braak and Verdonschot, 1995), posteriormente se correlacionan las variables ambientales entre sí retirando aquellas variables con una elevada correlación (Pearson $\geq 0,7$), eliminando así información redundante del análisis. Posteriormente se realiza el análisis de componentes principales (ACP), el cual, permite identificar a las variables de mayor peso en los distintos componentes o ejes del análisis, seleccionando a partir del ACP todas las variables que presentaron una mayor asociación con el primer componente del análisis. Finalmente se realiza el AC.

Impacto aparente observado: análisis de hábitat visual *in situ*

Se determinan de manera cualitativa sistemas con bajo nivel de impacto (poca intervención aparente antrópica en el lugar donde no se aprecie basura aparente, ni actividades económicas que impacten el lugar de manera directa); intervención de nivel intermedia (con basura y otros impactos aparentes); y alto nivel de impacto (incluye evidencia de eutrofización aparente, basura, descargas, malos olores, actividades económicas que impacten en el lugar, canalización, etc).

	Bajo	Medio	Alto
Impacto aparente	El lugar se ve sin intervención aparente	con basura, sitios de recreación, canalizaciones	incluye evidencia de eutrofización aparente, basura, descargas, malos olores, actividades económicas que impacten en el lugar, canalización

Estimación del Grado de Amenaza Ambiental

Obtenido el estado trófico, la salud del ecosistema y el impacto aparente observado en terreno durante el monitoreo de los humedales, se realiza una estimación de la amenaza ambiental para la biota basado en la fórmula adjunta, de acuerdo a los puntajes estipulados en la **Tabla 5**.

- *Grado de Amenaza Ambiental* = $\sum p_i$

Para que un humedal califique con una amenaza baja, ninguna variable evaluada puede tener un puntaje mayor a cero y por tanto la suma debe ser cero (es decir debe ser Oligotrófico-Bajo-Bajo). Si al menos una de las variables consideradas muestra un nivel de impacto medio en el ecosistema (valor suma de puntaje =1-3) entonces la amenaza es media; si al menos una es considerada como alta (suma de puntaje = 4-6) entonces la amenaza es alta. Cuando la suma de puntajes es 7 o más, entonces la amenaza es catalogada como muy alta.

Tabla 5. Tabla para la evaluación de amenaza ambiental para la biota asociado a cada humedal en evaluación. Siguiendo un principio de conservación la evaluación considera la mayor amenaza obtenida. (modificada de MMA 2014).

Puntajes (pi)	Estado Trófico	Salud Ecosistema	Impacto aparente		Suma de los Pi	Amenaza Ambiental
0	Oligotrófico	Bueno	Bajo	=	0	Baja
1	Mesotrófico	Regular	Medio	=	1-3	Media
4	Eutrófico	Malo	Alto	=	4-6	Alta
7	Hipereutrófico	Muy Malo	Muy Alto	=	7 o más	Muy Alta

3.1.3. Difusión de los resultados.

Para la difusión de los resultados de este estudio, se realizan al final de la consultoría un total de 3 talleres en las regiones de desarrollo de estos estudios. Se considera una publicación resumen de resultados que no excederá las 7 páginas.

4. RESULTADOS

Los resultados de este informe final contemplan la revisión y discusión de los indicadores de condición ambiental que se exponen a continuación, así como los resultados de la evaluación de condición ambiental de cada una de las estaciones monitoreadas en los humedales del Huasco, Estero Campiche y Boca Maule.

4.1. Métodos e Indicadores de condición ambiental

El término “Condición Ambiental” es una generalidad que contiene la idea de poder evaluar la calidad (por ejemplo, en términos generales de buena, regular o mala) de un ecosistema, siendo muchas veces utilizado como un sinónimo de la “Salud del Ecosistema”. Sin embargo, existen distintos conceptos asociados que evalúan una parte de la condición ambiental, tales como la Condición hídrica, Caudal Ambiental y/o Ecológico, Valoración Morfológica, Estado Ecológico, Estado Trófico, entre otros.

La literatura señala lo siguientes tipos de indicadores ambientales:

Fisicoquímicos: Los más utilizados son: a) indicador físico que mide el grado de transparencia del cuerpo del agua mediante el uso del disco Secchi; b) indicadores químicos, principalmente basados en el análisis de nutrientes (Nitrógeno y/o Fósforo) para determinar un nivel de Estado Trófico o de algún otro aspecto de calidad de agua (según normativa vigente nacional y/o internacional por ejemplo); c) indicadores de valoración morfológica, donde se aplica algún índice que valora en bloque aspectos relativos a la hidromorfología y/o grado de alteración del humedal.

Biológicos: Los más utilizados son: a) indicadores Unimétricos, basados en solo una característica clave tal como presencia/ausencia, riqueza, diversidad, grado de tolerancia por puntuación; b) indicadores Multimétricos, los cuales combinan en una puntuación final el valor independiente de diversas métricas claves como por ejemplo presencia/ausencia + riqueza + diversidad; c) métodos multivariantes o predictivos, los cuales utilizan un conjunto de métodos basados en la comparación de las características del sitio de estudio con un sitio de referencia. Estos requieren gran cantidad de datos y conocimiento acabado de un sistema para su desarrollo y aplicación; d) índices de rasgos biológicos, que relacionan un atributo de las especies con su ambiente, como por ejemplo los grupos funcionales.

Estadísticos multivariantes: Su objetivo es buscar las relaciones que pueda haber entre dos grupos de variables y la validez de las mismas. Permite establecer relaciones entre la fisicoquímica y la biota de un humedal, diferenciando sistemas y agrupándolos de modo de poder diferenciar unos de otros (por ejemplo, por condición ambiental).

Ambos indicadores (fisicoquímicos y biológicos) debieran ser aplicados en paralelo (al menos uno de cada uno, o bien un conjunto de ellos), de manera de evaluar las condiciones ambientales de manera robusta.

A nivel internacional, estos han sido muy desarrollados y ampliamente utilizados en la Unión Europea, Australia, Nueva Zelanda y Estados Unidos. En Chile, su desarrollo ha sido limitado y escaso, con un mayor desarrollo en ríos y arroyos, respecto de otros cuerpos de agua tales como lagos, salares, humedales y sistemas de desembocadura. Existen dos problemas asociados a esta falta de desarrollo en Chile: a) por un lado faltan especialistas en la taxonomía básica de los organismos que sirven de insumo para el desarrollo de estos índices (tanto en zooplancton, fitoplancton, zoobentos, fitobentos, macrófitas y peces), y b) faltan ecólogos especialistas que entiendan los procesos limnológicos asociados al campo de la ecología aplicada. Si bien existe un buen número de profesionales que han desarrollado un número importante de investigaciones en el campo de la ecología teórica, faltan expertos que puedan llevar este conocimiento al campo de la ecología aplicada para el estudio de condiciones ambientales. Por lo anterior, el desarrollo de metodologías que permitan el desarrollo de índices e indicadores de la salud de los ecosistemas de humedales de Chile aún tiene un desarrollo insuficiente.

Por otro lado, y en relación a la capacidad de aplicación de indicadores fisicoquímicos, estos son de aplicación más sencilla y directa. Se requiere una buena toma de muestra y el instrumental adecuado que en Chile es de acceso amplio, aunque sin duda el impedimento puede ser el alcanzar los Límites de Detección adecuados para el uso de indicadores robustos.

Para el desarrollo de este trabajo se analizan los siguientes métodos e índices empleados para evaluar condición ecológica en humedales.

4.1.1. Indicadores fisicoquímicos de Estado Trófico

El estado trófico es uno de los indicadores de condición ambiental más utilizados. El estado trófico de un sistema se obtiene de los resultados de valores obtenidos de Disco Secchi, Clorofila a y Nutrientes, obteniéndose un valor de trofia que se categoriza entre Oligotrófico, Mesotrófico y Eutrófico, pudiendo incluirse extremos de Ultraoligotrófico e Hipertrófico en algunas clasificaciones.

- a) **Disco Secchi:** Un disco Secchi o disco de Secchi es un instrumento de medición de la penetración luminosa, y por ello de la turbidez, en masas de agua como ríos, lagos y mares. Sus características son las siguientes: Mide de 20 a 30 centímetros de diámetro. El método consiste en un disco blanco con negro amarrado a una cuerda graduada en metros. Se deja bajar en la columna de agua el disco hasta el punto que se pierda de vista. Entonces se jala lentamente de vuelta el disco hasta el punto que se vea y se anota la distancia (profundidad) en que se visualiza, anotando la profundidad a que esto sucede en metros. **Factibilidad técnica:** de fácil aplicación y amplio uso. Sin brechas de información actual. Esta metodología debiera aplicarse en todos los estudios de humedales (donde sea pertinente).
- b) **Clorofila a y Nutrientes:** Para ello se toman muestras de agua y se analizan en el laboratorio según metodología estandarizada, como las metodologías contenidas en Standard Methods

for the Examination of Water and Wastewater (APHA-AWWA-WEF, 2005), el análisis de nutrientes (fósforo total y nitrógeno total) y clorofila a.

Los valores obtenidos con los métodos anteriores se comparan con literatura reconocida, para lagos, ríos y para estuario, los cuales son utilizados como los valores límites para determinar el estado trófico de cada humedal. Los valores que se han utilizado en los estudios recientes del MMA se muestra en la siguiente Tabla:

Tabla 6. Rango de Valores de Nitrógeno Total, Fósforo Total, Clorofila “a” y Disco de Secchi para los distintos sistemas estudiados. (Adaptado de Smith et al. 1999 para lagos y ríos y Bricker et al. 1999 para estuario).

Sistema	Estafo Trófico	Nitrógeno Total (ug/L)	Fósforo Total (ug/L)	Clorofila “a” (ug/L)	Disco de Secchi (m)
Lagos (Lentico)	Oligotrófico	< 350	< 10	< 3.5	> 4
	Mesotrófico	350 – 650	10 – 30	3.5 – 9	2 – 4
	Eutrófico	650 – 1200	30 – 100	9 – 25	1 – 2
	Hipertrófico	> 1200	> 100	> 25	< 1
Ríos (Lotico)	Oligotrófico	< 700	< 25	< 10	-
	Mesotrófico	700 – 1500	25 - 75	10 – 30	-
	Eutrófico	> 1500	> 75	> 30	-
Marino (Estuario)	Oligotrófico	< 100	< 10	< 5	> 6
	Mesotrófico	100 – 1000	10 – 100	5 – 20	3 – 6
	Eutrófico	>1000	>100	20 – 60	1.5 – 3
	Hipertrófico	-	-	> 60	< 1.5

(*) Esta tabla es una adaptación de la Tabla 1 encontrada en la publicación de Smith *et al* (1999).

- a) **Factibilidad técnica:** de fácil aplicación y amplio uso. Sin brechas de información actual, si bien es posible robustecer la información respecto a corroborar los límites establecidos para cada parámetro en ug/L. No obstante lo anterior, el uso de esta tabla de manera uniforme permite establecer comparaciones espaciales y temporales robustas respecto a la calidad de cada uno de los humedales estudiados, por lo cual no se considera necesario levantar información mediante estudios adicionales en lo inmediato. Se sugiere realizar un estudio de consulta a experto apoyada con estadística realizada a la base de datos existente para establecer la pertinencia de los límites utilizados actualmente y que se presentan en la tabla anterior. Esta metodología (estado trofico mediante valores de nutrientes y Chl a) debiera aplicarse en todos los estudios de humedales.

b) Índice de estado trófico de Carlson (1977) modificado por Aizaki et al (1981)

Otra metodología utilizando Clorofila *a* consiste en la estimación del índice de estado trófico (IET_{clo}) (trophic state index) el cual usa como valores de entrada los valores de clorofila “a” fitoplanctónica de sistemas lénticos. Este índice fue propuesto por Carlson (1977) y posteriormente modificado por Aizaki et al (1981). El índice se observa en la siguiente ecuación:

$$IET_{clo} = 10 \times (2,46 + (\ln Chloa / \ln 2,5))$$

Dónde: *Chloa* es el valor de la clorofila “a” fitoplanctónica de cada sitio de muestreo

La escala de este índice varía entre 0 y 100, desde un estado oligotrófico a uno hipereutrófico. En la siguiente Tabla se presentan las categorías tróficas según los valores obtenidos de clorofila “a” fitoplanctónica para el índice Trófico propuesto.

Tabla 7. Escala de valores del índice de Estado Trófico (IET) en cuerpos de agua lacustres.

Estado de Trofía	IET	Clorofila “a” fitoplanctónica (ug/L)
Oligotrófico (IET < 30)	0	0,04
	10	0,12
	20	0,34
	30	0,94
Mesotrófico (30 < IET < 60)	40	2,6
	50	6,4
	60	20
Eutrófico (60 < IET < 90)	70	56
	80	154
	90	427
Hipereutrófico (90 < IET < 100)	100	1183

Fuente: Aizaki *et al*, 1981

Factibilidad técnica: de fácil aplicación. Existen brechas de información actual: No ha sido calibrado para humedales de Chile y habría que revisar su utilidad. Existiendo métricas más directas y robustas, puede dejarse como una alternativa complementaria.

4.1.2. Indicadores físicos de valoración morfológica

Otro método de amplio uso, donde se aplica algún índice que valora en bloques aspectos relativos a la hidromorfología y/o grado de alteración del humedal.

- a) **Índice de Impacto Aparente Observado:** es un análisis de hábitat visual in situ: Se determinan de manera cualitativa sistemas con bajo nivel de impacto, intervención de nivel medio y alto nivel de impacto según la tabla adjunta.

Tabla 8. Rango de Valores de impacto aparente para un humedal.

	Bajo	Medio	Alto
Impacto aparente	El lugar se ve sin intervención aparente	con basura, sitios de recreación, canalizaciones y actividades menores que no modifican el lugar.	incluye evidencia de eutrofización aparente, basura, descargas, malos olores, actividades económicas que impactan y modifiquen el lugar, canalización.

Factibilidad técnica: de fácil aplicación. Hay que ver si es necesario ajustar. Esta metodología debiera aplicarse en todos los estudios de humedales (donde sea pertinente).

- b) **Índice Del Estado De Conservación De Ecosistemas Lénticos Someros (Ecels):** propuesto por la Agencia Catalana del Agua (2004). Este índice valora en 5 bloques, aspectos relativos a la morfología del humedal; construcciones, infraestructuras y usos humanos; aspecto del agua; vegetación de helófitos y vegetación sumergida y flotante. El Bloque 1, valora la pendiente de la franja litoral y es modulada (corregida) por la presencia de construcciones o aterramientos que alteran dicha franja. El mayor valor para este bloque se obtiene cuando la pendiente es <del 25 %. El Bloque 2 valora las alteraciones provocadas por construcciones, infraestructuras como carreteras, extracciones de agua o usos humanos del territorio que afectan significativamente al humedal. El Bloque 3 se refiere al aspecto del agua, de forma cualitativa, valorándose el olor y el color. El Bloque 4 analiza la vegetación de helófitos de la franja litoral, puntuando de forma positiva la ocupación de la comunidad vegetal de toda la franja y la diversidad de especies. Por el contrario, se penaliza, la dominancia de alguna planta sobre las demás. Se valora también la temporalidad del agua. Finalmente, el Bloque 5 analiza la vegetación sumergida y flotante, la cantidad y cobertura de cada una de ellas en el humedal. Se modula y corrige por la dominancia de alguna de las formaciones.

El valor final, se obtiene de la suma de los bloques y se valora su calidad en 5 clases, que pueden ser ilustradas por un color: Calidad Muy Buena: azul (entre 80-100), Calidad Buena: verde (entre 60-80), Calidad Media: amarillo (entre 40-60), Calidad Mala: naranja (entre 20-40) y Calidad Muy Mala: rojo (entre 0-20).

Tabla 9. Valores de cálculo para índice ECELS para un humedal.

Calculo índice ECELS			
DATOS DEL LUGAR:			
FECHA:			
SUMATORIA TOTAL			
			max 20 pts
Bloque 1 Morfología			
1.1 Grado de pendiente del litoral			
a) Predomina una pendiente <25%			20
b) Predomina una pendiente entre 25 y 50%			10
a) Predomina una pendiente entre 50% y 75%			5
a) Predomina una pendiente >75%			0
Moderador Bloque 1			
A. presencia de montes y represas en más del 50% del perímetro de la llanura.			
a) de tierra			-5
b) de otro material			-10
B. Evidencia de socavamientos en parte de la llanura			-10
			max 20 pts
Bloque 2. Construcciones e infraestructuras			
2.1 Hidráulicas (extracción de agua, canalizaciones)			
a) Ausente			5
b) Presente			0
2.2 Viales a menos de 100 m			
a) Ausente			5
b) pista Forestal			3
c) carretera o vía de tren			0
2.3 Inmobiliarias a menos de 100 m			
a) camping o poligonos indutriales o privados			0
b) campos de golf			2
	<0.5 ha	0.5-3 ha	>3ha
c) habitacionales			
c1. Ausencia	5	5	5
c2. entre 1 y 10 casas	0	1	3

c3. >10 casas	0	0	0
2.4 Agrícola, ganadera o silvícola			5
a) Ausente			3
b) en el entorno (no en el humedal)			1
c) afecta el litoral del humedal			0
d) en el interior del humedal			

Modulador Bloque 2	
A. FRECUENCIA	
a) moderada (gente visita una vez por semana)	-3
b) alta (siempre en el lugar)	-5
B) CONSERVACION	
a) Desechos en el agua	-5
b) Desechos en la llanura	-3
c) Gestión e información del espacio	
c.1) Miradores y similares	1
c.2) Figuras de protección	3
c.3) gestión activa	5
C) PRESENCIA FAUNA EXOTICA o DOMESTICA	-5

max 10
pts

Bloque 3. Aspecto del agua

3.1 Transparencia	max 5 pts
a) transparente	5
b) turbia se ve el fondo	2
c) turbia no se ve el fondo	0
3.2. Olor	
a) sin olor aparente	5
b) olor detectable	0

max 30
pts

Bloque 4. Vegetación

4.1 extensión en el perímetro	max 15 pts
a) ausencia	0
b) presencia >25%	5
c) entre 25 y 90%	10
d)>90%	15

	max 15 pts
4.2. extensión en el humedal	
a) ausencia	0
b) presencia >25%	5
c) entre 25 y 50%	10
d) entre 50 y 90%	15
e) >90%	0

Moderador Bloque 4	
A. Comunidad dominante	-10
a) caña >50%	-5
b) caña como única especie >95%	10
c) comunidad multi específica	-10
d) Plantas exóticas dominantes	
B. Estrato arbóreo	5
a) Autóctonos aislados	10
b) Autóctonos no fragmentado	-5
c) Alóctonos y autóctonos	-10
d) Plantaciones (alóctono o autóctona)	-10
C. Permanencia del agua	
a) humedal temporal	15
b) humedal permanente (no se seca)	10

	max 20 pts
Bloque 5. Vegetación sumergida y surgente	
	max 15 pts
5.1 cantidad sumergida	
a) ausencia	0
b) presencia >25%	5
c) entre 25 y 90%	10
d)>90%	15
5.2 Cantidad emergente	
a) ausencia	0
b) presencia >25%	3
c) entre 25 y 90%	5
d)>90%	0
Modulador Bloque 5	
A. comunidad dominada por	
a) plantas vasculares o Carófitas	10

b) algas filamentosas y vasculares o Carofitas	5
c) algas filamentosas	-5
d) lentejas de agua	-5
e) Especies alóctonas abundantes >20%	-10

Factibilidad técnica: Es sencillo en su aplicación, sin embargo, requiere un conocimiento básico de un sistema humedal. Habría que ver si es necesario intercalibrar o reajustar/modificar. Existiendo métricas más directas y robustas, puede dejarse como una alternativa complementaria. El costo de implementarla sin embargo es bajo, se requiere solo un curso de nivelación técnica.

4.1.3. Parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad

- a) **Comparación con normativa vigente:** Otra metodología de amplia aplicación es establecer la calidad de agua de un humedal según normativa vigente nacional y/o internacional. Se asume una buena calidad cuando los parámetros fisicoquímicos se encuentran dentro de los valores normados. En la Tabla a continuación se presentan los valores de la Norma Chilena 1333 OF. 78 para calidad de agua de acuerdo a su uso, en este caso para riego, los cuales si bien no son parámetros óptimos para una calidad de agua considerada como “muy buena” para la vida acuática, si asume valores que permiten una calidad mínima que puede ser considerada óptima para una primera aproximación de calidad aceptable para la biota. Lo anterior, dado que en Chile la amplitud geográfica es tan amplia que lo ideal es normar por cuenca, existiendo algunas cuencas normadas en la actualidad, esta tabla tiene la ventaja de establecer un estándar mínimo nacional para humedales, no obstante lo ideal es tener normar locales para cada ecoregión y ecozona específica en el futuro.

Tabla 10. Valores de la Norma Chilena 1333 OF 78 para riego, que se propone como valores comparativos para establecer calidad para la vida acuática.

Parámetro Fisicoquímico	Unidad	Valor NCh 1333
Conductividad a 25 °C	uS/cm	4 Rangos
pH		6,0-9,0
Temperatura	° C	Valor Natural no debe aumentar en + 3°
Oxígeno Disuelto	mg/l	>5
Aluminio	mg/l	5
Alcalinidad	mg/l	>20
Arsénico	mg/l	0,1

Bario	mg/l	4
Berilio	mg/l	0,1
Boro	mg/l	0,75
Cadmio	mg/l	0,01
Carbaril	mg/l	70
Cianuro	mg/l	0,2
Cloruros	mg/l	200
Cobalto	mg/l	0,05
Cobre	mg/l	0,2
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	1000
Color		Ausencia de colorante artificiales
Cromo	mg/l	0,1
Fluoruro	mg/l	1
Hierro	mg/l	5
Litio	mg/l	2,5
cítricos	mg/l	0,075
Manganeso	mg/l	0,2
Mercurio	mg/l	0,001
Molibdeno	mg/l	0,01
Níquel	mg/l	0,2
		No debe haber detección visual
Petróleo o cualquier tipo de hidrocarburo		No debe haber cubrimiento de fondo, orilla o ribera
		No debe haber olor perceptible
Plata	mg/l	0,2
Plomo	mg/l	5
Razón Adsorción Sodio		
Turbiedad	Escala Sílice	<30
Selenio	mg/l	0,02
Sodio Porcentual	%	35
Sólidos Totales Disueltos	mg/l	4 rangos
Sólidos flotantes visibles y espumas no naturales		Ausentes
Sólidos sedimentables		No debe exceder el valor natural
Sulfatos	mg/l	250
Vanadio	mg/l	0,1
Zinc	mg/l	2

Factibilidad técnica: de fácil aplicación y amplio uso. Entre los vacíos de información se encuentra la problemática de si su aplicación puede ser a nivel nacional o hay que ajustar a lo menos según ecorregión, debido a que algunos valores pudieran ser subestimados y/o sobrestimados. Se sugiere someter esto a discusión de expertos en el área, lo cual tiene un bajo costo de realización y una alta eficiencia.

4.1.4. Indicadores Biológicos Unimétricos para determinar la condición ambiental:

- a) **Uso de Bacterias:** Tradicionalmente, se utiliza la relación Coliformes fecales/Streptococos fecales (CF/EF) (Geldreric & Kenner, 1969) para establecer el origen de la contaminación biológica según la siguiente tabla:

Tabla 11. Relación Coliformes Fecales / Streptococos Fecales (CF/EF) (Geldreric & kenner, 1969)

Tipo de contaminación	Relación CF/EF (NMP/100ml)
Natural	0 – 0,7
Mixta	0,7 – 4,0
Antrópica	> 4,0

Factibilidad técnica: de fácil aplicación. Hay que tener cuidado de no aplicar el índice cuando existan valores bajo el límite de detección de la metodología utilizada para determinar el NMP/100ml. Sin brechas de información actual. Esta metodología debiera aplicarse en todos los estudios de humedales (donde sea pertinente).

- b) **Parámetros comunitarios:** Para las comunidades acuáticas se estiman distintos parámetros comunitarios que expresan la estructura, composición y estado de conservación de los ensambles:
- **Riqueza de taxa:** Número de taxa diferentes en un determinado lugar y momento. Una mayor riqueza sugiere una mejor calidad del humedal.
 - **Abundancia relativa:** Relación entre el número de individuos de un taxón (especie, género o familia) y el número total de individuos. Mayores abundancias sugiere una mejor calidad del humedal.
 - **Densidad:** Cantidad de individuos de una población biológica, determinada por unidad de espacio o volumen del ambiente en el que viven. Lugares con mayor densidad sugieren una mejor calidad que lugares muy bajos en densidad. Este parámetro se expresa como:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{individuos de cada taxa (abundancia relativa)}}{\text{cantidad de réplicas} \times \text{área}}$$

- Índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'): Es un indicador de la incertidumbre de que un determinado espécimen tomado al azar de una muestra pertenezca a un cierto taxón. Este índice asume que los individuos fueron muestreados aleatoriamente de una población infinita y que todas las taxa están representados en la muestra. Mayor diversidad sugiere mejor calidad del humedal. La fórmula para su cálculo se puede apreciar en la siguiente ecuación:

$$H'(bits) = - \sum_{i=1}^s p_i * \log_2 p_i \quad (\text{Krebs 1988})$$

Dónde: s = número de taxa.

p_i = proporción del taxa i en la muestra.

- Índice de Equitatividad de Pielou (J'): Mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor varía entre 0 y 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todos los taxa son igualmente abundantes. Mayor equidad sugiere mejor calidad del humedal. La siguiente fórmula muestra este índice:

$$J' = \frac{H'}{H'_{\max}} = \frac{H'}{\log_2 s} \quad (\text{Krebs 1988})$$

Dónde: H' = índice de Shannon-Wiener

$H'_{\max}$ = valor máximo teórico de H'

s = número de taxa

Factibilidad técnica: de fácil aplicación y amplio uso. Una brecha en la información es a) poder llegar al nivel taxonómico más bajo posible en cada grupo utilizado (zooplankton, fitoplancton, zoobentos, peces); b) puede haber alto nivel de incertidumbre: determinar cuál es el rango (numérico) de parámetros comunitarios por sistema de estudio (tener una referencia ambiental). Sin embargo, para este último punto puede utilizarse como referencia el mejor sitio dentro de los sitios estudiados como referencia comparativa. Esta metodología debiera aplicarse en todos los estudios de humedales (donde sea pertinente)

- c) **Índice biótico IBH4** (índice Biótico para Humedales de los 4 grupos taxonómicos más representativos para zoobentos según biota encontrada. Este es un índice modificado por Palma para MMA 2018 desde el IBY-4 de Dos Santos et al. 2011 que se basa principalmente en la presencia/ausencia de cuatro especies indicadoras, para ese caso Elmidæ, Plecóptera, Trichoptera y Megaloptera.

Para el IBH4 se utiliza el componente zoobentónico, donde se propone el cálculo de este índice basado principalmente en la presencia/ausencia de cuatro especies indicadoras de humedales: Mollusca, Crustácea, Anelida (Polychaeta, Oligochaeta, Dugesia), e Insecta. Para la aplicación del índice se sigue de acuerdo con la siguiente formula:

$$IBH4 = \sum Ti$$

Donde Ti es un taxa correspondiente a Mollusca, Crustácea, Anelida (Polychaeta, Oligochaeta, Dugesia), e Insecta. Los valores 0 y 1 muestran ausencia y presencia (respectivamente) de cada taxa evaluado en el sistema, sumándose el total de presencia de taxa, por lo que el IBH4 puede ir desde 0 a 4. Valores IBH4 0 indica calidad muy mala (ausencia total de taxa y se representa en color rojo); 1 calidad mala (solo uno de los cuatro taxa presente en el sistema se representa en naranja); 2 calidad regular (la mitad de los taxa presentes, se representa en amarillo); 3 calidad buena (75% de presencia, se representa en verde) y 4 calidad muy buena (el total de taxa se representa en azul) (ver tabla adjunta).

	Muy Bueno	Bueno	Regula	Malo	Muy Malo
IBH4	4	3	2	1	0

Factibilidad técnica: de fácil aplicación, no requiere conocimiento experto. Requiere mayor aplicación para corroborar su efectividad. No existiendo otras métricas más directas y robustas, sería importante el poder seguir utilizando esta metodología, y puede dejarse como una alternativa complementaria.

4.1.5. Indicadores Biológicos para determinar trofía

La trofía es un componente de la calidad ambiental que tradicionalmente se evalúa mediante la fisicoquímica. Sin embargo, se han propuesto índices utilizando la biota para determinar el estado trófico de un lugar.

- a) **Índice BI Para el componente fitoplanctónico:** se evalúa de acuerdo a la modificación de Pinilla (2010) a la propuesta original de este índice por Jiang y Shen (2005 en Pinilla 2010) y Jiang (2006 en Pinilla 2010). Este se estima siguiendo la siguiente forma:

$$PI = \sum \frac{C}{LC}$$

Donde C es la concentración estimada de una variable y LC es la concentración umbral de cumplimiento de una norma, en este caso corresponde a 20 µg/L en el caso de los ecosistemas estuariales, 30 µg/L en los ríos de agua dulce y 9 µg/L en sistemas lenticos como límite de concentración que define un sistema mesotrófico de uno eutrófico. A partir de este PI en cada muestra o sitio se pueden obtener los valores de polución de cada taxa TPV a partir de la siguiente ecuación:

$$TPV = \sum \frac{\ln \frac{10PI}{n}}{N}$$

Donde PI es el índice de Polución ya descrito, n el número de variables químicas en este caso 1, m el número de estaciones donde aparece el taxa y N el número total de estaciones o sitios evaluados, por lo que m=N cuando los taxones aparecen en todos los sitios evaluados.

Por último, el índice biótico BI se estima:

$$BI = \sum \frac{TPV}{n}$$

Donde n es el número de taxa o especies en la muestra o sitio y TPV el valor de polución de cada taxa. Pinilla (2010) recomienda estandarizar el índice BI como porcentaje en relación al máximo BI obtenido, el cual se vuelve el 100%, respecto de todos los valores obtenidos, los cuales son calibrados en relación a este valor.

La clasificación trófica para cada punto de muestreo se obtiene al aplicar la siguiente tabla:

BI %	Nivel de Trofía
<50	Oligotrófico
50 – 66,6	Mesotrófico
66,6 – 83,3	Eutrófico
>83,3	Hipereutrófico

Factibilidad técnica: Alto nivel de dificultad en aplicación. Requiere conocimiento taxonómico de baja resolución del fitoplancton (a nivel de especie), y conocer los valores de clorofila de cada lugar, para luego aplicar la metodología. Además, es posible que el valor de polución de cada taxa varíe de sistema en sistema dependiendo de la concentración de clorofila. Es necesario realizar varios estudios para ver su aplicabilidad en cuanto a su efectividad. Existiendo índices de trofía más sencillos de aplicar (evaluación de nutrientes y clorofila a directos), puede dejarse como una alternativa complementaria.

- b) **Índice IPL Para el componente fitoplanctónico:** se evalúa de acuerdo a la modificación de Barbe et al. (2003 en MMA 2018). Este índice para una muestra o sitio se estima de la siguiente forma:

$$IPL = \sum (Q_i * A_j)$$

Donde Q_i es la puntuación de calidad biológica asignada a los grupos de fitoplancton de acuerdo con el cuadro a continuación:

Grupo taxonómico	Puntaje tolerancia
<i>Desmidiales</i>	1
<i>Charophyta</i>	1
<i>Bacillariophyta</i>	3
<i>Chrysophyceas + Ochrophyta</i>	5
<i>Dinophyta + Cryptophyta</i>	9
<i>Chlorophyta</i>	12
<i>Cyanobacteria</i>	16
<i>Euglenophyta (=Phylum Euglenozoa)</i>	20

Y Aj es las Clases de abundancia relativa de los grupos de acuerdo con:

Rango de abundancias relativas (%)	Puntaje
0-10	0
10-30	1
30-50	2
50-70	3
70-90	4
90-100	5

Este índice clasifica en dos estados tróficos los cuerpos de aguas: IPL <50 son oligotróficos, IPL >50 son eutróficos.

Factibilidad técnica: Alto nivel de dificultad en aplicación. Requiere conocimiento taxonómico de baja resolución del fitoplancton (a nivel de especie), y conocer los valores de clorofila de cada lugar, para luego aplicar la metodología. Es necesario realizar varios estudios para ver su aplicabilidad en cuanto a su efectividad. Existiendo índices de trofia más sencillos de aplicar (evaluación de nutrientes y clorofila a directos), puede dejarse como una alternativa complementaria., además que solo distingue dos niveles tróficos.

- c) **Índices bióticos E de Maemets (1980, en Jeppesen y col. 2011 y MMA 2018):** Para el **componente zooplanctónico**: El cálculo de este índice se realiza de acuerdo con la siguiente formula:

$$E = \frac{K(x + 1)}{(A + Y)(y + 1)}$$

Donde K, A e Y son el número total de especies de rotíferos, copépodos y cladóceros, respectivamente, mientras que x es el número de especies o taxa de rotíferos indicadores de mesotrofia o eutrofia; e y el número de copépodos o cladóceros indicadores de oligotrofia o mesotrofia.

De acuerdo con Maemets (1980, en Jeppesen y col. 2011), valores del índice E inferiores a 0,2 son indicadores de lagos oligotróficos (equivalente aquí a un nivel bajo en los sistemas estuariales), valores entre 0,2 y 1,0 corresponden a lagos mesotróficos (nivel medio en sistemas estuariales), entre 1,0 y 4,0 en lagos eutróficos (nivel alto en sistemas estuariales) y sobre 4,0 en aquellos hipertróficos (nivel hipereutrófico en sistemas estuariales).

Factibilidad técnica: Alto nivel de dificultad en aplicación. Requiere conocimiento taxonómico de baja resolución del zooplancton (a nivel de especie), y conocer los valores de trofia (puntaje) para cada especie, para luego poder aplicar la metodología. Es necesario realizar varios estudios para ver su aplicabilidad en cuanto a su efectividad. Existiendo índices de trofia más sencillos de aplicar (evaluación de nutrientes y clorofila a directos), puede dejarse como una alternativa complementaria. Para el uso de este índice falta información respecto a los taxa indicadores de oligotrofia, mesotrofia y eutrofia.

4.1.6. Uso de índices estadísticos multivariantes

- a) **ACP y ACC:** El uso de la estadística para establecer la relación entre las variables ambientales y las distintas comunidades biológicas en sistemas analizados es de amplio uso desde los años 80's (Underwood 1981, Gotelli & Graves 1996, Zar 1996), donde en los últimos años se realiza mayoritariamente mediante análisis multivariantes (Bonada et al. 2006). Tradicionalmente se han utilizado dos métodos: el Análisis de Componentes Principales (ACP) y Análisis Canónico de Correspondencia (ACC), ambos métodos multivariados que permiten elucidar la relación entre las comunidades biológicas con el ambiente fisicoquímico (Ter Braak and Verdonschot, 1995, Jaksic 2001) y agrupar estaciones relacionadas por sus componentes. Previo a la realización de ACP y ACC es necesario realizar una disminución en el número de variables ambientales a incorporar en el análisis multivariante. Primero, se eliminan todas las variables ambientales que presenten sobre un 30% de valores bajo el límite de detección, luego, se calcula el coeficiente de variación de las variables seleccionadas escogiendo todas aquellas variables que presenten un porcentaje de variación $\geq 70\%$, posteriormente se correlacionan las variables ambientales entre sí retirando aquellas variables con una elevada correlación (Pearson $\geq 0,7$), eliminando así información redundante del análisis. Posteriormente se realiza el análisis de componentes principales (ACP), el cual, permite identificar a las variables de mayor peso en los distintos componentes o ejes del análisis, seleccionando a partir del ACP todas las variables que presentaron una mayor asociación con el primer componente del análisis. Finalmente se realiza el ACC.

Factibilidad técnica: de fácil aplicación, no requiere conocimiento experto. Debido a que es una herramienta de bajo costo y muy útil, sería importante el poder seguir utilizando esta metodología (o alguna de ellas, estadísticos multivariantes similares) en todos los estudios.

4.1.7. Encuesta on-line para expertos

Luego de analizar métodos o indicadores de condición ambiental implementadas en Chile y el extranjero, se valida esta información mediante una consulta a expertos *on line*, la cual fue enviada por correo electrónico el día 25 de noviembre de 2019.

El objetivo de esta Consulta a Expertos es que puedan evaluar críticamente las metodologías de evaluación propuestas, de modo de poder implementarlas (y/o continuarlas) y que sean un instrumento eficaz en evaluar la condición integral de los humedales monitoreados, definiendo métricas y métodos idóneos. Se debe detallar cuales necesitan mayor información actual, para levantar estudios, y robustecer las metodologías. Este análisis de brechas de información considerará las propuestas costo-eficiencia para la gestión y conservación de estos ecosistemas.

Para ello se les solicita completar la siguiente Tabla 12, basado en los métodos e indicadores que se exponen en este documento.

La tabla está dividida en los tipos de métodos (físicoquímicos, biológicos, estadísticos clásicos) y en cada uno se enumera un método que ha sido utilizado en trabajos realizados en Chile y/o en el extranjero. El experto debe calificar según el criterio **Validar uso**, el cual mide la importancia que como experto considera para utilizar este método, luego la **Factibilidad técnica en Chile**, el cual mide cuán posible le parece aplicar este método con los conocimientos, profesionales, capacidades y logística que hay en el país, y finalmente calificar si hay **vacíos de información en ese ítem**, lo cual mide más o menos la percepción del estado de conocimiento profesionales, capacidades y logística existente al respecto. Finalmente se puede agregar un comentario que apoye esos puntajes.

TABLA CONSULTA EXPERTOS

Tabla 12. Evaluación de expertos metodologías e índices para evaluación de humedales de Chile. Validar uso, Factibilidad técnica en Chile y vacíos de información favor puntuar de 1 a 3 según lo recomienda, con 1: bajo, 2: media, 3: alta. Si no sabe o no desea responder un ítem favor poner una **x**.

Nombre Evaluador					
Tipo	Método	Validar uso	Factibilidad técnica en Chile	Vacíos de información	Comentario
Físicoquímico					
	De estado trófico				
	Disco Secchi				
	Clorofila a				
	Nutrientes				
	Valores de tabla 2				
	Est. Trófico de Carlson				
	De impacto				
	De valoración Morfológica				
	aparente				
	ECELS				
	De indicador de Calidad (Norma)				
	NCh 1333				
Hay otro que desee incluir?					
Otros comentarios					
Biológico					
	Unimétricos para calidad				
	CF/EF				
	Riqueza				
	Abundancia				

Densidad
Diversidad
Equitatividad
IBH4
De trofía BI Pinilla
IPL
E de Maemets

Hay otro que desee incluir?

Otros comentarios

Estadísticos clásicos

Multivariados ACC
ACP

Hay otro que desee incluir?

Otros comentarios

De las encuestas enviadas, no se recibieron respuestas si bien se insistió en ello, no pareció haber interés (o tiempo para ello) por parte de los especialistas consultados. Como equipo consultor, nuestra respuesta se presenta a continuación:

RESPUESTA DEL EQUIPO CONSULTOR A TABLA CONSULTA EXPERTOS

Tabla 13. Evaluación de expertos metodologías e índices para evaluación de humedales de Chile. Validar uso, Factibilidad técnica en Chile y vacíos de información favor puntuar de 1 a 3 según lo recomienda, con 1: bajo, 2: media, 3: alta. Si no sabe o no desea responder un ítem favor poner una X.

Nombre Evaluador					
Tipo	Método	Validar uso	Factibilidad técnica en Chile	Vacíos de información	Comentario
Fisicoquímico					
De estado trófico	Disco Secchi	3	3	1	
	Clorofila a	3	3	1	
	Nutrientes	3	3	1	
	Valores de tabla 2	3	3	2	Falta corroborar valores para nuestros sistemas.

	Est. Trófico de Carlson	1	3	3	No parece aportar mucho más que evaluar la clorofila a según tabla 2.
De valoración Morfológica	De impacto aparente	3	3	2	Simple y efectivo
	ECELS	2	2	2	Es complejo de usar y valorar
De indicador de Calidad (Norma)	NCh 1333	3	3	2	Debiera usarse solo con la fisicoquímica básica y no para todos los parámetros normados porque a nivel nacional estos varían mucho de cuenca en cuenca de manera natural.

Hay otro que desee incluir?

Otros comentarios

Biológico					
Unimétricos para calidad	CF/EF	3	3	1	No usar cuando los valores sean menores al LD
	Riqueza	3	2	2	Todos estos indicadores son susceptibles al grado de identificación taxonómica. Existiendo una gran falencia de buenos taxónomos solo permite comparaciones gruesas entre sistemas
	Abundancia	3	2	2	IDEM
	Densidad	3	2	2	IDEM
	Diversidad	3	2	2	IDEM
	Equitatividad	3	2	2	IDEM
	IBH4	3	3	1	Facil de usar. Falta aplicar más para ver su efectividad y

	De trofía	BI Pinilla	2	1	2	sensibilidad a las perturbaciones No aporta mayor información que la fisicoquímica y requiere una gran logística
		IPL	2	1	2	IDEM
		E de Maemets	2	1	2	IDEM

Hay otro que desee incluir?

Otros comentarios

Estadísticos clásicos

	Multivariados	ACC	3	3	1	Requiere de muchos datos para ser robusto
		ACP	3	3	1	Muy recomendable al ser el que permite tener un ordenamiento visual de los sistemas agrupándolos según grado de perturbación u otros indicadores de interés.

Hay otro que desee incluir?

Otros comentarios

Por tanto, se hace necesario utilizar a lo menos un indicador de cada área general: Fisicoquímica, Biota y Estadística, para luego analizar los resultados en su conjunto y sacar conclusiones lo más robustas posibles.

4.2. Físicoquímica

La físicoquímica evidenció una separación de los tres humedales en sus condiciones ambientales, sugiriendo una buena condición para el Humedal del Huasco, una regular para el Humedal Boca Maule y una mala para el Estero Campiche, según se detalla a continuación:

4.2.1. Clorofila, Nutrientes y Estado Trófico

La *clorofila a* mostró una tendencia a no superar los 10 µg/L en el humedal del Huasco. Con esto la tendencia para este humedal es a ser Oligotrófico. El humedal de Boca Maule fluctuó entre la oligotrofia y la euotrofia en primavera y verano respectivamente, aun cuando el sector de muestreo BM3 resultó ser hipertrófico en ambos periodos. El humedal de Estero Campiche evidenció valores superiores a 70 µg/L sugiriendo encontrarse continuamente en un estado hipertrófico.

El Nitrógeno total mostró una tendencia a mantenerse en la mayoría de los humedales con concentraciones que no superan los 100 µg/L; sin embargo, aumentó de manera considerable en el sistema Estero Boca Maule durante el verano para los sectores BM2 y BM3, superando los 1000 µg/L.

El Fósforo total sugiere encontrarse en concentraciones elevadas sobre 100 µg/L en los humedales Boca Maule y Estero Campiche, mientras que mantiene valores bajos en el humedal del Huasco.

Tabla 14. Parámetros fisicoquímicos: Nutrientes (Resultados en µg/L) y Coliformes (NMP/100). Colores Nutrientes: verde oligotrófico, amarillo mesotrófico, naranja eutrófico, rojo hipertrófico. Colores CF/EF: verde origen natural, amarillo mixto, naranja antrópico.

COD	Sistema	Periodo	Nitrógeno total	Fósforo	Clorofila "a"	Nitrato	Nitrito	Nitrógeno Amoniacal	Ortofosfato	Coliformes fecales	Estreptococos fecales	CF/EF
BM-1	Humedal Boca Maule	Primavera	60	32	8,21	<46	<9	56	500	920	170	5,41
BM-1	Humedal Boca Maule	Verano	10	48	50,2	<46	<9	<9	<500	2400	1,26E	1,90
BM-1-B	Humedal Boca Maule	Primavera	70	31	9,33	<46	<9	68	<500	540	130	4,15
BM-1-B	Humedal Boca Maule	Verano	<10	49	52,4	<46	<9	<9	<500	1600	2,30E	0,70
BM-2	Humedal Boca Maule	Primavera	660	145	4,19	455	<9	201	<500	920	920	1,00
BM-2	Humedal Boca Maule	Verano	1410	200	2,91	1396	<9	11	<500	16000	790	20,25
BM-3	Humedal Boca Maule	Primavera	380	115	435	<46	<9	370	<500	540	220	2,45
BM-3	Humedal Boca Maule	Verano	1080	505	207	233	<9	827	<500	5400	2,30E	2,35
EC-1	Humedal Campiche	Primavera	50	2	85,8	<46	<9	43	<500	48	7,8	6,15
EC-1	Humedal Campiche	Verano	110	272	38	<46	<9	105	800	41	<2	20,50
EC-2	Humedal Campiche	Primavera	50	2	152	<46	<9	45	<500	23	23	1,00
EC-2	Humedal Campiche	Verano	100	332	132	<46	<9	96	700	17	<2	8,50
EC-3	Humedal Campiche	Primavera	40	1	77,6	<46	<9	39	<500	22	4,5	4,89
EC-3	Humedal Campiche	Verano	260	358	118	<46	<9	251	800	33	<2	16,50
EC-3-B	Humedal Campiche	Primavera	60	<0,4	72,5	<46	<9	57	<500	33	4,5	7,33
EC-3-B	Humedal Campiche	Verano	260	360	129	<46	<9	253	900	17	<2	8,50
HP-1-T	Humedal Huasco	Primavera	10	12	32,5	<46	<9	<9	<500	<1,8	8,1	0,22
HP-1-T	Humedal Huasco	Verano	18080	23	5,92	18040	<9	41	<500	<1,8	8	0,23
HP-2	Humedal Huasco	Primavera	10	5	1,67	<46	<9	<9	<500	130	130	1,00
HP-2	Humedal Huasco	Verano	10	7	2,06	<46	<9	12	<500	240	540	0,44
HP-3	Humedal Huasco	Primavera	<10	6	2,36	<46	<9	<9	<500	130	130	1,00
HP-3	Humedal Huasco	Verano	48800	9	2,86	48799	<9	48800	<500	240	920	0,26
HP-3-B	Humedal Huasco	Primavera	20	4	2,23	<46	<9	22	<500	70	240	0,29
HP-3-B	Humedal Huasco	Verano	20	9	2,92	<46	<9	16	<500	540	920	0,59

En cada humedal se realiza una réplica de una estación de monitoreo, la que se denomina en los resultados con una letra "B" adicional.

4.2.2. Fisisicoquímica Básica y Salud Básica del Ecosistema

La fisisicoquímica básica de las aguas superficiales evidenció niveles de temperatura y pH, en niveles que superan el adecuado para el correcto desarrollo de la vida principalmente en el Humedal Estero Campiche. Se evidencia además bajos niveles de oxígeno para el humedal Boca Maule, las cuales no se relacionan a las temperaturas medidas que se mantuvieron bajo los 21°C. Estos valores sugieren una deficiente salud de estos ecosistemas.

Tabla 15. Parámetros fisisicoquímicos medidos in situ. En amarillo valores que ponen en riesgo la salud básica del ecosistema.

COD	Sistema	Periodo	Temperatura (°C)	pH	CE (uS/cm)	OD (mg/L)	Saturación %	mV/pH	ORP
EC-1	Humedal Campiche	Prim	19,35	8,97	6988	9,27	102,8	-112,2	138,3
EC-2	Humedal Campiche	Prim	19,43	9,04	6993	11,60	127,8	-116,4	130
EC-3	Humedal Campiche	Prim	19,78	8,51	6974	10,50	111,8	-111,4	124,7
EC-1	Humedal Campiche	Ver	23,94	9,47	9068	7,60	92,6	-145,4	103,5
EC-2	Humedal Campiche	Ver	24,04	9,33	8972	7,77	87,4	-137,3	105,7
EC-3	Humedal Campiche	Ver	21,76	9,27	9780	6,81	79,4	-133,0	106,4
HP-1T	Humedal Huasco	Prim	18,59	8,57	18320	8,63	97,7	-95,1	179,6
HP-2	Humedal Huasco	Prim	17,89	7,73	3151	9,25	98	-47,1	211,8
HP-3	Humedal Huasco	Prim	17,31	8,0	3104	10,88	113,3	-62,4	202,1
HP-1T	Humedal Huasco	Ver	20,65	9,12	15660	5,39	63,3	-124,5	130,7
HP-2	Humedal Huasco	Ver	18,71	7,59	2985	6,25	67,7	-35,7	169,7
HP-3	Humedal Huasco	Ver	17,95	7,77	2943	8,50	90,8	-46,3	151,8
BM-1	Humedal Boca Maule	Prim	20,86	7,16	3779	6,45	72,8	-6,0	149,3
BM-2	Humedal Boca Maule	Prim	18,69	7,02	285	7,65	81,5	2,1	133,8
BM-3	Humedal Boca Maule	Prim	18,90	7,09	905	5,83	62,1	-2,3	100,3
BM-1	Humedal Boca Maule	Ver	19,19	7,77	1924	5,08	55,0	-39,9	152,1
BM-2	Humedal Boca Maule	Ver	16,39	6,88	439	5,98	60,7	12,0	148,0
BM-3	Humedal Boca Maule	Ver	15,69	7,41	2972	2,88	28,9	-17,9	16,1

4.2.3. Físicoquímica de Metales, DBO y DQO

En las aguas superficiales, los Sulfatos evidencian encontrarse en concentraciones elevadas sobre 100 mg/L en los humedales Boca Maule y Estero Campiche principalmente, mientras que mantiene valores sobre 1000mg/L en el humedal del Huasco. Para los otros parámetros, los valores mantienen una tendencia a encontrarse bajos, siendo solo el Estero Campiche el que reiteradamente evidencia valores altos que sugieren una calidad ambiental deteriorada. Finalmente, la DQO también se encuentra alta en el Humedal Boca Maule.

Tabla 16. Parámetros físicoquímicos de metales, DQO y DBO. En amarillo y naranja valores que se encuentran en concentraciones altas y muy altas respectivamente, respecto de los valores dentro de la norma.

COD	Sistema	Periodo	Sulfatos	Cobre total	Cobre disuelto	DQO	DBO
BM-1	Humedal Boca Maule	Primavera	158,009	0,01245	0,00466	19,3	2
BM-1	Humedal Boca Maule	Verano	35,2	0,01305	0,00240	33	3
BM-1-B	Humedal Boca Maule	Primavera	157,612	0,01095	0,00464	17	2
BM-1-B	Humedal Boca Maule	Verano	41,009	0,00466	0,00329	28	4
BM-2	Humedal Boca Maule	Verano	29,183	0,00341	<0,00162	5	3
BM-2	Humedal Boca Maule	Primavera	18,247	0,00183	<0,00162	17,9	<1
BM-3	Humedal Boca Maule	Primavera	5,424	<0,00162	<0,00162	50,9	6
BM-3	Humedal Boca Maule	Verano	31,856	0,00479	<0,00162	103	6
EC-1	Humedal Campiche	Primavera	383,959	0,04350	0,03780	47	7
EC-1	Humedal Campiche	Verano	514,764	0,03120	0,00800	41	<1
EC-2	Humedal Campiche	Primavera	349,19	0,03190	0,02790	45	6
EC-2	Humedal Campiche	Verano	567,829	0,01730	0,00685	51	6
EC-3	Humedal Campiche	Primavera	398,49	0,03110	0,02375	46	7
EC-3	Humedal Campiche	Verano	590,457	0,02070	0,00825	63	10
EC-3-B	Humedal Campiche	Primavera	383,315	0,04085	0,03435	48	7
EC-3-B	Humedal Campiche	Verano	594,54	0,01965	0,00840	65	7
HP-1-T	Humedal Huasco	Primavera	1278	0,07350	0,05300	36	<1
HP-1-T	Humedal Huasco	Verano	1568,6	0,00307	0,00297	2	<1
HP-2	Humedal Huasco	Primavera	802,91	0,00680	0,00497	5	<1
HP-2	Humedal Huasco	Verano	957,353	0,00313	0,00253	4	<1
HP-3	Humedal Huasco	Primavera	14,754	0,00880	0,00555	6	<1
HP-3	Humedal Huasco	Verano	1011,354	0,00217	0,00162	3	<1
HP-3-B	Humedal Huasco	Primavera	833,516	0,01040	0,00750	7	<1
HP-3-B	Humedal Huasco	Verano	928,505	0,00304	0,00217	2	<1

4.2.4. Físicoquímica de Sedimentos

En Sedimentos, el arsénico evidencia encontrarse en concentraciones elevadas sobre 5 mg/kg en el humedal Campiche principalmente. El hierro estuvo elevado en casi todos los sistemas, mientras el níquel resulta tener valores mayores en Boca Maule. El pH se encuentra en valores considerados aceptables.

Tabla 17. Parámetros físicoquímicos de metales, DQO y DBO. En amarillo valores que se encuentran en concentraciones altas, respecto de los valores obtenidos para todos los sistemas evaluados.

COD	Sistema	Estación	Unidad	Arsénico	Azufre	Cromo	Hierro	pH	Níquel
BM-1	Humedal Boca Maule	Primvera	mg/kg	<1,2	0,04	12,7	23355,68	7,6	29,44
BM-1	Humedal Boca Maule	Verano	mg/kg	<1,2	0,02	16,56	1926,03	8,8	59,56
BM-2	Humedal Boca Maule	Primvera	mg/kg	<1,2	<0,02	11,9	27557,57	7,3	17,84
BM-2	Humedal Boca Maule	Verano	mg/kg	<1,2	<0,02	12,89	18793,46	8,5	21,44
EC-1	Humedal Campiche	Primvera	mg/kg	5,40	0,15	13,05	35127,01	8,9	5,11
EC-1	Humedal Campiche	Verano	mg/kg	6,16	0,53	14,26	18268,40	8	6,70
EC-3	Humedal Campiche	Primvera	mg/kg	6,71	6,71	16,34	22992,68	8,1	7,42
EC-3	Humedal Campiche	Verano	mg/kg	6,43	0,25	12,76	9249,94	8,7	<1,2
HP-1-T	Humedal Huasco	Primvera	mg/kg	<1,2	0,31	16,65	23997,43	8,8	6,98
HP-1-T	Humedal Huasco	Verano	mg/kg	<1,2	0,26	29,85	42713,02	9,0	14,1
HP-2	Humedal Huasco	Primvera	mg/kg	9,49	0,31	17,49	22717,12	8,4	8,70
HP-2	Humedal Huasco	Verano	mg/kg	<1,2	0,28	14,69	21933,82	8,7	<1,2
HP-3	Humedal Huasco	Primvera	mg/kg	<1,2	0,16	13,03	17196,61	8,8	6,88
HP-3	Humedal Huasco	Verano	mg/kg	<1,2	0,41	9,58	13849,07	8,5	<1,2

4.3. Biota e indicadores biológicos.

4.3.1. Fitoplancton

Este grupo resultó ser muy abundante en la mayoría de los humedales (Ver tablas adjuntas)

Tabla 18. Lista de Fitoplancton Presente en los humedales.

Phylum	Clase	Orden	Familia	Género
Bacillariophyta	Coccinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	Melosira
		Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	Aulacoseira
		Thalassiosirales	Stephanodiscaceae	Cyclotella
	Mediophyceae	Eupodiscales	Eupodiscaceae	Pleurosira
		Chaetocerotales	Chaetocerotaceae	Chaetoceros
	Bacillariophyceae	Achnanthes	Achnanthesiaceae	Achnanthes
			Cocconeidaceae	Cocconeis
		Thalassiosiphysales	Catenulaceae	Amphora
			Bacillariales	Bacillaria
		Cymbellales	Cymbellaceae	Nitzschia
				Cymbella
			Gomphonemataceae	Gomphonema
		Naviculales	Amphipleuraceae	Amphipleura
			Pleurosigma	Frustulia
				Gyrosigma
				Navicula
			Pinnulariaceae	Caloneis
		Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	Epithemia
				Pinnularia
				Rhopalodia
				Eunotia
		Surirellales	Eunotiaceae	Surirella
			Surirellaceae	Entomoneis
			Entomoneidaceae	Cymatopleura
			Surirellaceae	Surirella
	Fragilariophyceae	Fragilariales	Fragilariaceae	Fragilaria
				Fragilariaceae
				indeterminada
				Odontidium
				Hannaea
Ochromytha	Xanthophyceae	Tribonematales	Tribonemataceae	Synedra
				Ulnaria
Ochromytha	Xanthophyceae	Tribonematales	Tribonemataceae	Tribonema filamento
Chlorophyta	Chlorophyceae	Sphaeropleales	Scenedesmaceae	Desmodesmus colonia
				Pediastrum
				Pseudopediastrum

				Scenedesmus colonia
		Oedogoniales	Selenastraceae Oedogoniaceae	Monoraphidium Oedogonium filamento
		Sphaeropleales	Hydrodictyceae Chlorellaceae	Pediastrum colonia Dictyosphaerium colonia
	Trebouxiophyceae	Chlorellales	Oocystaceae Botryococcaceae	Nephrocytium Botryococcus colonia
		Trebouxiales		
Charophyta	Conjugatophyceae (Zygnematophyceae)	Zygnematales	Zygnemataceae	Spirogyra filamento Mougeotia filamento
		Desmidiales	Desmidiaceae Closteriaceae	Staurostrum Closterium
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae Merismopediaceae	Chroococcus colonia Merismopedia colonia
		Oscillatoriales	Pseudanabaenaceae Oscillatoriaceae	Pseudanabaena filamento Oscillatoria filamento Phormidium filamento Lyngbya filamento Arthrospira filamento
		Nostocales	Nostocaceae Aphanizomenonaceae	Dolichospermum filamento Nodularia filamento cf Amphiheterocytum Anabaenopsis colonia
Dinophyta	Dinophyceae	Gonyaulacales	Ceratiaceae	Ceratium
		Peridinales	Peridiniaceae	Peridinium
		Peridiniales	Proto-peridiniaceae	Proto-peridinium
Cryptophyta	Cryptophyceae	Cryptomonadales	Cryptomonadaceae	Cryptomonas
Euglenophyta (=Phylum Euglenozoa)	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae Phacaceae	Euglena Phacus
Miozoa	Dinophyceae	Peridinales	Peridiniaceae	Peridinium

Tabla 19 Fitoplancton Presente en el humedal del Huasco (cel/L).

Género	Primavera HP-1-T ind/ml	Primavera HP-2 ind/ml	Primavera HP-3 ind/ml	Verano HP-1-T ind/ml	Verano HP-2 ind/ml	Verano HP-3 ind/ml
Melosira		20,0	426,7		41,61	166,45
Cyclotella		20,0			41,61	0,00
Pleurosira			36,3		0,42	610,33
Achnanthyidium		5,0				
Cocconeis	20,0	20,0	154,3			110,97
Amphora		2,5	9,1	384,13	41,61	
Nitzschia		25,0	99,9	2496,82	249,68	388,39
Cymbella			9,1			
Gomphonema		5,0	18,2			
Gyrosigma	26,6	2,5	0,0	64,02	83,23	221,94
Navicula	26,6	69,9	81,7		208,07	499,36
Caloneis		5,0	9,1		0,00	110,97
Epithemia					83,23	
Pinnularia					20,81	
Rhopalodia	59,9		9,1		0,42	55,48
Surirella	0,3	5,0				
Entomoneis	0,3			12,80	41,61	
Cymatopleura		5,0			0,42	
Surirella						55,48
Fragilaria			9,1		124,84	277,42
Fragilariaceae indeterminada		25,0				
Synedra		5,0	9,1	1664,54		277,42
Ulnaria	3,3	84,9	517,5	4609,51	540,98	1609,06
Tribonema filamento						
Desmodesmus colonia						
Oedogonium filamento						110,97
Botryococcus colonia				6,40	8,32	
Spirogyra filamento	1,7	5,0			124,84	1442,60
Mougeotia filamento					41,61	0,00
Staurastrum		5,0				
Closterium			9,1			
Chroococcus colonia				32,01	124,84	27,74
Merismopedia colonia		5,0			41,61	27,74
Pseudanabaena filamento						
Oscillatoria filamento	3,3		4,5		41,61	1109,70

Phormidium filamento				41,61		
Lyngbya filamento						
Arthrospira filamento			64,02			
Dolichospermum filamento			0,00	624,20	832,27	
Nodularia filamento						
Cryptomonas	119,8	20,0		64,02		
Euglena		5,0	9,1	64,02	41,61	
Phacus				0,64	0,00	
Peridinium		0,5		64,02	41,61	

Tabla 20. Fitoplancton Presente en el humedal Estero Campiche (cel/L).

Género	Primavera EC-1 ind/ml	Primavera EC-2 ind/ml	Primavera EC-3 ind/ml	Verano EC-1 ind/ml	Verano EC-2 ind/ml	Verano EC-3 ind/ml
Cyclotella				19363,06		
Pleurosira		41,6	8,3		45859,87	
Chaetoceros				2749554,20	825477,71	387261,15
Achnanthes				77452,23		
Cocconeis			83,2	387,26		
Amphora	83,2		41,6	348535,03		
Bacillaria					22929,94	81528,66
Nitzschia		41,6	8,3	9913885,35	45859,87	
Gyrodinium			8,3			
Navicula		166,5	166,5			
Rhopalodia			83,2			
Fragilaria					45859,87	
Odontidium				77452,23		
Hannaea				387,26		
Ulnaria	41,6	0,1	166,5	7745,22		
Desmodesmus colonia	416,1	166,5	83,2			
Scenedesmus colonia						40764,33
Monoraphidium				38726,11		
Mougeotia filamento						20382,17
Chroococcus colonia		166,5				
Pseudanabaena filamento			83,2			

Lyngbya filamento	83,2	249,7	332,9			
Dolichospermum filamento	83,2	332,9	249,7			
Nodularia filamento			0,1			
Anabaenopsis colonia				968152,87	2063694,30	489171,97
Protoperdinium					91719,75	10191,08
Euglena	2080,7	749,0	166,5	38726,11		
Phacus						
Peridinium	8073,0	28546,9	21056,5			

Tabla 21 Fitoplancton Presente en el humedal Estero Boca Maule (cel/L).

Género	Primavera BM-1 ind/ml	Primavera BM-2 ind/ml	Primavera BM-3 ind/ml	Verano BM-1 ind/ml	Verano BM-2 ind/ml	Verano BM-3 ind/ml
Melosira	6624,2	3588,4	7133,8	1554,14	16407,64	
Aulacoseira		3588,4		93248,41	65630,57	
Achnanthyidium						5823,48
Cocconeis						5823,48
Amphora	5,1	0,0				5823,48
Bacillaria	114649,7	36601,8		15541,40		
Nitzschia	509,6	2153,0	2038,2	31082,80	16407,64	5823,48
Cymbella	509,6	358,8			8203,82	
Gomphonema		2870,7	1528,7			11646,95
Amphipleura	0,5	0,7				
Frustulia				1554,14		
Gyrosigma		1435,4	0,0		8203,82	
Navicula	1019,1	2153,0	509,6		16407,64	5823,48
Caloneis	51,0					
Epithemia	509,6					
Pinnularia	254,8					2911,74
Rhopalodia						
Eunotia	51,0					582,35
Fragilaria	11210,2	717,7	509,6	31082,80		
Fragilariaceae indeterminada		358,8				
Ulnaria	254,8					582,35
Tribonema filamento			3057,3			
Pediastrum	1528,7					
Pseudopediastrum	2547,8					
Oedogonium filamento						582,35
Pediastrum colonia				31082,80		

Dictyosphaerium colonia		46624,20	
Nephrocytium	51,0		
Closterium		15541,40	8203,82
Pseudanabaena filamento		509,6	5823,48
Oscillatoria filamento	717,7	1019,1	11646,95
Dolichospermum filamento		509,6	8203,82
cf Amphiheterocytum		326369,43	5823,48
Ceratium			16407,64
Peridinium			11646,95
Cryptomonas			5823,48
Euglena		34140,1	15541,40
Phacus	717,7	1019,1	151410,37
Peridinium		509,6	

4.3.2. Zooplancton

El zooplancton resultó poco abundante y de baja riqueza, no existiendo presencia de este grupo en la mayoría de los humedales y sitios de muestreos (Tabla 22).

Tabla 22. Zooplancton presente en cada humedal (ind/L).

	ind/L	PRIM HP-1-T ind/L	PRIM HP-2 ind/L	PRIM HP-3 ind/L	VER HP-1-T ind/L	VER HP-2 ind/L	VER HP-3 ind/L	PRIM EC-1 ind/L	PRIM EC-2 ind/L	PRIM EC-3 ind/L	VER EC-1 ind/L	VER EC-2 ind/L	VER EC-3 ind/L	PRIM BM-1 ind/L	PRIM BM-2 ind/L	PRIM BM-3 ind/L	VER BM-1 ind/L	VER BM-2 ind/L	VER BM-3 ind/L
Copepoda	Copepoditos ciclopoideos																		4
Crustacea	Ostracoda						1		1										4
	<i>Hyaella</i> sp (juvenil)																		4
Cladocera	<i>Daphnia</i> sp.																		320

4.3.3. Análisis de Coliformes

Para el análisis de coliformes se encontraron valores de contaminación de coliformes y estreptococos en los humedales Boca Maule y Estero Campiche (Tabla 14). La clasificación de Geldreich & Kenner (1969) para la relación CF/EF señala origen de contaminación de desechos residuales humanos para en los humedales Boca Maule y Estero Campiche. Para el humedal del Huasco, señala contaminación de origen natural.

4.3.4. Parámetros comunitarios

Para el Fitoplancton, los sistemas con menor diversidad fueron las de Estero Campiche (EC1, 2 y 3, Tabla 24) mientras los de mayor diversidad fueron HP2 del Humedal del Huasco y las de verano del Boca Maule (Tabla 23, Tabla 25).

Tabla 23. Parámetros comunitarios de Fitoplancton para humedal del Huasco.

	Primavera	Primavera	Primavera	Verano	Verano	Verano
Parámetros comunitarios	HP-1-T	HP-2	HP-3	HP-1-T	HP-2	HP-3
Abundancia (ind/ml)	262,0	340,1	1411,8	6569,19	1797,71	5714,93
Riqueza	10,0	21,0	16,0	14,00	25,00	18,00
Indice de Shannon-wiener	1,5	2,4	1,8	1,34	2,55	2,37
Indice de Equidad (e ^{H/S})	0,5	0,5	0,4	0,27	0,51	0,59
Indice de Equitabilidad J' (Pielou's evenness)	0,7	0,8	0,6	0,51	0,79	0,82

Tabla 24. Parámetros comunitarios de Fitoplancton para humedal de Estero Campiche.

	Primavera	Primavera	Primavera	Verano	Verano	Verano
Parámetros comunitarios	EC-1	EC-2	EC-3	EC-1	EC-2	EC-3
Abundancia (ind/ml)	10861,1	30544,5	22538,0	1006878,98	2155414,05	499363,06
Riqueza	7,0	11,0	15,0	12,00	7,00	6,00
Indice de Shannon-wiener	0,8	0,4	0,4	0,95	0,95	1,17
Indice de Equidad (e^H/S)	0,3	0,1	0,1	0,21	0,37	0,54
Indice de Equitabilidad J' (Pielou's evenness)	0,4	0,2	0,1	0,38	0,49	0,65

Tabla 25. Parámetros comunitarios de Fitoplancton para humedal de Boca Maule.

	Primavera	Primavera	Primavera	Verano	Verano	Verano
Parámetros comunitarios	BM-1	BM-2	BM-3	BM-1	BM-2	BM-3
Abundancia (ind/ml)	15592,4	2511,9	41324,8	466242,04	32815,29	193339,40
Riqueza	15,0	13,0	13,0	11,00	9,00	16,00
Indice de Shannon-wiener	0,8	1,4	1,3	1,59	1,89	1,56
Indice de Equidad (e^H/S)	0,1	0,3	0,3	0,44	0,73	0,30
Indice de Equitabilidad J' (Pielou's evenness)	0,3	0,5	0,5	0,66	0,86	0,56

Para el Zooplancton, los sistemas en su mayoría evidenciaron ausencia de este grupo, solo las estaciones HP3 en verano (Huasco), EC2 en primavera (Estero Campiche) y BM3 en primavera (Boca Maule) tuvieron ejemplares, siendo este último el más diverso (Tabla 26).

Tabla 26. Parámetros comunitarios de Zooplancton para cada humedal donde se encontraron individuos de zooplancton (solo tres estaciones de monitoreo). Para el resto no se encontraron individuos de este grupo, por lo que los valores son cero.

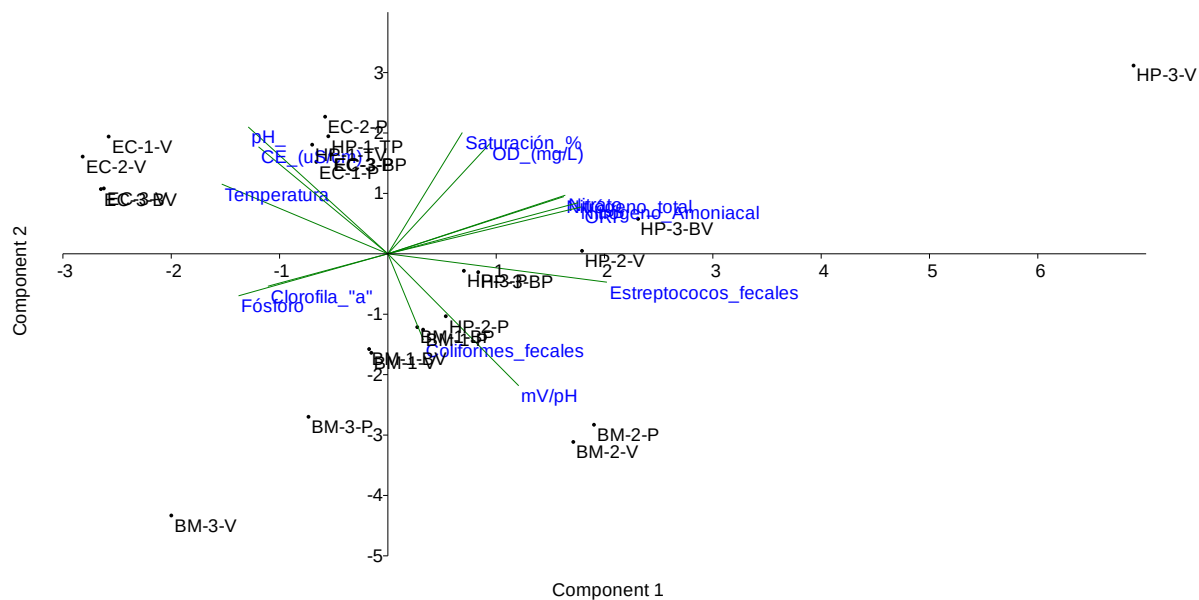
	Verano	Primavera	Primavera
Parámetros comunitarios	HP-3	EC-2	BM-3
Abundancia (ind/ml)	1	1	332
Riqueza	1	1	4
Indice de Shannon-wiener	0	0	0,2
Indice de Equidad (e^H/S)	1	1	0,3
Indice de Equitabilidad J' (Pielou's evenness)	0	0	0,14

4.4. Análisis Multivariados

Los análisis multivariados resumen los resultados obtenidos con la fisicoquímica, evidenciando al humedal Estero Campiche como el más diferenciado y asociado a valores de mala condición ambiental.

4.4.1. Análisis de Componentes Principales (ACP)

Este análisis evidencia una separación entre aquellas estaciones que se encuentran mejor en relación a su calidad fisicoquímica, sobre todo en lo que respecta a los niveles de oxígeno disuelto en la columna de agua (estaciones a la derecha del eje x), en relación al resto que se encuentran con una mayor carga de nutrientes y altos valores de pH (izquierda del eje x). Principalmente las estaciones correspondientes al humedal Estero Campiche fueron evaluados con una mala salud fisicoquímica del ecosistema. Las otras estaciones se evaluaron como de mediana calidad, las cuales se agruparon en el centro y hacia abajo de los ejes.

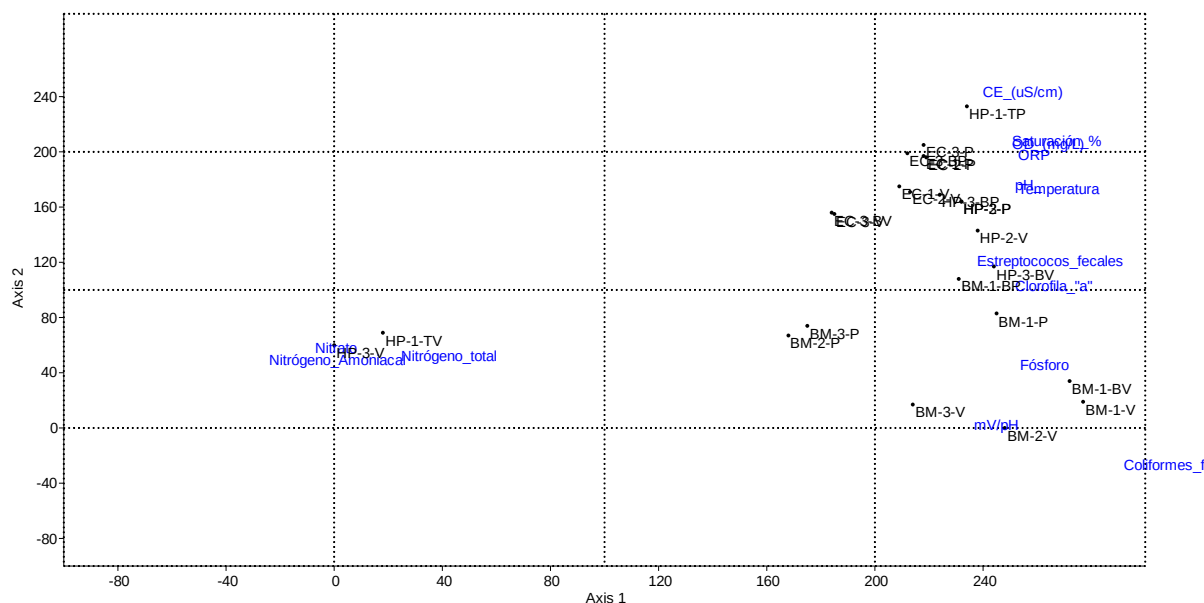


PC	Eigenvalue	% variance
1	4,3	30,842
2	3,9	28,521
3	2,2	15,542

Figura 5. Análisis de Componentes Principales para la fisicoquímica

4.4.2. Análisis de Correspondencia (AC)

El Análisis de Correspondencia no permite buenas conclusiones, por lo que en este caso el ACP explica mejor las diferencias entre estaciones y humedales.



Axis	Eigenvalue
1	0,76
2	0,31
3	0,05

Figura 6. Análisis de Correspondencia.

4.4.3. Impacto aparente observado: análisis de hábitat visual *in situ*.

El análisis de hábitat mediante observación en el lugar de cada humedal arrojó los siguientes resultados: los sistemas con bajo nivel de impacto (poca intervención aparente antrópica en el lugar) fue el humedal del Huasco; niveles con intervención intermedia (con basura y otros impactos aparentes) fue el humedal Boca Maule; y finalmente, se evalúa con mayor nivel de impacto (alta) el humedal Estero Campiche.

4.4.4. Amenaza Ambiental

El análisis de la Matriz de Amenaza Ambiental determinó que el humedal del Huasco fue evaluado mayoritariamente con un grado de amenaza bajo, aunque HP-1 resultó alto.

El Humedal de Boca Maule fue evaluado mayoritariamente con una amenaza ambiental media, presentando una amenaza alta en BM-1 en verano y muy alta en BM-3 para ambas estaciones.

El Humedal Estero Campiche fue evaluado con amenaza ambiental muy alta en todas sus estaciones.

Tabla 27. Resumen de resultados para los humedales estudiados y Amenaza ambiental estimado para la biota basado en los resultados obtenidos en 2020. (Para detalles de obtención de Amenaza Ambiental ver metodología).

Ecorregión	COD	Sistema	Periodo	Estado Trófico 2020	Salud Ecosistema 2020	Impacto aparente observado 2020	Suma de los Pi	Amenaza Ambiental 2020
Semiárida	HP-1-T	Humedal Huasco	Primavera	Eutrófico	Regular	Bajo	(4+1+0)=5	Alto
Semiárida	HP-1-T	Humedal Huasco	Verano	Oligotrófico	Regular	Bajo	(0+1+0)=1	Medio
Semiárida	HP-2	Humedal Huasco	Primavera	Oligotrófico	Bueno	Bajo	(0+0+0)=0	Bajo
Semiárida	HP-2	Humedal Huasco	Verano	Oligotrófico	Bueno	Bajo	(0+0+0)=0	Bajo
Semiárida	HP-3	Humedal Huasco	Primavera	Oligotrófico	Bueno	Bajo	(0+0+0)=0	Bajo
Semiárida	HP-3	Humedal Huasco	Verano	Oligotrófico	Bueno	Bajo	(0+0+0)=0	Bajo
Mediterránea	EC-1	Humedal Campiche	Primavera	Hipereutrófico	Bueno	Alto	(7+0+4)=11	Muy Alto
Mediterránea	EC-1	Humedal Campiche	Verano	Eutrófico	Regular	Alto	(4+1+4)=9	Muy Alto
Mediterránea	EC-2	Humedal Campiche	Primavera	Hipereutrófico	Bueno	Alto	(7+0+4)=11	Muy Alto
Mediterránea	EC-2	Humedal Campiche	Verano	Hipereutrófico	Regular	Alto	(7+1+4)=12	Muy Alto
Mediterránea	EC-3	Humedal Campiche	Primavera	Hipereutrófico	Bueno	Alto	(7+0+4)=11	Muy Alto
Mediterránea	EC-3	Humedal Campiche	Verano	Hipereutrófico	Regular	Alto	(7+1+4)=12	Muy Alto
Mediterránea	BM-1	Humedal Boca Maule	Primavera	Oligotrófico	Bueno	Medio	(0+0+1)=1	Medio
Mediterránea	BM-1	Humedal Boca Maule	Verano	Eutrófico	Bueno	Medio	(4+0+1)=5	Alto
Mediterránea	BM-2	Humedal Boca Maule	Primavera	Oligotrófico	Bueno	Medio	(0+0+1)=1	Medio
Mediterránea	BM-2	Humedal Boca Maule	Verano	Oligotrófico	Bueno	Medio	(0+0+1)=1	Medio
Mediterránea	BM-3	Humedal Boca Maule	Primavera	Hipereutrófico	Bueno	Medio	(7+0+1)=8	Muy Alto
Mediterránea	BM-3	Humedal Boca Maule	Verano	Hipereutrófico	Regular	Medio	(7+1+1)=9	Muy Alto

5. CONCLUSIONES

5.1.1. Analizar métodos o indicadores de condición ambiental en los humedales Boca Maule, Campiche y Huasco.

- 1) La revisión de los métodos e indicadores dejan ver que algunas de las herramientas utilizadas en la actualidad son ampliamente utilizadas como indicadores y por ello es importante continuar en esta línea de estudios, principalmente evaluando Clorofila a, Nutrientes, disco Secchi, fisicoquímica básica, biota, naturalidad del sistema y nivel de impacto asociado. Sin embargo, pudiera ser necesario intercalibrar a los valores que representen la naturalidad de nuestros sistemas. La encuesta enviada a los expertos pretendía validar y/o incorporar metodologías para evaluar la condición ambiental de los humedales de Chile. Sin embargo, terminado los plazos de este trabajo, no se recibieron comentarios asociados para validar, incorporar o desincorporar metodologías.
- 2) A nivel internacional, los métodos planteados en este informe han sido muy desarrollados y ampliamente utilizados en la Unión Europea, Australia, Nueva Zelanda y Estados Unidos. En Chile, su desarrollo ha sido limitado y escaso, con un mayor desarrollo en ríos y arroyos, respecto de otros cuerpos de agua tales como lagos, salares, humedales y sistemas de desembocadura. Muchos de los valores utilizados en la actualidad en Chile se basan en los valores internacionales, lo cual no necesariamente representan la naturalidad de nuestros ecosistemas.
- 3) En relación a la capacidad de aplicación de indicadores fisicoquímicos, estos son de aplicación más sencilla y directa. Se requiere una buena toma de muestra y el instrumental adecuado que en Chile es de acceso amplio, aunque sin duda el impedimento puede ser el alcanzar los Límites de Detección adecuados para el uso de indicadores robustos. Sin embargo según los valores obtenidos en este trabajo, los límites de detección utilizados resultaron correctos para establecer diferencias entre sistemas.
- 4) Respecto al desarrollo de indicadores biológicos, faltan especialistas en la taxonomía básica de los organismos que sirven de insumo para el desarrollo de estos índices (tanto en zooplancton, fitoplancton, zoobentos, fitobentos, macrófitas y peces). Por otro lado, faltan ecólogos especialistas que entiendan los procesos limnológicos asociados al campo de la ecología aplicada. Si bien existe un buen número de profesionales que han desarrollado un número importante de investigaciones en el campo de la ecología teórica, faltan expertos que puedan llevar este conocimiento al campo de la ecología aplicada para el estudio de condiciones ambientales. Por lo anterior, el desarrollo de metodologías que permitan el desarrollo de índices e indicadores de la salud de los ecosistemas de humedales de Chile aún tiene un desarrollo insuficiente.
- 5) En la actualidad el uso de bioindicadores en sistemas lóticos de agua dulce (ríos) ha sido ampliamente desarrollado, y utilizado con un alto nivel de eficiencia (cuando han sido aplicados de la manera correcta, esto es intercalibrando por cada sistema en estudio, MMA 2012). Al respecto, los bioindicadores de humedales para sistemas estuarinos, someros costeros y lagos interiores han sido

menos desarrollados (MMA 2018) y es importante poder fomentar este desarrollo, mediante proyectos específicos para ello. Esto permitiría una mejor evaluación de la salud de los ecosistemas en estudio, lo que permite mejor información para la toma de decisión de la autoridad pertinente. Hay que considerar que un buen uso de bioindicadores está íntimamente ligado al tipo de índice a usar, y dependiendo de ello, a una buena taxonomía (confiable) de los principales grupos a utilizar. Al respecto la falta de especialistas en el área, y la escasez de presupuesto para ello es una de los principales obstáculos en el uso de estos índices.

6) Todos estos indicadores (físicoquímicos, biológicos y estadísticos) debieran ser aplicados en paralelo (al menos uno de cada uno, o bien un conjunto de ellos), de manera de evaluar las condiciones ambientales de manera robusta. Al respecto, establecemos que pueden ser los más idóneos los siguientes: índice de estado trófico basado en clorofila a y apoyado por disco secchi y nutrientes; salud básica del ecosistema basado en el pH y los valores de Oxígeno, por ser estos los fundamentales para el correcto desarrollo de la vida; análisis de impacto aparente observado en el humedal; uso de bioindicadores cuando estén disponibles, uso de la diversidad como indicador de salud; análisis multivariados de Componente Principales (ACP), apoyado por un análisis secundario que pueda corroborar resultados y aportar más información, tales como AC, ACC; análisis de Amenaza Ambiental, que entregaría finalmente una idea de la condición ambiental actual y futura del humedal.

7) Al finalizar el plazo de entrega de este informe no se ha recibido ninguna respuesta a la encuesta on line enviada. Como equipo proponemos utilizar los indicadores ambientales que se ajustan a la logística que poseemos, esto es utilizar 12 indicadores:

Físicoquímica: Disco Secchi, Clorofila a, Nutrientes según los valores de tabla 2; indicador de impacto aparente, NCh 1333 para oxígeno, pH.

Biológicos: CF/EF (cuando se midan), Riqueza, Abundancia, Diversidad, IBH4.

Estadísticos Clásicos: ACC, AC, ACP.

Un indicador global de condición y amenaza ambiental final que resuma la información existente.

5.1.2. Monitorear y determinar la condición ambiental de los humedales Boca Maule, Campiche y Huasco.

8) La físicoquímica evidenció una separación de los tres humedales en sus condiciones ambientales, sugiriendo una buena condición para el Humedal del Huasco, una regular para el Humedal Boca Maule y una mala para el Estero Campiche. Al respecto el índice de trofia basado en la Clorofila a indica que el Humedal del Huasco es mayoritariamente oligotrófico, El humedal de Boca Maule fluctuó entre la oligotrofia y la eutrofia en primavera y verano, aun cuando el sector de muestreo BM3 resultó ser hipertrófico en ambos periodos, y el humedal de Estero Campiche evidenció valores de encontrarse continuamente en un estado hipertrófico.

9) La fisicoquímica básica evidencia niveles que superan el adecuado para el correcto desarrollo de la vida principalmente en el Humedal Estero Campiche, y que se mantienen en niveles aceptables en los otros humedales. Lo anterior es corroborado por el análisis estadístico multivariado de ACP.

10) El análisis de impacto observado en el hábitat para cada humedal arrojó que el sistema con un bajo nivel de impacto (poca intervención aparente antrópica en el lugar) fue el humedal del Huasco; niveles con intervención intermedia (con basura y otros impactos aparentes) fue el humedal Boca Maule; y finalmente, se evalúa con mayor nivel de impacto (alta) el humedal Estero Campiche.

11) El análisis de la Matriz de Amenaza Ambiental determinó que el humedal del Huasco fue evaluado mayoritariamente con un grado de amenaza bajo. El Humedal de Boca Maule fue evaluado mayoritariamente con una amenaza ambiental media, mientras que el Humedal Estero Campiche fue evaluado con amenaza ambiental muy alta.

12) Todos estos resultados sugieren en su conjunto que la condición ambiental es buena para el Humedal del Huasco, regular para el Humedal Boca Maule con sectores de mala calidad, y muy mala para el Estero Campiche.

Conclusión general.

A diferencia de los lagos profundos, los humedales son ambientes hidrológicamente inestables y heterogéneos debido al gran número de factores que interactúan en ellos (escasa profundidad, grandes poblaciones de macrófitos, formación de charcas aisladas en periodos de sequía, etc.). Además, poseen una dinámica de nutrientes particular. Por su ubicación, la carga de nutrientes es generalmente más elevada que en los lagos profundos. Por otra parte, y debido a la mayor temperatura que tienen sus sedimentos en verano, la tasa de reciclaje de la materia orgánica es comparativamente más elevada, y están expuesto a un mayor peligro de sequía tanto de manera natural, como por extracción antrópica. Sumado a esto, los nutrientes son rápidamente devueltos a la columna de agua a causa de la continua resuspensión del fondo. Bajo estas circunstancias, el plancton de estos sistemas puede tener patrones distintos y de mayor complejidad que los descritos en lagos, razón por la cual establecer una condición ambiental puede resultar un mayor desafío que necesita de bastante información.

Con la información recopilada y analizada en este informe, se puede concluir de manera bastante robusta que las condiciones ambientales obtenidas para los distintos humedales, es representativa de sus procesos y estado actual producto de las distintas presiones a las que se ven sometidos de manera natural y por las distintas actividades económicas que les rodea a cada uno respectivamente. Sin embargo, una de las mayores amenazas para ellos es el de ver sometidos a sequías extremas, debido a que esto contribuye a la mayor causa de pérdida de hábitat de las comunidades asociadas a estos ecosistemas.

6. REFERENCIAS

- APHA, AWWA y WEF (2005) Métodos Estándar para el Análisis de Aguas y Aguas Residuales. Ed 21ª. American Public Health Association, Washington, DC.
- AIZAKI, M., A. OUTSUKI, T. FUKUSHIMA, M. HOSOMI & K. MURAOKA. 1981. Application of Carlson's trophic state index to Japanese lakes and relationship CARLSON, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. Limnology and oceanography, 22: 361-369s between the index and other parameters. Verh Internat. Verein Limnol. 21: 675-681.
- ARAYA J. & L. ZUÑIGA. 1985. Manual taxonómico del zooplancton lacustre de Chile. Boletín Informativo Limnológico. Valdivia Chile. pp 110.
- BARBOUR, M.T., J. GERRISEN, B. SNYDER & S. JAMES. 1999. Rapid Bioassessment Protocols For Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish (Second ed.). Washington, DC 20460: U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water.
- BAYLY I. 1992 Fusion of the genera Boeckella and Pseudoboeckella (Copepoda) and revision of their species from south america and sub-Antartic island. Revista Chilena de Historia Natural. Vol 65 pág: 17-63.
- BOURRELLY, P. 1970. Les algues d'eau douce: Initiation a la systématique: Les algues bleues et rouges Les Eugleniens, Peridiniens et cryptomonadines. Editions N. Boubée & Cie. Paris. 512 pp.
- BICUDO, C.E. & M. MENEZES. 2005. Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições. 1 ed. São Carlos: RiMa Editora. 489 pp.
- BONADA N, N PRAT, VH RESH & B STATZNER. 2006. Developments in aquatic insect in biomonitoring: a comparative analyses of recent approaches. Annu. Rev. Entomol 51:495-523.
- CARLSON, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. Limnology and oceanography, 22: 361-369.
- CENMA 2017. "Análisis del Estado Ecológico del sistema acuático río Huasco según indicadores biológicos de calidad de agua" Mandante: SEREMI III Región. Ejecutor: Centro Nacional del Medio Ambiente.
- COX, E.J. 1996. The identification of freshwater diatoms from live material. Chapman & Hall: 158 pp.

- CUMMINS, K. W. 2002. Riparian-stream linkage paradigm. *Verhandlungen der internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie* 28: 49-58.
- DE PAUW, N., P. GHETTI, P. MANZINI & R. SPAGGIARI. 1992. Biological assessment methods for running and control (Eds. P. Newman, A. Piavaux & R. Sweeting): 217-248. Commission of the European Communities, EUR14606 EN-FR, 1992-III, 751 p. Bruselas.
- DOMINGUEZ E. & H.R. FERNANDEZ (eds.) 2009. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos pp 654. Fundación Miguel Lillo, Tucuman Argentina.
- DOS SANTOS DA, MOLINERI C, REYNAGA MC & BASUALDO C. 2011. Which index is the best to assess stream health. *Ecological Indicators* 11(2):582-589.
- FAO. 1997. Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. (Estudio FAO Riego y Drenaje - 55). ISBN 92-5-303875-6.
- FERNANDEZ, H. & DOMÍNGUEZ, E. 2001. Guía para la determinación de artrópodos bentónicos Sudamericanos. Edit. Universitaria de Tucumán. Argentina. 282 pp.
- FIGUEROA R., PALMA A., RUIZ V. & NIELL X. 2007. Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: Río Chillán, VIII Región. *Revista Chilena de Historia Natural* 80: 225-242.
- GELDREICH E., B. KENNER. 1969. Concepts of faecals streptococci in stream pollution. *Journal of the Water Pollution Control Federation* 41 (8): 336–352.
- GOTELLI NJ & GR GRAVES. 1996. Null models in ecology. Smithsonian Institution Press, Washington DC.
- JAKSIC, F. 2001. Ecología de Comunidades. Ed. Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile. 233 pp.
- JEPPESEN E, NOGES P, DAVIDSON T A, HABERMAN J, NOGES T, BLANK K, LAURIDSEN T L, SØNDERGAARD M, E C, E R, JOHANSSON L S, BJERRING R & AMSINCK S L. 2011. Zooplankton as indicators in lakes: a scientific-based plea for including zooplankton in the ecological quality assessment of lakes according to the European Water Framework Directive (WFD). *Hydrobiologia*. 676: 279-297.
- KARR, J.R. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* 6: 21-27.
- LAMPERT W. 2007. Limnoecology: The ecology of lakes and streams. Ed. Oxford UP. 334 pp.

- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. 2005. Ecosystems and human well-being.
- MMA - CEA. 2011. Diseño del inventario nacional de humedales y el seguimiento ambiental. Ministerio de Medio Ambiente. Santiago. Chile. 164 pp.
- MMA-CENMA 2012. Campaña de monitoreo y Evaluación del Estado Ecológico de 10 Cuencas hidrográficas de Chile.
- MMA 2014. “Lineamientos Metodológicos para la Evaluación de Riesgo Ecológico”.
- MMA 2018. (noviembre de 2018). Red de monitoreo ambiental de ecosistemas acuáticos de Chile: insumo para plataforma de humedales de Chile.
- MMA 2019 (Noviembre de 2019) Red de monitoreo ambiental de ecosistemas acuáticos de Chile: insumo para plataforma de humedales de Chile 2018-2019.
- NAHUELHUAL L., LATERRA P., BARRENA J. 2016. Indicadores de servicios ecosistémicos, una revisión y análisis de su calidad. Informe técnico Ministerio del Medio Ambiente.
- NCH 411/2.OF. 96 Calidad del agua - Muestreo - Parte 2: Guía sobre técnicas de muestreo.
- NCH 411/3.OF. 96 Calidad del agua - Muestreo - Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras.
- NCH-ISO OF 5667/6:2015 Calidad del agua – Muestreo -Guía para el muestreo de ríos y cursos de agua.
- NCH-ISO OF. 17025 Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración.
- NORMA CHILENA OFICIAL NCh 1.333. 1978. Requisitos de calidad de agua para diferentes usos. Ministerio de Obras Públicas, Republica de Chile
- OKSANEN J., F. G. BLANCHET, M. FRIENDLY, R. KINDT, P. LEGENDRE, D. MCGLINN, P. R. MINCHIN, R. B. O'HARA, G. L. SIMPSON, P. SOLYMOS, M. H. H. STEVENS, E. SZOECs AND H. WAGNER 2017. Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.4-5. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- OSCOZ, J., F. CAMPOS & M. C. ESCALA. 2006. Variación de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en relación con la calidad de las aguas. Limnetica 25 (3): 683-692.

- PALMA A. & FIGUEROA R. 2008. Latitudinal diversity of Plecoptera (Insecta) on local and global scales. *Illiesia* 4 (8): 81-90.
- PALMA A. 2013. Guía para la identificación de invertebrados acuáticos. Primera Edición
- 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.
- PALMER, M., P. ARENSBURGER, P. BOTTS, C. SILVER HAKENKAMP, J. REID 1995. Disturbance and the community structure of stream invertebrates: patch-specific effects and the role of refugia. *Freshwater Biology* 34: 343-356.
- PARRA, O. & C. M. BICUDO. 1996. Algas de Aguas Continentales: Introducción a la Biología y Sistemática. Ediciones Universidad de Concepción. 268 pp.
- PARRA, O., M. GONZÁLEZ, V. DELLAROSSA, P. RIVERA & M. ORELLANA. 1982-1983. Manual Taxonómico del Fitoplancton de Aguas Continentales; con especial referencia al fitoplancton de Chile. Editorial de la Universidad de Concepción Vol. 1, Cyanophyceae, 1982a; Vol. 2, Chrysophyceae-Xanthophyceae, 1982b; Vol. 3, Cryptophyceae, Dinophyceae y Euglenophyceae, 1982c ; Vol. 4, Bacillariophyceae, 1982d; Vol. 5 (partes 1 y 2), Chlorophyceae, 1983.
- PENNAK R.W. 1989. Freshwater invertebrates of the United States. Third edition. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- PÉREZ, R., R. PINEDA & M. NAVA. 2007. Integridad Biótica de Ambientes acuáticos. En: Perspectivas de conservación de ecosistemas acuáticos en México. SEMARNAT-INE-F&WS-UPC-UMSNH: 71-111.
- PINILLA G. 2010. An index of limnological conditions for urban wetlands of Bogota city, Colombia. *Ecol Indic.* 10(4):848-856.

- R. CORE TEAM 2018. R: A language and computing. R fundation for Statistica. URL <http://www.R-project.org>.
- REID, J.W. 1985. Chave de identificacao e lista de referencias bibliograficas para as especies continentais sulamericanas de vida livre da ordem cyclopoida (Crustacea, Copepoda). Bolm. Zool., Univ. S. Paulo 9: 17 – 143.
- SANT'ANNA, C., M.T. AZEVEDO, L.F. AGUIARO, L.R.M. DE CARVALHO & R.C.R. SOUZA. 2006. Manual ilustrado para identificação e contagem de cianobactérias planctônicas de águas continentais brasileiras. Rio de Janeiro: Interciência. 58 pp.
- SMITH V H., TILMAN, G D, NEKOLA, J C 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. Environmental pollution 100: 179-196.
- SMIRNOV N.N & TIMMS B.V. 1983 A revision of Australian Cladocera (Crustacea). Records of the Australian Museum. Suppl 1. Pág: 1-132.
- TANCHET H, P. RICHIUX, M. BOURNAUD & P. USSEGLIO-POLATERA 2010. Invertébrés d'eau douce sstématique, biologie, écologie. Pp 607. CNRE Editions Paris.
- TEN BRINK P., RUSSI D., FARMER A., BADURA T., COATES D., FÖRSTER J., KUMAR R. Y DAVIDSON N. 2013 La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad relativa al agua y los humedales. Resumen ejecutivo. TEEB (The Economics of Ecosystem and Biodiversity) – Agua y Humedales.
- TER BRAAK, CAJO J .F. & PIET F. M. VERDONSCHOT 1995. "Canonical Correspondence Analysis and Related Multivariate Methods in Aquatic Ecology." Aquatic Sciences 57 (3): 255–89. doi:10.1007/BF00877430.
- UNDERWOOD AJ. 1981. Techniques of analysis of variance in experimental marine biology and ecology. Ocean. And Marine Biol Ann Rev 19: 513-605.
- UTERMÖHL, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitative Phytoplankton-Methodik. Mitt.Int.Ver.Limnol., 9: 1-38.
- VAN DER VALK, A.G. 2006. The Biology of Freshwater Wetlands. Oxford University Press, Oxford, UK. 173pp.

WALLACE, J. B., S. L. EGGERT, J. L. MEYER & J.R. WEBSTER. 1997. Multiple trophic levels of a forest stream linked terrestrial litter input. Science 277: 102-104.

WALLACE R.L & SNELL T.W. 2001. Phylum Rotifera. En Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates, Thorp J.H. & Covich A.P. Editores, segunda edición. Pp: 915-951. Academic Press. San Diego, California. Estados Unidos.

WOELFL, S., CAPUTO L., GARCÍA-CHICOTE J. & P. DE LOS RÍOS. 2018. Manuales para la bioindicación: Zooplankton. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. Edición Manuales Sociedad Chilena de Limnología 1: 45 págs.

ZAR JH. 1996. Bioestatistical analysis. 3ra ed. Prentice Hall Press.

7. ANEXO

7.1. ANEXO 1: FICHA DE HÁBITAT ACUÁTICO

FICHA DE HÁBITAT ACUÁTICO

Responsable:	Fecha:	Hora Inicio:	Hora Término:
---------------------	---------------	-------------------------	--------------------------

CARACTERIZACIÓN ESTACIÓN			
Cuenca:	Río:	Código de estación:	
Coordenadas:		Altitud (msnm):	

CONDICIONES DE MUESTREO			
Condiciones Meteorológicas () Soleado () Nublado () Lluvioso			
Forma del canal () Serpenteante () Sinuoso () Trenzado () Constreñido Natural () Anastomosado () Constreñido Artificial () Recto		Tipo de hábitat [<0,5m = somero; 0,3 m/s< lento] () Rápido profundo () Rápido somero () Lento profundo () Lento somero () Poza	
Composición Sustrato (% de cobertura) () Arena- Fango-limo < 2 mm () Grava- Gravilla 2– 64 mm () Bolón 64 – 256 mm () Piedra > 256 mm () Basamento Roca madre		Elementos de heterogeneidad () Hojarasca () Troncos y ramas () Raíces expuestas () Dique natural () Otro: _____	
Vegetación de ribera () Árboles () Arbustos () Hierbas		Vegetación Acuática () Presente () Ausente Tipo de Vegetación Acuática [presencia/ausencia; * dominancia] () Enraizadas emergentes () Enraizadas sumergidas () Enraizadas flotantes () Flotantes libres () Algas flotantes () Algas adheridas	
Porcentaje de sombra () Totalmente sombreado () Sombreado con ventanas () Grandes claros () Expuesto		Turbidez () Agua clara () Agua turbia, se ve el fondo () Agua turbia, no se ve el fondo	

Impacto humano en el tramo

- | | |
|--|---|
| ☐ Presas | ☐ Incendio |
| ☐ Liberación de pulsos | ☐ Desechos |
| ☐ Estancamiento | ☐ Uso recreativo |
| ☐ Canalización | ☐ Sustancias tóxicas |
| ☐ Enderezamientos | ☐ Eutrofización |
| ☐ Entubado | ☐ Contaminación difusa |
| ☐ Desagüe de aguas residuales | ☐ Minería |
| ☐ Contaminación puntual | ☐ Espumas |
| ☐ Canal lateral | ☐ Otro: _____ |

PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS *in situ*

Parámetro	Lectura 1	Lectura 2	Observación
Temperatura (°C)			
pH			
CE (μS/cm)			
OD (mg/L)			
Saturación de oxígeno (%)			

PARAMETROS HIDROMORFOLOGICOS *in-situ*

Ancho del río (m)			
Profundidad (cm)			
Velocidad (m/s)	Superficial		
	Media		
	De Fondo		

Observaciones de la estación:

LISTA DE CHEQUEO MUESTREO:

BIOTA	MUESTRAS	ESTADO
Peces (<i>in situ</i>)		
Parámetros Hidromorfológico		
Vegetación acuática y terrestre		
Código Laboratorio Química agua		
Código Laboratorio Química sedimentos		

7.2. ANEXO 2: LISTA DE CORREOS DE EXPERTOS CONSULTADOS Y CORREO ADJUNTO.

Asunto: Consulta Expertos On-line Humedales Chile

de: **Alejandro Palma** <alpalma@gmail.com>

para: Alejandro Palma <alpalma@gmail.com>

Cco: Ricardo Figueroa Jara <rfiguero26@gmail.com>,
Stefan Woelfl <swoelfl@uach.cl>,
"Jorge Nimptsch M." <jorge.nimptsch@uach.cl>,
DE LOS RIOS ESCALANTE PATRICIO <prios@uct.cl>,
Francisco Encina Montoya <fencinam@gmail.com>,
Gladys Lara <glara@uct.cl>,
norka fuentes <norka.fuentes@ulagos.cl>,
luciano caputo <luciano.caputo@uach.cl>,
aguilerakarina@gmail.com,
Claudio Andres Reyes Reyes <doble.reyes@gmail.com>,
Javier Gonzalez <xavgem@gmail.com>,
Francisco Javier Correa <fjcorrea.araneda@gmail.com>,
Adriana Aranguiz <a_aranguiz@yahoo.com>,
cdorador@uantof.cl,
Paulina Isabel Ramos Ordenes <ramosordenes.paulina@gmail.com>,
Rodrigo Fuster <rodrigo.fuster@gmail.com>,
Rodrigo Pardo <rpardo@aquaexpert.cl>,
Maria Catalina Sabando <mcsabando@gmail.com>,
Matias Peredo Parada <matiasperedo@gmail.com>,
mariaelisdiaz@gmail.com, karidiva@gmail.com, victor.gudino@uv.cl,

fecha: 25 nov. 2019 13:51

asunto: Consulta Expertos On-line Humedales Chile

enviado gmail.com

por:

: Importante según el criterio de Google.

Estimado Colega,

Antes de todo, reciba un cordial saludo en estos días ya próximos a fin de este año. El motivo de este mail es solicitar su opinión en una encuesta que se encuentra adjunta, que es para colegas Expertos en Sistemas Límnicos, en específico en Humedales, en el marco de un proyecto desarrollado en conjunto con el MMA.

Esta es de carácter voluntaria, si bien y como todo proyecto requiere ser respondida lo antes posible dentro de vuestro valioso tiempo. El tiempo de realización se estima entre 10-20 minutos. Luego de ser respondida, debe ser enviada a este mismo correo.

Mayor detalle respecto a la misma, se encuentra en el documento de word adjunto.

Si cree que alguien más en su laboratorio pueda colaborar, siéntase libre de incluirlo reenviandosela.

Esperando contar con su valiosa colaboración, y esperando que se encuentre muy bien dentro de todos los acontecimientos que se viven a nivel país,

atte,