

ISSN 2735-718X

Blim

Boletín Limnológico de Chile / N. 3 / año 2021 / Sociedad Chilena de Limnología

**Acción ciudadana
para la protección
de humedales y
respuesta institucional**

--

**Sobre los “blooms”
de algas potencialmente
nocivas en el lago
Villarrica a partir de
la vigencia de la Norma
Secundario (2014-2019)**

--

**Bioestablecimiento
basado en macroinvertebrados
para determinar la calidad
del agua dulce en Chile**



Boletín Sociedad Chilena de Limnología

Directorio Sociedad Chilena Limnología

Jorge Nimptsch Presidente
Alejandro Palma Vicepresidente
Alejandra Oyanedel - Secretaria
Stefan Woelfl Tesorero

Equipo Editorial

Jorge Jaramillo
Luciano Caputo
Alejandro Palma

Diseño

Luis Felipe Leiva P.

Web

www.sociedadchilenadelimnologia.cl

Las opiniones emitidas en este número son de responsabilidad de los autores de los artículos y no representan necesariamente la posición de la Sociedad. La reproducción total o parcial del contenido de la revista está autorizada mencionando la fuente.

Distribución digital gratuita.

Imagen de Portada

Nicolás Muñoz

Contenidos

- 02** Contenidos
- 03** Editorial
- 04** Mundo Humedales
- 06** Homenaje de la Sociedad Chilena de Limnología al Prof. Roberto P. Schlatter Vollmann (PhD).
- 08** Columna: Humedales urbanos, limnología, oportunidades y responsabilidades.
- 12** Columna: Acción ciudadana para la protección de humedales y respuesta institucional.
- 22** Limnología Aplicada
- 24** Bioestablecimiento basado en macroinvertebrados para caracterizar la calidad de ambientes acuáticos de agua dulce en Chile.
- 30** Fósforo total (PT) en el Lago Villarrica: Una breve revisión de datos históricos y problemas asociados a la determinación de fósforo.
- 38** Bajo la mira limnológica: Sobre los “blooms” de algas potencialmente nocivas en el lago Villarrica a partir de la vigencia de la Norma Secundario (2014-2019): Estado del arte y desafíos
- 46** Entrevista: Limnología chilena: Historias forjada con viento puelche

Editorial

Junto con saludarlos cordialmente, como actual directorio de La Sociedad Chilena de Limnología, nos hemos propuesto continuar con nuestro tradicional “Boletín Limnológico” en su tercera edición en formato digital, con miras de establecer y fortalecer un vínculo entre la academia y la ciudadanía, que recoja el acontecer nacional en temas contingentes de aguas continentales de Chile. Esto, debido a que nuestra sociedad de limnolog@s y otras sociedades científicas debemos tomar una posición activa en resaltar el rol permanente de las ciencias como la herramienta clave para enfrentar en forma anticipada aquellos desafíos que se nos presentan en materia de investigación, conocimiento, accionar y aplicar medidas necesarias para un desarrollo sustentable de un Chile presente y futuro. Es evidente que en nuestra sociedad y organizaciones hay una fuerza innegable para avanzar en estos desafíos, y si todos logramos participar, tendremos una diversidad de puntos de vista suficiente para darle fuerza a los consensos que alcancemos en las demandas de la comunidad y para beneficio del desarrollo de Chile.

Para con esto, queremos aportar con esta tercera edición renovada de nuestro tradicional Boletín Limnológico, tanto en relación con su proceso editorial como también su formato de presentación. En la actual edición hemos focalizado las contribuciones en dos temáticas principales correspondientes a Sistemas de Humedales en Chile y respecto a la cuenca del Lago Villarrica declarada como zona saturada por parte del Ministerio del Medio Ambiente.

Les extendemos un cordial saludo, y agradecemos a nuevo equipo editorial de la sociedad que asume su función con este boletín. Deseamos que este sea un medio de comunicación y difusión que estimule la reflexión, el debate y el desarrollo de conocimiento para el beneficio de nuestros humedales, lagos, ríos, arroyos y sistemas costeros y cuidado de sus servicios ecosistémicos.

Cordiales Saludos
Directiva Sociedad Chilena de Limnología

Directiva SCL

sociedadchilenadelimnologia.cl

Mundo Humedales





Homenaje de la Sociedad Chilena de Limnología al Prof. Roberto P. Schlatter Vollmann (PhD).

Autor

Dr. Carlos Jara Senn
Instituto de Ciencias Marinas
y Limnológicas
Facultad de Ciencias

Universidad Austral de Chile
Casilla 567, Valdivia.
cjarasenn@gmail.com

La reciente promulgación (enero 2020) de la Ley 21202, referida a la Protección de los Humedales Urbanos en el marco del Plan Nacional de Protección de Humedales 2018-2022, hace propicio el homenaje de la Sociedad Chilena de Limnología a uno de sus Socios Fundadores, el Dr. Roberto P. Schlatter Vollmann (Ph.D.), fallecido el 12 de mayo de 2016.

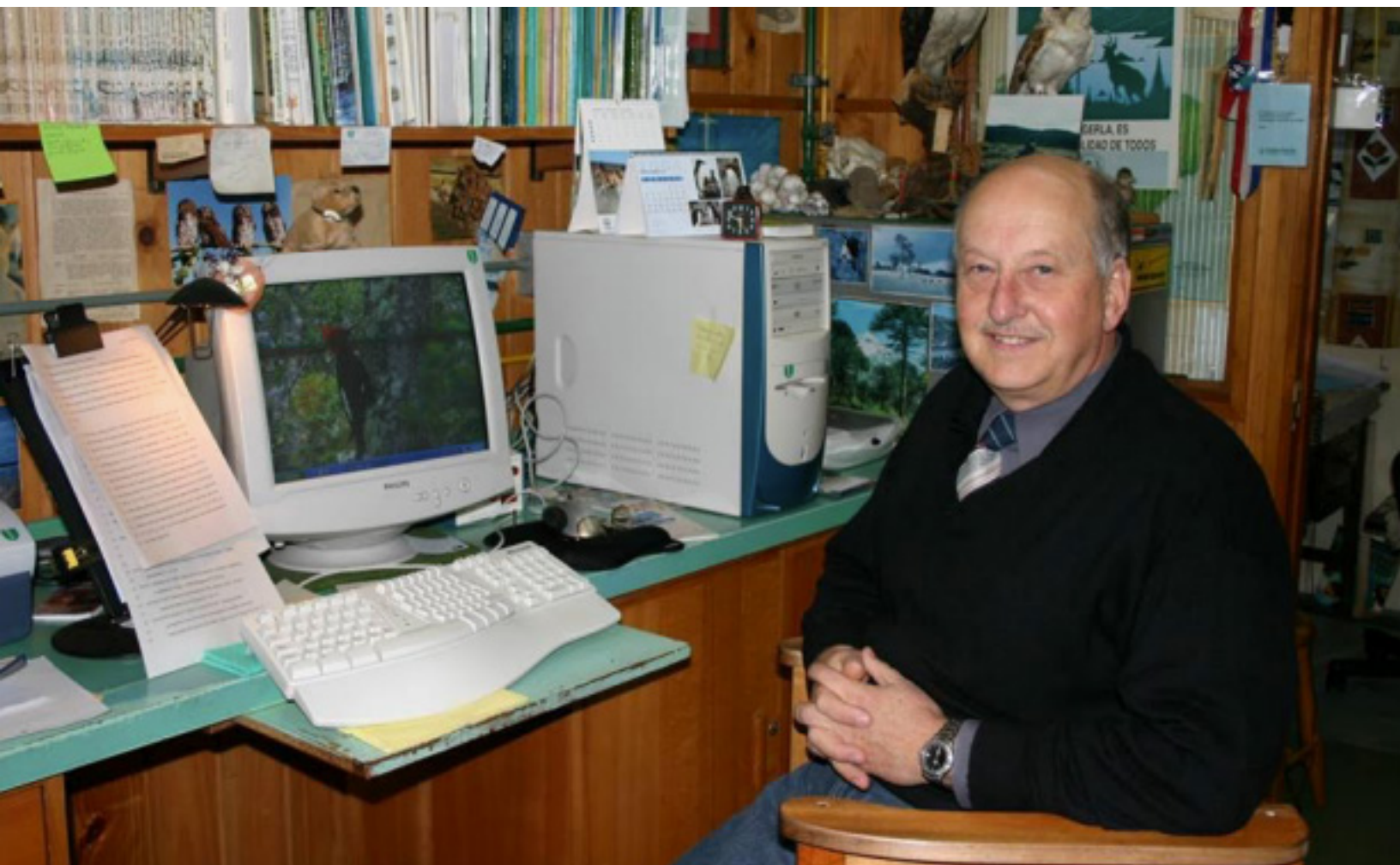
Dr. Schlatter estuvo profundamente comprometido con la conservación del patrimonio natural del sur de Chile, dedicando muchos años de su fructífera y multifacética carrera académica a dar a conocer y proteger la fauna ornitológica asociada a los humedales. Desde esa perspectiva Dr. Schlatter se integró a

las aspiraciones que en la década de los '90 tuvimos un grupo de colegas de diferentes universidades y entidades estatales para conformar una organización que aglutinara nuestros intereses académicos en torno a la descripción física, biológica y ecológica de los cuerpos de agua continentales del país y al manejo de los mismos. La

Dr. Schlatter fue un naturalista de la “vieja escuela”, con un conocimiento enciclopédico de la fauna, flora y ecología tanto del territorio continental de Chile como del territorio antártico.

Sociedad Chilena de Limnología fue antecedida por el Comité Limnológico Nacional, organización circunstancial sin estatutos ni Personería Jurídica, que entre los años 1966 y 1995 reunió anualmente a los limnólogos chilenos en el Taller Limnológico. Dr. Schlatter participó en algunos de los Talleres pero su actividad académica se acercó mucho más a la Limnología una vez que la actual organización cobró

HOMENAJE



vida (SOCHILIMNO obtuvo la Personería Jurídica el 29 de enero de 2010). Dr. Schlatter fue un naturalista de la “vieja escuela”, con un conocimiento enciclopédico de la fauna, flora y ecología tanto del territorio continental de Chile como del territorio antártico. Una fracción importante de su actividad profesional y académica la dedicó a la creación del Santuario de la Naturaleza Carlos Andwanter en el Río Cruces, Valdivia, reconocido como el primer sitio Ramsar en Chile. Dr. Schlatter, como uno de los más connotados promotores de tal iniciativa, debió reunir la escasa información disponible en ese entonces acerca la hidrografía, hidrología y ecología del humedal del Río Cruces. Aunque su principal interés estuvo en el estudio de la ecología y etología de las aves del humedal, su amplio conocimiento y manejo de las ciencias naturales le permitió integrarse e in-

teractuar en igualdad de condiciones con los limnólogos y contribuir con su permanente entusiasmo al desarrollo de la Sociedad. El legado académico de Dr Schlatter se encuentra repartido en las decenas de estudiantes de pre y postgrado que fueron guiados y patrocinados por él, muchos de ellos actualmente en cargos académicos y administrativos de relevancia tanto en Chile como en el extranjero.

Agradecemos una vez más la generosidad de Dr. Schlatter al haber formado parte del núcleo fundador de la Sociedad que hoy nos acoge y motiva. Que su vida dedicada al incremento del conocimiento de los humedales y de las aves sea ejemplo y estímulo para las nuevas generaciones de biólogos, ecólogos y limnólogos de Chile. Larga vida a su memoria entre los limnólogos del presente y del futuro.

Humedales urbanos, limnología, oportunidades y responsabilidades

Autor

Patricia Möller Doepking
Coordinadora de Educación Ambiental
Centro de Humedales Río Cruces
(CEHUM)

Cuando me invitaron a escribir un artículo sobre los humedales urbanos para este boletín me preguntaba qué enfoque podría darle que fuera un aporte a los limnólogos y limnólogas. Habiendo estado vinculada durante toda mi vida profesional con estos ecosistemas desde diferentes ámbitos, desde hace algunos años nos preguntábamos con algunos colegas qué instrumentos de gestión ambiental podrían ser realmente un aporte efectivo a la conservación de los humedales. La gestión ambiental emplea instrumentos diversos en su origen y naturaleza, los que pueden clasificarse en cuatro categorías mayores (sensu Rodríguez-Becerra & Espinoza 2002), de regulación directa, administrativos, económicos y de educación; estando incluidos en esta última categoría la investigación, la asistencia técnica y la información ambiental. Los instrumentos de regulación directa, también llamados de comando y control, predominan en la gestión ambiental, y consisten en la promulgación y obligatoriedad de leyes y normas que disponen objetivos de calidad ambiental y de manejo y conservación de los recursos naturales renovables y del medio ambiente. Pues bien, entonces la pregunta que surge es ¿cuál es protagonismo que han tenidos los humedales desde esta perspectiva en nuestro país?

Una cronología respecto a lo anterior de los humedales en la esfera nacional se inicia con la suscripción de Chile a la Convención de Ramsar en 1981, y la incorporación del primer humedal a esta lista de importancia internacional, el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter. Esta adhesión de Chile a un tratado internacional de protección ambiental ocurre tempranamente considerando que hasta esa fecha nuestro país solo había adherido a la Convención para la Protección de la Flora, la Fauna y las Bellezas Escénicas Naturales de América (Convención de Washington) y a la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES)¹.

Al adherir a la Convención de Ramsar, el país asume compromisos y responsabilidades en la protección de los humedales, sin

embargo, nuestra normativa jurídica se ha caracterizado por un tardío reconocimiento de los humedales. La primera referencia al término humedales en la legislación chilena, con excepción de las leyes que se relacionan con la adhesión a la convención de Ramsar en 1981, aparece con la Ley N° 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente en 1994, en que se mencionan una vez. Una definición de humedales aparece por primera vez en la legislación con la promulgación en 2011 del Decreto Supremo N°82, el Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales de la Ley N° 20.283. Una revisión exhaustiva de la normativa vigente con incidencia, directa o indirecta sobre los humedales continentales (véase Möller y Muñoz-Pedrerros, 2014)² documentó que, si bien numerosos cuerpos legales tienen injerencia sobre ellos, ninguno los ha abordado como ecosistemas, comprometiendo éstos solo algunos de sus componentes (e.g., agua, flora, fauna). Varios de ellos incluso constituyen incentivos para su destrucción.

La Estrategia Nacional para la Conservación y Uso Racional de los Humedales en Chile³, recién ve la luz a fines de 2005 luego que se promulgara la Estrategia Nacional de Biodiversidad, a fines del 2003, en la que se asume la necesidad de proteger estos ecosistemas húmedos de forma eficiente y efectiva. Por ello, la reciente promulgación de la Ley de Humedales Urbanos (Ley 21.202) es un salto cualitativo y cuantitativo al reconocimiento de la importancia de estos ecosistemas, ya que además de reconocerlos integralmente, modifica diversos cuerpos legales con el objetivo de protegerlos, al menos en el contexto de su localización urbana. A esto se suma, por cierto, los diversos esfuerzos desplegados durante muchos años por ONGs, organizaciones de la sociedad civil y universidades, así como esfuerzos administrativos desde el nivel central (Ministerio de Medio Ambiente, Corporación Nacional Forestal, entre otros) para levantar información de base, inventarios,

guías de manejo, planes y programas para generar conciencia, capacidades y orientar esfuerzos dirigidos a la conservación de los diferentes ecosistemas de humedales en Chile.

Uno de estos esfuerzos administrativos recientes es el Plan Nacional de Protección de Humedales 2018-2022⁴ del MMA, que pretende contribuir a la pérdida y degradación de humedales mediante la creación de áreas protegidas que garanti-

cen su conservación y puedan gestionarse en el largo plazo. En este marco, se ha priorizado un portafolio de 40 humedales en todo el país, existiendo otros 17 en revisión. Las figuras de protección pueden abordarse desde una forma más estricta, de preservación, hasta el uso sustentable de los recursos involucrados, todo lo cual se define de acuerdo con los objetos de conservación y los objetivos específicos que se asocian a los primeros. Si bien la mayoría de las categorías de protección aplican a la propiedad fiscal o a los bienes nacionales de uso público, la propiedad privada no queda ajena a estas intenciones, ya que puede igualmente asimilarse a una categoría de protección de estos sistemas. El marco jurídico vigente que contempla esa figura es la de Santuario de la Naturaleza. Hay que tener presente, sin embargo, que ambas figuras, la de sitio Ramsar y Santuario de la Naturaleza han demostrado ser ineficaces en proteger ecosistemas amenazados (véase Muñoz-Pedrerros, 2004)⁵.

El procedimiento señalado por el plan indica que cada humedal debe cumplir con una serie de etapas para su reconocimiento como área protegida. Se inicia con un informe técnico justificatorio y, en el caso de los Santuarios de la Naturaleza, con un informe previo del Consejo de Monumentos Nacionales. El expediente para la creación de área protegida debe ser presentado ante el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad quienes deben aprobarlo. Le sigue la elaboración y firma del decreto supremo de

“Por ello, la reciente promulgación de la Ley de Humedales Urbanos (Ley 21.202) es un salto cualitativo y cuantitativo al reconocimiento de la importancia de estos ecosistemas, ya que además de reconocerlos integralmente, modifica diversos cuerpos legales con el objetivo de protegerlos, al menos en el contexto de su localización urbana”.

creación, posterior paso por la Contraloría General de la República para toma de razón y finalmente su publicación en el Diario Oficial para iniciar su vigencia.

En muchos casos las propuestas de creación de humedales protegidos ya han sido relevadas por las comunidades locales. En sí mismo el proceso establecido para la declaratoria de humedales protegidos contempla amplias instancias de participación, las que tienen como propósito involucrar a los actores del territorio tanto en el levantamiento de información, como en el manejo futuro de las áreas.

Surgen entonces los aspectos que identifico como oportunidades y responsabilidades para los lectores de este boletín. Por un lado, la ya señalada Ley de Humedales Urbanos, que es bastante breve ya que solo tiene cinco artículos. El primer artículo señala el objetivo de la ley, proteger los humedales urbanos declarados por el Ministerio de Medio Ambiente, de oficio o a petición del municipio respectivo. El segundo artículo indica que a través de un reglamento se definirán los criterios mínimos para la sustentabilidad de estos humedales (a fin de resguardar sus características ecológicas y su funcionamiento, y mantener el régimen hidrológico), criterios a partir de los cuales se dictarán las ordenanzas municipales de protección. El tercero entrega atribuciones al municipio para postergar permisos de subdivisión, urbanización o construcción mientras se realice el proceso de reconocimiento de humedal urbano y de las reclamaciones. Los otros dos artículos incorporan modificaciones a cuerpos legales para proteger a los humedales urbanos (la ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente, y a la Ley General de Urbanismo y Construcciones). Sin embargo, subsiste la inquietud en cuanto a la jerarquía legal de las ordenanzas municipales frente a los derechos de propiedad consagrados constitucionalmente y la fuerza de otras normativas de mayor rango legal. Lo interesante de esta ley es que, cumpliendo con los tiempos establecidos, ya encuentra en fase final la promulgación de su reglamento, el cual integra dimensiones sociales, económicas y ambientales para la sustentabilidad de los humedales urbanos. Un aspecto anterior recogido en

estos criterios refiere a formas de participación que deben darse para asegurar una adecuada gobernanza que involucre a todos los actores en una gestión, protección y conservación efectivas. Es así como tenemos diversos actores locales estrechamente vinculados en responsabilidades orientadas a la protección de los humedales urbanos: el municipio, las organizaciones de la sociedad civil, los centros académicos y de investigación y también las empresas privadas con incidencia ambiental en el ámbito urbano.

“Sin embargo, subsiste la inquietud en cuanto a la jerarquía legal de las ordenanzas municipales frente a los derechos de propiedad consagrados constitucionalmente y la fuerza de otras normativas de mayor rango legal”.

Por otro lado, recientemente el Ministerio del Medio Ambiente publicó los resultados del Inventario Nacional de Humedales Asociados a Áreas Urbanas (MMA 2020) en el cual se identifica un total de 1.473 humedales que se asocian total o parcialmente a un área urbana consolidada o de límites urbanos establecidos. Si bien este levantamiento no incluye humedales marinos y costeros, es decir playas y costas, y deben ajustarse antecedentes en la incorporación de otros tipos de humedales, la información de este catastro es una buena referencia para dimensionar la enorme cantidad de humedales urbanos que hay en Chile. Esto, ciertamente, re-

presenta una gran oportunidad y un desafío para quienes realizan investigaciones limnológicas en nuestro país, así como en las diversas otras áreas temáticas que abarcan las gestiones para la conservación.

Estas oportunidades pueden vislumbrarse en cuanto a opciones de investigación, contribuciones al conocimiento de los ecosistemas de humedales locales; apoyo técnico a las autoridades locales, a las organizaciones o comunidades encargadas del seguimiento y monitoreo ecológico e hidrológico de los humedales; a la educación y comunicación ambientales. Hay puentes que establecer, lenguajes para un diálogo efectivo que desarrollar y confianzas que cimentar, en un ejercicio de construir comunidad. Más aún, los limnólogos y limnólogas deberían sentirse llamados a aportar como ciudadanos, comprometidos activamente con su entorno y con la conservación, en la responsabilidad socio-científica de ser profesional con fuerte competencia técnica en la materia.

LITERATURA CITADA

1 -Rodríguez-Becerra M & G Espinoza (2002) Gestión ambiental en América Latina y el Caribe: evolución, tendencias y principales prácticas. David Wilk (Ed.). División de Medio Ambiente, Banco Interamericano de Desarrollo.

2-Möller P y Muñoz-Pedrerros A (2014). Legal protection assessment of different inland wetlands in Chile. Revista Chilena de Historia Natural 87 (1), 23.

3-http://metadatos.mma.gob.cl/sinia/articles-53575_EstrategiaNacionalHumedales_2005.pdf

4-https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/11/Plan_humedales_Baja_confrase_VERSION-DEFINITIVA.pdf

5-Muñoz-Pedrerros A (2004) Los humedales del río Cruces y la convención de Ramsar. Un intento de protección fallido. Gestión Ambiental 10: 11-26.

Acción ciudadana para la protección de humedales y respuesta institucional

Autor

Montserrat Lara Sutulov
Investigadora, Centro Transdisciplinario
de Estudios Ambientales y Desarrollo
Humano Sostenible, UACH

Fundación Centro de los Bosques Nativos
Forecos
Red Ciudadana por los Humedales
Valdivia

Los humedales –ecosistemas de gran valor intrínseco y fundamentales para nuestro bienestar humano– curiosamente se han mantenido prácticamente al margen de la legislación, institucionalidad y políticas públicas de Chile, quedando su destino muchas veces en manos de los especuladores inmobiliarios y otras actividades productivas y extractivas desreguladas, que ven en estos ecosistemas tierras de bajo valor económico que se pueden degradar o destruir para otros usos “más rentables”.

“Estas prácticas comunitarias de valoración y defensa de los humedales, son también parte de un proceso social de re-descubrimiento, re-conocimiento y re-conexión de estos espacios del agua, que por muchos años fueron negados, dominados y considerados como tierras de escaso valor”.

En contraposición, las organizaciones ciudadanas, comunitarias y vecinales y sus dirigentes, vienen relevando la importancia de los humedales hace alrededor de veinte años. La ciudadanía ha defendido, protegido, puesto en valor e incluso recuperado humedales degradados, movida por el amor a la naturaleza, la defensa del territorio que se habita y un convencimiento profundo de que estos ecosistemas se deben proteger y conservar. Estas prácticas comunitarias de valoración y defensa de los humedales, son también parte de un proceso social de re-descubrimiento, re-conocimiento y re-conexión de estos espacios del agua, que por muchos años fueron negados, dominados y considerados como tierras de escaso valor. En



FIG. 1 Portada del Diario Austral
21 marzo 2005

Colombia se ha denominado la “amnesia ecológica” del espacio que ocupó(a) el agua en el paisaje o la “negación del agua”. Así los humedales han comenzado a “existir” nuevamente y el término “humedal” se ha hecho conocido por la ciudadanía, recuperando también los nombres ancestrales locales con los que los pueblos originarios conocen y valoran estos ecosistemas como hualve, menoko, vega y mallín.

Este re-descubrimiento y valoración de los espacios y paisajes anfibios por parte de la ciudadanía no ha estado alineado con el avance en políticas públicas para la protección de estos espacios naturales. Muchas veces la defensa de los humedales ha enfrentado a la ciudadanía con las autoridades, poniendo a unos y a otros en verdaderas opuestas. En otras ocasiones, sobre todo en años más recientes, han surgido colaboraciones interesantes que han permitido avanzar en la protección de estos ecosistemas.

Probablemente el caso histórico más emblemático fue la defensa del gran humedal del río Cruces –protegido en teoría como Santuario de la Naturaleza y sitio Ramsar desde 1981– ante el desastre ambiental causado por la planta de ce-

lulosa de la empresa Arauco el año 2004. Los habitantes de Valdivia y otras localidades vecinas al humedal del río Cruces, al ver que los cisnes de cuello negro caían muertos sobre sus cabezas, que el agua que bebían cambiaba de color y olor, y que su ganado enfermaba, se organizaron y desarrollaron diversas estrategias para defender su humedal. Así nació el colectivo “Acción por los Cisnes”. Hubo marchas y movilizaciones masivas (Figura 1) –probablemente las más multitudinarias por razones ambientales antes de la campaña Patagonia Sin Represas– junto a un trabajo técnico de alto nivel que supo sortear la burocracia, procedimientos y autoridades en busca de herramientas para proteger este gran humedal amenazado por los residuos industriales líquidos de la planta de celulosa. En este caso la movilización ciudadana no solo logró demostrar judicialmente la culpabilidad de Arauco en el desastre ambiental del humedal del río Cruces, sino que incitó la reforma de la institucionalidad ambiental de Chile (Sepúlveda-Luque et al., 2019).

La paradoja de la ciudadanía tomándose las calles para defender un espacio natural supuestamente protegido por el Estado –o que debería proteger– es un patrón que se ha venido repitiendo desde entonces a lo largo de todo Chile. Hoy la defensa y valoración ciudadana de los humedales, ya no es hecho puntual ni acotado geográficamente como lo era el año 2004, sino una demanda social consolidada que se ha ampliado, replicado y reforzado a lo largo de todo el país. Ejemplo de esto es la Red Nacional de Humedales que agrupa a más de 35 organizaciones de Arica a Punta Arenas unidades para la protección y valoración de los humedales del país. Por su parte el Estado, a través de políticas públicas, instrumentos de gestión y regulación, ha ido respondiendo –aunque lentamente– a esta demanda, con lo cual los humedales han comenzado a “existir” para la institucionalidad, la jurisprudencia y aparataje estatal.

Es interesante comprender de dónde proviene la negligencia institucional histórica respecto a los humedales en Chile, siendo que estos ecosistemas son reconocidos a nivel internacional como

FIG. 2. Postal Valdivia Ciudad Humedal. Publicada por Acción por los Cisnes durante la campaña para defender el humedal del Río Cruces.



áreas de gran valor intrínseco, así como para la mantención de múltiples servicios ambientales para el bienestar humano (Mitsch, 2013; Gardner et al., 2015; IPCC, 2019).

Una primera explicación es que la gobernanza de los humedales e institucionalidad asociada, se aproxima a estos ecosistemas desde sus componentes (i.e. agua, suelo, vegetación) y no desde una visión (eco)sistémica que incorpore la particular interfase –entre lo acuático y terrestre– que representan los humedales (Guerra y Lara-Sutulov, 2017). Así la institucionalidad que rodea a los humedales está descoordinada y fragmentada en torno, al menos, a las siguientes cuatro dimensiones: biodiversidad y áreas protegidas, recursos hídricos y cauces, borde costero, y humedales propiamente tal (Tecklin et al., 2015). Por su parte, la legislación referida a humedales también se encuentra dispersa en al menos 48 cuerpos legales que hacen referencia al uso o manejo de estos ecosistemas o de alguno de sus componentes, existiendo ocho normas que directa o indirectamente incentivan la destrucción de humedales (Möller y Muñoz-Pederos, 2014). Dada esta situación, hasta hace un par de años era común para quienes trabajan en

conservación afirmar: “en Chile los humedales legalmente no existen” (Tecklin et al., 2015).

Afortunadamente esta situación ha tenido un cambio rotundo con la reciente (enero 2020) publicación de la Ley 21.202 –más conocida como Ley de Protección de Humedales Urbanos– que genera la primera definición legal de “humedal” en nuestro país, tomando como base la amplia e incluyente definición de la Convención Ramsar (Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas). Esta ley, que solo protege aquellos humedales urbanos y peri urbanos (o parcialmente dentro del límite urbano), surge en respuesta a las múltiples movilizaciones y demandas ciudadanas articuladas desde diversos centros urbanos del país, como lo reconoce la propia historia de la Ley (Vicepresidencia del Senado, 2019; BCN, 2020).

Para llegar a este punto –contar con una ley que expresamente protege los humedales como ecosistemas y que consagra una definición legal de humedales en Chile– se ha recorrido un largo camino impulsado y liderado desde la ciudadanía, con respuestas reactivas y en general lentas desde el Estado y la institucionalidad, que afortunadamen-

COLUMNA

te parecen irse alineando de a poco en torno a la valoración de estos ecosistemas.

La historia de Valdivia, de amor y odio con los humedales, es un buen ejemplo de las transiciones y cambios de relación entre los habitantes de un territorio y los humedales, así como de la capacidad de la ciudadanía para impulsar cambios en la institucionalidad para proteger estos ecosistemas. Como valdiviana me es lógico usar Valdivia para ejemplificar estas dinámicas. Sin embargo, la selección de esta ciudad y territorio como caso de estudio también se base en el protagonismo a nivel nacional que ha tenido Valdivia en la defensa y protección de los humedales. Es importante notar que el caso de Valdivia es solo un ejemplo de los muchos movimientos ciudadanos por la defensa de los humedales que se replican en diversos territorios de todo el país.

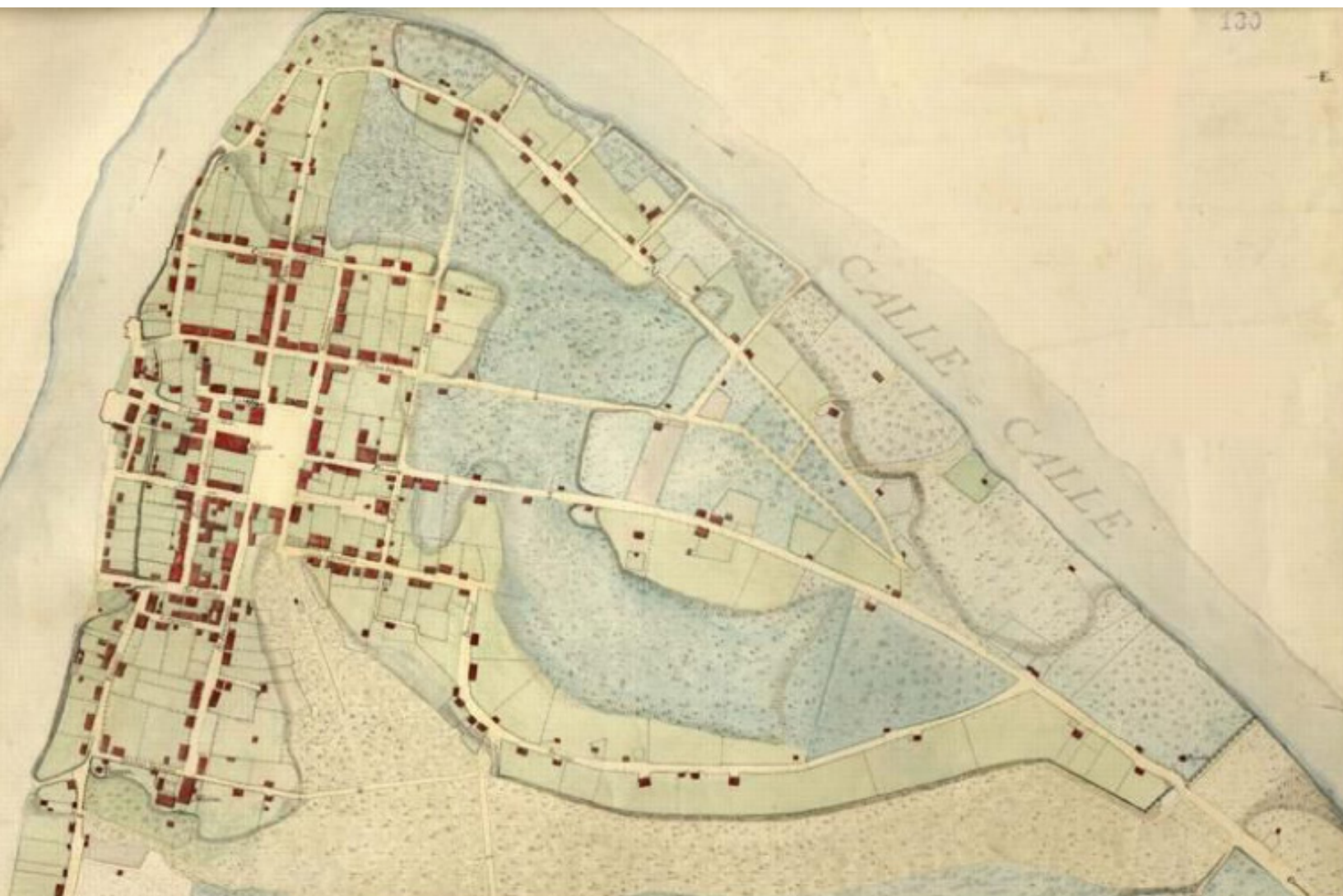
Valdivia –ciudad humedal– territorio de azules y verdes, marcada por el agua y la vegetación. El agua se hace presente en todas partes: casi dos metros de lluvia caen cada año sobre la ciudad y luego corren por sus venas–humedales sustentando la vida a través de una intrincada red de hualves,

pantanos y ríos.

Valdivia está ubicada en la confluencia de tres ríos principales (Cruces y Calle Calle dando origen al Valdivia) y su gran red de humedales asociados, que abarcan más de 3.000 hectáreas y cubren más del 40% de la superficie de la ciudad (MMA, 2016; UACH, 2019). Estos humedales albergan más de 190 especies de plantas y más de 100 especies de animales, y proporcionan servicios ecosistémicos invaluable, como el drenaje de aguas lluvia y control de inundaciones, junto a oportunidades para la recreación y cohesión social muy valorados por las comunidades locales.

La historia del territorio donde se emplaza Valdivia con los humedales es larga y comienza mucho antes de que los españoles fundaran la ciudad en 1552, remontándose a los pueblos indígenas que escogieron este lugar para asentarse hace más de 1.000 años. Así los humedales han determinado la ubicación, fisonomía y el paisaje de Valdivia desde entonces, siendo parte fundamental de su identidad, lo cual no implica que ha habido largos periodos en que estos ambientes han sido negados y descuidados.

FIG. 3. Mapa de Valdivia 1855 por Enrique Siemsen. Fuente: Colección Biblioteca Nacional de Chile, Patrimonio cultural común, id MC: MC0001434. Digitalización de Memoria Chilena. <http://www.memoriachilena.cl/602/w3-article-99611.html>



“ En 1960 el mayor terremoto registrado y, su posterior tsunami, sacudieron a Valdivia. La tierra se hundió casi dos metros y el agua se apoderó de sus viejos caminos y cauces. Los antiguos humedales se expandieron y aparecieron otros nuevos

Basado en el registro arqueológico se sabe que los humedales fueron fundamentales para los grupos indígenas que se asentaron en el valle de Guadalafquen –como lo conocían los cronistas españoles– como áreas valiosas para el cultivo, el abastecimiento de agua y el transporte. Muchos sitios arqueológicos precoloniales (1100-1500 AC) están asociados a humedales, mostrando el uso doméstico y ritual de estos espacios (Adán et al., 2017). Así, los humedales eran una parte constituyente de los medios de vida indígenas, intermediados por conocimientos ancestrales que permitían una relación íntima con el paisaje. En el momento de la fundación de la ciudad –en 1552– los humedales determinaron su forma y fisonomía, un rasgo visible hasta hoy en el intrincado diseño de las calles. Así Valdivia llegó a ser conocida como la “Ciudad del lago” (Adán et al., 2017), lo cual es visible en los mapas españoles y holandeses de los siglos XVI al XIX (Figura 3).

Hacia finales del siglo XVIII, los españoles utilizaron los humedales como parte de su sistema de defensa militar frente a la población indígena y los holandeses. A inicios del siglo XIX, con la incorporación de Valdivia a la República de Chile, los humedales comenzaron a ser vistos como lugares de poco valor que debían ser canalizados, drenados y rellenados para ampliar las áreas urbanizables, desapareciendo literalmente de los mapas de la ciudad a fines del siglo XIX. A principios del siglo XX, la población pobre y

marginada tendía a vivir alrededor de las zonas de humedales, que se consideraban tierras baldías y lugares insalubres (Sepúlveda-Luque et al., 2019).

En 1960 el mayor terremoto registrado y, su posterior tsunami, sacudieron a Valdivia. La tierra se hundió casi dos metros y el agua se apoderó de sus viejos caminos y cauces. Los antiguos humedales se expandieron y aparecieron otros nuevos, como el humedal del río Cruces en la extensión que lo conocemos hoy día y las lagunas de Santo Domingo.

Durante el resto del siglo XX y hasta hoy día Valdivia crece a expensas de los humedales. Esto ha sido impulsado tanto desde el Estado, a través de proyectos viales y de viviendas sociales, como desde particulares a través del relleno para especulación inmobiliaria. En los últimos 20 años se han perdido en Valdivia 500 hectáreas de humedales (27 ha/año) debido al crecimiento urbano, proceso que se ha acelerado desde el año 2010 perdiéndose 39 ha/año (UACH, 2019). Si esa tasa de pérdida anual continúa constante, en 75 años no quedarán humedales en Valdivia.

Frente a estas amenazas, la ciudadanía valdiviana se ha ido reconectando con la identidad de su territorio y organizando en un movimiento de defensa y protección de los humedales que identifica a una parte importante de la población local (Lara-Sutulov, 2017; Sepúlveda-Luque et al., 2019). Como se explicó más arriba, el inicio de este movimiento ciudadano surgió hace 16 años, asociado a la defensa del Santuario de la Naturaleza y sitio Ramsar humedal del río Cruces, que estaba siendo dramáticamente contaminado por una planta de celulosa causando un grave daño ambiental. Las movilizaciones en torno a la defensa del humedal del río Cruces marcaron un quiebre en la trayectoria previa de relleno y destrucción de estos ecosistemas, que había dominado en la ciudad por casi dos siglos. Este quiebre estuvo mediado por la “acción” de los cisnes de cuello negro que caían muertos o agónicos sobre Valdivia y se refugiaban en los humedales de la ciudad escapando de la contaminación del río Cruces (Sepúlveda-Luque et al., 2019). Los valdivianos comenzaron así a descubrir que en sus vecindarios había humedales capaces de dar refugio a los cisnes (Skewes et al., 2012). Esto transformó la visión sobre estos espacios naturales, antaño considerados terrenos baldíos y basurales candidatos al relleno, a ambientes que ameritaban protección.

Al poco tiempo comenzaron a surgir otros movimientos comunitarios y vecinales de defensa de humedales urbanos en barrios periféricos de Valdivia. Los pobladores de sectores populares comenzaron a ver los humedales aledaños a sus barrios, como el Catrico y Angachilla, como áreas verdes para la recreación, educación, vinculación social y reconexión con la naturaleza. Así comenzaron a recuperar estos espacios, a cuidarlos y demandar su protección oficial.

El año 2012 se comenzó a gestar en Valdivia una red ciudadana de personas y organizaciones interesadas en la protección, defensa y valoración de los humedales de Valdivia. El año 2014 se formó la Red Ciudadana por los Humedales de Val-

divia integrada por actores vecinales vinculados a las iniciativas de protección de humedales, así como por profesionales y ONG locales, que buscan el reconocimiento de los humedales urbanos como sitios de valor ecológico y social. Desde entonces esta Red Ciudadana ha enfocado su trabajo en exigir a diversos organismos públicos y autoridades la implementación de medidas efectivas de protección de los humedales, combinando el activismo a través de movilizaciones, con propuestas técnicas concretas, gran cantidad de denuncias e incluso acciones judiciales.

Entre las principales demandas, propuestas y acciones concretadas para la protección de humedales por la Red Ciudadana se encuentran:

- Colaboración en el establecimiento de la Mesa Regional de Humedales de Los Ríos coordinada y liderada por la Seremi del Medio Ambiente (2013)
- Implementación de la Mesa Técnica Comunal de Humedales, instancia de colaboración entre servicios públicos y la sociedad civil coordinada por la Municipalidad de Valdivia, para mejorar la gestión de los humedales de la comuna de Valdivia (2014).
- Propuesta de incorporación de humedales y bosques urbanos como áreas de protección de recursos de valor natural en el proceso de modificación del Plan Regulador Comunal de Valdivia (2015). Esta propuesta no fue incorporada por la Municipalidad.
- Aprobación de la Ordenanza de Protección de Humedales de la comuna de Valdivia (2016), inicialmente rechazada por el Alcalde (ver Lara-Sutulov, 2017). Al mismo tiempo se estableció un protocolo de denuncias para acciones de daño o destrucción de humedales con una plataforma de denuncia en línea. A través de esta ordenanza se generó la obligación del Municipio de elaborar un catastro oficial de humedales de la comuna desarrollado el 2019.
- Participación y liderazgo en la creación de la Red Nacional de Humedales, instancia que agrupa a personas y organizaciones de todo Chile en la protección, conservación y defensa de los humedales (2017)
- Fortalecimiento de las organizaciones vecinales aledañas a humedales urbanos, para fomentar su vinculación, identidad y conocimiento de los humedales de sus barrios.
- Participación en la elaboración de la Ley 21.202 de humedales urbanos y su Reglamento (2018-2020).
- Solicitud a la Municipalidad de Valdivia de entablar una demanda por daño ambiental en el Tercer Tribunal Ambiental, por el daño causado por particulares a tres humedales de la ciudad (2019). Estas demandas aun se encuentran en curso (causas roles).
- Desarrollo de la primera Escuela de Liderazgo Ambiental para la protección de humedales, en la que participaron más de 100 personas durante 8 meses (2019)
- Primer catastro ciudadano de los humedales Urbanos de Valdivia (2015)

Políticas públicas y respuesta institucional

Desde el Estado las políticas públicas en relación a la protección y conservación de humedales han sido más bien reactivas en respuesta a demandas sociales levantadas por la ciudadanía. Así el año 2005 la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA, actual Ministerio del Medio Ambiente) elaboró la primera Estrategia Nacional de Humedales, como una forma de dar cumplimiento a las recomendaciones de la Convención Ramsar ratificada por Chile 24 años antes en 1981, y en respuesta a la movilización ciudadana en torno al desastre ambiental del humedal del río Cruces (Sepúlveda, 2018). Esta estrategia y su plan de acción fue la primera política pública sobre humedales en el país, pero no tuvo mayor efecto, ya que consistía principalmente en principios, acciones administrativas y medidas muy generales que no se tradujeron en una mejor gestión y conservación de los humedales (Arenas et al., 2008). Por su parte, el año 2010 la Corporación Nacional Forestal (Conaf) lanzó el programa nacional para la conservación de humedales insertos en el SNASPE, enfocado solo en aquellos humedales ubicados dentro de áreas protegidas.

Recién en el año 2011 el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) elaboró el primer inventario nacional de humedales, que localizó, clasificó y evaluó el estado de conservación de los humedales del país. Este inventario luego fue actualizado el año 2015 y se hizo público a través del geoportal del MMA. El inventario de humedales acaba de ser actualizado nuevamente en 2020, incorporando por primera vez los humedales urbanos y periurbanos, en concordancia con la información requerida por el MMA para la implementación de la Ley de Humedales Urbanos y con las recomendaciones de la Convención Ramsar.

La actualización del Plan de Acción para la Conservación de Humedales, inicialmente asociado a la Estrategia Nacional de Humedales, fue realizado en 2017 e incorporado a la Estrategia Nacional de Biodiversidad (MMA, 2017). Nuevamente la mayoría de las medidas propuestas eran administrativas y el plan no se tradujo en

una mejor gestión ambiental de los humedales del país.

En 2018 por primera vez el MMA elaboró un plan con medidas concretas para la protección y conservación de humedales. Se trata del Plan Nacional de Protección de Humedales 2018-2022 que prioriza 40 humedales, distribuidos en todas las regiones del país, para su protección a través de alguna figura de protección legal, en su mayoría en la forma de Santuarios de la Naturaleza. A la fecha se han declarado como protegidas más de 200.000 hectáreas de humedales, lo cual es un avance importante para la protección real de estos ecosistemas. El próximo paso es la elaboración de planes de manejo y gestión para estas nuevas áreas protegidas, proceso que también está llevando a cabo el MMA.

Durante 2019 ocurrió un proceso interesante de incorporación de los humedales a una política pública relacionada con cambio climático, en torno a la actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) que Chile debía entregar a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. El documento original propuesto por el MMA y, sometido a un proceso de participación ciudadana formal, no mencionaba en ninguna sección la protección y conservación de humedales como medida de mitigación ni de adaptación al cambio climático. Para la ciudadanía y el Comité Científico de la COP25 (comité asesor del gobierno compuesto por más de 600 científicos organizados en mesas temáticas) esto era inaceptable, considerando que los humedales, y en particular las turberas, han sido reconocidos a nivel internacional como importantes sumideros de carbono cuya conservación es una de las medidas más costo efectivas para la mitigación (IPCC, 2019) así como para la adaptación y resiliencia frente al cambio climático (Fennessy & Lei, 2018). Los científicos recomendaron que la protección y conservación de turberas y humedales fuera incorporado a los NDC (ver Hoyos-Santillan et al, 2019) y la ciudadanía por su parte hizo lo mismo a través del proceso de participación ciudadana generando 55 observaciones. El resultado de estas recomendaciones

“El documento original propuesto por el MMA y, sometido a un proceso de participación ciudadana formal, no mencionaba en ninguna sección la protección y conservación de humedales como medida de mitigación ni de adaptación al cambio climático”.

fue la incorporación de aspectos como el estudio, protección y conservación de humedales a la NDC de Chile en diferentes líneas de acción (Gobierno de Chile 2020).

En términos normativos el hito más relevante para la protección de humedales ocurrió recientemente, a inicios del 2020, con la publicación de la ley 21.202 para la protección de humedales urbanos. Esta es la primera ley de carácter nacional que reconoce explícitamente la importancia de estos ecosistemas (no solo de alguno de sus componentes), los define y entrega herramientas para su protección a través del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, instrumentos de planificación territorial, ordenanzas municipales y criterios mínimos para su sustentabilidad. Sin embargo, una limitación de la ley radica en que para que un humedal urbano sea considerado como tal, para efectos de la aplicación de los instrumentos y medidas de protección de la Ley, requiere que previamente haya sido reconocido o declarado oficialmente como HUMEDAL, a través de un acto administrativo del MMA, de manera directa o a solicitud del municipio respectivo. Es decir, no basta con que un humedal urbano cumpla con la definición de la convención Ramsar para estar protegido por esta Ley, sino que requiere de un acto administrativo que lo declare como “humedal urbano”. Esto probablemente limitará las posibilidades de proteger humedales urbanos a través de esta ley, que actualmente tiene su reglamento en Contraloría esperando ser publicado para comenzar su implementación.

Es interesante notar que varias de las propuestas para la protección de humedales generadas desde la Red Ciudadana de Humedales de Valdivia, tales como la ordenanza de protección de humedales y la incorporación de los humedales como áreas de protección de recursos de valor natural en el Plan Regulador Comunal, han sido incorporadas en la Ley 21.202. Esto habla del diálogo que ha empezado a existir entre la ciudadanía y los tomadores de decisión en la elaboración de normativa y políticas públicas en torno a los humedales del país.

Conclusiones

En Chile existe una creciente e innegable valoración social de los humedales, que se despliega y actúa a través de movimientos ciudadanos que hacen frente a su degradación y destrucción a través de variadas estrategias. Estas incluyen movilizaciones, activismo, judicialización, de-

nuncias, educación ambiental, intervenciones artísticas, apropiación de estos espacios y propuestas de restauración, entre otras. Por su parte, el Estado ha sido lento en reaccionar y dar respuesta a esta demanda social, diseñando estrategias y acciones concretas para la protección de humedales solo en los últimos dos a tres años. La efectividad de las principales estrategias de protección de humedales diseñadas recientemente desde el Estado –establecimiento de áreas protegidas oficiales en humedales y normativa para la protección de humedales urbanos– está aún por verse. En el caso de los Santuarios de la Naturaleza, declarados para proteger humedales, dependerá de la gobernanza y capacidad de gestión de los diversos actores involucrados en estas nuevas áreas protegidas. Mientras en el caso de la ley de humedales urbanos, estará supeditada a la capacidad y voluntad del MMA para reconocer de manera oficial los humedales urbanos sobre los cuales se aplicarán los instrumentos y medidas de protección establecidos en la ley, junto con la capacidad de los municipios para implementar las medidas contenidas en la Ley que les corresponden, tales como ordenanzas de protección de humedales y actualización de planos reguladores.

En cualquier caso, ambas estrategias tienen un problema de fondo que radica en la necesidad de que los humedales tengan un reconocimiento oficial desde el Estado (administrativo) como área bajo protección, para que se puedan implementar medidas e instrumentos para su protección. Una aproximación alternativa, más adecuada y eficaz para lograr una amplia cobertura en la conservación de los humedales del país, sería la protección de estos ecosistemas por el solo hecho de cumplir con la definición de humedal, de acuerdo a la convención Ramsar u otra definición funcional acordada. De esta manera, un humedal sería objeto de protección y de aplicación de medidas para su conservación y gestión ambiental, por el solo hecho de ser un humedal, sin la necesidad de que alguna autoridad o trámite administrativo lo declare como un espacio bajo protección. Esta aproximación es similar a lo que ocurre con la Ley de Bosque Nativo, donde las medidas de protección a estos ecosistemas aplican para todos aquellos bosques que cumplen con la definición contenida en la ley.

El amplio valor social que los humedales han recuperado en las últimas décadas en Chile da cuenta de la necesidad de que existan políticas públicas e instrumentos que protejan de manera amplia la totalidad de estos ecosistemas, junto

a medidas y herramientas para su gestión ambiental con amplia participación ciudadana vinculante. Para que exista un futuro donde los humedales sean considerados e incorporados como infraestructura verde de los territorios, que sustentan el bienestar de los seres vivos humanos

y no humanos, ya no es suficiente con medidas parciales que aplican solo a los humedales urbanos o a los 40 humedales priorizados por el Ministerio del Medio, sino que se hace urgente aplicar medidas de protección amplias a los más de 5,6 millones de hectáreas de humedales del país.

AGRADECIMIENTOS

Parte importante de las ideas contenidas en esta columna surgieron de la investigación desarrollada por la autora entre 2015 y 2018 al alero del proyecto Fondecyt 1141011 “Nuevas prácticas sociales de relación con los humedales de Valdivia: un enfoque posthumanista para trazar los efectos locales del desastre ecológico del río Cruces” dirigido por Claudia Sepúlveda-Luque, y de la discusión con los otros investigadores del proyecto, en particular con Felipe Guerra y Surimana Pérez.

REFERENCIAS

Adán, L., Urbina, S. & Alvarado, M. 2017. Asentamientos humanos en torno a los humedales de la ciudad de Valdivia en tiempos prehispánicos e históricos coloniales. *Chungará (Arica)*, vol. 49, no. 3, pp. 359-377. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-73562017005000020>.

Arenas, D., Córdoba, J. y Pedro Lira. 2008. Informe Final de Evaluación. Programa de Recursos Naturales y Biodiversidad. CONAMA.

Biblioteca del Congreso Nacional/BCN. 2020. Historia de la Ley N° 21.202 Modifica diversos cuerpos legales con el objetivo de proteger los humedales urbanos. <https://www.bcn.cl/historiadelaley/nc/historia-de-la-ley/7717/>

Fennessy, S.M. & Lei, G. 2018. Wetland restoration for climate change resilience. Ramsar Briefing Note No.10. Gland, Switzerland: Ramsar Convention Secretariat.

Gardner, R.C., Barchiesi, S., Beltrame, C., Finlayson, C.M., Galewski, T., Harrison, I., Paganini, M., Perennou, C., Pritchard, D.E., Rosenqvist, A., and Walpole, M. 2015. State of the World's Wetlands and their Services to People: A compilation of recent analyses. Ramsar Briefing Note N° 7. Gland, Switzerland: Ramsar Convention Secretariat.

Gobierno de Chile. 2020. Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) de Chile. Actualización 2020. https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/04/NDC_Chile_2020_espan%CC%83ol-1.pdf

Guerra, F. y Lara-Sutulov, M. 2017. “¿Públicos o privados? Desafíos para la protección de los humedales urbanos y periurbanos de Valdivia a partir de la regulación de los cauces naturales”. *Revista de Derecho Ambiental*. (8), pp. 184-206. doi:10.5354/0719-4633.2017.47916.

Hoyos-Santillan, J., Miranda, A., Lara, A., Rojas, M., & Sepúlveda-Jauregui, A. 2019. Protecting Patagonian peatlands in Chile. *Science*, 366(6470), 1207-1208.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2019. Informe especial del IPCC sobre tierras y cambio climático. <https://www.ipcc.ch/srcl/>

Lara-Sutulov, M. 2017. La Ordenanza de Protección de humedales de Valdivia: Una construcción ciudadana en respuesta a la desprotección de los humedales urbanos. *Planeo*, 54. http://revistaplano.cl/wp-content/uploads/Art%C3%ADculo_Lara.pdf

Ministerio de Medio Ambiente (MMA). 2011. Diseño de inventario nacional de humedales y su seguimiento ambiental. Centro de Ecología Aplicada. Santiago: MMA.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). 2016. Levantamiento de Información Bibliográfica y Cartográfica de los Humedales Urbanos de la ciudad de Valdivia. Informe Final Licitación N° 613925-7 L115, preparado por Montserrat Lara Sutulov y Julio Gerding. Valdivia: MMA.

Ministerio de Medio Ambiente (MMA). 2017. Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030.

Ministerio de Medio Ambiente (MMA). 2018. Plan Nacional de Protección de Humedales 2018-2022. https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/11/Plan_humedales_Baja_confrase_VERSION-DEFINITIVA.pdf

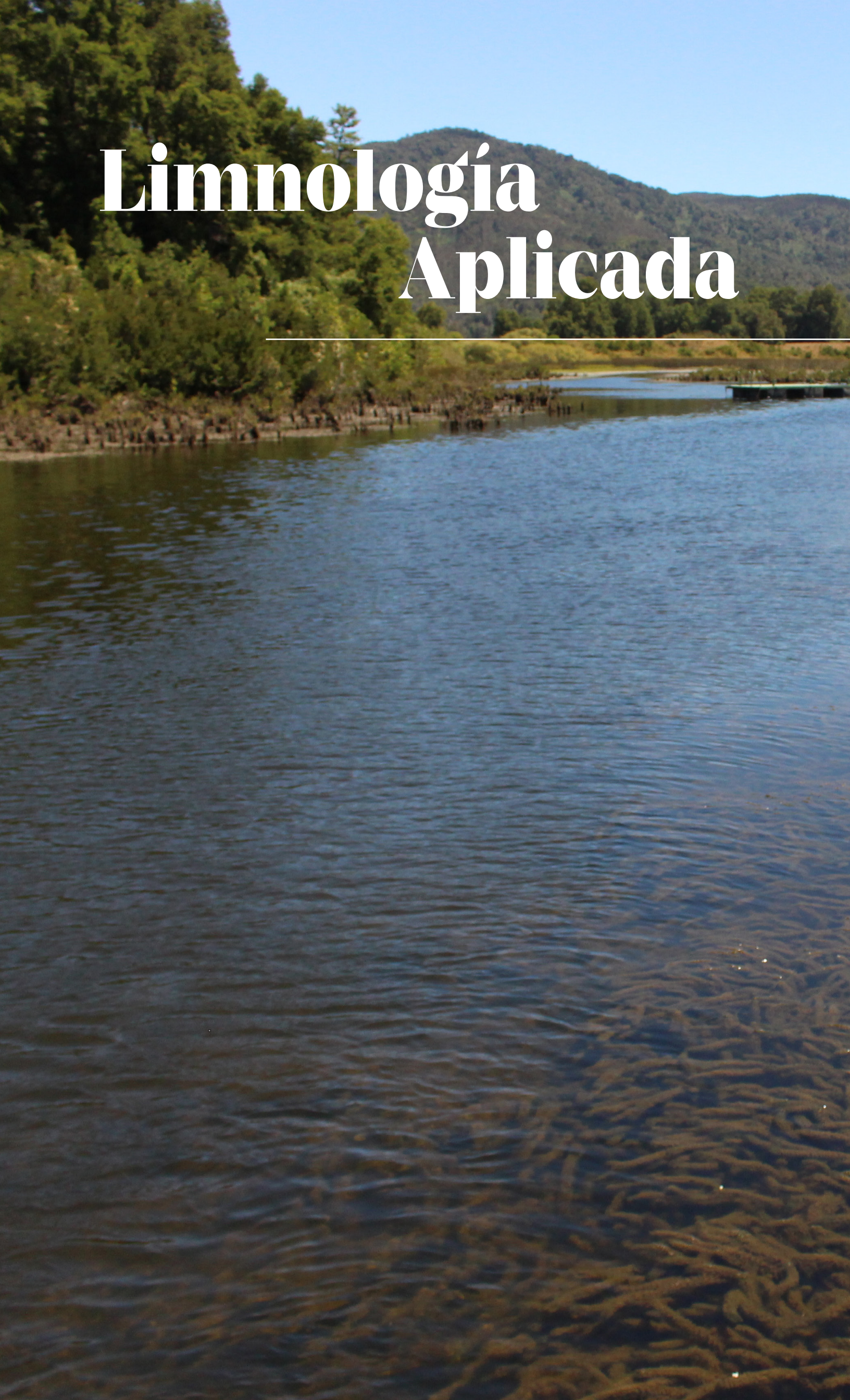
Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. 2015. *Wetlands*. Hoboken, New Jersey, US.

Möller, P., y Muñoz-Pedrerros, A. 2014. Legal protection assessment of different inland wetlands in Chile. *Revista Chilena De Historia Natural*, 87(1), 1. http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0716-078X2014000100020yscript=sci_abstract

LITERATURA CITADA

- Sepúlveda-Luque, C., Lara-Sutulov, M., Pérez, S., Guerra, F., Rodríguez, C., & Pino, A. 2019. De la invisibilidad a la multiplicidad: movilizaciones, ontologías e imaginarios urbanos en torno a la defensa de los humedales de Valdivia. *Revista Austral de Ciencias Sociales*, (35), 5-28.
- Sepúlveda, C. 2018. Bringing animals within political communities: the citizens/swans association that fractured Chile's environmental framework, *Social Movement Studies*, 17(3): 333-352 DOI: 10.1080/14742837.2018.1459296.
- Skewes, J. C., Rehbein, R. y Mancilla, C. 2012. "Ciudadanía y sustentabilidad ambiental en la ciudad: la recuperación del humedal Anga-chilla y la organización local en la Villa Claro de Luna, Valdivia, Chile". *EURE* 38(113): 127-145
- Tecklin, D., Sepúlveda-Luque, C., & Lara, M. 2015. El espacio para las aves costeras: Análisis del contexto institucional para la protección de hábitat para las aves costeras en Chile, con énfasis en Chiloé. Informe preparado para la David and Lucile Packard Foundation. Valdivia. https://www.academia.edu/23741643/El_es-pacio_para_las_aves_costeras_An%C3%A1lisis_del_contexto_institucional_para_la_protecci%C3%B3n_de_h%C3%A1bitat_para_las_aves_costeras_en_Chile_con_%C3%A9nfasis_en_Chilo%C3%A9
- UACH (Universidad Austral de Chile). 2019. Catastro de Humedales Urbanos de Valdivia. Informe Final. Municipalidad de Valdivia, Valdivia.
- Vicepresidencia del Senado. 2019. Humedales Urbanos: Historia de una ley pionera y ciudadana de protección ambiental. Ediciones Centro de Extensión del Senado y Ediciones Universitarias de Valparaíso -EUV. <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=documentos/10221.1/79038/1/277282.pdf>
- Humedales Urbanos de la ciudad de Valdivia. Informe Final Licitación N° 613925-7 L115, preparado por Montserrat Lara Sutulov y Julio Gerding. Valdivia: MMA.
- Ministerio de Medio Ambiente (MMA). 2017. Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030.
- Ministerio de Medio Ambiente (MMA). 2018. Plan Nacional de Protección de Humedales 2018-2022. https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/11/Plan_humedales_Baja_confrase_VERSION-DEFINITIVA.pdf
- Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. 2015. *Wetlands*. Hoboken, New Jersey, US.
- Möller, P., y Muñoz-Pedrerros, A. 2014. Legal protection assessment of different inland wetlands in Chile. *Revista Chilena De Historia Natural*, 87(1), 1. http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0716-078X2014000100020yscript=sci_abstract
- Sepúlveda-Luque, C., Lara-Sutulov, M., Pérez, S., Guerra, F., Rodríguez, C., & Pino, A. 2019. De la invisibilidad a la multiplicidad: movilizaciones, ontologías e imaginarios urbanos en torno a la defensa de los humedales de Valdivia. *Revista Austral de Ciencias Sociales*, (35), 5-28.
- Sepúlveda, C. 2018. Bringing animals within political communities: the citizens/swans association that fractured Chile's environmental framework, *Social Movement Studies*, 17(3): 333-352 DOI: 10.1080/14742837.2018.1459296.
- Skewes, J. C., Rehbein, R. y Mancilla, C. 2012. "Ciudadanía y sustentabilidad ambiental en la ciudad: la recuperación del humedal Anga-chilla y la organización local en la Villa Claro de Luna, Valdivia, Chile". *EURE* 38(113): 127-145
- Tecklin, D., Sepúlveda-Luque, C., & Lara, M. 2015. El espacio para las aves costeras: Análisis del contexto institucional para la protección de hábitat para las aves costeras en Chile, con énfasis en Chiloé. Informe preparado para la David and Lucile Packard Foundation. Valdivia. https://www.academia.edu/23741643/El_es-pacio_para_las_aves_costeras_An%C3%A1lisis_del_contexto_institucional_para_la_protecci%C3%B3n_de_h%C3%A1bitat_para_las_aves_costeras_en_Chile_con_%C3%A9nfasis_en_Chilo%C3%A9
- UACH (Universidad Austral de Chile). 2019. Catastro de Humedales Urbanos de Valdivia. Informe Final. Municipalidad de Valdivia, Valdivia.
- Vicepresidencia del Senado. 2019. Humedales Urbanos: Historia de una ley pionera y ciudadana de protección ambiental. Ediciones Centro de Extensión del Senado y Ediciones Universitarias de Valparaíso -EUV. <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=documentos/10221.1/79038/1/277282.pdf>

Limnología Aplicada





Luis Felipe Leiva P., Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter

LIMNOLOGÍA APLICADA

Bioestablecimiento basado en macroinvertebrados para determinar la calidad del agua dulce en Chile

Autor

Pablo Fierro
Instituto de Ciencias Marinas
y Limnológicas
Facultad de Ciencias

Universidad Austral de Chile
Casilla 567, Valdivia.
pablo.fierro@uach.cl

Ivan Arismendi
Department of Fisheries, Wildlife, and
Conservation Sciences
Corvallis, OR 97330, USA
ivanarismendi@gmail.com

ECOSISTEMAS LÓTICOS Y BIOESTABLECIMIENTO

Los ecosistemas dulceacuáticos están constantemente bajo amenazas por actividades humanas y por lo tanto poniendo en peligro su biodiversidad. A pesar de que estos ecosistemas ocupan solo el 2,5% de la superficie total de la tierra, estos albergan una desproporcionada biodiversidad, encontrándose casi un 10% de todas las especies de animales en el mundo (Balian et al., 2008). En Chile por ejemplo, se han reportado más de 44 especies de peces y más de 1.000 especies de invertebrados acuáticos (Habit et al., 2006; Valdovinos, 2006). Dentro de las mayores amenazas a estos ecosistemas dulceacuáticos a nivel mundial se incluyen la sobreexplotación de recursos, contaminación del agua, modificación en el caudal de los ríos, destrucción de hábitats, invasión de especies exóticas y cambio climático (Dudgeon et al., 2006; Bellard et al., 2012). Coincidentemente con otros estudios en ecosistemas mediterráneos del mundo (California, España, Francia, Australia), los ríos del mediterráneo Chileno (aproximadamente desde la cuenca del río Aconcagua hasta la cuenca del río Biobío) están siendo perturbados por numerosas actividades antropogénicas, que incluyen cambios en usos de suelo, extracción de aguas, plantas hidroeléctricas, actividades agrícolas y urbanización, entre muchas otras (Fierro et al., 2019). Todas estas actividades alteran en mayor o menor medida la calidad de las aguas, las cuales tradicionalmente han sido medidas solo a través de métodos fisicoquímicos. Sin embargo, desde principios de los años 80's dichos métodos se han complementado con

Aegla conceptionensis, un crustaceo endémico de pequeños esteros de la ciudad de Concepción. este ejemplar fue colectado en agosto de 2017. estado de conservación: en peligro.



el uso de indicadores biológicos (Karr, 1987).

El propósito de protocolos de bioestablecimiento basados en indicadores biológicos es que los métodos de evaluación de la calidad de los ambientes sean precisos, repetibles y consistentes en el tiempo, usando métricas que sean capaces de diferenciar sitios perturbados de sitios referencia (Eaton, 2001). Lamentablemente en Chile aun no existen procedimientos o programas de bioestablecimiento para la protección de los ríos a pesar de la evidencia científica acumulada mostrando que los macroinvertebrados acuáticos suelen responder bien frente a diferentes perturbaciones antropogénicas. Ello ilustra el potencial uso de métricas individuales, índices bióticos, índices multimétricos y métodos multivariados que pueden ser utilizados para la medición de la calidad de las aguas. El establecimiento biológico no solo sirve para evaluar la calidad de las aguas, sino que también ayuda a entender cómo responde la biota acuática frente a algún estresor, de esta manera los científicos pueden entender los efectos ecológicos que pueden causar los estresores humanos.

“

Lamentablemente en Chile aun no existen procedimientos o programas de bioestablecimiento para la protección de los ríos a pesar de la evidencia científica mostrando que los macroinvertebrados acuáticos suelen responder bien frente a diferentes perturbaciones antropogénicas.

MANEJO DE LOS RÍOS EN CHILE

En Chile, las normas secundarias de calidad ambiental (NSCA) establecen los valores de las concentraciones y periodos máximos o mínimos permisibles de sustancias, elementos, energía o una combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente puede constituir un riesgo para la protección del medio ambiente o la preservación de la naturaleza. El propósito general de las NSCA es mantener y asegurar la buena calidad de las aguas para la conservación de los ecosistemas acuáticos y sus servicios ecosistémicos. Debido a que cada cuenca hidrográfica reúne condiciones particulares en sus variables físicas, químicas y biológicas, ninguna cuenca es igual a otra, por tal motivo las variables a medir en cada NSCA deben ser específicas para cada cuenca.

En nuestro país actualmente existen 6 cuencas con normas para la protección de las aguas continentales superficiales incluyendo las siguientes: (1) Cuenca del río Serrano (Decreto 75, 2010), (2) Lago Llanquihue (Decreto 122, 2010), (3) Lago Villarrica (Decreto 19, 2013), (4) Cuenca del río Maipo (Decreto 53, 2014), (5) Cuenca del río Biobío (Decreto 9, 2015), y (6) Cuenca del río Valdivia (Decreto 1, 2015).

Aunque los parámetros utilizados para establecer la calidad del agua varían por cada una de las normas secundarias, en general solo se consideran parámetros fisicoquímicos. Por ejemplo, en la cuenca del río Biobío se han establecido 19 parámetros a medir (Aluminio total, amonio, compuestos orgánicos halogenados, cloruros, coliformes fecales, conductividad eléctrica, demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno, fósforo total, hierro total, índice fenol, nitrato, nitrito, nitrógeno total, ortofosfato, oxígeno disuelto, pH, sólidos suspendidos totales, y sulfatos).

A diferencia de países en el Hemisferio Norte incluyendo parte de Norte América y Europa, los estatutos legales en Chile no consideran el uso

de bioindicadores para evaluar las condiciones ecológicas de los ríos. En los Estados Unidos, por ejemplo, The Clean Water Act a través de EPA (Environmental Protection Agency) provee de diferentes regulaciones para controlar la contaminación en ecosistemas acuáticos. El establecimiento biológico ha sido adoptado para propósitos del Clean Water Act, existiendo protocolos de bioestablecimiento para cada estado, incorporando la colecta e interpretación de los datos biológicos (por ejemplo macroinvertebrados, peces o perifiton). Estos son analizados por

medio de métricas biológicas o análisis multivariados para evaluar si un cuerpo de agua cumple con los usos designados para la vida acuática comparado con sitios de referencia. La ventaja de este enfoque es que el bioestablecimiento es capaz de medir los efectos acumulados de la calidad del agua sobre la biota acuática, mientras que usando solo parámetros fisicoquímicos se puede subestimar la acumulación de los efectos sobre el agua por parte de diversas actividades antropogénicas en el tiempo (Bradley et al., 2009). En Chile, los principales grupos que han sido estudiados para desarrollar el bioestablecimiento incluyen macroinvertebrados, peces y perifiton. En la siguiente sección utilizamos el ejemplo de los macroinvertebrados para explicar su potencial uso como indicadores de bioestablecimiento.



El uso de los macroinvertebrados no está normado en nuestro país, sin embargo, diversos investigadores a través de artículos científicos han demostrado la efectividad de los macroinvertebrados para establecer el estado de salud de los ecosistemas acuáticos.

MACROINVERTEBRADOS DULCEACUÁTICOS

Los macroinvertebrados dulceacuáticos son sensibles a muchos estresores humanos, tales como cambio en el uso de suelo, contaminación orgánica, contaminación por minería, y otros tipos de perturbaciones. La respuesta de este grupo biológico a tales perturbaciones puede ser un cambio en la estructura de la comunidad incluyendo la reducción en la riqueza de especies, disminución en abundancia de especies sensibles, aumento de especies tolerantes, o alguna combinación de las anteriores. Es por esto que han sido utilizados como indicadores de la calidad de agua alrededor del mundo (excepto en la Antártica).

LIMNOLOGÍA APLICADA



Río Diguillin, en valle Atacalco, región del Ñuble. Foto tomada en Septiembre 2020. Este río considerado de referencia en la parte alta de la cuenca, hoy en día se ve amenazado en su parte media y baja principalmente por la extracción de sus aguas para actividades agrícolas.

En Chile, la mayoría de los trabajos para establecer la calidad ecológica utilizando macroinvertebrados han sido llevados a cabo en ríos, mientras que menos estudios han utilizado lagos, lagunas o humedales costeros (Parra et al., 2003; Figueroa et al., 2009; Bertrán et al., 2010; Leiva et al., 2019; Novoa et al., 2020). El uso de los macroinvertebrados no está legalizado en nuestro país, sin embargo, diversos investigadores a través de artículos científicos han demostrado la efectividad de los macroinvertebrados para establecer el estado de salud de los ecosistemas acuáticos. Los primeros trabajos publicados en nuestro país utilizaron métodos basados en una sola métri-

ca, como índices de diversidad o equitatividad, los cuales hasta el día de hoy se utilizan (Habit et al., 1998; Córdova et al., 2009). Simultáneamente, se han desarrollado índices bióticos más específicos para evaluar la tolerancia a la contaminación orgánica, basados en nivel taxonómico de familia (Figueroa et al., 2003; Figueroa et al., 2007) y especies (Fierro et al., 2012). Posteriormente se han aplicado métodos estadísticos más complejos que incluyen toda la comunidad de macroinvertebrados como el Análisis de Escalamiento Multidimensional (MDS), Análisis de Correspondencia Canónica (CCA), o Análisis de Redundancia (RDA) (Correa-Araneda et al., 2010; Alvia et al., 2013; Fierro et al., 2019). Más recientemente, se ha desarrollado un índice multimétrico para establecer la integridad biótica de los ríos (Fierro et al., 2018). Los índices multimétricos han sido desarrollados debido a que son capaces de discriminar el efecto de múltiples estresores y presiones sobre los ríos, teniendo como principal ventaja frente a los otros índices, que puede ser creado para diversos grupos animales o plantas, incorporando atri-

butos a escala temporal y espacial. Los índices multimétricos han sido usados mundialmente para evaluar la calidad de los cuerpos acuáticos, por lo que son considerados una de las mejores aproximaciones actuales para el biomonitoreo de ecosistemas acuáticos y para protocolos de bioestablecimiento (Martins et al., 2020).

Aún existen vacíos de conocimiento en la identificación taxonómica de macroinvertebrados acuáticos en nuestro país, debido en gran parte a que no existen claves taxonómicas para la identificación de todas las especies (por ejemplo Dípteros y Coleopteros). Sin embargo, laboratorios públicos y privados, así como Universidades cuentan con colecciones de referencia y personal calificado para la correcta identificación en gran parte de los grupos. Alguno de los grupos de investigación que han estado desarrollando métodos en ecología de bioestablecimiento durante los últimos años se encuentran en la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, Universidad de Concepción, Universidad Católica de Temuco, Universidad Austral de Chile, Universidad de Los Lagos, y Universidad de Magallanes. Respecto a Institutos, se puede nombrar al Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas y el Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia. Ciertamente, en nuestro país contamos con el personal calificado, así como de laboratorios para poder llevar a cabo un bioestablecimiento a nivel nacional.

A pesar que el uso de los bioindicadores no está regulado en nuestro país, algunos instrumentos de gestión ambiental (e.g. EIA) ocasionalmente incluyen los estudios de macroinvertebrados como complemento al estudio de parámetros fisicoquímicos para evaluar la calidad del agua. La falta de regulación y estandarización en los métodos de colecta e identificación de los organismos, ha provocado una inconsistencia en la diagnosis ambiental y por ende el uso de los datos se dificulta, lo que coloquialmente se llama información gris. Un ejemplo de esto sucede al hacer una revisión en los estudios del Servicio de Evaluación Ambiental, donde se han constata-

do errores en la identificación de especies por parte de consultoras ambientales. Debido a que uno de los objetivos del estudio de los macroinvertebrados en los EIA es obtener la diversidad de fauna existente en un ecosistema acuático, un desafío a futuro es la regulación en la identificación de las especies. Tal como se hace en otros países (e.g. EE.UU.) una manera de resolver esta problemática es certificando métodos de muestreo y procedimientos en laboratorios, así como capacitar personal y acreditarlos para la identificación de muestras de macroinvertebrados dulceacuáticos.

CONCLUSIONES

La continua amenaza de actividades humanas pone en peligro la biodiversidad de los ríos en Chile. A pesar de que existen estudios que demuestran que la biota acuática puede utilizarse como indicadores efectivos de la integridad biótica en nuestros ríos, su uso como indicadores ecológicos aún no está normado. El Ministerio del Medio Ambiente (MMA), como órgano encargado de colaborar con el presidente de la República de diseñar y aplicar políticas en materia ambiental, debería explorar y trabajar activamente para proporcionar una normativa sobre el desarrollo e implementación de un bioestablecimiento para la evaluación de los ríos en el futuro cercano. El

MMA debería trabajar conjuntamente con científicos para desarrollar herramientas de bioestablecimiento para proteger los ríos.

Aunque las NSCA son un buen comienzo para establecer el estado de las aguas, nuestro país debería integrar el uso de indicadores acuáticos en el bioestablecimiento para tener una mejor identificación de las aguas perturbadas o de mala calidad. Así se podrán tomar mejores decisiones en el manejo de los recursos acuáticos. Debido a que la composición del ensamble de macroinvertebrados entre ecoregiones de nuestro país cambia naturalmente, y las actividades antropogénicas difieren en cada cuenca, los bioestablecimientos deberían utilizarse de la misma forma que las NSCA, es decir, con protocolos de muestreo de biota acuática específicos para cada cuenca.

“El Ministerio del Medio Ambiente, como órgano encargado de colaborar con el presidente de la República de diseñar y aplicar políticas en materia ambiental, debería explorar y trabajar activamente para proporcionar una normativa sobre el desarrollo e implementación de un bioestablecimiento para la evaluación de los ríos en el futuro cercano.”

LITERATURA CITADA

Este trabajo fue financiado en parte por proyecto CONICYT FONDECYT 11190631

Alvial, A., I.E., Orth, K., Durán, B.C., Álvarez, E., Squeo, F.A., 2013. Importance of geochemical factors in determining distribution patterns of aquatic invertebrates in mountain streams south of the Atacama Desert, Chile. *Hydrobiologia* 709:11-25.

Balian, E.V., Segers, H., Lévêque, C., Martens, K., 2008. The freshwater animal diversity assessment: an overview of the results. *Hydrobiologia* 595:627-637.

Bertrán, C., Vargas-Chacoff, L., Peña-Cortés, F., Schlatter, R., Tapia, J., Hauenstein, E., 2010. Distribución de la macrofauna bentónica en el lago costero Budi, sur de Chile. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 45:235-243.

Bradley, P., Fisher, W.S., Bell, H., Davis, W., Chan, V., LoBue, Ch., Wiltse, W. 2009. Development and implementation of coral reef biocriteria in U.S. jurisdictions. *Environ. Monit. Assess.* 150:43-51.

Córdova, S., Gaete, H., Aránguiz, F., Figueroa, R., 2009. Evaluación de la calidad de las aguas del estero Limache (Chile central), mediante bioindicadores y bioensayos. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 37:199-209.

Correa-Araneda, F., Rivera, R., Urrutia, J., De Los Ríos, P., Contreras, A., Encina-Montoya, F., 2010. Efectos de una zona urbana sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de un ecosistema fluvial del sur de Chile. *Limnetica* 29:183-194.

Eaton, L., 2001. Development and validation of biocriteria using benthic macroinvertebrates for North Carolina estuarine waters. *Mar. Pollut. Bull.* 42:23-30.

Fierro, P., Bertrán, C., Mercado, M., Peña-Cortés, F., Tapia, J., Hauenstein, E., Vargas-Chacoff, L., 2012. Benthic macroinvertebrates assemblages as indicators of water quality applying a modified biotic index in a spatio-temporal context in a coastal basin of Southern Chile. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 47:23-33.

Fierro, P., Arismendi, I., Hughes, R.M., Valdovinos, C., Jara-Flores, A., 2018. A benthic macroinvertebrate multimetric index for Chilean Mediterranean streams. *Ecol. Indic.* 91:13-23.

Fierro, P., Valdovinos, C., Arismendi, I., Díaz, G., Jara-Flores, A., Habit, E., Vargas-Chacoff, L., 2019. Examining the influence of human stressors on benthic algae, macroinvertebrate, and fish assemblages in Mediterranean streams of Chile. *Sci. Total Environ.* 686:26-37.

Figueroa, R., Valdovinos, C., Araya, E., Parra, O., 2003. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 76:275-285.

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. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 80:225-242.

Figueroa, R., Suarez, M.L., Andreu, A., Ruiz, V.H., Vidal-Abarca, M.R., 2009. Caracterización ecológica de los humedales de la zona semiárida en Chile central. *Gayana* 73:76-94.

Habit, E., Bertrán, C., Arévalo, S., Victoriano, P., 1998. Benthonic fauna of the Itata river and irrigation Canals (Chile). *Irrig. Sci.* 18:91-99.

Habit, E., Dyer, B., Vila, I., 2006. Estado de conocimiento de los peces dulceacuícolas de Chile. *Gayana* 70:100-113.

Karr, J.R., 1987. Biological monitoring and environmental assessment: a conceptual framework. *Environ. Manage.* 11:249-256.

Leiva, G., Fuentes, N., Zelada, S., Ríos-Henríquez, C., 2019. Application of the Lake Biotic Index (LBI) in the ecological characterization of a North Patagonian lake in Chile. *Heliyon* 5:e02492.

Martins, I., Rodrigues Macedo, D., Hughes, R.M., Callisto, M., 2020. Are multiple multimetric indices effective for assessing ecological condition in tropical basins? *Ecol. Indic.* 110:105953.

Novoa, V., Rojas, O., Ahumada-Rudolph, R., Sáez, K., Fierro, P., Rojas, C., 2020. Coastal wetlands: ecosystems affected by urbanization? *Water* 12:698.

Parra, O., Valdovinos, C., Urrutia, R., Cisternas, M., Habit, E., Mardones, M., 2003. Caracterización y tendencias tróficas de cinco lagos costeros de Chile central. *Limnetica* 22:51-83.

Valdovinos, C., 2006. Invertebrados dulceacuícolas. Conama, Eds. Biodiversidad de Chile. *Conama, Eds. Biodiversidad de Chile. Colaboración en el proyecto: Dr. Jorge Jaramillo, Colaboración y Apoyo logístico en terreno: Loreto Lagos ONG MAI.*

Fósforo total (PT) en el Lago Villarrica: Una breve revisión de datos históricos y problemas asociados a la determinación de fósforo

Autor

Stefan Woelfl

Instituto de Ciencias Marinas
y Limnológicas
Facultad de Ciencias
Jefe laboratorio Análisis de Agua
“LIMNOLAB”

Universidad Austral de Chile
Casilla 567, Valdivia.
swoelfl@uach.cl

INTRODUCCIÓN

El fósforo (P) y nitrógeno (N) son parámetros tróficos claves para el desarrollo de las algas y por ende de la trófia de los lagos. En los lagos araucanos tanto el P como N son potencialmente limitantes del crecimiento de las algas, variando entre lago y período del año (Steinhart et al. 2002, Soto et al. 2006). Estos lagos son oligo- y ultraoligotróficos, con valores de P - tanto soluble reactivo como P total (PT) - bajos, generalmente $< 5-8 \mu\text{g P/L}$ (Woelfl 2007, Centro EULA 2017, Almanza et al 2018). Un aumento de P (y/o N) aumentaría la trófia de un lago, por lo cual es mandatorio mantener el P por debajo de $10 \mu\text{g P/L}$ para mantener la oligotrofia y por ende el desarrollo excesivo de algas potencialmente nocivos (Schindler et al. 2008, Nimptsch et al 2015, Almanza et al. 2018). Por esta razón es fundamental determinar con gran precisión la concentración y el contenido de P en la columna de un lago y los aportes de P a través su cuenca vía fuentes puntuales y difusas.

Uno de los lagos araucanos con mayor interés para la sociedad en general y para los limnólogos es el lago Villarrica. Es un lago de mediana/alta profundidad (z_{max} : 165 m), área (176 km^2) y volumen (21 km^3) que renueva su agua dentro de aproximadamente 2-4 años (Campos et al. 1983). Debido a su favorable ubicación geográfica, belleza escénica y una agradable temperatura de agua sobre 20°C durante el verano, han hecho de este lago un ecosistema muy importante para la comunidad, especialmente para uso turístico. Este lago también fue muy importante para el desarrollo de la limnología en Chile. Durante los años 1953/54 el sueco Thomasson eligió la ciudad Villarrica como base operacional para estudiar fauna y flora de los lagos del sur de Chile y Argentina, los denominados “Araucanian Lakes” (Thomasson,



1963 y referencias). Thomasson centró sus estudios en las comparaciones de las comunidades planctónicas con lujo de detalles para la época, pero sin aportar mediciones de nutrientes disueltos en el agua dadas las limitaciones logísticas. Veinticinco años más (1978/79) tarde Hugo Campos y colegas comenzaron a estudiar la morfología, la cuenca, aspectos físicos (hidrología, temperatura, luz, calor, etc.), químicos (oxígeno, nutrientes, iones principales etc.) y biológicos (fito- y zooplancton) del lago Villarrica (Campos et al. 1983), siendo hasta hoy en día la base fundamental de referencia para este lago. Posteriormente la Universidad Austral de Chile (UACH) siguió durante varios años (1984-87, 1991, 1997, 2004/5, 2007/8) monitoreando este lago. En 1991 (Campos et al. 1994) y 2007/08 (Woelfl et al. 2009) realizó dos estudios sobre el balance de nutrientes (N, P) que incluyeron una estimación de ingresos de nutrientes por parte de la cuenca hacia el lago Villarrica. Este último estudio elaboró también una propuesta para el anteproyecto de la Norma Secundaria (NS), que finalmente culminó en la promulgación de la NS en 2013 (Decreto N° 19, 2013), siendo el lago Villarrica - después del Lago Llanquihue - el segundo lago araucano protegido a través de una NS. En esta NS se fijaron valores máximos y promedios anuales para los parámetros tróficos: transparencia, clorofila a, nitrógeno inorgánico disuelto (DIN), nitrógeno total, SRP y PT. El



El monitoreo de la calidad de agua del lago Villarrica corresponde a la Dirección General de Aguas (DGA), que ya monitorea este lago desde 1990 hasta la fecha ejecuta un programa de vigilancia

LIMNOLOGÍA APLICADA

monitoreo de la calidad de agua del lago Villarrica corresponde a la Dirección General de Aguas (DGA), que ya monitorea este lago desde 1990 hasta la fecha ejecuta un programa de vigilancia (2 veces al año, desde 2020 4 veces al año), que incluye varias estaciones (entre 4 y 7) en áreas litorales y desde 2014 también pelagiales. Según datos de la DGA, en el periodo bianual 2015-2016, los valores para el parámetro fósforo disuelto (y otros parámetros; datos de PT no fueron validados por la DGA!) han superados los valores permitidos (10 µg P/L), por lo que la norma se observó en condición de saturada (Decreto supremo N° 43, de 19 de octubre de 2017, del Ministerio del Medio Ambiente). Este año, más específicamente en mayo 2020, ya se presentó el anteproyecto del Plan de descontaminación del lago Villarrica (resolución exenta N° 437, del 25 de mayo de 2020, del Ministerio del Medio Ambiente) con el fin de disminuir la concentración de P en el lago Villarrica. Con el propósito de apoyar la gestión del plan de descontaminación que está guiando actualmente el MMA, se revisó y evaluó en extenso la base histórica de datos de la DGA (2014-2019) en el marco de un proyecto financiado por el MMA (Nimptsch & Woelfl 2020). Se presenta aquí una evaluación resumida de este proyecto y de los datos históricos de fósforo, principalmente P total, desde 1978.

En este documento centro mis consideraciones en aspectos metodológicos y limnológicas acerca de la alta variabilidad de los datos de P detectada durante el periodo de tiempo analizado (1978-2019).



Los lagos araucanos son en general oligo- e incluso ultraoligotróficos, con profundidades sobre 100 m y un tiempo de renovación de varios años (1-8 en general, excepto lago Llanquihue con 49-70 años)

¿COMO SE DETERMINA TP?

PT se determina generalmente por colorimetría (850-889 nm, cubeta 50 - 200 mm) después de una digestión ácida de la muestra entera, utilizando p.e. persulfato de potasio (p.e. N4500 - PB5, APHA 2005) y seguida por la medición como P soluble (como ortofosfato), p.e. con el método azul del ácido ascórbico (N4500 - PE, APHA 2005). Para obtener resultados confiables se debe ser muy responsable partiendo con la toma de la muestra en el lago hasta el análisis químico en el laboratorio. En particular se debe ser muy cuidadoso con la toma, fijación y transporte de las muestras al laboratorio, con la limpieza de las botellas y todo el material de vidrio utilizado, con la pureza y la preparación de los reactivos utilizados, con el rango adecuado y la calidad de la curva de calibración, con la limpieza del laboratorio y el adecuado manejo de los equipos en general (más detalles abajo). Cada paso debe ser debidamente documentado y trazable para detectar posibles problemas y/o errores en esta cadena. Por último, y este aspecto me parece crucial, es necesario tener por lo menos conocimientos básicos sobre el comportamiento y los valores esperados de P en un determinado ambiente acuático, p.e. un lago. Sin estos conocimientos es muy difícil (1) identificar incoherencias y/o errores en los valores obtenidos, (2) encontrar el origen del problema desde la toma hasta el análisis químico de la muestra y (3) finalmente resolver el problema detectado. Un ejemplo sobre esta problemática ya ha sido descrito para el lago Riñihue durante 1978-1997 (Woelfl et al. 2003) y para otros lagos araucanos (Ranco, Puyehue, Rupancho, Llanquihue, Chapo etc.) (Woelfl et al. 2013).

COMPORTAMIENTO ESPERADO DE P EN UN LAGO ARAUCANO

Los lagos araucanos son en general oligo- e incluso ultraoligotróficos, con profundidades sobre 100 m y un tiempo de renovación de varios años (1-8 en general, excepto lago Llanquihue con 49-70 años) (Woelfl 2007). Respecto al comportamiento espacial y temporal de P, se puede esperar para los lagos araucanos (p.e. Villarrica) el siguiente patrón:

- (1) valores bajos < 5-10 µg P/L en toda la columna de agua, característicos para lagos oligotróficos.
- (2) una distribución homogénea con pocas variaciones desde la superficie hasta el fondo du-

rante todo el año. Eventualmente valores levemente más altos (hasta + 5-10 $\mu\text{g P/L}$) cerca del fondo al final de la estratificación térmica.

(3) variaciones temporales de P durante el año y entre años son ausentes y/o pequeños, se estima en el rango < 1-3 $\mu\text{g/L}$ (que muchas veces están en el rango de la precisión analítica).

(4) no se espera cambios abruptos de P en corto plazo, salvo por algún evento muy masivo en la cuenca (¿erupción volcánica?, incendio grande? etc.), que debe ser analizado y documentado debidamente (véase más detalles abajo).

MEDICIONES HISTÓRICAS DE P

A continuación, se presenta primero valores promedios anuales desde 1978 hasta la fecha (Fig.1a), realizados en estaciones pelágicas (mínimo 0-80m) por diferentes laboratorios. Luego se presenta datos mensuales del último estudio anual de la UACH (2007/8) (Fig.1b) y después los datos desde el inicio de vigencia de la NS en el lago Villarrica en 2014 (Fig.1c). En las figuras 1b y c se una valorización cualitativa acerca de los valores de P, indicando valores dentro de los esperados (verde), valores elevados/incoherentes (amarillo) y valores altos/incoherentes (naranja) respecto a un comportamiento de valores esperados.

1978 - 2019 - Fig. 1a:

Desde 1978 hasta la fecha se puede observar altas variaciones (percentiles 25-75%) de PT (promedios anuales) en el lago Villarrica. En aproximadamente 30% de los casos, el valor medio de PT superó los 10 $\mu\text{g P/L}$ mostrando altas variaciones intra- y inter anuales, p.e. 1978/9, 1990/1, 2001-2006, 2010. También son notables la frecuencia de outliers (valores atípicos) y valores extremos durante varios años, no solamente en el pasa-

do (1979, 1983-86), sino también en mediciones más recientes (2008, 2019). Respecto a las mediciones realizadas por la UACH, una revisión de los protocolos originales del laboratorio analítico para los datos de PT del lago Riñihue 1978-1997 evidenciaron una variación similar de los valores de PT. Para este caso se evidenció problemas en la determinación de P total, que no solamente estarían causado por problemas analíticos (sensibilidad, aplicación y cambio de métodos; problemas con curva de calibración, impureza de agua bidestilada), sino además por variaciones en el proceso de la toma, transporte, fijación

y/o tipo de recipiente con que se colectaron las muestras (Wolfl et al. 2003). En términos generales, estos diferentes tipos de problemas causan valores elevados y una mayor variación de P; en fin una incoherencia de los datos en escala espacial y temporal.

2007/8 - Fig. 1b:

Se muestra datos de la UACH, el UFZ y la DGA para el período diciembre 2007 - diciembre 2008. El estudio mensual del UACH (Woelfl et al., 2009) fue la base para elaborar la propuesta del anteproyecto de la Norma Secundaria (NS) del lago Villarrica. Lamentablemente, las condiciones analíticas durante el estudio (diciembre 2007- diciembre 2008) fueron particularmente difíciles, ya que un incendio de la facultad de Ciencias en diciembre 2007 destruyó el laboratorio de análisis de agua (ahora LIMNOLAB) por completo lo que nos obligó a realizar los análisis de las muestras en un laboratorio muy provisorio. Surgieron varios problemas analíticos como p.e. digestión simultánea de NT y PT en condiciones poco óptimas, falta de agua desionizada de alta calidad (libre de fósforo), deficiencia de la calidad de los tubos de digestión etc.. En consecuencia, los valores de PT fueron en varios casos demasiado altos (> 10 $\mu\text{g P/L}$ hasta 18,8 $\mu\text{g P/L}$) y/o incoherentes en el perfil vertical o temporal esperado (p.e. diciembre 2007, marzo, junio y

Desde 1978 hasta la fecha se puede observar altas variaciones (percentiles 25-75%) de PT (promedios anuales) en el lago Villarrica. En aproximadamente 30% de los casos, el valor medio de PT superó los 10 $\mu\text{g P/L}$ mostrando altas variaciones intra- y inter anuales, p.e. 1978/9, 1990/1, 2001-2006, 2010. También son notables la frecuencia de outliers (valores atípicos) y valores extremos durante varios años, no solamente en el pasado (1979, 1983-86), sino también en mediciones más recientes (2008, 2019)

LIMNOLOGÍA APLICADA

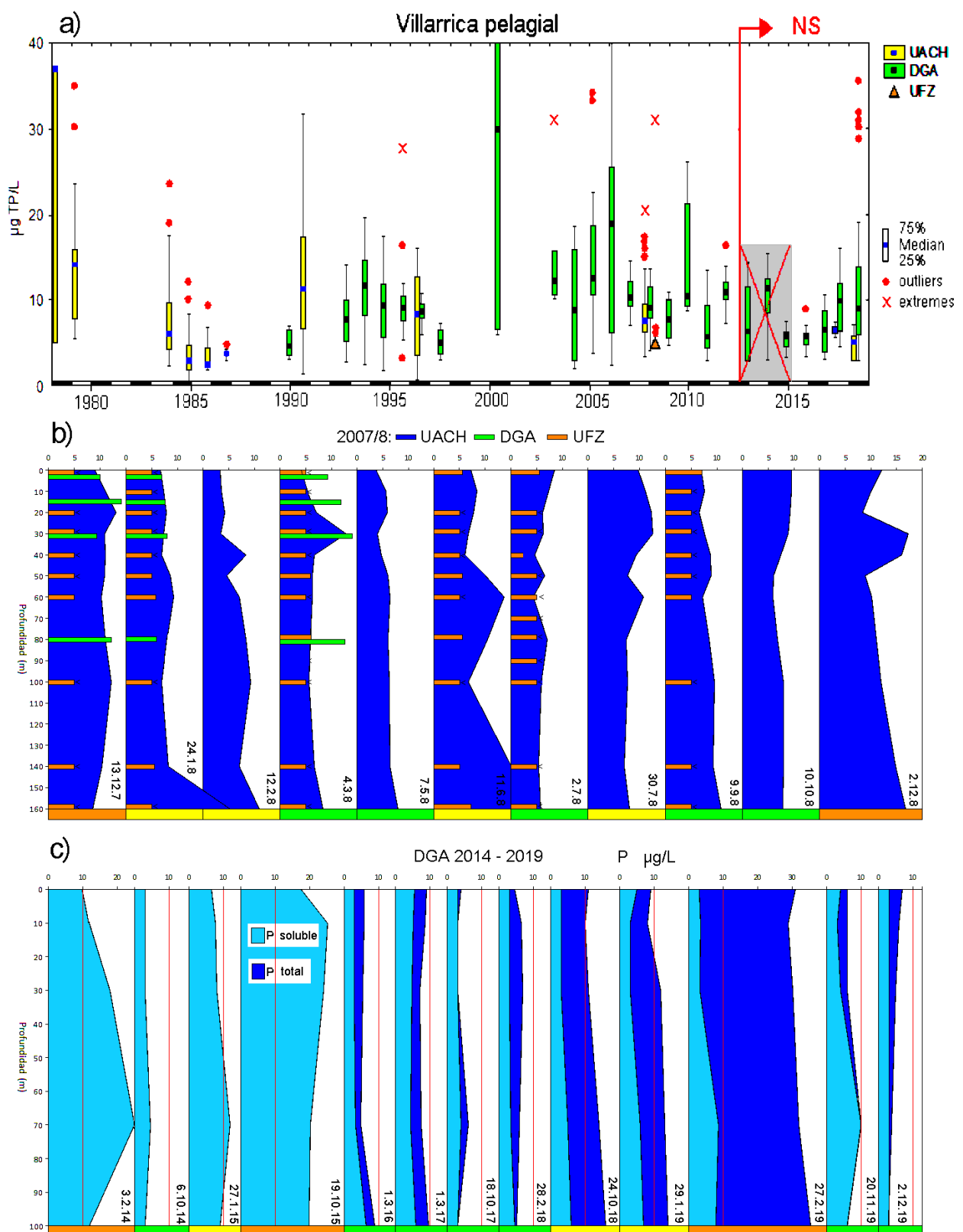


Fig. 1 Fósforo total en estación centro en el lago Villarrica (valores anuales). a) Mediana anual, 25-75% percentiles, outliers y valores extremos entre 1977 y 2019. b) Análisis realizado por UACH, DGA (estación Molco) y UFZ en 2007/8, c) Análisis realizado por DGA en 2014-2019.

UACH: Universidad Austral de Chile, DGA: Dirección General de Agua, UFZ: UFZ Helmholtz Centre for Environmental Research, Magdeburg (Alemania). Línea roja: límite permitido por NS. Área gris: valores anulados por DGA. NS: Norma Secundaria.

- DATOS DENTRO DE LO ESPERADO;
- DATOS ELEVADOS/INCOHERENTES;
- DATOS ALTOS/INCOHERENTES

diciembre 2008). Sin embargo, considerando el promedio anual los valores de PT indicaron todavía un estado oligotrófico del lago (mediana: 8,6 $\mu\text{g P/L}$). No obstante, en un laboratorio alemán (UFZ Helmholtz Centre for Environmental Research, Magdeburg) se pudo realizar 66 mediciones de PT del lago Villarrica que arrojaron en general valores $< 5\text{-}6 \mu\text{g P/L}$ (barras naranjas). Para algunos meses existen también datos de la DGA (barras verdes) que están más en el rango de los datos de la UACH o incluso sobrepasan estos datos con algunos valores sobre $10 \mu\text{g P/L}$.

2014 - 2019 - Fig. 1c:

Desde la vigencia de la NS en 2014 se monitorea la calidad de agua por parte de la DGA en dos estaciones pelagiales (PEL-centro, PEL-Vill) y cinco estaciones litorales, mediante dos campañas de muestreo en verano y primavera. Se muestran aquí solamente los datos (P soluble y PT) de la estación PEL-centro que es más representativa para la zona pelagial del lago Villarrica. Todos los análisis de P fueron realizados por la DGA (mientras los análisis de las fracciones de nitrógeno se externalizan). A simple vista se nota que los perfiles verticales en general son satisfactoriamente homogéneos, pero existe en la mitad de las fechas una incoherencia temporal en los valores absolutos de P que suben o bajan por el factor 2-3x entre fechas seguidas. Destacan especialmente los altos/muy altos valores ($10\text{-}33 \mu\text{g P/L}$) en verano 2014 y 2019 y en primavera 2015 y 2018. Para los años 2014 y 2015, la DGA invalidó incluso los análisis de PT (oficio N°7 de fecha 22-01-2016), que arrojaron valores menores ($3\text{-}10 \mu\text{g P/L}$) en comparación con los valores de P soluble, que finalmente fueron los únicos datos validados y reportados oficialmente. Esto indica claramente un problema analítico, aunque no se puede determinar cuál análisis arrojó valores más confiables. Los valores de PT en 2016 hasta verano 2018 están en el rango esperado, mientras los valores de primavera 2018 hasta verano 2019 aumentaron dramáticamente (incluso hasta valores sobre $30 \mu\text{g P/L}$!) que no es explicable según nuestros conocimientos actuales. Luego en primavera 2019, los valores de PT están de nuevo por lo menos en el rango esperable ($< 10 \mu\text{g P/L}$).

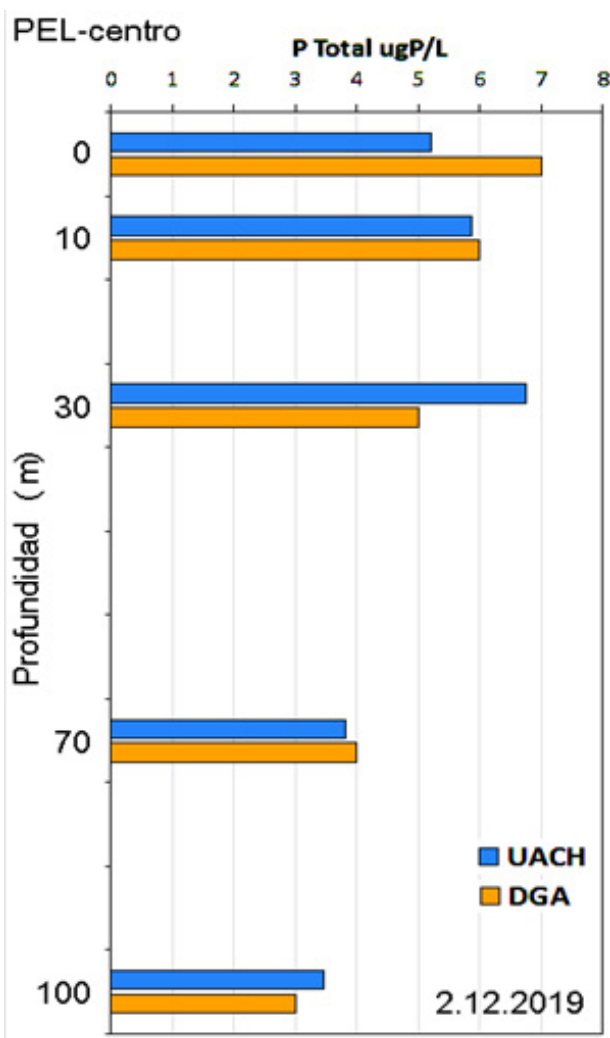


Fig. 2 Comparación datos PT analizado en laboratorio de la DGA y UACH (LIMNOLAB), muestras obtenidas el 2.12.2019 en estación PEL-Centro, Lago Villarrica.

CONSIDERACIONES FINALES

Quiero terminar con algunas consideraciones respecto a los datos de PT obtenido durante la vigencia de la NS (2014 -):

1) El parámetro fósforo disuelto en el periodo bianual 2015-2016, registró saturación por los valores máximos ($>10 \mu\text{g P/L}$ en promedio de 2 años) en 4 de las 6 áreas de vigilancia, por lo que la NS se observó en condición de saturada, según lo establece el decreto supremo N° 43, de 2017, del Ministerio del Medio Ambiente. Desde entonces se trabaja en el desarrollo del plan de descontaminación que tiene una duración de 15 años.

2) Se debe considerar, que en el lago Villarrica con un volumen de 21 km^3 un cambio de $1 \mu\text{g/L}$ corresponde a un cambio de 21 toneladas para toda la masa del lago. Los cambios temporales abruptos de P ya mencionados implicarían ingresos/egresos de varios cientos de toneladas en cortos períodos de pocos meses. Fuentes internas de P (i.e. internal loading a través del sedimento) se puede excluir como causante de este aumento, ya que la oxigenación del lago siempre fue muy alta. Quedarían fuentes externas a considerar: Se descarta alguna fuente externa puntual humana (p.e pisciculturas, planta de tratamiento etc.) que podría causar semejante aumento. Se podría considerar el eventual ingreso de P por algún incendio muy grande o una erupción volcánica. Efectivamente hubo una leve erupción del volcán Villarrica en marzo 2015. Sin embargo, registros de P en lagos que han sufrido el impacto directo de erupciones volcánicas como el lago Maihue en junio 2011 (erupción de Cordón Caulle), no evidenciaron ningún aumento de P en toda la columna de agua como nosotros podíamos evidenciar en 2011. Sin embargo, podría haber existido eventualmente alguna carga subterránea de P por parte del volcán Villarrica, lo que desconocemos por completo.

3) Es muy necesario resolver los problemas relacionados con la alta variación de los datos de P total durante todo el período 2014-2019 que deja muchas dudas sobre la confiabilidad de estos datos desde el punto técnico y limnológico. El año pasado (2.12.2019) se realizó en paralelo con la DGA un análisis completo de las muestras de agua obtenidos de la misma botella Van Dorn en LIMNOLAB (UACH).

Los resultados entre ambos laboratorios son muy similares con variaciones menores a $1-2 \mu\text{gP/L}$ que se puede considerar muy aceptable

considerando el rango de la precisión analítica en general. En este contexto puedo afirmar que se está programando seguir realizando análisis en paralelo durante todo el año 2021 con el fin de validar los datos obtenidos por la DGA resolviendo eventuales problemas en una forma más eficiente.

AGRADECIMIENTOS:

Parte de este trabajo financió Seremi de Medio Ambiente de la Araucanía, (2019).

LITERATURA CITADA

- Almanza, V., Pedreros, P., Laughinghouse IV, D., Féliza, J., Parra, O., Azócar, M., Urrutia, R.. 2018. Association between trophic state, watershed use, and blooms of cyanobacteria in south-central Chile. *Limnologia* 75: 30-41.
- APHA (2005) Standard Methods for the Examination of water and wastewater, Volume 21st ed. Washington, DC, American Public Health Association.
- Campos, H., Steffen, W., Román, C., Zuñiga, L. & Agüero, G. 1983. Limnological studies in Lake Villarrica - Morphometric, physical, chemical, planktonical factors and primary productivity . *Archiv für Hydrobiologie/Suppl.* 65(4): 371-406.
- Campos, H., Parra, O. & Agüero, G. (1994) Evaluación de la carga de fósforo y nitrógeno en el lago Villarrica. Informe DGA S.I.T N°13, 1-98.
- Centro EULA 2017. Análisis y reformulación red de monitoreo de lagos región de los ríos. Informe Fonadirección General De Aguas. S.I.T. N0395: 1-441.
- Decreto 19. 2013. Establece normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales del lago Villarrica. (<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1055224&f=2013-10-16&p=>).
- Nimptsch, J., Woelfl, S., Osorio, J., Valenzuela, Moreira, C, Ramos, V., Castelo-Branco, R., Nuno Leao, P, & Vasconcelos, V. 2015. First record of toxins associated with cyanobacterial blooms in oligotrophic North Patagonian lakes of Chile—a genomic approach. *International Review of Hydrobiology* 100: 1-12.
- Nimptsch, J., Woelfl, S. 2020. Revisión de antecedentes de calidad del agua, como apoyo la elaboración de informes de calidad del Ministerio del Medio Ambiente. Elaboración de un protocolo de acción para gestión de episodios de Bloom algales en el Lago Villarrica”. N° de Adquisición: 612227-3-LE19. Ministerio de Medio Ambiente: 1-189.
- Schindler, D. W., Hecky, R. E., Findlay, D. L., Stainton, M. P., Parker, B. R., Paterson, M. J., Beaty, K. G., Lyng, M., Kasian, E. M. 2008. Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: Results of a 37-year whole-ecosystem experiment. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 105(32): 11254-11258.
- Soto, D., Arismendi, I., González, J., Sanzana, J., Jara, F., Jara, C., Guzman, E., Lara, A..2006. Southern Chile, trout and salmon country: invasion patterns and threats for native species. *Revista Chilena de Historia Natural* 79: 97-117.
- Steinhart, G.S., Likens, G.E. & Soto, D. 2002. Physiological indicators of nutrient deficiency in phytoplankton in southern Chilean lakes. *Hydrobiologia* 489: 21-27.
- Woelfl, S., Villalobos, L, Parra, O. & Campos H. 2003. Trophic parameters and method validation in Lake Riñihue (North Patagonia: Chile) from 1978 through 1997. *Revista Chilena Historia Natural* 76: 459-474.
- Woelfl, S. 2007. The distribution of large mixotrophic ciliates (Stentor) in deep North Patagonian lakes (Chile): First results. *Limnologia* 37: 28-36.
- Woelfl, S., Oyarzún, C., Duarte, C., Rodriguez, J.L., Steffen, W. & Grandjean, M., 2009. Diagnóstico de la calidad de las aguas del lago Villarrica. Proyecto FNDR IX Región, 72 pág.
- Woelfl, S. C. Oyarzún, C. Duarte, J. Jaramillo y J.L. Rodriguez. 2011. Antecedentes para evaluar el impacto económico y social de una norma secundaria de calidad de aguas en el lago Maihue, cuenca del río Bueno” Proyecto DGA S.I.T. N° 262: 1-143.
- Woelfl, S., Nimptsch, J. et al. 2013. Evaluación del Estado Ambiental de los Lagos utilizados para actividades de acuicultura en la zona sur austral de Chile (primera etapa)” Subsecretaría de Pesca y Acuicultura N° 4728-42-12:1-824.
- Thomasson, K.. 1963 Araucanian Lakes. *Acta Phytogeographica Sueca* 47:1-139.

Sobre los “blooms” de algas potencialmente nocivas en el lago Villarrica a partir de la vigencia de la Norma Secundaria (2014-2019): Estado del arte y desafíos

INTRODUCCIÓN

Existen registros de florecimientos de algas en el lago Villarrica desde hace décadas, los cuales fueron denominados por los lugareños como “Polen del agua” desconociendo el tipo de organismos que los componen y los potenciales peligros para el medio ambiente y la salud humana que involucran estos florecimientos. Entre los florecimientos algales (blooms), los florecimientos masivos de cianobacterias son los que producen efectos negativos sobre la biota acuática e incluso pueden causar efectos negativos en la salud humana. Los resultados de muchos estudios científicos durante de décadas han demostrado que estos Blooms son principalmente resultado del enriquecimiento de nutrientes (eutrofización) de los cuerpos de agua dulce y que puede dar lugar a cambios muy indeseables en la estructura y función de los ecosistemas. Los lagos oligotróficos, especialmente los sistemas acuáticos limitados en nitrógeno pueden presentar Blooms de especies de cianobacterias heterocísticas que son capaces de fijar nitrógeno atmosférico y utilizarlo para su crecimiento donde otras especies ya no pueden crecer.

Estos microorganismos que durante su acumulación en las orillas produce malos olores, son también conocido por producir sustancias tóxicas llamadas cianotoxinas. Las toxinas de cianobacterias también tienen graves efectos sobre la salud de los seres humanos y animales y se están convirtiendo en una preocupación cada vez mayor en todo el mundo. Las aguas superficiales utilizadas para la producción de agua potable, de riego, energía o incluso con fines recreativos se ven afectados por estas toxinas (Falconer 2005; Ressom et al., 1994). A pesar de que las microcistinas son las cianotoxinas más estudiadas, otras toxinas son producidas por cianobacterias, como por ejemplo cilindrospermopsina (citotóxicos), las anatoxinas, así como saxitoxinas (ambas neurotoxinas) (Carmichael y Liu 2006).

Los estudios sobre las floraciones de cianobacterias y su potencial toxicidad han sido muy escasos en Chile (Almanza et al. 2016, 2018, Nimptsch et al. 2016). Aunque géneros de cianobacterias potencialmente tóxicas se han registrado en el norte de Chile (Región II) a través de la zona central de Chile (Aculeo, Torca, Vichuquen, Rapel) y por el sur hasta el Lago Llanquihue (Campos et al., 2005),

Autor

Jorge Nimptsch, Stefan Woelfl
Instituto de Ciencias Marinas
y Limnológicas
Facultad de Ciencias

Universidad Austral de Chile
Casilla 567, Valdivia.
jorge.nimptsch@uach.cl

Colaboradores:

Jorge Jaramillo (UACH)
Loreto Lagos (ONG MAI)
Rodrigo Díaz (UACH).

LIMNOLOGÍA APLICADA

se realizó un análisis cuantitativo sólo para cianotoxinas en los cuerpos de agua de la zona central y centro sur de Chile, la búsqueda de diferentes isoformas de microcistina (-LA, RR, YR, -LR) Campos et al, 2005; Almanza et al., 2016; Almanza et al., 2018). En Chile no hay regulaciones implementadas con respecto a las concentraciones máximas de estas toxinas, a pesar de las regulaciones de la OMS para la calidad del agua en relación con las toxinas de cianobacterias (valor de referencia 1 µg/L-1MC-LR en agua potable y 10 µg/L-1MC-LR para las aguas recreacionales).

Floraciones de cianobacterias han ido esparciéndose a nivel mundial y recientes estudios han explicado esta expansión (bio-invasiones) a las consecuencias del cambio climático y calentamiento global. Esto nos lleva nuevamente al Lago Villarrica donde la recurrencia y aparición de Blooms ha sido cada vez más frecuente. La presencia de Blooms en aguas recreacionales como el balneario de Pucón, tienen un considerable potencial de riesgo para la salud humana en presencia de un Bloom de cianobacterias por las siguientes razones: Se han observado florecimientos fitoplanctónicos durante la última década conformados por géneros de cianobacterias potenciales productoras de toxinas. Los servicios estatales (p.e. DGA, MINSAL, Directemar etc.) todavía no realizan habitualmente toma de muestras fitoplanctónicas ni seguimiento durante las apariciones de un florecimiento de cianobacterias. Tampoco se realizan análisis de toxinas, específicamente microcistina LR (MC-LR) durante las floraciones. No existen carteles ni información de advertencia durante la época estival. No existen protocolos para la contingencia.

Esto ha llevado a las autoridades locales del Ministerio del Medio Ambiente a llevar a cabo el estudio: “Revisión de antecedentes de calidad del agua, como apoyo la elaboración de informes de calidad del Ministerio del Medio Ambiente. Elaboración de un protocolo de acción para gestión de episodios de Bloom algales en el Lago Villarrica”. En esta nota se presentan algunos resultados obtenidos. Uno de los objetivos del estudio fue realizar un análisis de la data histórica de monitoreo de comunidades fitoplanctónicas en el Lago Villarrica y a través de análisis bibliográfico y de antecedentes disponibles, determinar la tipología de cianobacterias potenciales que predominan en blooms de algas del Lago Villarrica. Para esto se realizó una revisión y análisis de la respecto a la ocurrencia de las cianobacterias utilizando las bases de dato de los monitoreos de la DGA (2013-2018), que recopilan datos del fitoplancton en dos campañas anuales (verano, primavera) del Lago Villarrica.

Fig. 1 Fotografía de acumulación de cianobacterias en la Playa grande de Pucón (Foto J. Nimptsch) (MMA, 2020).



LIMNOLOGÍA APLICADA

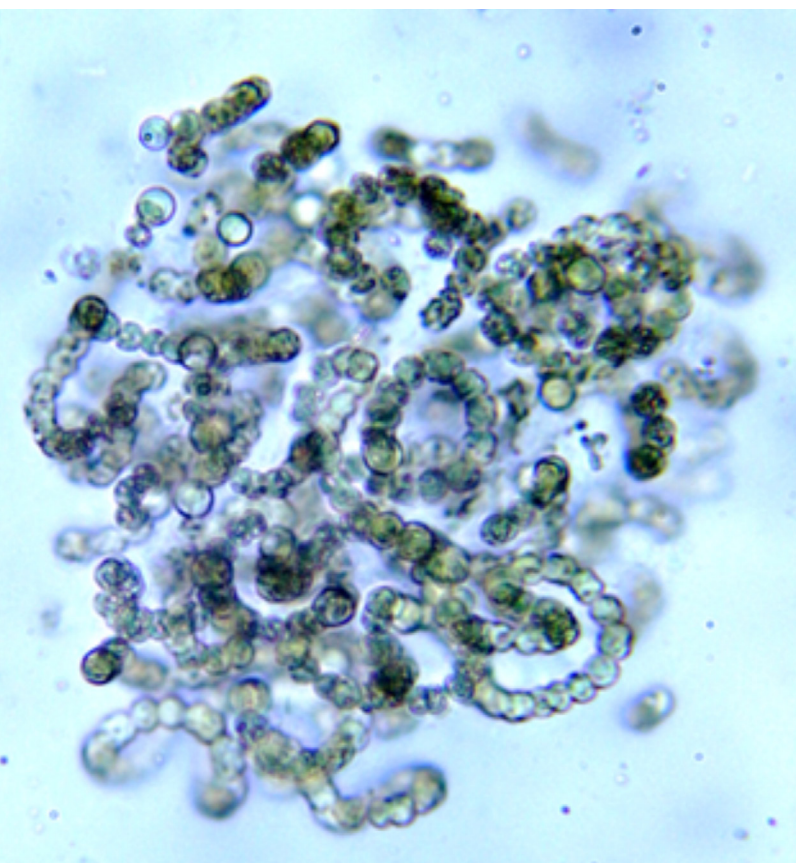


Fig. 2 Fotografía de una muestra de cianobacterias del género *Dolichospermum* del Lago Villarrica. (Foto: S. Woelfl) (MMA, 2020).

DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE CIANOBACTERIAS DEL LAGO VILLARRICA

En el caso de los florecimientos de cianobacterias en el lago Villarrica, estos se encuentran dominados por la cyanophyta del género *Dolichospermum* (Fig 2). Los resultados mostraron registros de cianobacterias en todas las estaciones tanto pelagiales como litorales, observando proliferaciones generalmente durante los meses de verano (Fig 3). En cuanto a la ocurrencia de altas abundancias de cianobacterias se observa una alta variabilidad interanual, donde las densidades observadas de cianobacterias fueron bajas en 2013/14, máximas en 2015 y 2016, y de nuevo más bajas en 2017 y 2018 (Fig. 3). Solo en verano 2016 las cianobacterias alcanzaron aproximadamente 35% de la abundancia total de fitoplancton, durante los demás años su aporte fue menor a 10%.

Respecto a las densidades de las cianobacterias, las máximas densidades se registraron en época estival con valores de 208.000 cel/L lo cual corresponde a una densidad baja a moderada. Existen algunos registros de muy altas densidades de cianobacterias en las zonas litorales (La Poza) con valores hasta 5000x veces más altos (1,400.000.000/L) (Nimptsch et al. 2016). En estas zonas la clorofila a también puede alcanzar muy altos valores hasta 900 µg/L, mientras generalmente se registran valores entre 2 y hasta 20 µg/L clorofila a. El género de cianobacterias predominante (2012-2018) en el lago Villarrica fue *Anabaena/Dolichospermum* (58% de frecuencia), seguido por *Pseudoanabaena* (13%), *Aphanocapsa* (11%), *Microcystis* (9%) y otros (Tabla 1). Adicionalmente se observó que la distribución vertical de cianobacterias en las estaciones del monitoreo de la DGA estuvo concentrada en los estratos superiores, 0-20m en la zona litoral y 0-30m en la zona pelagial (2013-2018).

GÉNERO	N REPORTADO	% TOTAL
ANABAENA/DOLICHOSPERMUM	129	58
PSEUDOANABAENA	29	13
APHANOCAPSA	24	11
MICROCYSTIS	19	9
LIMNOCOCCUS	18	8
OSCILLATORIA	3	1,3
MERISMOPEDIA	1	0,4

Tabla 1 Frecuencia de géneros de algas azules/verdes encontradas en Lago Villarrica 2013-2018 (MMA, 2020)

POTENCIALES EFECTOS DE CIANOTOXINAS SOBRE LA SALUD HUMANA

Los potenciales efectos de cianotoxinas sobre la salud humana dependen de la vía de exposición y tipo de cianotoxina. En el caso de los florecimientos de cianobacterias en el lago Villarrica, estas se encuentran dominados por la cyanophyta *Dolichospermum lemmermanii* y en menor medida por *Dolichospermum flos-aque* (Nimptsch et al., 2016). Ambas especies son reconocidas por ser productoras de hepatotoxinas (microcistinas), neurotoxinas (anatoxinas) y dermatotoxinas (lipopolisacáridos), por lo cual,

LIMNOLOGÍA APLICADA

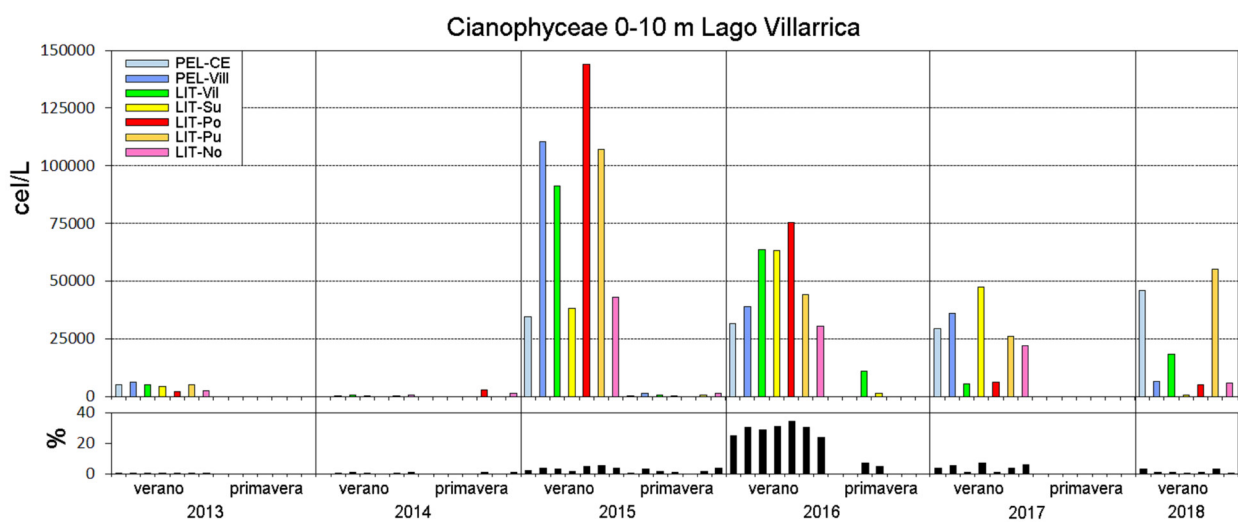


Fig. 3. Abundancia total de cianobacterias en el estrato superficial (0 – 10m) de siete estaciones del Lago Villarrica en el período 2013 – 2018 (fuente: MMA, 2020): PEL: estación pelagial, LIT: estación litoral

para describir los potenciales efectos sobre la salud humana, se debe tener en consideración en relación con los síntomas los tres tipos de toxina, diferenciados de acuerdo con la vía de exposición, que principalmente corresponden a contacto con la piel, ingesta e inhalación.

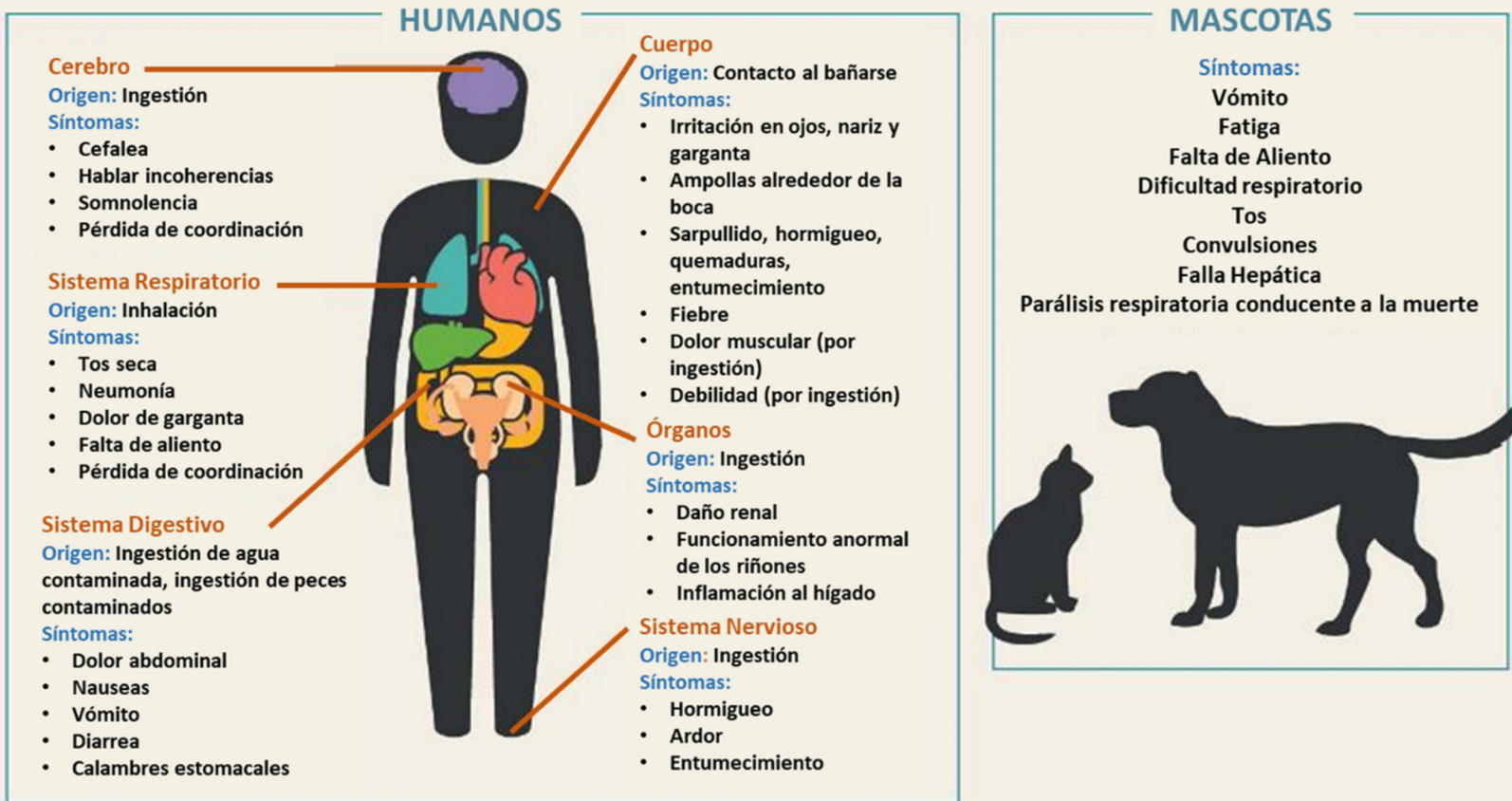
Intoxicaciones resultantes de la exposición a florecimientos de cianobacterias toxígenas en diferentes situaciones, pueden resultar en efectos tóxicos por medio del contacto directo del individuo con las cianobacterias y por ende con las toxinas contenidas en el interior de estas células. Otros casos de intoxicación pueden surgir de contactos con las toxinas liberadas en el agua producto de una lisis celular natural, como en un florecimiento senescente, o de una lisis artificial provocada por el agregado de sustancias empleadas en procesos de potabilización o remoción, como cloro o sulfato de cobre. Existe una gran cantidad de afecciones gastrointestinales o hepáticas relacionadas con la liberación de las cianotoxinas al agua. También producen afecciones pulmonares y cutáneas producto del contacto directo con los florecimientos como ocurre en actividades recreacionales presentando alteraciones gastrointestinales e importantes irritaciones cutáneas en la zona inguinal y axilar donde los trajes de baño ejercen mayor presión y pueden quedar retenidas una importante cantidad de cianobacterias (Sedan y Adrinolo, 2011).

La población que entra de alguna manera en contacto con las cianotoxinas está en riesgo de

sufrir importantes afecciones en su salud, más algunos individuos en particular se presentan más susceptibles. Por ejemplo, en el caso de los niños, cuya relación entre el volumen de agua ingerido por unidad de peso corporal es mayor que para un adulto, o de aquellas personas que presentan una enfermedad de base como hepatitis virales o provocadas por otros tóxicos, cirrosis, síndrome de hígado graso o disfunciones renales que pueden derivar en una terapia de diálisis donde el paciente está expuesto vía intravenosa a grandes cantidades de agua. La exposición recreacional, que frecuentemente provoca incidentes tóxicos, puede combinar varias vías de ingreso, oral, inhalatoria y cutánea. En estos casos pueden producirse reacciones adversas sobre la salud por el poder tóxico de la toxina en sí misma, así como otras derivadas de procesos irritativos y/o alérgicos. Dermatitis cianobacteriana es una de las más comunes afecciones que sufren la mayoría de las personas al bañarse en aguas con florecimientos y que refieren a picazón y enrojecimiento agudo de la piel más evidente en las zonas donde ajusta la ropa. Este tipo de afecciones se atribuyen a los lipopolisacáridos (LPS) de la pared celular de las células de las cianobacterias. A los LPS Cianobacterianos se les atribuyen un amplio rango de efectos patológicos en seres humanos, desde problemas gastrointestinales, signos cutáneos, alergias, afectaciones respiratorias, dolores de cabeza y fiebre (Sedan y Adrinolo, 2011).

Los síntomas de exposición a florecimientos de

LIMNOLOGÍA APLICADA



cianobacterias se pueden dividir en efectos agudos (corto plazo de exposición) y efectos crónicos (exposición repetida durante varios años o exposición prolongada) y dependen de la vía de exposición (contacto dermal, ingestión o inhalación) (ver Fig. 4).

EFFECTOS AGUDOS:

Los síntomas de efecto agudo principalmente son dermatitis, sarpullido, ampollas, hormigueo en el sector de la boca. Los síntomas para exposición a altas concentraciones de cianobacteria de forma aguda (corto plazo) son, fiebre, cefalea, fatiga muscular, entumecimiento, vómito y diarrea. Pero en presencia de neurotoxinas incluso se puede observar somnolencia, pérdida de coordinación y falta de aliento. Sin embargo, cada cuadro varía según la edad, biomasa y salud de las personas/mascotas expuestas.

EFFECTOS CRÓNICOS:

Por otro lado, los efectos/síntomas de exposición crónica principalmente son daño renal y hepático, pero en casos graves, con exposiciones a concentraciones muy altas, se pueden generar tumores cancerígenos y falla sistémica generalizada conducente a la muerte.

EFFECTOS/SÍNTOMAS EN PERSONAS SIN CONTACTO CON EL AGUA:

Cabe señalar que los aerosoles de toxinas de cia-

nobacterias también pueden producir efectos y síntomas en personas que no han estado en contacto directo con el agua, y que solo visitan la playa. Se refiere a aerosol a las partículas muy pequeñas de líquidos o sólidos que quedan suspendidas en el aire. En este caso la vía de ingreso es a través de la nariz – boca al pulmón y genera principalmente síntomas de tos seca, neumonía, dolor de garganta y dificultad respiratoria. Debido a que se generan aerosoles con viento fuerte y oleaje, como también durante los deportes acuáticos como natación, jetski, ski acuático, navegación en general (Backer et al., 2008), una exposición vía aerosoles es posible en el Lago Villarrica durante un episodio de florecimiento.

En aguas recreacionales (p.e. balneario de Pucón), periódicamente, se presentan casos de dermatitis cianobacterial, que es una inflamación severa de la piel originada por contacto directo con cianobacterias productoras de dermatotoxinas que puede ocurrir después de nadar u entrar en contacto con agua que contiene ciertas especies de cianobacterias (Ressom et al., 1994). Los

Fig. 4 Efectos y síntomas de la exposición del ser humano y mascotas a cianotoxinas (adaptado de Clean Water Action: <https://www.cleanwateraction.org/features/harmful-algal-outbreaks-and-drinking-water>).

LIMNOLOGÍA APLICADA

síntomas son picazón y ardor tras unos pocos minutos a unas pocas horas después de nadar en un área con presencia de fragmentos de cianobacterias. Una visible dermatitis (enrojecimiento) puede desarrollarse después de 3-8 hrs, y en casos agudos es seguida de ampollas y descamación profunda de la piel (Pilotto et al., 1997). Sin embargo, la exposición humana a cianotoxinas puede generar distintos síntomas dependiendo de la vía y magnitud de exposición y los distintos órganos tanto del ser humano como de animales domésticos, como antes descrito y presentado en la siguiente figura.

RECOMENDACIONES

Se debe considerar muestreos de fitoplancton durante la época estival para dar seguimiento de florecimientos cianobacteriales. En caso de detectar un florecimiento de cianobacterias se debe realizar un análisis de toxinas especialmente para microcistinas. Y en caso de que si se detectan cianotoxinas se debe advertir al público usuario del balneario y si se presente una concentración de microcistina $> 10 \mu\text{g} / \text{L MC-LR}$ se debe considerar advertir a los usuarios de los peligros a la salud y considerar el cierre del bal-

neario si se mantienen u aumentan las concentraciones de toxina.

Para el muestreo de cianobacterias se debe considerar el uso del lago como ambiente recreacional. Por lo tanto, el monitoreo de las algas se concentra principalmente en la zona litoral habilitada para bañarse. En la figura 5 se muestra como ejemplo la Playa Grande en Pucón, donde la zona habilitada para bañarse se extiende aprox. 50 m desde la orilla del lago hacia dentro del lago. La cantidad de sitios de muestreos se elige acorde a diferentes criterios (véase abajo), como ejemplo se propuso tres estaciones de muestreo en la Fig 5. Dentro de esta zona litoral se sugiere tomar las muestras de agua desde la orilla, a distancia de por lo menos 3 metros para evitar el ingreso de sedimento re-suspendido. En relación con la frecuencia de muestreos se debe tener las siguientes consideraciones:

- Cianobacterias aparecen preferentemente durante verano (enero - marzo), por lo cual se sugiere realizar las campañas de muestreo durante esta época.
- Para el monitoreo extensivo se sugiere una frecuencia de muestreo semanal. Óptimamente entre lunes y martes, esto para que las muestras se puedan procesar dentro de la semana de toma de muestras.
- En caso de aparición de un florecimiento (Bloom), la frecuencia de muestreo debe intensificarse. Se sugiere tomar muestras el día de la aparición en la playa, seguido por los días posteriores hasta que desaparezca el florecimiento

Se debe considerar la instalación de carteles y/o folletos entregando información de advertencia a los bañistas y usuarios recreacionales del Lago Villarrica durante la época estival como muestra el ejemplo en la Fig 6: Folleto informativo sobre florecimientos de cianobacterias y riesgos asociados en el lago Villarrica.

Fig. 5. Zona de monitoreo de playa grande Pucón. (MMA, 2020)



LIMNOLOGÍA APLICADA

Fig. 6. Folleto informativo dirigido a la ciudadanía sobre florecimientos de cianobacterias y riesgos asociados en el lago Villarrica. (MMA, 2020)

FLORECIMIENTOS DE ALGAS

¿QUE SON? Los florecimientos de algas o "Blooms" son crecimientos masivo de pequeñas algas que viven en el agua.

¿POR QUE APARECEN? Esta crecen por la disponibilidad de nutrientes en conjunto con las condiciones climáticas oportunas (Sol, calor y poco viento).

¿POR QUE SON PELIGROSAS? Debido a que algunas especies producen toxinas dañinas para el ser humano, se recomienda tener precaución e informarse en caso de observar una coloración extraña en el agua al bañarse.



¿QUE PRECAUCIONES DEBO TOMAR? En el lago Villarrica se han registrado florecimientos de algas que antiguamente la gente denominaba "Polen del Agua". Si observa que el agua esta turbia debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Nivel de riesgo	Color del Agua	Indicaciones
BAJO	 Agua transparente, ausencia de color del agua	Condiciones óptimas para bañarse <ul style="list-style-type: none"> ○ Evite el consumo de agua. ○ El agua es apta para bañarse. ○ Cuide los niños y mascotas.
MEDIO	 Presencia visible de cianobacterias en forma de manchones	Busque sectores de agua limpia para bañarse <ul style="list-style-type: none"> ○ Evite el contacto con ,manchas de color verde amarillento. ○ No consuma agua (ni cruda ni hervida). ○ Si tuvo contacto con las manchas enjuáguese con agua limpia a brevedad. ○ Mantenga alerta a las indicaciones con los niños y mascotas.
ALTO	 Masa verde amarillenta o marrón con aspecto de nata con o sin vetas	Evite el contacto con el agua <ul style="list-style-type: none"> ○ No consuma el agua por ningún motivo. ○ Se recomienda alejar a niños y mascotas del agua. ○ El nivel de alerta se mantiene hasta que desaparezca el florecimiento de la plata ○ En caso de dermatitis aguda después del contacto se recomienda asistencia médica

¿QUE DEBO HACER SI TUVE CONTACTO? Si ha estado en contacto con el agua con abundantes manchas de color verde, puede presentar los siguientes síntomas: Picazón, Ardor, Sarpullido, hormigueo en la boca, Dolor de Cabeza, Fiebre, dolores estomacales y/o diarrea. En caso de persistencia de los síntomas por favor contáctese con las autoridades sanitarias (n°: 12345678, correo: 1234@misal.Gob.cl)

LITERATURA CITADA

FUENTE DE FINANCIAMIENTO

Ministerio de Medio Ambiente, N° 612227-3-LE19, “Revisión de antecedentes de calidad del agua, como apoyo la elaboración de informes de calidad del Ministerio del Medio Ambiente. Elaboración de un protocolo de acción para gestión de episodios de Bloom algales en el Lago Villarrica”.

BIBLIOGRAFÍA

Almanza, V., Parra, O., Carlos, E. D. M., Baeza, C., Beltran, J., Figueroa, R., & Urrutia, R. (2016). Occurrence of toxic blooms of *Microcystis aeruginosa* in a central Chilean (36 Lat. S) urban lake. *Revista chilena de historia natural*, 89(1), 1-12.

Almanza, V., Pedreros, P., Laughinghouse IV, H. D., Féliz, J., Parra, O., Azócar, M., & Urrutia, R. (2019). Association between trophic state, watershed use, and blooms of cyanobacteria in south-central Chile. *Limnologica*, 75, 30-41.

Backer LC, Carmichael W, Kirkpatrick B, Williams C, Irvin M, Zhou Y, Johnson TB, Nierenberg K, Hill VR, Kieszak SM, Cheng YS. Recreational exposure to low concentrations of microcystins during an algal bloom in a small lake. *Mar Drugs*. 2008 Jun 26;6(2):389-406.

Campos, V.; Lisperguer, S.; Weckesser, J.; Vera, A.; Muñoz, D. Cianobacterias y Riesgos Potenciales de Toxicidad en Aguas Continentales de Chile. *Boletín Micológico* 2005, 20, 73-81.

Carmichael, W.W.; Liu, R. Cyanobacteria toxins in the Salton Sea. *Saline Syst*. 2006, 2, 1–13.

Falconer, I. Cyanobacterial toxins of drinking water supplies: cylindrospermopsins and microcystins. In Falconer I. (ed.) 2005, pp 291, Taylor & Francis, CRC Press London, UK.

Ministerio de Medio Ambiente (MMA), 2020. REVISIÓN DE ANTECEDENTES DE CALIDAD DEL AGUA, COMO APOYO LA ELABORACIÓN DE INFORMES DE CALIDAD DEL MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. ELABORACIÓN DE UN PROTOCOLO DE ACCIÓN PARA GESTIÓN DE EPISODIOS DE BLOOM ALGALES EN EL LAGO VILLARRICA. Licitación 612227-3-LE19. (weblink: [http://catalogador.mma.gob.cl:8080/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=bac6e00d-41d8-4720-86f8-a72def2e5cbb&fname=Informe%20Final%20Blooms%20Villarrica%2008042020%20\(1\).pdf&access=public](http://catalogador.mma.gob.cl:8080/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=bac6e00d-41d8-4720-86f8-a72def2e5cbb&fname=Informe%20Final%20Blooms%20Villarrica%2008042020%20(1).pdf&access=public))

Nimptsch, J., S. Woelfl, S. Osorio et al. (2016). «First Record of Toxins Associated with Cyanobacterial Blooms in Oligotrophic North Patagonian Lakes of Chile: A Genomic Approach». *International Review of Hydrobiology* 101(1-2): 57-68.

Pilotto, L. S., Douglas, R. M., Burch, M. D., Cameron, S., Beers, M., Rouch, G. J., ... & Moore, C. (1997). Health effects of exposure to cyanobacteria (blue-green algae) during recreational water-related activities. *Australian and New Zealand journal of public health*, 21(6), 562-566.

Ressom, R.; Soong, F.S.; Fitzgerald, J.; Turczynowicz, L.; El Saadi, O.; Roder, D.; Maynard, T.; Falconer, I.R. Health Effects of Cyanobacteria (Blue-Green Algae). National Health and Medical Research Council 1994, Canberra, 108 pp.

Sedan D, Andrinolo D. Cianobacterias y Cianotoxinas. Efectos en la salud humana. Casos informados y primeros acercamientos al estudio epidemiológico. biental. 2011.

AGRADECIMIENTOS: Financiamiento: Seremi de Medio Ambiente de la Araucanía, Colaboración en el proyecto: Dr. Jorge Jaramillo, Colaboración y Apoyo logístico en terreno: Loreto Lagos ONG MAI.

ENTREVISTA

Autor

Luciano Caputo

Instituto de Ciencias Marinas
y Limnológicas
Facultad de Ciencias

Universidad Austral de Chile
Casilla 567, Valdivia.
luciano.caputo@uach.cl

ENTREVISTA

Limnología chilena: Historias forjada con viento puelche

**Entrevista a Raúl Arriagada, técnico
en trabajos limnológicos en la
Universidad Austral de Chile**

Luis Felipe Leiva P., Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter

ENTREVISTA

En su casa, luego de conocer a los nietos a través de fotografías, sentados en los sofás de un living lleno de recuerdos familiares y un par de copas de líquido con picardía, fue el contexto de una conversación llena de la experiencia forjadora de la limnología en esta parte del mundo.

Raúl Arriagada, cumplió 72 este año, de ojos azules y pelo blanco, este tipo que a veces puede ser medio huraño, otras un poco desconfiado, un poco pícaro y un poco travieso para los que lo conocen. Con 19 años, este profesor riobuenino, hijo de campesinos esforzados, llegó a la oficina de Hugo Campos en la Universidad Austral de Chile por el “dato” de un vecino, era el año 1969.

Así como muchos, en terreno uno podía percatarse de una tremenda historia acumulada, de conocimiento naturalista, limnológico. No es mentira decir que él ha estado en el corazón de todas las investigaciones, porque él ha estado en terreno, forjando la limnología en Chile. Por esta razón, es que en este revitalizado Boletín Limnológico 2021, el deseo es reconocer y visibilizar aquellas personas que están tras bambalinas de nuestra disciplina.

Luciano Caputo (LC): ¿Cuál es tu lugar de origen, tu formación académica y profesión?

Raúl Arriagada (RA): Origen de Río Bueno, mi madre campesina, mi padre también. Me inculcaron, bueno, mi madre que tenía que ser alguien más que un agricultor. Me mandó a estudiar y la única escuela o liceo que había en esa época “gratis” que digamos, era la escuela normal de Valdivia, así que allá me fui, seis años estudiando interno y salí de profesor básico al cumplir los diecinueve años.

Luego me fui a Valdivia, esperando que me nombraran a un colegio para dar clases como profesor normalista. Ocurrió que un vecino que trabajaba en la universidad me dijo “Oye necesitan a un joven, pero que comience ya... Pero ya a trabajar”. Fui a ver el trabajo, quedaba en el Instituto de Zoología, que estaba al lado del teatro actual, del Cine Club, ahí estaba el instituto. Me presente en la oficina de Hugo Campos, quien luego de una

breve entrevista me dijo “Ya, desde mañana empieza a trabajar”. Los inicios fueron en una sala de acuarios, para cuidar los puyes; en una sala de colecciones para rellenar de líquido los frasquitos; y con la colección de aves que era del Instituto Alemán. Pero luego, el cargo era preparar un taxidermista, eso no le interesaba mucho a Hugo, le interesaban más los peces y el agua, así que nos fuimos a terreno. Empecé a salir con él al Lago Riñihue, teníamos un laboratorio y un bote. Así que esa fue mi primera incursión en el agua, Lago Riñihue en el año 1969.

LC: ¿Como fue la experiencia de aprender a hacer una labor como asistente de campo de investigaciones en limnología?

RA: Claro, de primera de ayudante, encargado de subir el huinche, de subir la botella de agua, en el Lago Riñihue eran 300 metros de profundidad, había para hacer harta fuerza. A Hugo Campos le gusto eso y ya después me llevaba a terreno solo con el cuidador del laboratorio. Mas adelante vio que yo era capaz de hacerlo solo, así que ya después iba solo a tomar las muestras al lago. También estuve con José Arenas haciendo batimetrías del lago, y luego llegó Vladimir Stephen al instituto, ahí ya nos hicimos yunta con Vladimir y comenzamos a salir juntos a los lagos para hacer batimetrías y estudios de fisicoquímica de los lagos de la Araucanía. También fuimos más al Sur a trabajar en los

“
Otro salto que nos pegamos fue por los lagos patagónicos argentinos, con una delegación de Australia, Estados Unidos, Alemania donde participaron investigadores de Bariloche, por Argentina. Y en Chile con Hugo Campos, Flavio Ojeda y ahí estuvimos trabajando en un proyecto alemán.”

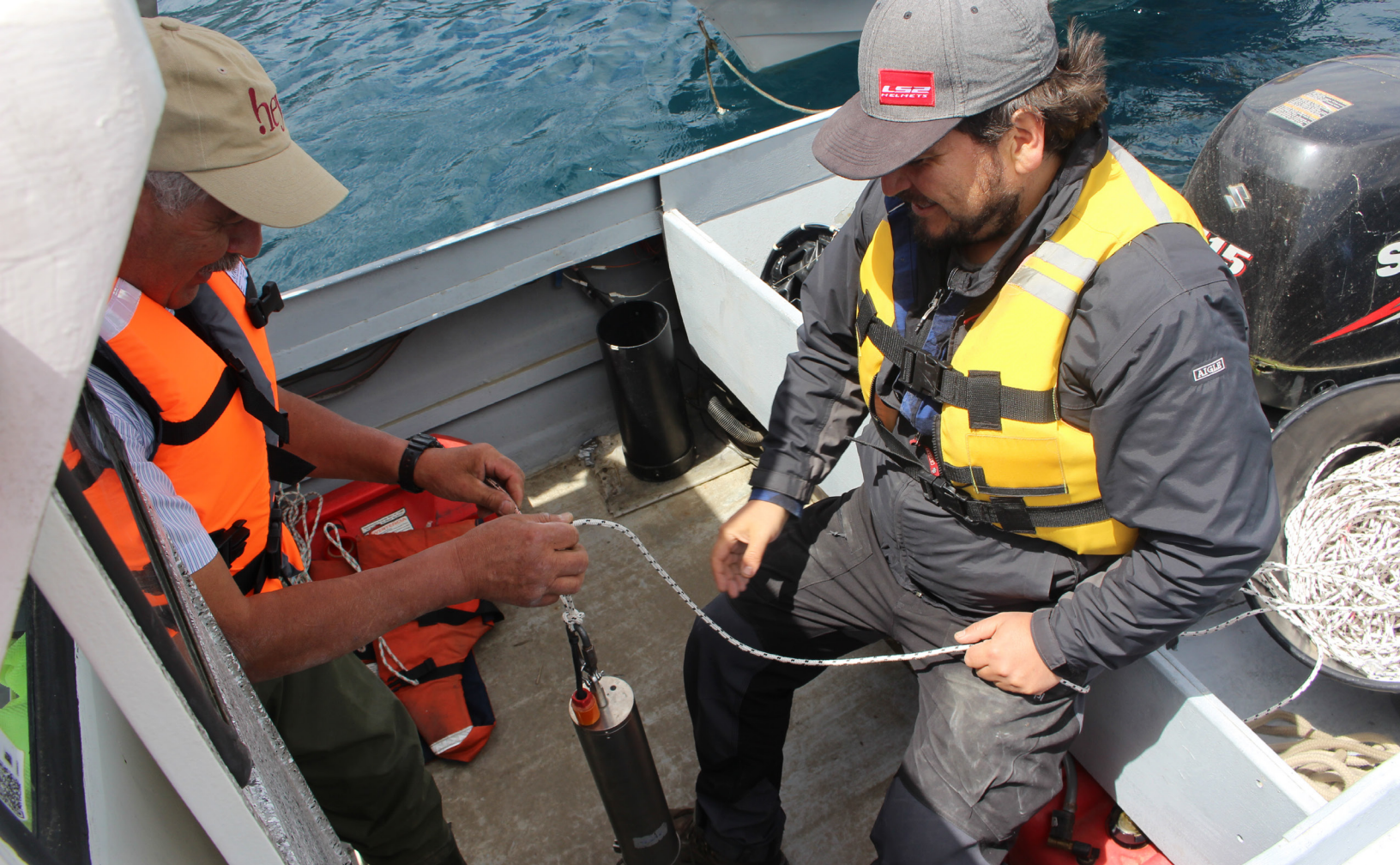
lagos patagónicos.

Con posterioridad empezamos a hacer estudios más complejos en el lago Riñihue sobre productividad primaria. Así que también aprendí a hacer las productividad primarias, a hacer la ecuación, a hacer el filtrado de cestón de clorofila y titulación de alcalinidad.

LC: Podríamos decir que tu mentor fue Hugo Campos ¿Que te eligió y escogió por tus habilidades y virtudes?

RA: Sí. Entonces la taxidermia paso al olvido, siempre mantenía los acuarios limpios y la sala con la colección de frasquitos que habían con peces.

LC: ¿Nos podrías comentar desde dónde y hasta



donde conoces los lagos y ríos chilenos?

RA: Bueno, por el Norte, fuimos a el Salar de Huasco, llegamos a Iquique y de ahí fuimos al Huasco. Después, ya bien conocido desde el Río Biobío, donde estuvimos trabajando con Oscar Parra en todo lo que son las represas que hay ahora en el Biobío, con la Universidad de Concepcion. Por Chiloé, todos los lagos chilotes, los lagos de Aysén, hasta Lago Cochrane, y después nos saltamos a Torres del Paine, al parque nacional y a todos los lagos que están ahí. En ese entonces trabajé en las investigaciones lideradas por Doris Soto.

Otro salto que nos pegamos fue por los lagos patagónicos argentinos, con una delegación de Australia, Estados Unidos, Alemania donde participaron investigadores de Bariloche, por Argentina. Y en Chile con Hugo Campos y Flavio Ojeda, estuvimos trabajando en un proyecto alemán.

LC: Luego de tanto recorrido ¿Cuál es, para ti, el lugar mas bello o significativo que has conocido gracias a la Limnología?

RA: Torres del Paine. Sí, lejos por los magníficos paisajes y lo difícil que es trabajar allí. En esa zona sólo cuentas con una hora o dos para trabajar durante el día debido a los fuertes vientos. Eso me impactó mucho, también ver las subidas de agua o los niveles de aguas altos, como inundación se producen en verano y no en invierno como acá, o como en los lagos araucanos que en invierno se producen las inundaciones o las crecidas. En Torres del Paine las crecidas de los lagos y ríos es muy fuerte debido a los deshielos en verano. En ese entonces también estudiamos varias las

lagunas donde encontramos unos copépodos muy grandes que son de color rojito y grandes.

LC: Dentro de todo el trabajo de campo, hay momentos intensos o emotivos ¿Cuáles son tus mejores recuerdos y por qué razón?

RA: Bueno el Lago Riñihue tiene muy buenos recuerdos, porque la estadía tenía su gracia con el laboratorio y con las vecindades, siempre se pasaba bien con los vecinos, eso es lo más bonito. Actualmente todavía tengo amistades de ese lago. Un hijo de los amigos que hicimos en esa época sigue trabajando ahí, todavía voy a visitarlo al Lago Riñihue. Y bueno también recuerdo con simpatía al lago Riñihue por su extraordinaria profundidad y por lo difícil que es trabajar allí. En este lago tuve mi primera anécdota. Resulta que para obtener muestras de agua en profundidad para analisis químicos y biológicos usamos unas botellas especiales que se bajan a distintos estratos del lago. Ya te imaginarás lo que es bajar una botella hidrográfica 300m y luego subirla al bote. ¡Pues yo en mi primer terreno en un intento de asistir a quien recogía la botella de fondo (300m) solo logré hacer que la botella se abriera antes de tiempo perdiendo toda esa agua! Fue gracioso pero frustrante a la vez. Esas muestras valen oro!

LC: ¡Oh arriba! JAJAJAJAJ

RA: (Entre risas) – El primer día de trabajo en el lago, cometí la estupidez de ayudar sin tener que hacerlo.

LC: Por meter la cuchara.

RA: Claro. Eso lo recuerdo siempre y bueno,



Hugo era estricto, no era fácil, era muy tirado a lo alemán, como el hizo su doctorado en Alemania, muy alemán. Así que tenía que hacer todo bien, por eso también me anotaba las fallas, las fallas en el terreno. Ejemplo, “se le olvido tal cosa”, falla número uno (risas), y después las descontaba. También el Hugo me inculco la responsabilidad y el horario, las horas -alemán-, si decía a las ocho era a las ocho, y eso me ayudo mantenerme en el instituto como uno de los primeros en llegar al trabajo siempre.

LC: *¿Qué recomendaciones les darías a los jóvenes limnólogos y cuáles serían tus sugerencias para la conservación de los ecosistemas acuáticos desde tu experiencia?*

RA: Mira, ojalá lleguen a controlar las emisiones de los terrenos agrícolas, los pesticidas que se van al agua, se van a los ríos y a los lagos. Eso es lo que está echando a perder a los lagos en general. Además, que traten de investigar y fijarse el que está echando basura, tratar de no sé, denunciar, por ejemplo.

LC: *¿Y cuál de todos los lagos que tu has conocido*

ha cambiado más respecto a como lo conociste?

RA: Bueno yo creo que el Lago Villarrica, nosotros siempre teníamos -con Vladimir- lugares cuando íbamos de pesca, cuando íbamos a sacar muestras siempre colocábamos nuestra lancha fácil en cualquier lugar, pero ahora todas las playas, todos los lugares bonitos están tomados, están encerrados. Lo mismo pasa en Calafquén, recién fui a Rupanco también estaba todo cerrado, todo. Entonces eso es lo que más molesta. Hace poco anduve recorriendo lugares como Coyhaique, e igual todo cerrado. Lo que conocí hace poco, no lo alcancé a conocer con Hugo Campos, porque falleció, fue el Lago Fagnano, siempre quisimos ir juntos a trabajar, pero quedaba muy lejos en Tierra del Fuego y en ese entonces no fue posible viajar. Para mí, la muerte de Hugo Campos mientras estábamos juntos en terreno ha sido una de las pérdidas mayores, aparte del incendio de la Facultad de Ciencias (2007) que también fue una pérdida tremenda, esas también son unas de las cosas que me marcaron en esta vida, como a mucha gente en la Universidad Austral de Chile.

LC: *Muchísimas gracias.*





SCL