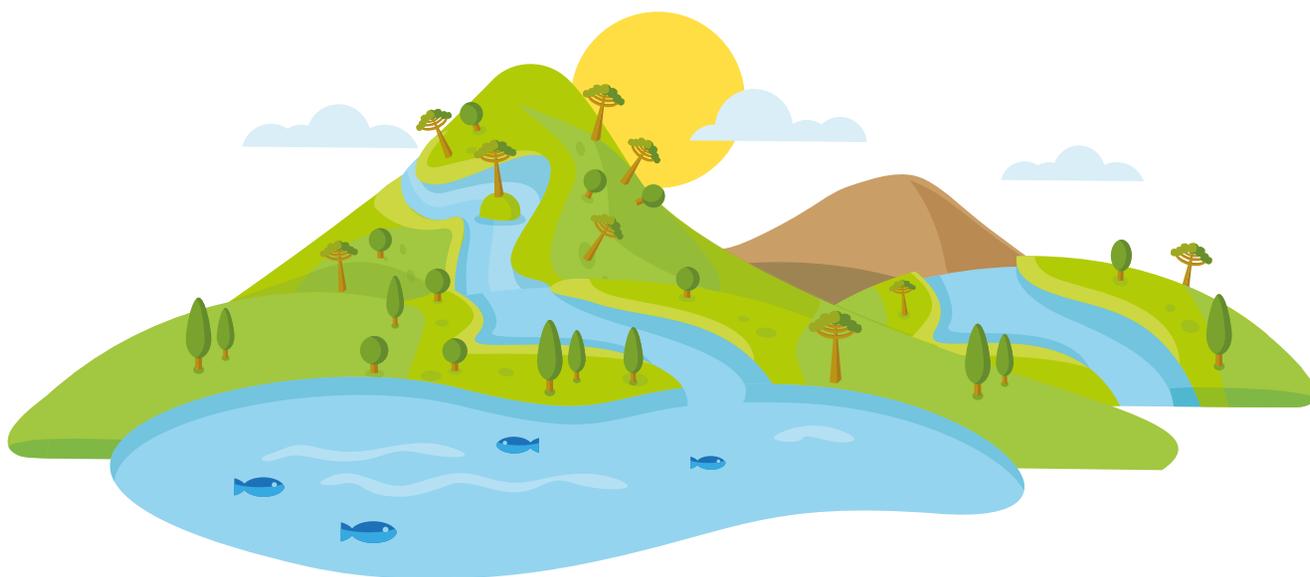




Guía para la Elaboración de
**Normas Secundarias
de Calidad Ambiental**
EN AGUAS CONTINENTALES
Y MARINAS 2017



Guía para la Elaboración de
**Normas Secundarias
de Calidad Ambiental**
EN AGUAS CONTINENTALES
Y MARINAS 2017



Ministerio del Medio Ambiente 2017
GOBIERNO DE CHILE
División de Recursos Naturales y Biodiversidad
Departamento de Conservación de Ecosistemas Acuáticos

Elaboración:

Karin Bardowicks

Dr.-Ing., Asesora Internacional, Departamento de Conservación de Ecosistemas Acuáticos, Programa de Expertos Integrados (CIM) de la GIZ (Alemania)

Supervisión:

Paula Díaz Palma

Jefa del Departamento de Conservación de Ecosistemas Acuáticos

Alejandra Figueroa Fernández

Jefa de la División de Recursos Naturales y Biodiversidad

Colaboraciones:

Paula Díaz Palma¹, Verónica Droppelmann Cuneo¹, Hernán Latuz Abarzua¹, Ivalú Astete Salazar¹, Daniel Parra Valdivia¹, Marcela Prado Toro¹, Juan Luis Orellana Caces¹, Felipe Paredes Vargas¹, Jaime Rovira Soto¹, Sofía Yáñez Diez¹.

Revisión:

Verónica González Delfín², Mónica Musalem Jara³, Diego San Miguel Cornejo³, Enrique Vargas Guerra⁴, Eugenia Valdebenito Flores⁴, Elizabeth Echeverría Ortega⁵, Stefan Woelfl⁶, Oscar Parra Barrientos⁷, Jorge Valdez Saavedra⁸.

Esta guía fue aprobada mediante Resolución Exenta del Ministerio del Medio Ambiente N° 1502 del 26 de diciembre de 2017

Diseño, diagramación e impresión

Imprenta Maval SpA

Impreso en Santiago de Chile,
febrero de 2018, con un tiraje
de 500 ejemplares.

Se permite la reproducción parcial o total del presente documento, citando la fuente.

Citese como: Ministerio del Medio Ambiente, 2017.

Guía para la Elaboración de Normas Secundarias de Calidad Ambiental en Aguas Continentales y Marinas.

Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile.

1: Ministerio del Medio Ambiente de Chile; 2: Superintendencia del Medio Ambiente de Chile; 3: Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas de Chile; 4: Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante de Chile, Armada de Chile; 5: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental; 6: Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas, Universidad Austral de Chile; 7: Centro de Ciencias Ambientales, EULA-Chile, Universidad Católica de la Santísima Concepción; 8: Facultad Ciencias del Mar y Recursos Biológicos, Universidad de Antofagasta.

Índice

Presentación	7
Acrónimos	9
1. Definiciones	10
2. Introducción	14
3. Marco Jurídico de Normas Secundarias de Calidad Ambiental	18
4. Planificación de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental	22
4.1 Área de la Aplicación de NSCA	25
4.1.1 Ríos	25
4.1.2 Lagos	27
4.1.3 Aguas Marinas	27
5. Elaboración del Anteproyecto	28
5.1 Inicio del Anteproyecto	31
5.1.1 Resolución de Inicio	31
5.1.2 Elaboración de Expedientes de Normas	31
5.1.3 Recepción de Antecedentes	31
5.1.4 Formación de un Comité Operativo	32
5.1.5 Formación de un Comité Operativo Ampliado	32
5.2 Selección de Áreas de Vigilancia	33
5.2.1 Criterios para la Selección de Áreas de Vigilancia	33
5.2.2 Aplicación en Ríos, incluyendo Estuarios	35
5.2.3 Aplicación en Lagos	37
5.2.4 Aplicación en Aguas Marinas	40
5.3 Selección de Parámetros	41
5.3.1 Información Disponible	42
5.3.2 Control del Estado Trófico	46
5.3.3 Fuentes Emisoras en la Cuenca o Cuerpo de Agua Marina	46
5.3.4 Parámetros en Estuarios	48
5.3.5 Metales	48
5.3.6 Sedimentos	49
5.3.7 Contaminantes Emergentes en Chile	49
5.3.8 Concentraciones Naturales	50
5.3.9 Impactos de Contaminantes en los Ecosistemas Acuáticos	51
5.4 Evaluación del Estado Actual de la Cuenca o Cuerpo de Agua Marina	57
5.4.1 Elaboración de Tablas de Clases de Calidad	57
5.4.2 Cumplimiento (Seguimiento de las NSCA)	73
5.4.3 Análisis del Estado Actual de la Cuenca o el Cuerpo de Agua Marina	75
5.5 Determinación de Valores Umbrales de las Normas	77
5.5.1 Determinación de los Objetivos para cada Parámetro y Área de Vigilancia	77
5.5.2 Determinación de Valores Umbrales para cada Parámetro y cada Área de Vigilancia	78
5.6 Redacción del Anteproyecto	80

6. Insumos para Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES)	82
7. Elaboración del Proyecto Definitivo de las NSCA	84
7.1 Proceso de la Participación Ciudadana	86
7.2 Consejos Consultivos	87
7.3 Proyecto Definitivo	88
8. Aprobación del Proyecto Definitivo	90
9. Seguimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental Vigentes	92
9.1 Programa de Medición y Control de la Calidad Ambiental (PMCCA)	94
9.2 Informe de Cumplimiento e Informe de Calidad	95
9.3 Planes de Prevención y de Descontaminación	96
10. Conclusiones y Desafíos	98
11. Referencias Bibliográficas	102

Presentación

“Guía para la elaboración de normas secundarias de calidad ambiental en aguas continentales y marinas”

Ríos, lagos, lagunas costeras, bahías y fiordos, representan para Chile y su sociedad, identidad territorial, cultural y ambiental, valorada desde todas estas perspectivas. En medio de este escenario, la comunidad vecina y visitante de este tipo de ambientes asume cada vez con mayor claridad y protagonismo, un rol en su conservación ecológica y en el mantenimiento de sus servicios ecosistémicos, tales como el turismo, la recreación, el agua potable, el paisaje y la pesca.

Bajo este enfoque, el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), cumpliendo con su labor de Conservación y Protección de los Ecosistemas Acuáticos en Chile, ha promovido la regulación sobre la calidad del agua de estos ambientes en el territorio nacional, a través de criterios científico-técnicos de reconocimiento nacional e internacional. De esta manera, desde que comenzó a operar la institucionalidad ambiental y dentro de un marco jurídico acorde, este Ministerio –y anteriormente la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA)–, ha elaborado normas de calidad de aguas para la protección de nuestras principales cuencas.

Como toda nueva herramienta, la elaboración de Normas Secundarias de Calidad Ambiental del Medio Hídrico, cuyo principal objetivo es establecer niveles de calidad del agua que permitan el mantenimiento y la recuperación de los ecosistemas que se desarrollan en ambientes acuáticos, no ha estado exenta de dificultades. Uno de los principales desafíos en la aplicación de estas regulaciones, se centra en que los criterios con los que se construyen, obligan a un alto nivel de tec-

nicismo, una metodología que permita trazabilidad y una adecuada comprensión del sustento teórico que se utilizó en el proceso. En la búsqueda de este equilibrio, se arribó en primera instancia a la elaboración del documento de referencia “Guía CONAMA para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas”, publicado en 2004. Si bien esta herramienta sirvió para fijar criterios metodológicos en cada ejercicio regulatorio, no fue lo suficientemente flexible para adaptarse a las distintas realidades ecológicas y sociales del territorio. Por ello, surgió la necesidad de avanzar en un segundo documento, que ahora se presenta, cuyo principal valor radica en ser un compendio de criterios técnicamente validados, con ejemplos de utilización, que permiten aplicar una metodología general de elaboración de Normas Secundarias de Calidad Ambiental en ecosistemas acuáticos, reconociendo las singularidades de cada tipo de ecosistema y las adaptaciones temporales necesarias, de acuerdo con la información ambiental disponible.

Así, transcurrida más de una década desde la elaboración de una primera guía de normas secundarias para el medio acuático, me es muy grato presentar la “Guía para la elaboración de normas secundarias de calidad ambiental en aguas continentales y marinas”, iniciativa del Ministerio del Medio Ambiente, en colaboración con la Cooperación Alemana y su Programa de Expertos Integrados (CIM). Esta guía cumple con el objetivo de esta Cartera Ministerial, de liderar la generación de políticas públicas y regulaciones en el ámbito de los ecosistemas acuáticos, promoviendo buenas prácticas y mejorando la educación ambiental ciudadana. Para su edición, convocamos a destacados expertos del país, quienes revisaron y enriquecieron este documen-

to, incluyendo los criterios técnicos pertinentes para resguardar, en su conjunto, la calidad biológica de los ecosistemas acuáticos del país. Por todo esto, quiero agradecer a este grupo de profesionales y académicos, su importante aporte en la presente publicación.

La publicación de la presente guía, se trata de un paso importante para adaptarnos, entre otros aspectos, a los desafíos ambientales que impone el cambio climático

y los diferentes cambios socio-ambientales de esta nueva época.

Quiero invitar a quienes lean esta guía, a analizar cada uno de los criterios aquí propuestos con la perspectiva del paso del tiempo, del arribo de nuevas tecnologías y mejoras en el procesamiento de la información. Todo lo anterior sin duda, hará necesario futuras actualizaciones del documento aquí presentado.

Marcelo Mena Carrasco
Ministro del Medio Ambiente
Diciembre de 2017

Lista de Acrónimos

AGIES	Análisis General de Impacto Económico y Social
AV	Área de Vigilancia
CMS	Consejo de Ministros para la Sustentabilidad
CNR	Comisión Nacional de Riego
DEM	Modelo Digital de Elevación
DGA	Dirección General de Aguas
DIRECTEMAR	Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante
DOH	Dirección de Obras Hidráulicas
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
FIA	Fundación para la Innovación Agraria
INIA	Instituto de Investigaciones Agropecuarias
MMA	Ministerio del Medio Ambiente
NSCA	Normas Secundarias de Calidad Ambiental
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OMS	Organización Mundial de la Salud
PAC	Participación Ciudadana
PMCCA	Programa de Medición y Control de la Calidad Ambiental
POAL	Programa de Observación del Ambiente Litoral (DIRECTEMAR)
RCA	Resolución de Calificación Ambiental (SEA)
RIL	Residuo Industrial Líquido
SAG	Servicio Agrícola y Ganadero
SEA	Servicio de Evaluación Ambiental
SEREMI	Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente
SERNAGEOMIN	Servicio Nacional de Geología y Minería
SERNAPESCA	Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura
SIG	Sistema de Información Geográfica
SISS	Superintendencia de Servicios Sanitarios
SMA	Superintendencia del Medio Ambiente
SUBPESCA	Subsecretaría de Pesca y Acuicultura

1

Definiciones





Según Ley 19.300 Sobre Bases Generales del Medio Ambiente, Artículo 2, letras (versión 01/06/2016):

- a) **Biodiversidad o Diversidad Biológica:** la variabilidad de los organismos vivos, que forman parte de todos los ecosistemas terrestres y acuáticos. Incluye la diversidad dentro de una misma especie, entre especies y entre ecosistemas;
- a^{er}) **Cambio Climático:** se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables;
- b) **Conservación del Patrimonio Ambiental:** el uso y aprovechamientos racionales o la reparación, en su caso, de los componentes del medio ambiente, especialmente aquellos propios del país que sean únicos, escasos o representativos, con el objeto de asegurar su permanencia y su capacidad de regeneración;
- c) **Contaminación:** la presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones o concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente;
- d) **Contaminante:** todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibra-

ción, ruido, o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental;

- e) **Daño Ambiental:** toda pérdida, disminución, detrimento o menoscabo significativo inferido al medio ambiente o a uno o más de sus componentes;
- g) **Desarrollo Sustentable:** el proceso de mejoramiento sostenido y equitativo de la calidad de vida de las personas, fundado en medidas apropiadas de conservación y protección del medio ambiente, de manera de no comprometer las expectativas de las generaciones futuras;
- II) **Medio Ambiente:** el sistema global constituido por elementos naturales y artificiales de naturaleza física, química o biológica, socioculturales y sus interacciones, en permanente modificación por la acción humana o natural y que rige y condiciona la existencia y desarrollo de la vida en sus múltiples manifestaciones;
- m) **Medio Ambiente Libre de Contaminación:** aquél en el que los contaminantes se encuentran en concentraciones y períodos inferiores a aquéllos susceptibles de constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental;
- ñ) **Norma Secundaria de Calidad Ambiental:** aquélla que establece los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la protección o la conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza;
- o) **Normas de Emisión:** las que establecen la cantidad máxima permitida para una contaminante medida en el efluente de la fuente emisora;
- p) **Preservación de la Naturaleza:** el conjunto de políticas, planes, programas, normas y acciones, destinadas a asegurar la mantención de las condiciones que hacen

posible la evolución y el desarrollo de las especies y de los ecosistemas del país;

- q) **Protección del Medio Ambiente:** el conjunto de políticas, planes, programas, normas y acciones destinados a mejorar el medio ambiente y a prevenir y controlar su deterioro;
- r) **Recursos Naturales:** los componentes del medio ambiente susceptibles de ser utilizados por el ser humano para la satisfacción de sus necesidades o intereses espirituales, culturales, sociales y económicos;
- s) **Reparación:** la acción de reponer el medio ambiente o uno o más de sus componentes a una calidad similar a la que tenían con anterioridad al daño causado o, en caso de no ser ello posible, restablecer sus propiedades básicas;
- t) **Zona Latente:** aquélla en que la medición de la concentración de contaminantes en el aire, agua o suelo se sitúa entre el 80% y el 100% del valor de la respectiva norma de calidad ambiental; y
- u) **Zona Saturada:** aquélla en que una o más normas de calidad ambiental se encuentran sobrepasadas.

Adicionalmente para este documento se definen los siguientes términos:

- i) **Acuífero:** es una formación geológica, como depósitos no consolidados o rocas, que tienen suficiente permeabilidad para permitir almacenar aguas subterráneas en su interior y transmitirla de forma natural, a través de sus poros y fracturas (D.S. N°46/2002). Los acuíferos constituyen una fracción importante de los recursos hídricos disponibles para consumo humano y para la mantención de la integridad de cuerpos de aguas superficiales, como ríos, estuarios, lagos y otros humedales.
- ii) **Área de Vigilancia (AV):** es un área seleccionada para el control de su calidad ambiental. En ríos un Área de Vigilancia es el área desde donde drena el agua hasta el punto final de la subcuenca, en el cual se controlan las NSCA. En un lago es una sección del lago. En aguas marinas es un área ección, que representa una sección del ecosistema marino.

iii) Cuenca hidrográfica: es un territorio que drena naturalmente a un río principal, el cual desemboca al mar, a lagos o humedales endorreicos, o infiltra permanente al agua subterránea. Una cuenca hidrográfica de un lago incluye el área del lago y todo territorio que drene a este mismo. El conjunto de las AVs debe cubrir la cuenca hidrográfica.

iv) Drenaje ácido: es el escurrimiento de soluciones ácidas sulfatadas, frecuentemente con un contenido significativo de metales disueltos, resultado de la oxidación química y biológica de minerales sulfurados y de la lixiviación de metales pesados asociados. Las reacciones de oxidación ocurren en forma natural, y se aceleran por el aumento de exposición de la roca al oxígeno y al agua y por la acción catalizadora de algunas bacterias (SERNAGEOMIN, 2002).

v) Ecosistema Acuático: es una comunidad de componentes bióticos de todos los niveles tróficos (desde bacterias y hongos hasta vertebrados, anfibios y aves), y componentes abióticos (agua, clima, espacio geográfico, entre otros) en un hábitat acuático, como ríos, lagos, otros humedales, aguas marinas y también agua subterránea.

vi) Estación de Referencia: un punto de control en la cuenca, identificado durante el análisis integral como el que representa la condición más prístina de ésta y que puede ser utilizado para la fijación de las clases 1 y 2.

vii) Estado trófico: son características claves de los ecosistemas para poder entender, cuantificar e investigar sus variaciones de nutrientes y clorofila en el tiempo, asociadas a procesos naturales o actividades antrópicas. Dependiendo de la clasificación que se utilice, se distinguen los siguientes niveles de indicadores del estado trófico: ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipertrófico.

viii) Estuario: cuerpo de agua costero ubicado en el tramo final de un curso fluvial hasta la línea de más baja marea en el mar, donde el agua dulce proveniente del drenaje continental o insular, interactúa con el agua de mar en forma temporal o permanente.

viii) Indicador Biológico: o bioindicador, es un taxa (especie, género o familia), cuya presencia/ausencia y abundancia, indica una determinada condición asociada a una o más variables ambientales. Existen numerosos indicadores biológicos para diferentes niveles tróficos, por ejemplo para macroinvertebrados y peces. Existen Índices Bióticos construidos en función de los indicadores biológicos (Ejemplos ChBMWP, SIGNAL 2).

ix) Evaluación del Riesgo Ecológico (ERE): se realiza a través de análisis de bioensayos y muestra una estimación de la probabilidad que ocurra un efecto ecológico adverso para la integridad de los ecosistemas naturales y de los servicios ecosistémicos que ellos proveen, como resultado de la exposición a compuestos estresantes relacionados con la actividad humana.

x) Subcuenca: una subcuenca es una separación de la cuenca, por ejemplo un segmento de un río o un afluente al recurso hídrico principal. La división de la subcuenca da origen a las subsubcuencas.

Calidad Ambiental del Agua: medida de la idoneidad del agua para alguna función particular, basada en características físicas, químicas y biológicas.

Macrofauna bentónica: organismos que habitan en sustrato blando y que son retenidos por un tamiz de un milímetro de abertura.

Suelo Marino: lecho de la plataforma continental, constituido por material no consolidado, principalmente de origen sedimentario, formado por componentes orgánicos y minerales, donde ocurren procesos físicos, químicos y biológicos; sirve de sustrato y hábitat del bentos y contribuye con el desarrollo de la biota acuática, entre otros, mediante interacciones de la red trófica. (SEA, 2015).

Humedal: según la Convención RAMSAR (1971), la definición de humedal abarca todos los lagos y ríos, acuíferos subterráneos, pantanos y marismas, pastizales húmedos, turberas, oasis, estuarios, deltas y bajos de marea, manglares y otras zonas costeras, arrecifes coralinos, y sitios artificiales como estanques piscícolas, arrozales, reservorios y salinas.

2

Introducción





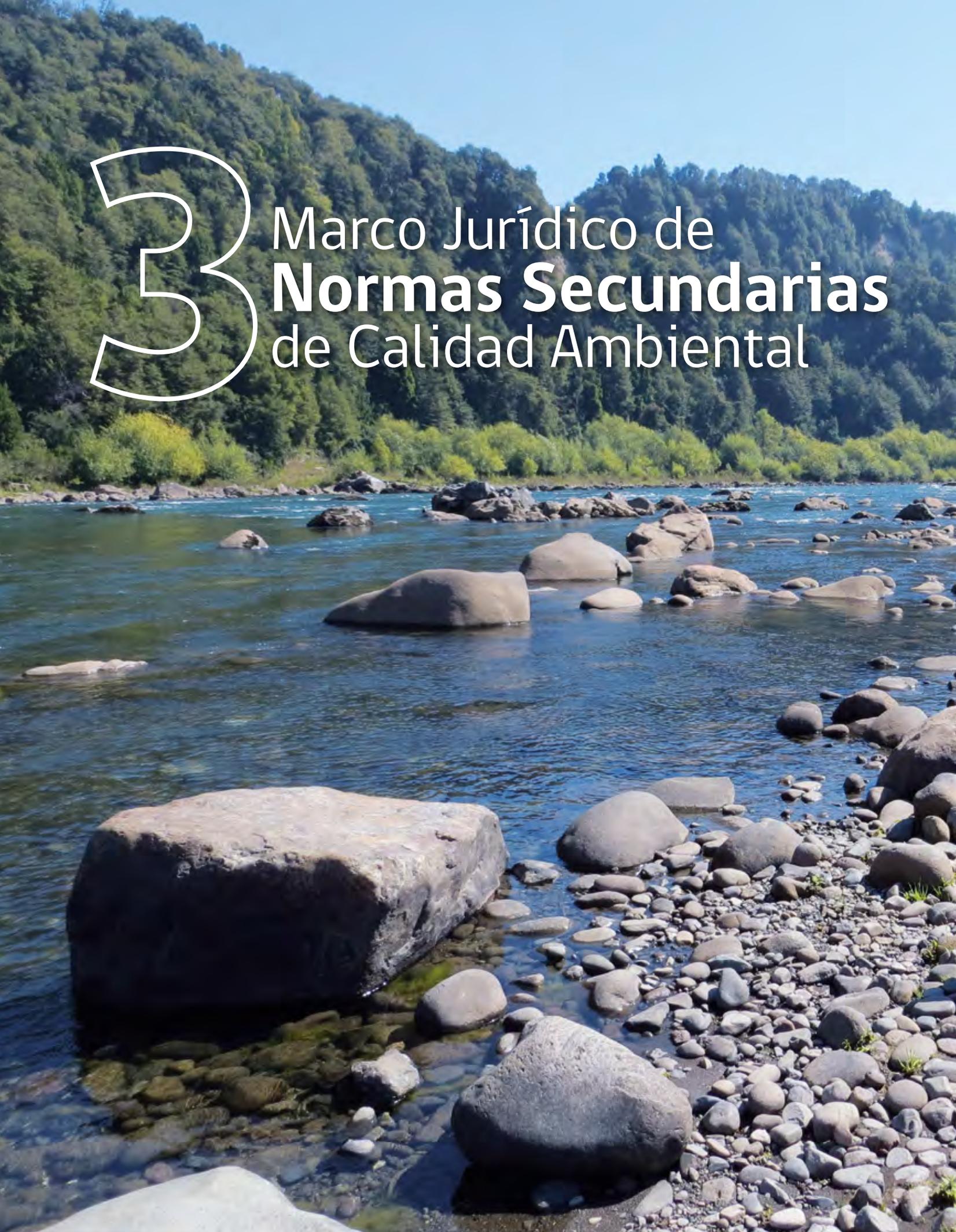
El Ministerio del Medio Ambiente está coordinando la elaboración de Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA) en aire, agua y suelo (Ley 19.300). Particularmente, las referencias a NSCA del presente documento, se entenderán como aquellas que aplican a ríos, lagos y aguas marinas. Las NSCA son instrumentos regulatorios cuyo objetivo es conservar o preservar los ecosistemas acuáticos a través del mantenimiento o mejoramiento de la calidad de las aguas continentales y marinas. Las NSCA apoyan el control del impacto de contaminantes de fuentes puntuales y difusas en la calidad del agua y su impacto en los ecosistemas. Así, un objetivo de las NSCA es el mantenimiento de las buenas condiciones en subcuencas con poca intervención antrópica y en aquellas de alto valor de biodiversidad, especialmente donde se encuentran especies nativas amenazadas, es decir, con problemas de conservación. Otro foco importante incluido en las NSCA, es proteger a los humedales del proceso de eutrofización y de otros procesos de contaminación. El enfoque ecosistémico permite asegurar la provisión de bienes y servicios de los ecosistemas (riego, turismo, pesca artesanal, etc.), entre otros el suministro permanente de agua

con condiciones adecuadas de calidad, como establecen los Planes de Seguridad del Agua (PSA) de la OMS. La aproximación de cuenca en la aplicación de estos instrumentos regulatorios es muy importante, así en el caso de NSCA de ríos, se norman las cuencas hidrográficas completas incluyendo los estuarios. Las NSCA son uno de los instrumentos considerados en el Plan de Acción de Humedales de la Estrategia Nacional de Biodiversidad y debieran incluirse en la Gestión Integrada de Cuencas, dado su alcance territorial y social. Adicionalmente, durante la elaboración de las NSCA y con el monitoreo biológico de las normas vigentes, se incrementa el conocimiento de especies en los humedales que forman parte de estas cuencas reguladas.

En este contexto, el Ministerio del Medio Ambiente reconoce en la presente guía el instrumento de referencia oficial para la elaboración de las NSCA y propone utilizarla como una orientación metodológica para ello.

Es de considerar que en la Evaluación del Desempeño Ambiental de Chile, llevada a cabo por la OCDE en 2016, se incluye la siguiente recomendación: “Seguir expandiendo la cobertura de las normas sobre calidad del agua y acelerar la implementación de la plataforma prevista de información sobre calidad del agua e información ecológica, con el propósito de recopilar y publicar sistemáticamente información sobre la calidad del agua; perfeccionar el monitoreo de la contaminación del suelo y de la extracción de agua para proteger los ecosistemas, en particular los humedales.” (OCDE, 2016). Así, entre otros, esta guía viene a formalizar un proceso que es específicamente recomendado, en un sentido positivo, por parte de la comunidad internacional.

Por otra parte, las NSCA vigentes en Chile, a la fecha de publicación de este documento, son las siguientes cuencas: río Serrano (2010), lago Llanquihue (2010), lago Villarrica (2013), río Maipo (2015) y río Biobío (2015).

A scenic landscape featuring a river with large, smooth boulders in the foreground and middle ground. The river flows through a lush, green forested valley under a clear blue sky. The text is overlaid on the upper left portion of the image.

3

Marco Jurídico de
Normas Secundarias
de Calidad Ambiental



El marco jurídico de las NSCA se compone de dos regulaciones principales, la Ley 19.300 Sobre Bases Generales del Medio Ambiente de 1994 (última versión de 2016) y el Decreto Supremo N° 38 de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente.

En la **Ley 19.300 Sobre Bases Generales del Medio Ambiente** se encuentran los siguientes artículos sobre las NSCA:

Artículo N° 32, segundo y los siguientes incisos:

“Mediante decreto supremo que llevará las firmas del Ministro del Medio Ambiente y del ministro competente según la materia de que se trate, se promulgarán las normas secundarias de calidad ambiental.

Un reglamento establecerá el procedimiento a seguir para la dictación de normas de calidad ambiental, que considerará a lo menos las siguientes etapas: análisis técnico y económico, desarrollo de estudios científicos, consultas a organismos competentes, públicos y privados, análisis de las observaciones formuladas y una adecuada publicidad.

Establecerá además los plazos y formalidades que se requieran para dar cumplimiento a lo dispuesto en este artículo y los criterios para revisar las normas vigentes.

Toda norma de calidad ambiental será revisada por el Ministerio del Medio Ambiente a lo menos cada cinco años, aplicando el mismo procedimiento antes señalado.

La coordinación del proceso de generación de las normas de calidad ambiental, y la determinación de los programas y plazos de cumplimiento de las mismas, corresponderá al Ministerio del Medio Ambiente.”

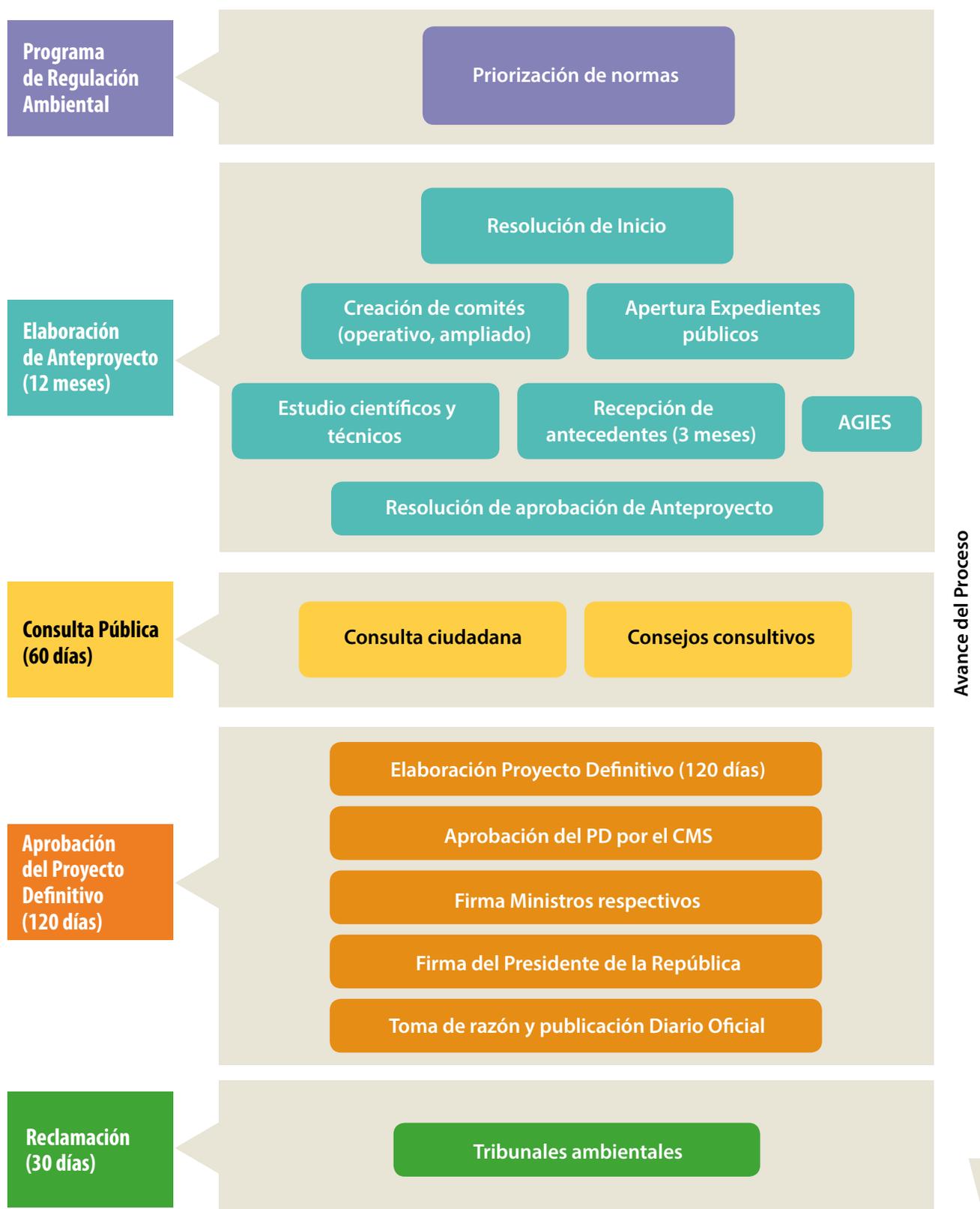
Artículo N° 52: *Se presume legalmente la responsabilidad del autor del daño ambiental, si existe infracción a las normas de calidad ambiental, a las normas de emisiones, a los planes de prevención o de descontaminación, a las regulaciones especiales para los casos de emergencia ambiental o a las normas sobre protección, preservación o conservación*

ambientales, establecidas en la presente ley o en otras disposiciones legales o reglamentarias. Con todo, sólo habrá lugar a la indemnización, en este evento, si se acreditare relación de causa a efecto entre la infracción y el daño producido.”

El **D.S. N° 38/2012 del MMA: Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión**, que reemplaza al D.S. N° 93/1995, y que establece el procedimiento para la dictación de normas de calidad ambiental, primarias y secundarias y de revisión de dichas normas. El esquema de la Figura 1 muestra las etapas del proceso de la elaboración de las normas.

La priorización de las NSCA se publica en los Programas de Regulación Ambiental elaborados por el Ministerio del Medio Ambiente. A la fecha de publicación de la presente guía, está vigente el Programa de Regulación Ambiental 2016-2017, mediante RE N°177 de 2016.

Figura 1: Etapas y plazos de la elaboración de NSCA (según D.S. N° 38/2012, MMA).



4

Planificación de las **Normas Secundarias** de Calidad Ambiental





Antes de priorizar la elaboración de NSCA para una determinada cuenca, se debe realizar un “análisis integral” de la cuenca propuesta. Este análisis debe considerar la información necesaria para elaborar el Anteproyecto de las NSCA y el Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES).

Para lograr este objetivo se debe completar la información necesaria para evaluar el estado integral de la cuenca. Además del “desarrollo de estudios científicos”, según D.S. N° 38/2012 MMA, se debe recopilar, ordenar y analizar toda la información disponible para la cuenca a normar.

Para el análisis integral, resulta especialmente relevante levantar información en relación con los siguientes aspectos:

- Datos físico-químicos de la cuenca desde bases de datos disponibles y de preferencia oficiales. Ejemplos de bases de datos utilizadas en NSCA realizadas son: DGA, DIRECTEMAR, MMA, SAG, INIA, SEA (RCAs), SMA, SISS, proyectos, publicaciones científicas y tesis de universidades, entre otros.
- Información biológica y ecotoxicológica (MMA, estudios, registros, base de datos, SUBPESCA, SERNAPECA, SEA, SMA, RCAs-proyectos, RCAs-estudios y seguimiento, proyectos, publicaciones y tesis de universidades, SAG, entre otros).
- Revisión de las estaciones de monitoreo actuales de la DGA, la DIRECTEMAR (estuarios, ríos y lagos navegables y aguas marinas) y otras instituciones (MMA, INIA, SAG,

redes privadas, proyectos, publicaciones y tesis de universidades, entre otros) para complementar las redes disponibles, abordar los parámetros y puntos de monitoreo necesarios y llenar los vacíos de información que permitan un conocimiento integral de la cuenca priorizada.

- Datos de sedimentos: SERNAGEOMIN, DGA, DIRECTEMAR, universidades.
- Información geoquímica (para determinar el origen natural de parámetros): SERNAGEOMIN, universidades.
- Información hidrométrica (caudales, canales de riego, precipitación, trasvases de agua, entre otros): DGA, DOH, CNR, entre otros.
- Información hidromorfológica (por ejemplo sobre la conectividad y el hábitat).
- Fuentes puntuales: D.S. N° 90/2000 (parámetros descargados, incumplimientos), RCAs (parámetros descargados, incumplimientos), otros parámetros típicos del rubro (ver capítulo 5.3.3): SMA y SISS.
- Fuentes difusas principales: agricultura, riego con purines, drenaje ácido de rocas, agua de contacto de minas, plantaciones forestales, entre otros.
- Otros instrumentos de regulación, por ejemplo Planes de Restauración Ambiental y Social (PRAS) y Acuerdos de Producción Limpia (APL).
- Observaciones de impactos sobre la biota (por ejemplo, muerte o malformación de peces, aves acuáticas o anfibios) y sobre las personas (por ejemplo, intoxicaciones o alergias al bañarse), eutrofización, florecimientos algales tóxicos y no tóxicos, marea roja, entre otros.
- Aspectos sociales y económicos para elaboración AGIES: beneficios y costos
- Análisis de los servicios ecosistémicos (beneficios): por ejemplo, turismo, pesca (industrial y artesanal), agua potable.
- Información Hidrogeológica: aguas subterráneas que afloran y mantienen los recursos hídricos superficiales

(pozos de DGA, Aguas Potables Rurales (APRs, SISS) y agricultura).

- Otros aspectos relevantes e información específica del área de aplicación de las NSCA, por ejemplo impactos del cambio climático.
- Toda la información espacial se puede compilar en formato SIG y/o en Google Earth.
- Otros antecedentes relevantes.

Para trabajar los datos físico-químicos, biológicos y ecológicos se debe construir una base de datos, por ejemplo en formato Excel, distinguiendo cada Área de Vigilancia delimitada para las normas. Para toda la información, se debe establecer y actualizar una lista de los metadatos con cada tipo de información de la que se disponga para elaborar las normas.

Idealmente, los datos recolectados desde diferentes bases de datos (DGA, DIRECTEMAR, SERNAGEOMIN, etc.), deben tener un estándar mínimo de validación. En este sentido es bueno revisar algunos aspectos, tales como si provienen de un laboratorio acreditado, los límites de detección y de cuantificación, también deben ser considerados que tienen los métodos utilizados para su medición, materiales de referencia, entre otros.

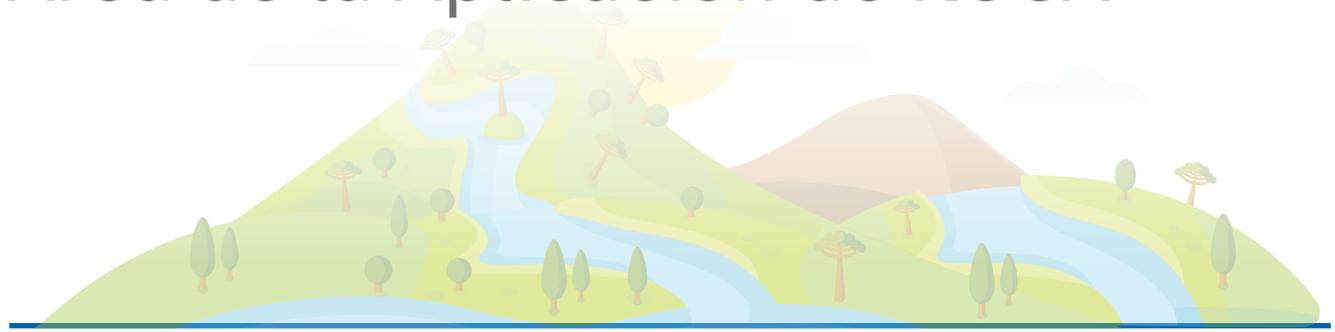
Para analizar la calidad del agua en la cuenca, se deben considerar los argumentos expuestos en el capítulo 5.3.8 de la presente guía, sobre efectos naturales en la calidad de agua.

La pregunta principal de planificación de una norma secundaria, a plantearse durante el análisis integral de esta: ¿Es suficiente la información disponible para iniciar el proceso de las NSCA, o se necesitan realizar más estudios? En los siguientes capítulos se describe para qué se necesita y cómo se debe usar la información antes mencionada.

En cuanto a la información que falte para el análisis integral, ésta se puede completar con estudios y colaboraciones con Juntas de Vigilancia, Mesas de Agua, otros Servicios Públicos como DGA, DIRECTEMAR, SISS, SAG, INIA, universidades, monitoreos privados, proyectos con fondos regionales, entre otros. El resultado del análisis integral entrega el fundamento para la priorización de cuencas a normar.

4.1

Área de la Aplicación de NSCA



Adicionalmente a la aplicación de las NSCA en ecosistemas potencialmente contaminados, se destaca la importancia de proteger ríos, lagos, lagunas y aguas marinas que tengan altos grados de pristinidad o que evidencien muy poca intervención antrópica y un alto valor real o potencial en biodiversidad.

4.1.1 Ríos

Las NSCA de ecosistemas acuáticos fluviales se aplican en Cuencas Hidrográficas, normalmente desde las cabeceras de cuenca hasta las desembocaduras (en el mar u otro). En algunos casos, cuando existen datos y está garantizado el acceso para tomar las muestras, se pueden incluir lagos y embalses que formen parte de la cuenca de un río, como un Área de Vigilancia adicional.

4.1.1.1 Los Estuarios

Los estuarios corresponden a cuerpos de agua costeros semi-cerrados, donde el agua continental se mezcla con el agua marina (Martin & Mc Cutcheon, 1999), lo que determina la existencia de gradientes de salinidad, temperatura y densidad. Lo anterior, sumado al fenómeno de marea, hace que los procesos de mezcla en estuarios sean más complejos que los asociados a ríos.

Los estuarios son un parte importante de la cuenca a la que pertenecen. La EPA se refiere a estos como “La

variedad de hábitats estuarios alberga una abundante y diversa vida silvestre. Aves costeras y marinas, peces, cangrejos y langostas, mamíferos marinos, almejas y otros crustáceos, gusanos marinos y reptiles son algunos de los animales que viven dentro y alrededor de los estuarios. Los estuarios son lugares donde el río se encuentra con el mar, con ecosistemas muy diferentes unos de otros. Los estuarios son críticos para la supervivencia de muchas especies. Miles de aves, mamíferos, peces y otros tipos de vida silvestre dependen de los hábitats estuarios para vivir, alimentarse y reproducirse. Los estuarios proveen puntos ideales para que los aves migratorias descansen y se reabastezcan durante sus jornadas. Muchas especies de peces y crustáceos dependen de las aguas estuarinas como lugares seguros para reproducirse, de aquí el sobrenombre dado a los estuarios de “cunas marinas”. Cientos de organismos marinos, incluyendo peces de alto valor comercial, dependen de los estuarios para algún punto de su desarrollo. El agua drenada de tierras arriba trae sedimentos, nutrientes y otros contaminantes, según el agua fluye a través de ellos, permite que se filtren muchos de los contaminantes y sedimento. Este proceso de filtración genera aguas más claras y limpias, lo cual beneficia tanto a las personas como a la vida marina. La vegetación en los humedales también actúa como amortiguador natural entre la tierra y el océano absorbiendo las inundaciones y disipando las marejadas. Esto protege los organismos

de tierra adentro así como también las propiedades, de tormentas y daños por inundaciones. La vegetación de los estuarios también ayuda a prevenir la erosión y a estabilizar las costas. La economía de muchas áreas costeras está basada principalmente en la belleza natural de los estuarios. Cuando estos recursos están en peligro, así también la subsistencia de las personas que trabajan y viven ahí." (<https://espanol.epa.gov/espanol/los-estuarios>, descargado en el 04/01/2017).

Sobre la base de su importancia para las cuencas de los ríos y el mar, y porque forman parte de la Cuenca Hidrográfica completa, es importante proteger los estuarios. Por esta razón, en las NSCA, se deben considerar dentro de un Área de Vigilancia. En muchas cuencas hay insuficiente información físico-química y biológica de los estuarios, por eso se recomienda completar esta información durante el Análisis Integral (capítulo 4), antes el proceso de la priorización del río.

Dado los gradientes físico-químicos de los estuarios y como estos influyen en la capacidad de dilución de los contaminantes, se sugiere incorporar, excepcionalmente, más de un punto de control de contaminantes en las Áreas de Vigilancia que los contengan.

4.1.1.2 Caudales Ecológicos

En las regulaciones actuales existen dos herramientas con las cuales el Ministerio del Medio Ambiente puede determinar caudales ecológicos para recuperar cuencas amenazadas:

- Decreto Supremo N°14 de 2012 que aprueba el Reglamento para la Determinación del Caudal Ecológico Mínimo.
- Planes de Manejo para la Protección de Ecosistemas Acuáticos según Artículo 42° de la Ley General de Bases de Medio Ambiente N°19.300, que menciona en el punto a) la "Mantenimiento de caudales de agua".

Con respecto al D.S. N°14/2012, los Artículos 7° y 8° establecen lo siguiente:

"Artículo 7°.- Son casos calificados aquellos en los que se identifiquen riesgos en la calidad de las aguas y/o el hábitat

de magnitud tal que comprometan la supervivencia de las especies, de acuerdo a alguno de los siguientes criterios, los que deberá tener en consideración el Ministerio del Medio Ambiente al emitir su informe:

a) Cuando se pretenda conservar aquellas especies hidrobiológicas que se encuentren dentro de alguna de las categorías de conservación, a excepción de aquellas clasificadas como Preocupación Menor o Casi Amenazada, de acuerdo al artículo 37 de la ley N° 19.300 y su Reglamento, y el hábitat tenga una calidad tal que permita la sustentación de las especies;

b) Cuando existan fuentes superficiales que se encuentren localizadas en cualquier porción de territorio, delimitadas geográficamente y establecida mediante acto de autoridad pública, colocada bajo protección oficial con la finalidad de asegurar la diversidad biológica, tutelar la preservación de la naturaleza y conservar el patrimonio ambiental, o aguas arriba de éstas, que tengan una calidad tal que permita la sustentación de las especies protegidas del área, o

c) Cuando existan impactos significativos que alteren factores bióticos y abióticos, físicos, químicos y biológicos, que aseguran el resguardo de la estructura, dinámica y funcionamiento de los ecosistemas asociados a la fuente de agua superficial, con el fin de mantener los servicios ecosistémicos que prestan. Para estos efectos se considerarán las siguientes variables ambientales:

- i. Los valores de las concentraciones en la calidad de las aguas del cauce, en relación a las normas de calidad ambiental vigentes;*
- ii. La predicción de pérdidas significativas de refugio y/o hábitat que puedan afectar las zonas de alimentación, reproducción o bien puedan producir un menoscabo en las comunidades y poblaciones acuáticas identificadas;*
- iii. Cuando por efecto de la disminución de caudal o modificación del régimen hidrológico natural, pueda afectar la dinámica del ecosistema favoreciendo la proliferación de especies exóticas introducidas, poniendo en riesgo los sitios de alimentación, reproducción y/o refugio de especies en categorías de conservación, y*

- iv. Cuando las alteraciones de la estructura, dinámica y funcionalidad del ecosistema, derivados de la disminución del caudal, den origen a un plan de manejo de acuerdo a lo establecido en la letra a) del artículo 42 de la ley N° 19.300.

Artículo 8°.- El Ministerio del Medio Ambiente y la Dirección General de Aguas podrán coordinarse para elaborar estudios sobre las condiciones sitio-específicas de cuencas, subcuencas y/o zonas hidrográficas del país que permitan a la autoridad competente contar con mayor información para determinar el caudal ecológico mínimo conforme a este título.”

En relación con los Planes de Manejo para la Protección de Ecosistemas Acuáticos, no existen aplicaciones en Chile, no obstante se pueden aplicar en paralelo a las NSCA y posteriormente en un Plan de Descontaminación derivado del incumplimiento de las mismas. Respecto de la relación entre NSCA y caudales ecológicos, dependiendo de su alcance jurídico, se podría evaluar incluir éstos últimos como parte de las normas en cuencas donde existen grandes presiones sobre los ecosistemas acuáticos relacionados con el caudal.

4.1.2 Lagos

Las NSCA de lagos se aplican en el cuerpo lacustre completo o en toda su cuenca hidrográfica. En el lago esto incluye las zonas litorales y pelágicas y epilimnion e hipolimnion, en caso de estratificación. Si un lago se comporta como meromóctico, es recomendable incluir también el monimolimnion. Asimismo, es recomendable que los afluentes al lago sean incluidos en la Red de Observación de las normas.

4.1.3 Aguas Marinas

La aplicación de las NSCA en aguas marinas debe considerarse como objetivos principales, la descontaminación de zonas con mucha presión antrópica y la protección de ecosistemas acuáticos sensibles con una biodiversidad de alto valor. Por ejemplo, para el resguardo de especies endémicas en los fiordos del sur de Chile o de las especies endémicas y migratorias en las áreas marinas protegidas. La aplicación de las normas en sistemas marinos puede contemplar desde una simple bahía, fiordo, marisma u otro tipo de ecosistema, hasta una ecoregión marina, dependiendo de la información disponible en cada caso.

5

Elaboración del
Anteproyecto





La elaboración del Anteproyecto de NSCA supone trabajar los siguientes aspectos:

- Inicio del Anteproyecto
- Selección de Áreas de Vigilancia
- Selección de Parámetros
- Evaluación del Estado Ecológico Actual de la Cuenca o del Cuerpo de Agua Marina
- Determinación de Valores Umbrales de las normas
- Análisis General de Impacto Económico y Social
- Redacción del Decreto del Anteproyecto

Para una adecuada administración se debe construir una Carta Gantt con plazos realistas de cada una de las etapas de la elaboración del Anteproyecto y que consideren los plazos mencionados en el D.S. N° 38/2012 MMA. Durante la elaboración del Anteproyecto, el cumplimiento de las tareas de la Carta Gantt se debe revisar periódicamente. Para las reuniones oficiales se deben redactar actas con el objeto de lograr posteriormente la necesaria trazabilidad de la información asociada a criterios y decisiones tomadas durante el proceso de elaboración del Anteproyecto de normas.

5.1

Área de la Aplicación de NSCA



5.1.1 Resolución de Inicio

La Resolución de Inicio, corresponde a una Resolución Exenta que elabora el Ministerio del Medio Ambiente, que corresponde a un acto jurídico-administrativo que da validez legal al inicio de normas. Dicha Resolución es firmada por el Ministro del Medio Ambiente. Esta Resolución se debe preparar en conjunto con la División Jurídica y se debe publicar en el Diario Oficial. La Resolución señalará los contaminantes a normar y el plazo de recepción de antecedentes sobre la materia. Desde la publicación en el Diario Oficial, el Reglamento vigente (D.S. N°38/2012, MMA) establece un plazo de 12 meses para elaborar y publicar el Anteproyecto de normas.

5.1.2 Elaboración de Expedientes de Normas

Los Expedientes deben elaborarse y actualizarse según los artículos N° 8 y N° 9 del D.S. N° 38/ 2012 MMA. En los Expedientes se deben incluir todos los antecedentes que se utilicen para la elaboración de NSCA, incluyendo resoluciones jurídicas, actas de reuniones e informes técnicos que den cuenta del procedimiento de elaboración de las NSCA, entre otros. Para lo anterior, cada página de los documentos agregados a los Expedientes se debe foliar, según el orden temporal de su ingreso (Art. 8, D.S. N° 38/2012 MMA). Los Expe-

dientes estarán en un formato físico (papel, CDs, etc.) y digital. Este último mediante una plataforma pública que está disponible para la consulta de terceros interesados, en la página web del Ministerio del Medio Ambiente (a la fecha de publicación de la presente guía esta plataforma corresponde a: <http://planesynormas.mma.gob.cl> (agua)). Los documentos físicos se deben escanear y subir a la plataforma de planes y normas, foliados según se explica precedentemente. Archivos muy grandes o pesados, por ejemplo estudios técnicos, deben subirse como archivos zip o equivalentes a la plataforma. Los documentos originales deben guardarse en las carpetas de los Expedientes físico en las oficinas del MMA, particularmente en las oficinas de la Secretaría Regional Ministerial correspondiente a la Región en que se emplaza principalmente la cuenca normada. Para facilitar la búsqueda en los Expedientes de la plataforma, los archivos deben tener una denominación clara y adecuada.

5.1.3 Recepción de Antecedentes

Después de publicada la Resolución de Inicio del Anteproyecto y en un máximo de tres meses posteriores a esta fecha, se pueden recibir antecedentes como datos, estudios y otros antecedentes relevantes para la elaboración de las NSCA. Todos los antecedentes deben estar validados y respaldados a través de informes

técnicos o publicaciones científicas pertinentes, y en el caso que se utilicen para la elaboración de las normas, deben incluirse en los Expedientes según se describe en el párrafo previo.

5.1.4 Formación de un Comité Operativo

El Comité Operativo se constituye según el artículo N° 7 del D.S. N° 38/ 2012 MMA con organismos públicos con objeto de revisar los procesos de la elaboración de las NSCA. Además, estos organismos pueden aportar antecedentes que sirvan para elaborar las normas.

Para formar el Comité Operativo de normas, el Ministro del Medio Ambiente debe enviar una invitación a los diferentes servicios involucrados, solicitando se identifique una contraparte técnica para que asista a las reuniones de dicho comité, durante todo el proceso de elaboración de las normas. La formación del Comité Operativo de normas se formaliza mediante una Reso-

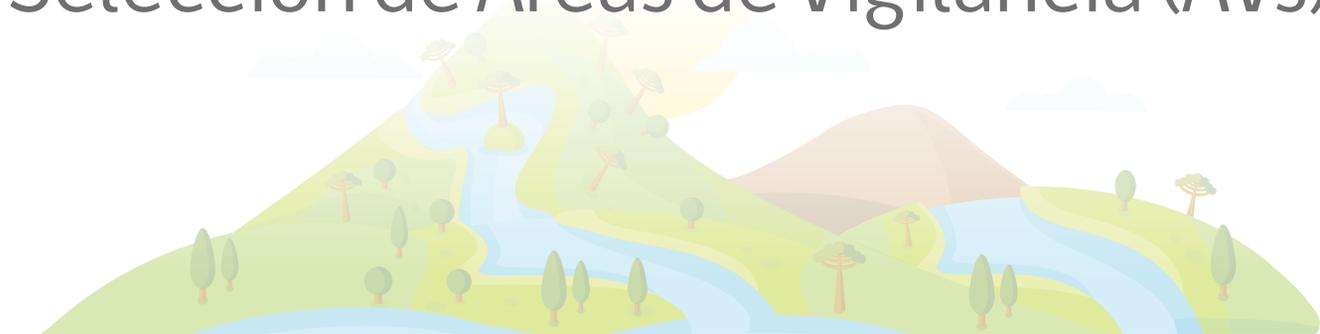
lución Exenta, que se debe incluir en los Expedientes de la misma.

5.1.5 Formación de un Comité Operativo Ampliado

Adicionalmente, según artículo N° 7 del D.S. N° 38/ 2012 MMA se puede formar un Comité Operativo Ampliado al que se sumen actores no gubernamentales, tales como los principales usuarios de la cuenca (fuentes y receptores) y otros interesados (ONG, universidades, etc.). El Comité Operativo toma la decisión sobre quienes serán convocados a formar parte del Comité Operativo Ampliado. Al Comité Operativo Ampliado también se presentan las diferentes partes del proceso de la elaboración del Anteproyecto de las normas y se discuten con este comité, aspectos críticos de la misma, así como en esta instancia se abre la posibilidad de recepcionar antecedentes adicionales por quienes forman parte del comité.

5.2

Selección de Áreas de Vigilancia (AVs)



En ríos cada AV, se controla a través de un solo punto el que debe ser localizado en la parte final del área definida. En los estuarios, puede haber más de un punto de control, ya que la marea mezcla el flujo del agua continental con el agua salada, generando una zona de transición de salinidad y contaminantes. En lagos y aguas marinas, las AVs y sus puntos de control se deben localizar en sectores que representen zonas distinguibles en función de su hidrodinámica, su nivel de contaminación y objetivos de conservación biológica presentes.

5.2.1 Criterios para la Selección de Áreas de Vigilancia

5.2.1.1 Ecología

El criterio principal de la selección de un AV es la presencia de hábitats acuáticos que alberguen biodiversidad (incluyendo microorganismos, plantas, peces, entre otros) que sea significativa para la cuenca, tanto en términos de riqueza y abundancia, y que se vayan a ver potencialmente afectados por la calidad del agua de la cuenca.

Por ejemplo, las subcuencas con altos valores de biodiversidad (peces u otros taxa en peligro de extinción, o de elevado valor ambiental), se deben

separar de otras AVs, que presenten impactos de fuentes puntuales o difusas sobre la calidad de sus aguas. En base a esto último, y si existe suficiente información sobre los ecosistemas acuáticos y las concentraciones de los parámetros a normar, las subcuencas prístinas, donde puedan reproducirse especies sensibles, o encontrarse tramos de áreas protegidas y sitios RAMSAR (entre otros), deben fijarse como AVs separadas del resto.

5.2.1.2 Datos Disponibles

El Análisis Integral (capítulo 4) permite diagnosticar si existe data suficiente en la cuenca para evaluar su estado ecológico. En el capítulo 5.3 se indica cuáles parámetros pueden ser relevantes. En este punto, es muy importante conocer y considerar las estaciones de calidad, fluviométricas y de biomonitoreo presentes en el territorio con data histórica disponibles, por ejemplo, las redes de monitoreo de la DGA y del MMA y programa POAL de la DIRECTEMAR. Otros antecedentes se pueden encontrar en bases de datos del SEA, SMA, SISS, INIA y SAG, entre otros. Resulta difícil normar en puntos donde la información físico-química y biológica es escasa, aunque se pueden aplicar algunos criterios mencionados más adelante en este mismo documento, que permitirían aminorar esta dificultad.

5.2.1.3 Hidromorfología

Se debe revisar, en qué forma un cambio en la hidromorfología de la cuenca cambia las condiciones del hábitat de las especies acuáticas. En ríos, en específico, se debe analizar el régimen hidrológico, la continuidad fluvial, las condiciones morfológicas (pendiente, ribera, relieve, segmento meándrico, instalaciones hidráulicas, entre otros). Se debe considerar además que, embalses e hidroeléctricas de pasada restringen o cortan la continuidad de ríos y su régimen natural de caudales. Así también, que la disminución de caudales y el manejo de las construcciones hidráulicas, pueden influir en la calidad del agua.

5.2.1.4 Oceanografía

En relación con la oceanografía influyente en un ecosistema marino, se debe considerar si diferencias en la dinámica de un cuerpo de agua marina afectan la disparidad en los hábitats de los ecosistemas acuáticos. En este caso, se deben separar los diferentes hábitats. Destaca la necesidad de proteger las condiciones adecuadas de los hábitats para especies en Estado de Conservación y presentes en Áreas Marinas Protegidas.

5.2.1.4 Afluentes

Si un tributario cambia significativamente la calidad del agua de un río principal en el que desemboca, es necesario cerrar un AV en el río principal, antes de esta confluencia. De tal manera que un futuro Plan de Descontaminación considere por separado ambos ríos y las medidas del plan se apliquen principalmente al río contaminado.

Otro ejemplo en relación con los efectos de los afluentes puede ser el caso de un río o estero prístino que alberga especies sensibles, las cuales se movilizan aguas abajo. Si este segmento del río no contaminado confluye en un río potencialmente contaminado, las especies sensibles que transporta no podrán sobrevivir dado el cambio significativo en las condiciones de calidad del agua después de la confluencia de ambos ríos, generando este cambio una barrera que interrumpe la distribución de estas especies en la cuenca.

Canales de riego y drenaje que confluyen a un río o lago, se pueden tratar como tributarios, ya que muy

frecuentemente, éstos llevan grandes cargas de nutrientes y agroquímicos. Así, se debe analizar su impacto en los ecosistemas del río, especialmente cuando los caudales de los canales son elevados.

Asimismo, el afloramiento de aguas subterráneas puede cambiar substancialmente las condiciones en un río, lago o aguas marinas. Lo anterior, puede explicar disminuciones del oxígeno disuelto, o cambios de concentraciones de otros parámetros, por ejemplo de metales o sales (iones). La potencial influencia del afloramiento de aguas subterráneas se puede cotejar con la información disponible en la DGA y del SERNAGEOMIN, especialmente en casos de NSCA de ríos o lagos.

5.2.1.5 Geología y Sedimentos

Diferentes formaciones de rocas pueden tener influencia en la calidad del agua, por ejemplo liberación de metales pesados y metaloides por lluvia ácida o elevaciones del pH por la pasada del agua a través de rocas del tipo calcitas.

Por otra parte, el cambio en los sedimentos fluviales produce una alteración en el hábitat y existen varios ejemplos de especies o poblaciones ecológicas que se ven fuertemente mermadas por alteraciones o pérdidas de sus hábitats. En cuanto a su relación con parámetros a normar, los sedimentos finos en la columna de agua pueden alterar la turbiedad o transparencia del agua y disminuir la producción primaria en el recurso hídrico.

5.2.1.6 Fuentes Emisoras Puntuales y Difusas

Si fuentes puntuales o difusas pueden potencialmente modificar las características ecológicas de un cuerpo de agua a normar, se puede fijar el límite de un AV de tal modo que controle dicha fuente. Las NSCA no son normas de emisión, por esta razón no se puede poner un cierre de un AV directamente o muy cercano a la descarga de un RIL. Sin embargo, las NSCA deben proteger los ecosistemas acuáticos. Para este fin se puede fijar el cierre de un AV en el punto más cercano al punto de dilución completa (requiere un estudio específico) de la pluma de contaminantes de una fuente puntual. En este sentido, las NSCA son

instrumentos adicionales para controlar y disminuir el impacto de las fuentes puntuales en los ecosistemas acuáticos, como también de las fuentes difusas, tales como el drenaje ácido de rocas, los nutrientes provenientes de praderas agrícolas y el riego con purines, entre otros.

5.2.1.7 Aspectos Sociales y Culturales

También se debe considerar en el análisis, el punto de captación desde donde se toma agua para la distribución de agua potable, de manera de controlar mejor la calidad de esta agua. Con este mismo criterio, se debe mantener la buena calidad del agua en subcuencas prístinas como posibles fuentes de agua potable.

Si en una cuenca se asientan pueblos originarios con una cultura relacionada al agua, como es el caso de varias etnias de Chile, es conveniente fijar AVs separadas del resto para proteger su cultura con niveles de las NSCA adecuados al uso de diferentes servicios ecosistémicos del que hacen uso estas comunidades.

5.2.2 Selección de AV en Ríos, incluyendo Estuarios

En los ríos, la Cuenca Hidrográfica completa se separa en AVs según los criterios mencionados anteriormente. Por otra parte, en el capítulo 5.1 se relata la importancia ecológica de los estuarios, por lo que se debe enfatizar el monitoreo de estos humedales para normar las cuencas completas con éxito.

Los estuarios muestran diferentes condiciones, por lo que es importante seleccionar puntos de monitoreo adecuados para evaluar el impacto sobre la biota de estos ecosistemas acuáticos. Como ha sido mencionado anteriormente, un AV comprende toda el área que drena al punto final de ésta. Así, las normas se deben controlar en el punto final de cada AV, con excepción de los estuarios, en los que se produce un cambio la dirección del flujo del agua con la entrada de la marea. De esta manera, para el caso de los estuarios, se sugiere instalar varios puntos de control, evaluando las diferentes condiciones en el humedal y el gradiente de salinidad.

Ejemplo para la Selección de Áreas de Vigilancia en Ríos

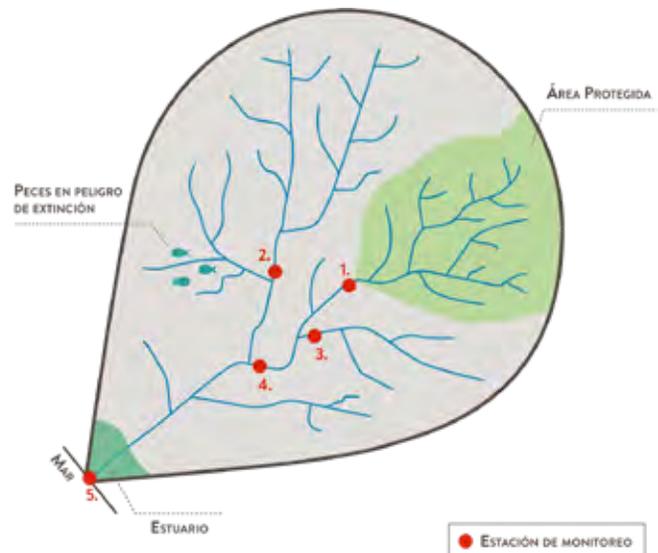


Figura 2: Cuenca de ejemplo.

La cuenca de la Figura 2 posee un área protegida con una alta biodiversidad. En uno de sus afluentes se han desarrollado investigaciones científicas que muestran la presencia de peces en peligro de extinción. En la desembocadura del río principal de la cuenca se encuentra un humedal que tiene el potencial para el desarrollo de una gran biodiversidad. En color rojo se ven 5 estaciones de monitoreo que cuentan con datos de varios años (por ejemplo una estación de la DGA).

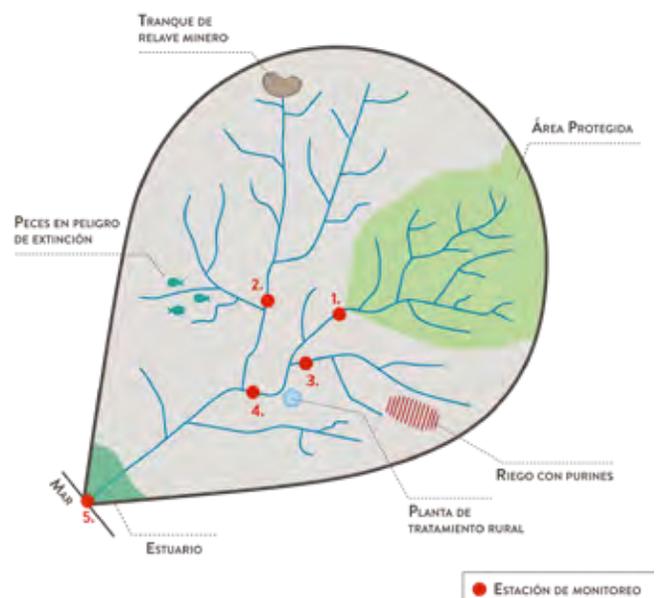


Figura 3: Potenciales fuentes de contaminación de la cuenca ejemplo.

Por otra parte, la cuenca ejemplo de la Figura 2 presenta altas concentraciones de metales pesados y sulfato, debido al escurrimiento de aguas desde un tranque de relaves de una mina (Figura 3). Además, en la cuenca hay una planta de tratamiento de aguas servidas rural que no está bien manejada. Adicionalmente, hay concentraciones altas de contaminantes provenientes de fuentes difusas, debida al riego con purines de ganado que llega al río por escorrentía superficial, así como, por afloramiento de aguas subterráneas en la subcuenca, aguas arriba del punto de monitoreo número 3.

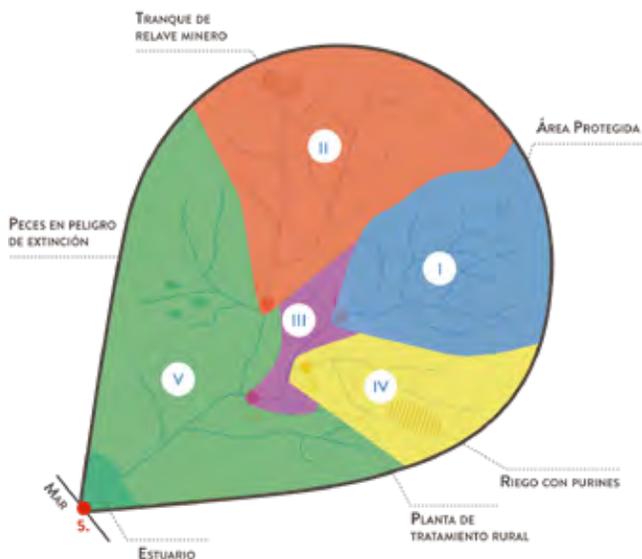


Figura 4: Primera delimitación de Áreas de Vigilancia de la cuenca ejemplo.

Los diferentes colores de la Figura 4 representan las AVs preliminares de la cuenca ejemplo de la Figura 2, en base a los datos disponibles obtenidos desde su red de monitoreo. Si se analiza esta selección de las AVs, se puede concluir lo siguiente:

- AV I: Se puede observar, que esta AV está bien delimitada y protege la biodiversidad en el Área Protegida.
- AV II: En la segunda AV se emplaza una faena minera con un tranque de relaves, que representa una potencial fuente de contaminación para la cuenca. Respecto del efluente al noreste de esta área, no habría suficiente información sobre el tipo de agua que provee dicho efluente, en términos del hábitat para las especies.
- AV III: La estación 4 estaría bien fijada para controlar el impacto de la planta de tratamiento de aguas servidas rurales, cuyo proceso es ineficiente como se mencionó anteriormente y cuyo aporte de nutrientes al río es substancial.

- AV IV: En esta AV hay riego con purines de ganado, por lo que las cargas de contaminantes pueden llegar directamente y de manera difusa a los recursos hídricos, como se mencionó anteriormente. Según los datos fisicoquímicos y otros parámetros disponibles, esta AV puede controlarse en el punto de monitoreo número 3.
- AV V: El AV número V es muy grande y en ella converge la intervención de las tres fuentes emisoras principales de la cuenca, junto con la presencia de un tributario en el cual se registran peces en peligro de extinción y un estuario con alto potencial para el desarrollo de la biodiversidad. En base a esta información es necesario dividir este área y salvaguardar la conservación de las especies u otros objetos de alto valor ambiental presentes.

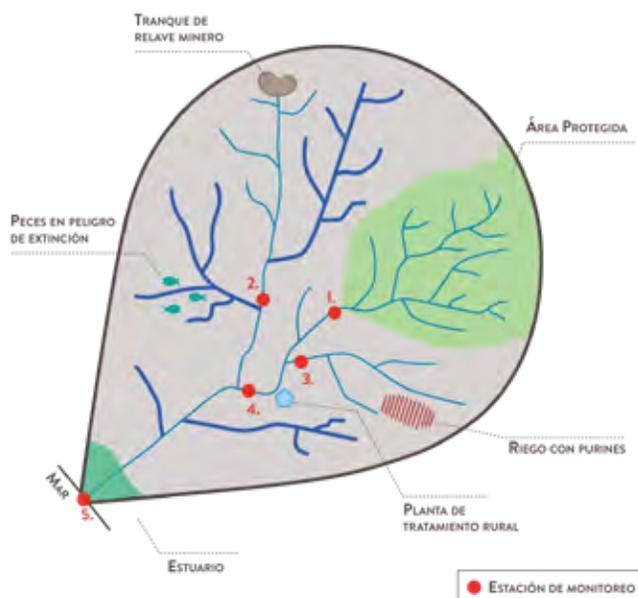


Figura 5: Mejora del conocimiento ecológico de la cuenca.

Para mejorar la protección de los ecosistemas acuáticos, se deben realizar estudios de monitoreo y revisión de literatura existente (proyectos, estudios, publicaciones científicas, tesis, etc.) sobre datos físico-químicos y biológicos. En el esquema de la Figura 5 dichos estudios son particularmente relevantes en las subcuencas marcadas con trazos más gruesos, sí como en el estuario. En cuanto a los puntos en color naranja, éstos muestran la localización de estaciones de monitoreo sugeridas para compilar información por normar las diferentes subcuencas. En el caso que, en los tramos marcados en el esquema, se encontrasen especies en alguna Categoría de Conservación o con un alto valor de biodiversidad, se debe poner especial énfasis en fijar AVs para proteger dichas es-

peces y mantener o mejorar la condición de su hábitat. El Análisis Integral (capítulo 4) debe incluir este tipo de estudios, de manera de lograr una mejor distribución de las AVs y proteger los ecosistemas acuáticos (Figura 6).

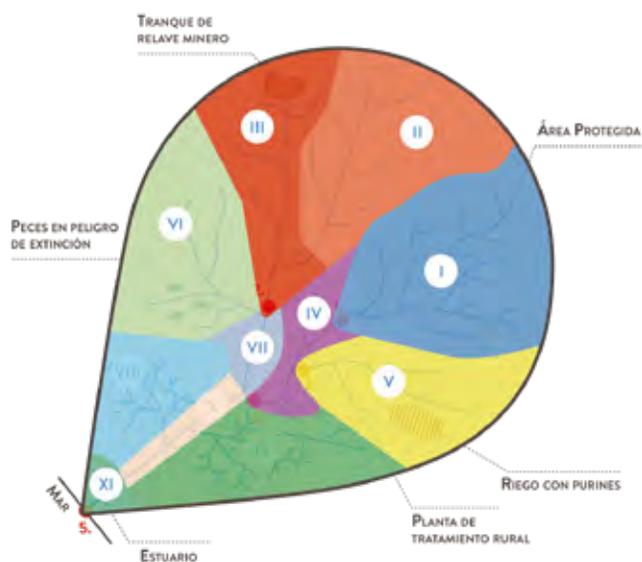


Figura 6: Mejoras en la delimitación de Áreas de Vigilancia.

Otro de los criterios para fijar los límites de las AVs es considerar información sobre los ríos y esteros más pequeños de una cuenca (por ejemplo, la información contenida en el inventario de humedales del MMA del año 2016¹). También sirve utilizar SIG, por ejemplo con un DEM (Digital Elevation Model), para evaluar desde qué zona drena el agua que llega al final de cada Área de Vigilancia. En la Figura 6, las AVs VIII y IX muestran el resultado de una mayor precisión en la definición de la red de drenaje.

5.2.3 Selección de AVs en Lagos

En lagos existen diferentes tipos de hábitat. La Figura 7 muestra la clasificación ecológica de lagos.

Las zonas litorales de un cuerpo de agua son más sensibles a los procesos de eutrofización, por ser zonas más someras y afectarles más rápido y con mayor intensidad los aumentos de la temperatura ambiente e intensidad lumínica. En la zona pelágica, junto con el estado trófico, se debe poner el foco en la prevención de anoxia en el fondo

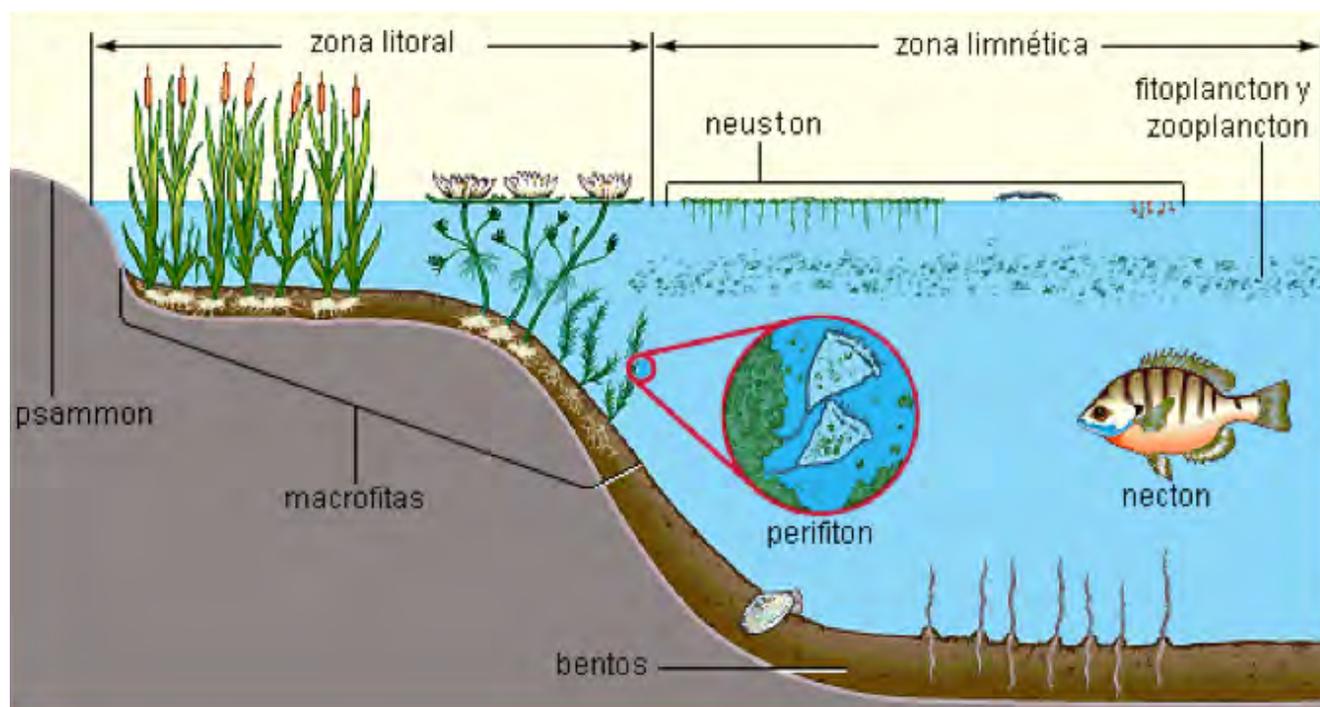


Figura 7: Clasificación ecológica (modificado de descarga: <http://www.jmarcano.com/nociones/fresh2.html>, fecha 11/04/2017).

¹ <http://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=2b16fccf74654666986e4f5fb05887b5&extent=-8178051.2505,-4111190.1545,-7607219.5232,-3784956.9177,102100>

del lago, la que ocurre normalmente por la degradación de materia orgánica con formación de parámetros tales como ácido sulfhídrico y metano en el mismo proceso.

Otro criterio a tener en cuenta es que en lagos se distinguen diferentes tipos de estratificación y de patrones de

mezcla de sus aguas. La estratificación de un lago tiene lugar debido a diferencias en temperaturas o salinidad entre la superficie y el fondo del mismo. La Figura 8 muestra diferentes casos de estratificación térmica y sus categorías en cuanto a la mezcla de sus aguas: amícticos, monomícticos, oligomícticos, polimícticos y templados dimícticos.

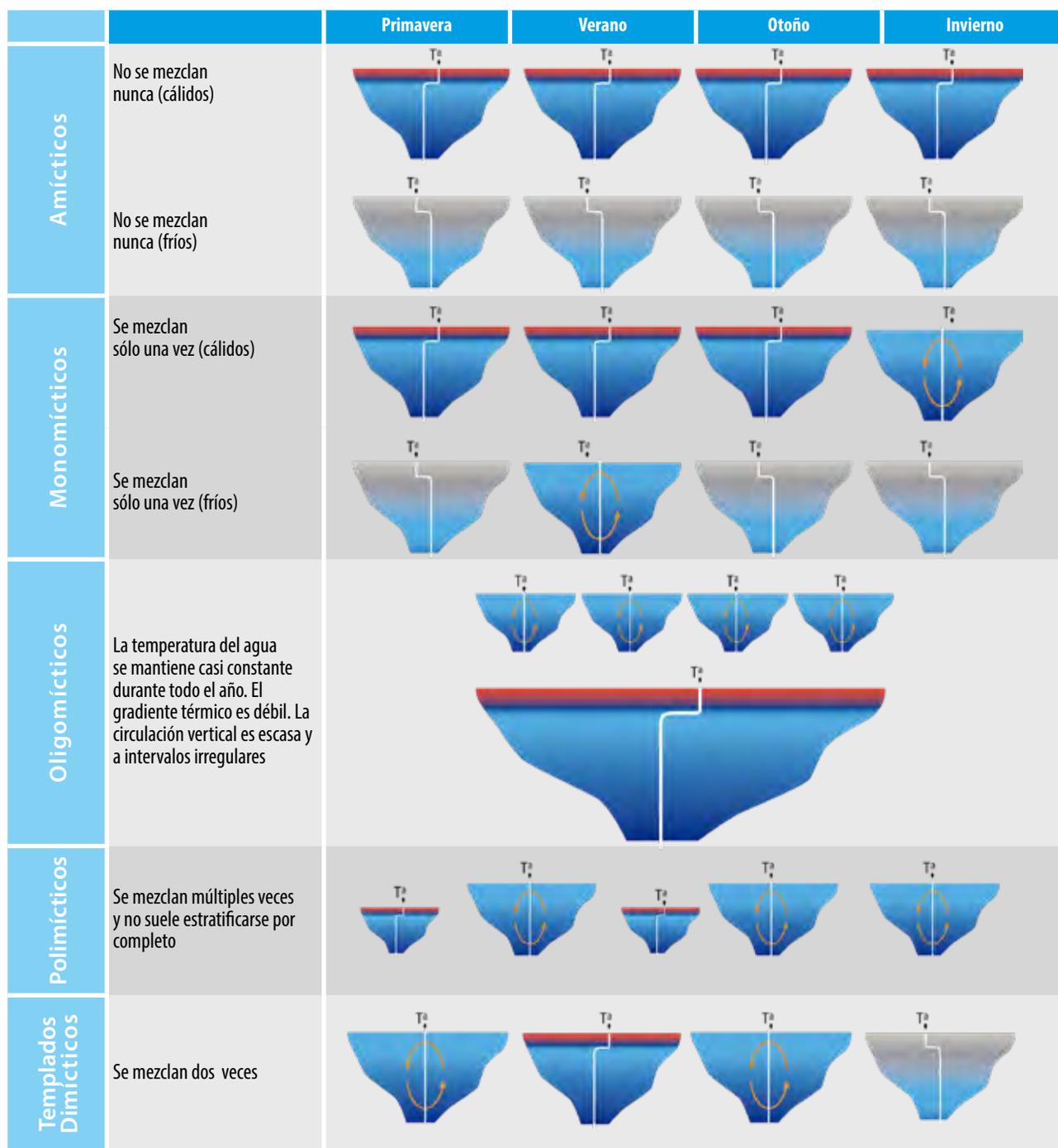


Figura 8: Tipos de lagos (Fuente: Dinámica Térmica de un Lago, Universidad Autónoma de Madrid, España, 2015-2016). http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/scasado/documentos/guion_bloque3_LAGO2016.pdf

En los lagos del sur de Chile, conocidos como Nord Patagónicos o Araucanos (Thomasson, 1963), caracterizados por presentar grandes áreas y profundidades (ejemplos, lagos Llanquihue y Villarrica), la estratificación térmica es de tipo monomítico cálido con estratificación durante el verano y mezcla completa durante el invierno (Geller 1992). El problema más importante en estos lagos está relacionado con su nivel de productividad o trofia, que depende en primer lugar de la cantidad de nutrientes inorgánicos de nitrógeno y fósforo

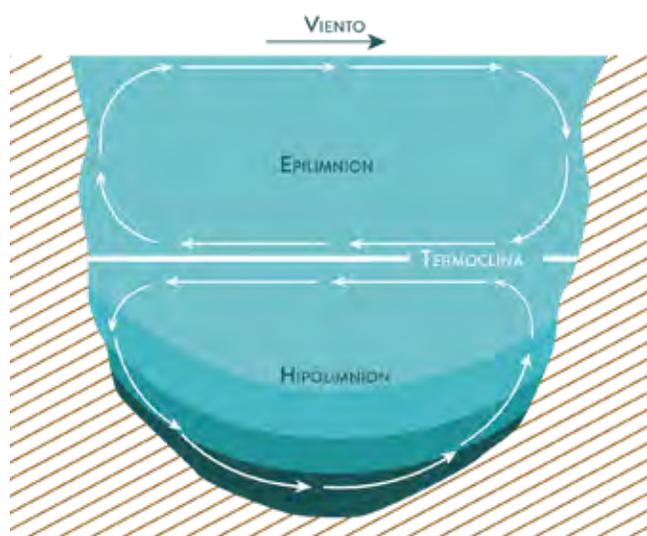


Figura 9: Estratificación de un lago.

(su importancia relativa depende de la limitación por nitrógeno (N) o fósforo (P), o de la razón N/P). El aumento de los nutrientes produce eutrofización que puede producir una disminución de oxígeno en el hipolimnion hasta el extremo de anoxia y muerte de peces e invertebrados. Estos fenómenos junto con la mezcla del lago pueden provocar resuspensión de otros compuestos como pesticidas, metales pesados y gases tóxicos presentes en el sedimento, provocando importantes pérdidas de biodiversidad y efectos sobre las personas. Dado lo anterior, es aconsejable normar diferentes valores umbrales en las diferentes profundidades del lago; uno para el epilimnion, otro para el hipolimnion y un tercer umbral para el fondo del lago (Figura 9).

En sistemas más someros, como las lagunas del altiplano chileno, la poca profundidad del ecosistema genera una mezcla permanente y una rápida dispersión de potenciales contaminantes como metales pesados.

La termoclina en lagos profundos se determina por un cambio de temperatura mayor a 1°C por metro de profundidad (Margalef, 1983).

Ejemplo para la Selección de Áreas de Vigilancia en Lagos



Figura 10: Ejemplo para un lago típico.

Las AVs en las zonas litorales se deben seleccionar considerando el riesgo de entrada de contaminantes al lago, provenientes de ciudades, viviendas sin tratamiento de aguas servidas, acuicultura, pisciculturas y agricultura, o la presencia de zonas con una biodiversidad que se desee conservar, como la ribera del bosque nativo en el ejemplo de la Figura 10.

la Figura 11, presenta de manera esquemática la definición de AVs en un lago ejemplo.



Figura 11: Ejemplo de Áreas de Vigilancia en un lago. I: área pelagial; II al VI: diferentes áreas litorales.

5.2.4 Aplicación en Aguas Marinas

Ejemplo Aguas Marinas

El ejemplo de la Figura 12, correspondiente a áreas marinas, muestra un Área Protegida, que se declaró para resguardar su alto valor en biodiversidad. Además, en este área desemboca un río potencialmente contaminado y se encuentra una bahía con concentraciones altas de contaminantes provenientes de varias fuentes de emisión. Este ejemplo podría representar una pequeña parte de una ecorregión marina u otro ecosistema marino y sirve para ejemplificar algunos casos típicos del uso de la presente guía metodológica.

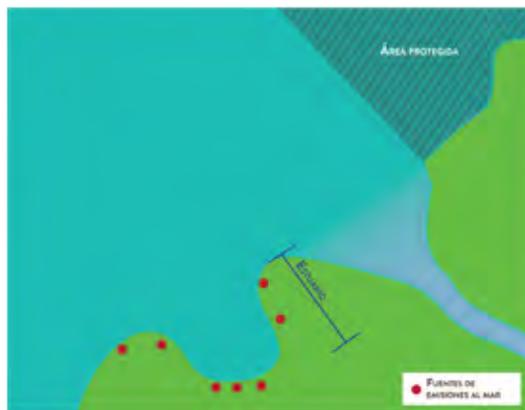


Figura 12: Ejemplo de aplicación en ecosistema marino.



Figura 13: Ejemplo de la aplicación de Áreas de Vigilancia en una zona de aguas marinas.

Descripción de los Criterios para la Selección de estas Áreas de Vigilancia

La Figura 13 representa un ejemplo de aplicación de definición de AV, de acuerdo con los siguientes criterios:

- AV I: El Área Protegida presenta mucha biodiversidad y especies con un alto valor ecológico, por ejemplo especies en alguna Categoría de Conservación. Esta biodiversidad depende de una buena condición de la calidad del agua y del sedimento. Así, esta AV debiera mantenerse o recuperarse (con un Plan de Descontaminación, en el caso de un incumplimiento de las NSCA).
- AV II: En este ejemplo, la bahía está altamente contaminada por varias fuentes de emisión. El AV se fijó para proteger los ecosistemas acuáticos dentro de la bahía y también otras zonas fuera de ésta, afectadas por la contaminación de la misma.
- AV III: En este ejemplo las zonas litorales y neríticas (próximas la costa) están definidas como un ecosistema. Además, ésta zona está siendo contaminada por la bahía (AVII), las cargas que desembocan por el río (cuenca del río) y por fuentes de emisión en la costa. En esta AV es preciso evaluar el impacto en la biodiversidad.
- AV IV: La zona oceánica (lejana a la costa) está considerada como otro ecosistema, porque alberga una biodiversidad y hábitats distintos. Por ejemplo, esta zona es el hábitat principal de especies balénidas. En el ejemplo, esta zona tiene una calidad de agua homogénea, así se puede definir como una sola AV con una calidad del agua adecuada para proteger las especies marinas.

5.3 Selección de Parámetros



La Tabla 1 muestra algunas definiciones de parámetros relevantes en Chile. Su presencia en el agua, puede ocurrir junto con el cambio de otros parámetros relacionados igualmente riesgosos en términos de contaminación, tales como la Clorofila, el pH y los Coliformes fecales, entre otros.

Criterios para la Selección de Parámetros

Para la selección de parámetros se deben utilizar los resultados del Análisis Integral del capítulo 4. Además, la se-

lección de parámetros se debe realizar considerando los siguientes criterios:

- Información disponible lo más actualizada posible
- Fuentes emisoras en la cuenca o el cuerpo de agua marina (puntuales, difusas)
- Estado trófico
- Impactos de parámetros en los ecosistemas acuáticos

Tabla 1: Definiciones de parámetros que representan la variación de otros parámetros relacionados.

Término utilizado	Definición
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	Cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación bioquímica de la materia orgánica a dióxido de carbono en cinco días. La DBO es un indicador de la concentración másica de compuestos orgánicos biodegradables.* Se debe medir junto con la DQO.
Demanda química de oxígeno (DQO)	Cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación total de la materia orgánica a dióxido de carbono. La DQO es un indicador de la concentración másica de compuestos orgánicos.* La DQO mide compuestos fáciles y difíciles de degradar biológicamente, así sirve en comparación con la DBO para evaluar el contenido de compuestos persistentes y mide también compuestos inorgánicos, por ejemplo nitrito. Se usa la metodología con dicromato.
Nitrógeno total (NT)	El nitrógeno total, expresado como N, incluye el amoníaco libre y el amonio (N-NH ₄ ⁺), los nitritos (N-NO ₂ ⁻), los nitratos (N-NO ₃ ⁻) y el nitrógeno orgánico.*
Nitrógeno inorgánico total (N _{inorg})	B El nitrógeno inorgánico total, expresado como N, incluye el amoníaco libre y el amonio (N-NH ₄ ⁺), los nitritos (N-NO ₂ ⁻) y los nitratos (N-NO ₃ ⁻).*
Fósforo total (PT)	El fósforo total, expresado como P, incluye todos los compuestos de fósforo orgánicos e inorgánicos, disueltos o unidos a partículas.*
Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX)	Los compuestos orgánicos halogenados adsorbibles, expresados como Cl, incluyen el cloro, el bromo y el yodo orgánicos adsorbibles.*
Metales totales	Los metales totales incluyen todos los compuestos del metal, orgánicos e inorgánicos, disueltos o unidos a partículas.

* Fuente: Decisión de Ejecución (UE) 2016/902 de 30 de mayo de 2016

5.3.1 Información Disponible

Se deben revisar datos de parámetros físico-químicos que estén disponibles para la cuenca o el cuerpo de agua marina, privilegiando la información oficial como la levantada por DGA (ríos y lagos), DIRECTEMAR (POAL), SERNAPESCA (INFAS), SISS (fiscalización agua potable), INIA, SAG y otros. También aportan antecedentes las redes de instituciones privadas como las juntas de vigilancia, las mesas de agua, el seguimiento de RCAs, estudios, proyectos y tesis de universidades, entre otros. Un punto muy importante y que distingue a las NSCA de otro tipo de regulaciones, es que con la regulación de la calidad del agua se busca una calidad adecuada para proteger los ecosistemas, por lo tanto, entre los criterios para normar se debe considerar cómo responden las especies de los ecosistemas acuáticos frente a los distintos parámetros normados que “fuerzan” dicha respuesta. Para ello, se deben incorporar “variables de respuesta biológica” que midan dichas reacciones o efectos sobre individuos, poblaciones y comunidades asociadas a los parámetros que se normarán (Figura 14). Si existe suficiente información sobre las concentraciones de contaminantes en el sedimento, se pueden incluir en la norma. Esto, porque entre el agua y el bentos del sedimento, existe alta dependencia ecológica.

Ejemplos de potenciales fuentes de información son:

- DGA (Datos, estudios)
 - SIG con estaciones vigentes y suspendidas: <http://www.arcgis.com/apps/OnePane/basicviewer/index.html?appid=d508beb3a88f43d28c17a8ec9fac5ef0> (Abril 2017)

www.arcgis.com/apps/OnePane/basicviewer/index.html?appid=d508beb3a88f43d28c17a8ec9fac5ef0 (Abril 2017)

- Datos: por ejemplo en <http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes> (Abril 2017) y http://dgasatel.mop.cl/filtro_paramxestac.asp (Abril 2017), pero también en estudios y proyectos de la DGA
- DIRECTEMAR, POAL (aguas marinas, ríos y lagos navegables) Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL) (Octubre 2017)
 - Datos: <https://www.directemar.cl/directemar/site/edic/base/port/poal.html> (Octubre 2017). En relación con el programa POAL, en este se levanta información física-química de agua y sedimento, como también sobre bioacumulación de metales en moluscos.
- Plataforma de Humedales (<http://humedaleschile.mma.gob.cl/>)
- Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) (proyectos y estudios)
- Superintendencia del Medio Ambiente (SMA, D.S.N°90/2000, estudios)
- Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA, Seguimiento) <http://snifa.sma.gob.cl/registropublico/snifahome>
- Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS, D.S.N°90/2000)

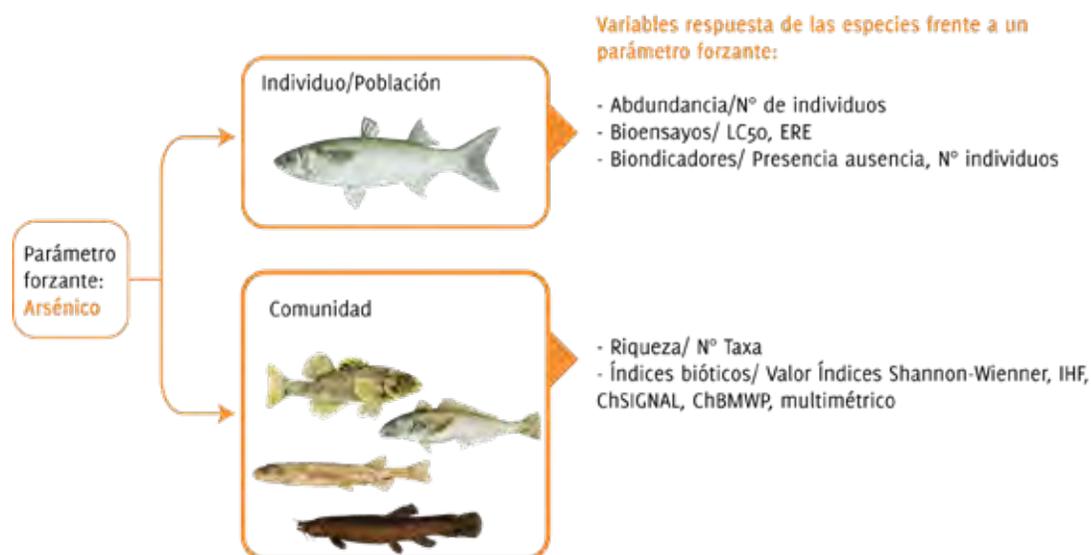


Figura 14: Asociación que se requiere establecer entre variables a normar o forzantes y variables de respuesta biológica. (Fuente: elaboración propia, MMA).

- Servicio Agrícola y Ganadero (SAG)
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)
- Agencia Chilena para la Sustentabilidad y el Cambio Climático (ASCC)
- Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN)
- Gobiernos Regionales (GORE)
- Fondos de Protección Ambiental (FPA)
- Juntas de Vigilancia, Mesas de Agua regionales
- Instituciones públicas regionales/locales
- Monitoreos de privados

- Universidades (estudios, proyectos, publicaciones, tesis, etc.)
- Fondos de investigación (FONDEF, CONICYT, etc.)
- Instituciones nacionales (ONGs, etc.)
- Instituciones internacionales (FAO, UNESCO, etc.)
- Entre otros

Ejemplos de datos con los cuales se construyeron las Figuras 15, 16 y 17, se encuentran en los resultados de monitoreos del estado trófico de humedales costeros y andinos del MMA (MMA-SGS, 2015; MMA-CEA, 2015).

Monitoreo del Ministerio del Medio Ambiente

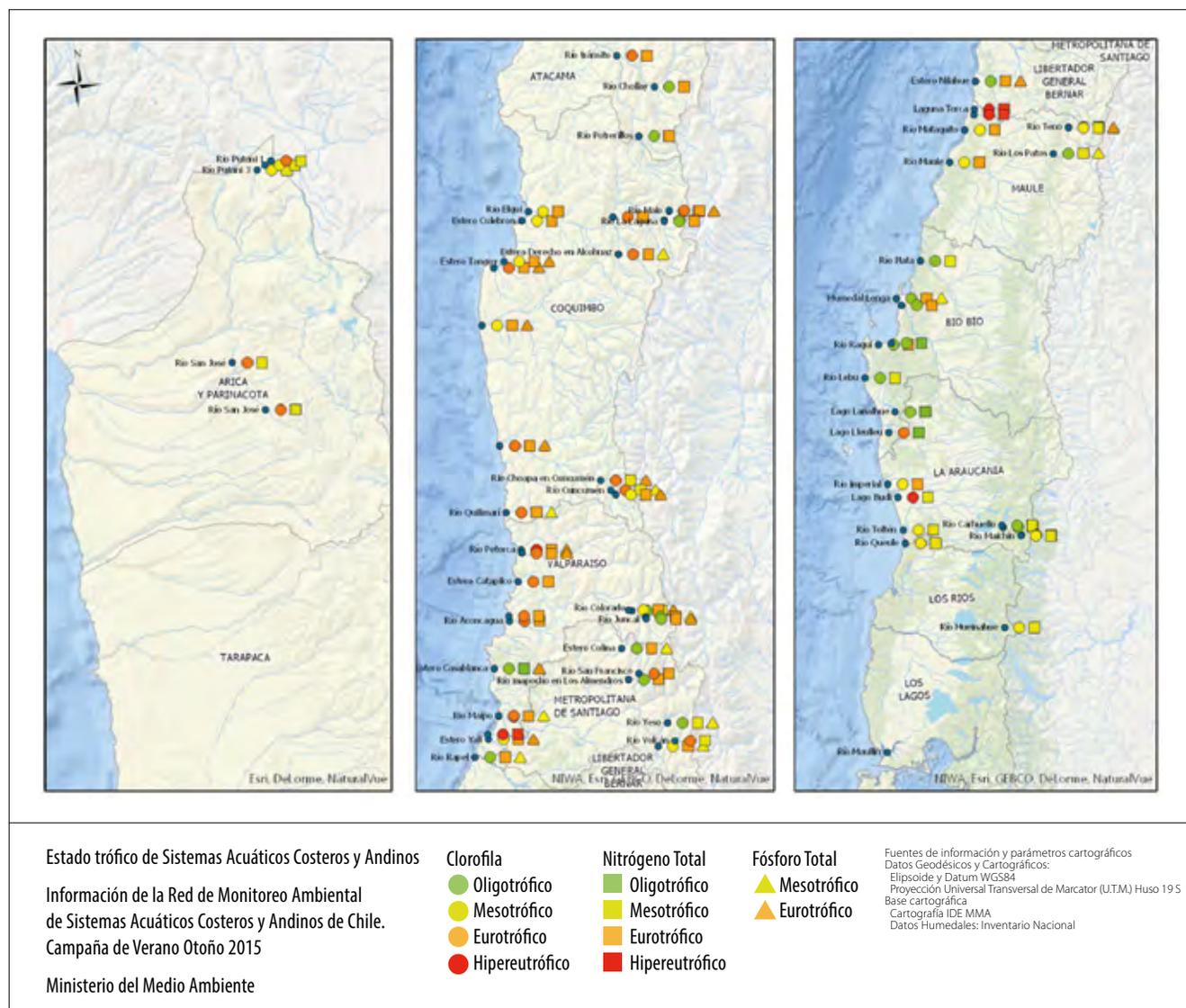


Figura 15: Resultado del estado trófico de humedales costeros y andinos, campaña otoño 2015. (Fuente: elaboración propia MMA).

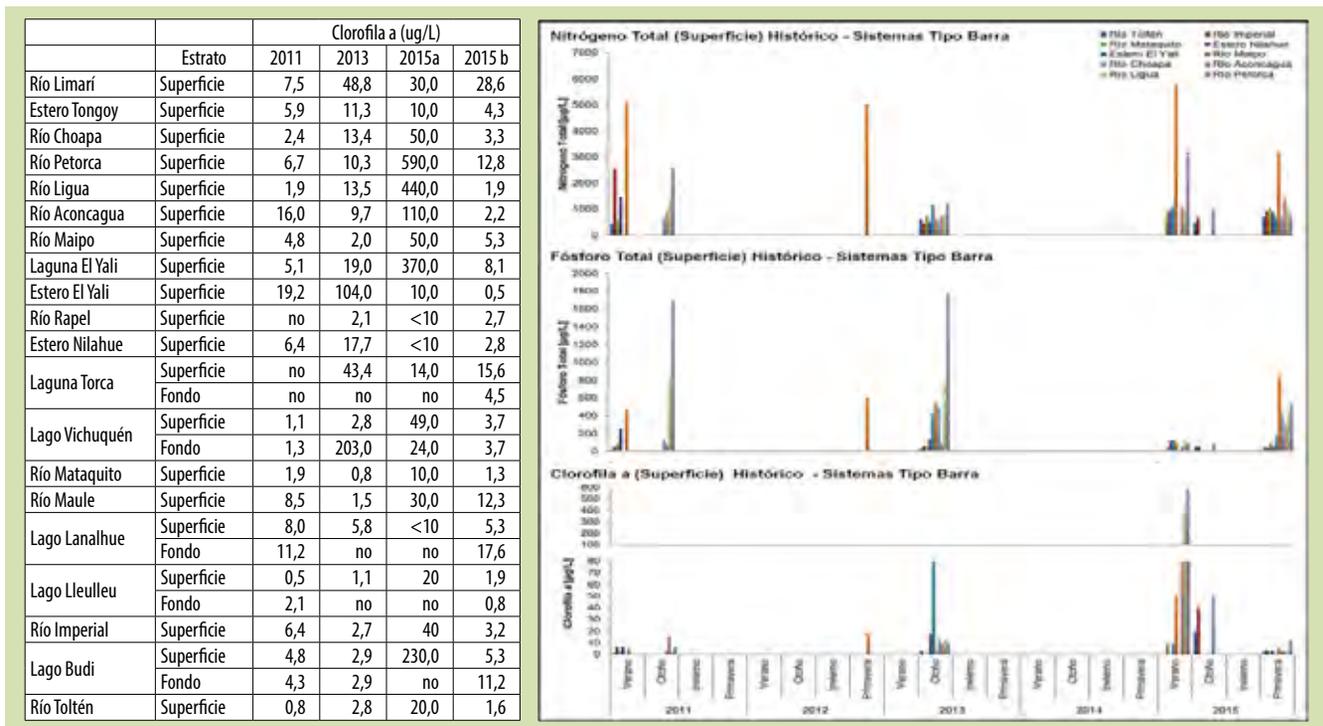


Figura 16: Resultado del estado trófico de humedales costeros de campañas 2011 - 2015. (Fuente: elaboración propia MMA).

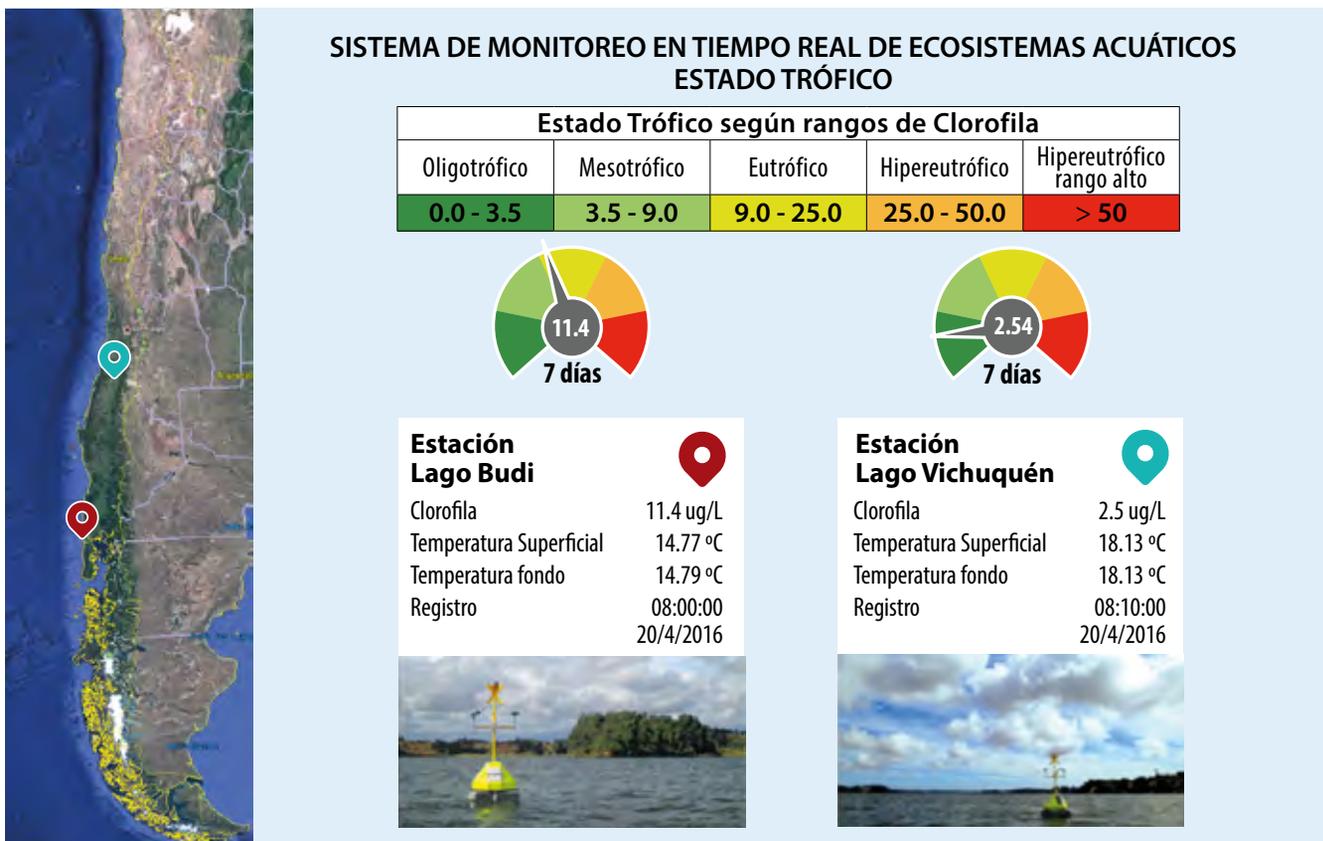


Figura 17: Monitoreo trófico con boyas en dos lagos seleccionados. (Fuente: elaboración CEA-MMA).

La Figura 18 presenta algunos resultados referidos a la distribución nacional en ríos de las variables Conductividad Eléctrica e Iones Mayoritarios (Diagramas de

Stiff), dando cuenta de una importante variabilidad latitudinal de estas variables (García, 2013).

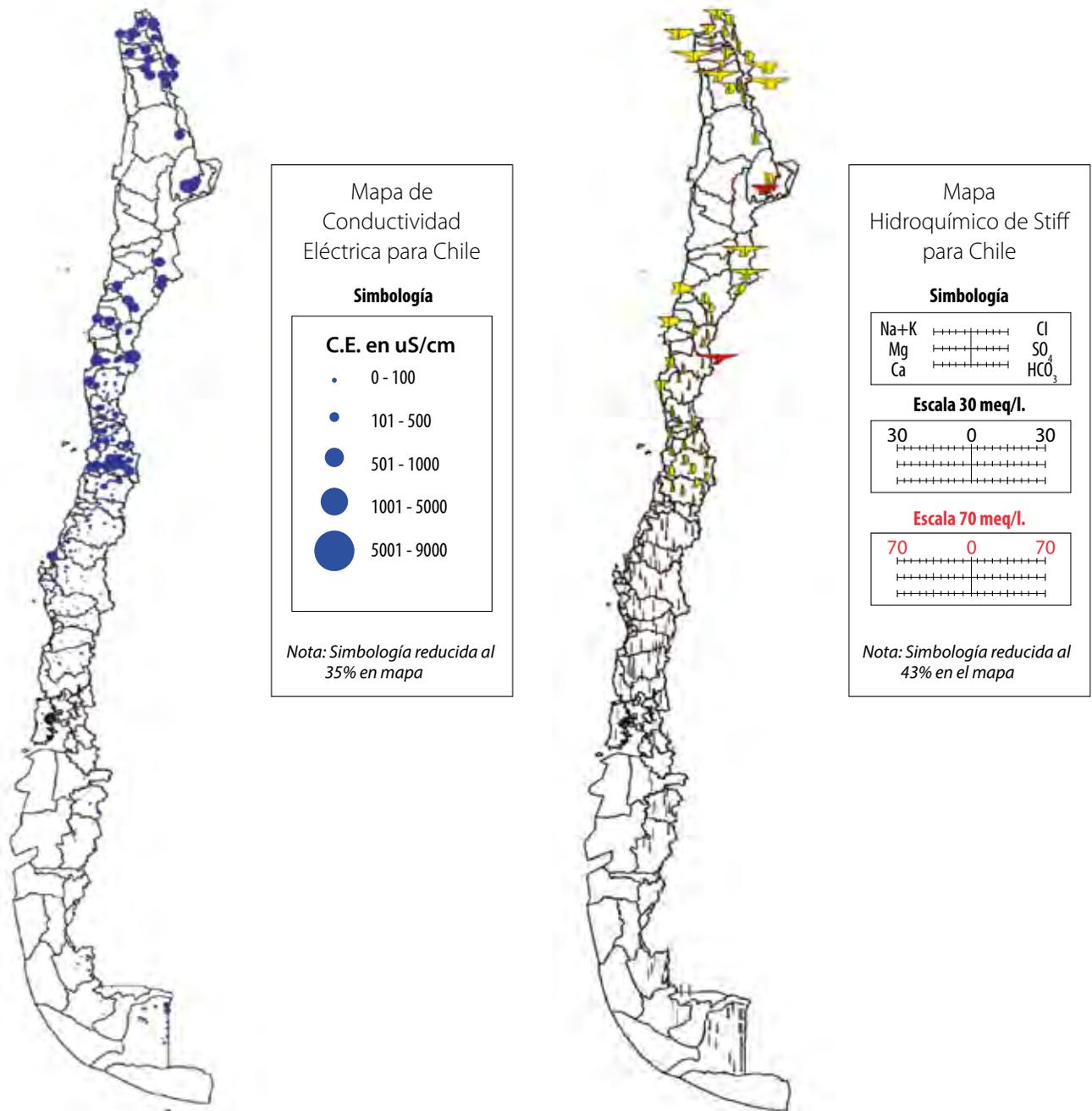


Figura 18: Distribución de conductividad y del diagrama de Stiff en el país (Fuente: Tesis Tamara García, Universidad de Chile, 2013).

5.3.2 Control del Estado Trófico

En muchos ríos, incluyendo estuarios y embalses, lagos y aguas marinas del país se observan problemas de eutrofización.

El aumento de carga de nutrientes (inorgánicos y orgánicos) provoca fenómenos de crecimiento masivo de algas, macrófitas y bacterias, así también un notorio aumento de la turbiedad y consecuentemente una disminución de la transparencia del agua. La eutrofización generalmente provoca crecimientos masivos de microalgas (florecimientos o blooms), los cuales suelen estar dominados por cepas de microalgas, cianobacterias o bacterias tóxicas (por ejemplo *Microcystis aeruginosa* y *Alexandrium catenella*). Estos blooms afectan no solo a las especies acuáticas, sino también a especies terrestres de las riberas de los cuerpos de agua, incluyendo a personas que utilizan el agua como fuente de agua potable o como medio de recreación, lo que puede provocar intoxicaciones y alergias por contacto directo. Además, la eutrofización provoca alteraciones del ciclo diario de la oxigenación del agua. En el día las algas fijan CO_2 y producen oxígeno, mientras durante la noche respiran gran parte de este oxígeno producido durante las horas de luz. La falta de oxígeno puede provocar concentraciones muy bajas de oxígeno, inclusive anoxia y como consecuencia afectar negativamente a las comunidades de zooplancton, peces y crustáceos presentes en estos ambientes, alterando significativamente la biodiversidad. Esta condición puede afectar también a los servicios ecosistémicos como turismo, acuicultura, pesca recreativa, camping, entre otros. Por otra parte, los ríos transportan aguas contaminadas al mar (Figura 19) y pueden provocar eutrofización en la costa. Con el aumento de la temperatura, (por ejemplo por efecto el cambio climático), las aguas están más propensas a la eutrofización. WHO & CE (2002) muestran el impacto en la salud humana, incluyendo efectos en los ecosistemas acuáticos.

Hay varias vías de entrada de nutrientes al mar, entre los que cuentan los emisarios submarinos, barcos, ríos y esteros, riberas y playas, deposiciones atmosféricas (por

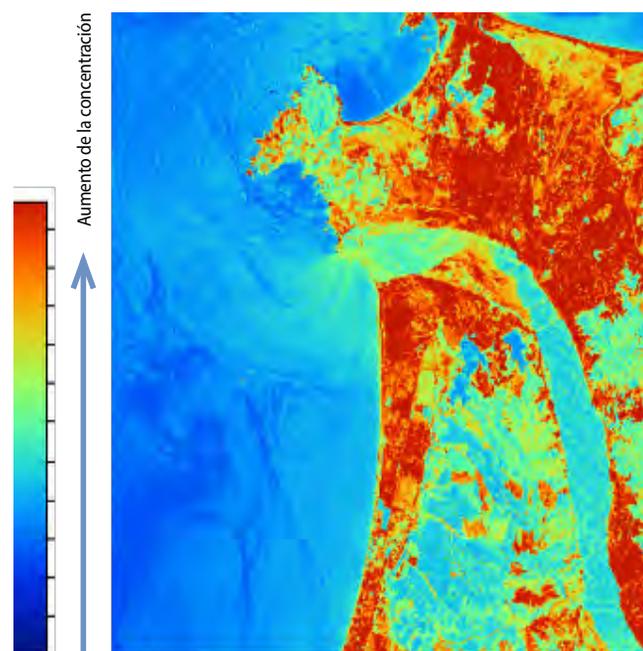


Figura 19: Pluma de Clorofila a en la desembocadura del río Biobío al mar (5 diciembre 2015, landsat8 B3/B1, Clorofila a).

ejemplo, NO_x y también el aumento de acidez de los océanos) y a través de estuarios subterráneos, los cuales transportan nutrientes desde los acuíferos.

5.3.3 Fuentes Emisoras en la Cuenca o Cuerpo de Agua Marina

Se debe analizar qué parámetros de las fuentes emisoras puntuales y difusas presentes en la cuenca del ecosistema a regular pueden tener impacto en sus ecosistemas acuáticos. La Tabla 2 muestra un resumen de parámetros típicos para diferentes rubros de fuentes de emisión puntual y difusa, no obstante que, existen otros parámetros y fuentes relevantes. Adicionalmente a la selección de los parámetros para las NSCA, este tipo de análisis se puede utilizar para evaluar las potenciales fuentes que pueden provocar aumentos de la concentración de un parámetro y también para los AGIES, cuando este instrumento valoriza un potencial Plan de Descontaminación ambiental asociado a estas normas.

Tabla 2: Principales parámetros que se encuentran en los cursos naturales debidos a descargas de distintos rubros de fuentes emisoras puntuales y difusas.

Rubro (puntual y difuso)	Parámetros	Observaciones
Industrias (general)	Varios, depende del rubro, común DQO, DBO ₅ , pH, conductividad, metales incluyendo los del tratamiento de agua (Al, Fe). Baños de los empleados: DQO, DBO ₅ , N-NH ₄ ⁺ *, N-NO ₃ ⁻ , N-NO ₂ ⁻ , Ptotal, pH, trihalometanos (THM), coliformes fecales, compuestos fenólicos.	Es importante revisar los monitoreos del D.S. N° 90/2000 y de la RCA (si existe). Adicionalmente, consultar publicaciones nacionales e internacionales y evaluar los contaminantes principales de esta fuente emisora.
Agua servidas crudas	Norg, N-NH ₄ ⁺ *, Ntotal, Ptotal, DBO ₅ , DQO, pH, coliformes fecales, aceites y grasas, productos farmacéuticos.	Pueden tener varios tóxicos de uso doméstico: por ejemplo detergentes, desinfectantes, pesticidas. Ntotal = Norg + N-NH ₄ ⁺ * + N-NO ₃ ⁻ + N-NO ₂ ⁻ ; Mejor medir Ntotal directo o como suma de NKT + N-NO ₃ ⁻ + N-NO ₂ ⁻ .
Plantas de tratamiento de aguas servidas urbanas y rurales	DQO, DBO ₅ , N-NH ₄ ⁺ *, N-NO ₃ ⁻ , N-NO ₂ ⁻ , Ptotal, pH, THM, coliformes fecales. By-pass: agua cruda, diluida con agua de lluvia.	En la literatura internacional se observan también parámetros que no pueden remover las plantas de tratamiento terciario (para disminuir nutrientes: N, P) en aguas urbanas, por ejemplo pesticidas, disruptores endocrinos y PCBs.
Plantas de agua potable	Metales, sólidos suspendidos totales (SST), pH, conductividad.	Metales, por ejemplo hierro y manganeso que se remueven del agua o el uso de aluminio para remover material orgánica o sedimentos.
Desalinizadoras	Sales, conductividad, metales, trihalometanos (THM), SST, floculantes, biocidas, anticrustantes.	
Agricultura	Eutrofización: Ntotal, Ptotal, Clorofila a, turbiedad/transparencia. Fertilizantes (Principalmente: N, P, K; Secundarios: Mg, S, Ca; micronutrientes: Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, Cl, B). Pesticidas (multianálisis o específico). Si no es posible normar los pesticidas específicos, qué se aplican en la cuenca o en la costa, se puede considerar la suma de organoclorados. Otras sumas de pesticidas son organofosforados y organobromados.	Fertilizantes: información en FAO (2002); La fertirrigación puede provocar que las sustancias lleguen rápidamente a los recursos hídricos. SAG, INIA y FIA pueden tener información sobre la venta o mejor la aplicación. Pesticidas: SAG, INIA y FIA pueden tener información de cuales se aplican. Está permitido, que algunos muy tóxicos para las especies acuáticas, se apliquen de forma aérea: por ejemplo glifosato y atrazina (prohibida en UE); aplicación disuelta en agua de riego.
Ganadería	Planteles Bovinos, Porcinos, Ovinos, otros (RIL): DQO, DBO ₅ , N-NH ₄ ⁺ *, N-NO ₃ ⁻ , N-NO ₂ ⁻ , Ptotal, pH, coliformes fecales, SST, desinfectantes, pesticidas (por ejemplo contra moscas, hongos). Sobrepastoreo: Ntotal, Ptotal, Clorofila a. Riego con purines: DQO, DBO ₅ , Norg, N-NH ₄ ⁺ *, N-NO ₃ ⁻ , N-NO ₂ ⁻ , Ptotal, pH, coliformes fecales, SST.	Internacionalmente se miden también medicamentos, como antibióticos y hormonas para el crecimiento. El riego con purines puede llegar a los cursos de agua por canales de drenaje, canales de riego, escorrentía superficial o afloramiento de flujos intermedios (suelo) o de aguas subterráneas.
Acuicultura	Nutrición: Ntotal, Ptotal, Clorofila a. Medicación: antibióticos, hormonas. Excrementos: DQO, DBO ₅ , Norg, N-NH ₄ ⁺ *, N-NO ₃ ⁻ , N-NO ₂ ⁻ , Ptotal, pH, coliformes fecales, SST, SS. Limpieza y desinfección, detergente: poder espumógeno, Cl, SAAM, antifouling, piretroides, fungicidas, formaldehído.	Revisar monitorear D.S. N° 90/2000 y de RCA (si existe). Legislación vigente: Reglamento Ambiental para la Acuicultura D.S. N° 320/2001.
Plantas de Proceso Pescado (Productos del Mar)	Aceites y Grasas, SST, NTK, N-NO ₃ ⁻ , N-NO ₂ ⁻ , CF; Fosforo; pH; detergente; SS; Índice Fenol;	
Lecherías	DQO, DBO ₅ , pH, N-NH ₄ ⁺ *, Ntotal, Ptotal, SST, Se, aceite y grasas, detergentes, poder espumógeno, desinfectantes, varios tóxicos.	Revisar el monitoreo del D.S. N° 90/2000 y de RCAs; revisar si el SAG entrega permisos de regar con estas aguas.
Minería	Metales, metales pesados (As, Cu, Cd, Pb, Hg, entre otros), SO ₄ ²⁻ , pH, conductividad, SST. Relaves, pasivos, drenaje ácido, agua de contacto. Baños de los empleados: DQO, DBO ₅ , N-NH ₄ ⁺ *, N-NO ₃ ⁻ , N-NO ₂ ⁻ , Ptotal, pH, Cl, coliformes fecales. Pasivos mineros (drenaje ácido, metales pesados), erosión con lluvia o viento, cambio climático (aluviones), afloramiento agua subterránea.	Según SERNAGEOMIN (sin año), en Chile se producen: Cu, Au, Ag, Fe, Mn, Mo, Pb, Zn, Co, W, Ti, Cr, U y Hg. También hay minas de Li, otras sales, yeso y carbón, entre otros. Sin embargo, estos compuestos están acompañados de otros contaminantes, por ejemplos metales pesados como As. En pequeñas y medias minas de oro se podría utilizar ilegalmente Hg. Afloramiento de agua subterránea, contaminada por la mina (agua de contacto).

Rubro (puntual y difuso)	Parámetros	Observaciones
Extracción de petróleo	TPH (hidrocarburos totales de petróleo), PAH, Fenoles; BTX (Benceno, Tolueno y Xileno), PCB (Bifenilos Policlorados), metales potenciales: As, Cd, Zn, Cu, Cr, Mn, Hg y Pb.	Información en Castro (2007).
Celulosas / Papeleras	DQO, DBO ₅ , AOX, SO ₄ ²⁻ , Cl- PAH, hidrocarburos totales, fenoles, metales (Al, Fe, Mn). Baños de los empleados: DQO, DBO ₅ , N-NH ₄ ⁺ *, N-NO ₂ ⁻ , N-NO ₃ ⁻ , Ptotal, pH, coliformes fecales.	Revisar las RCAs.
Termoeléctricas	Temperatura, THM, pH, SST, petróleo, aceites y grasas, antiincrustantes, metales.	
Hidroeléctricas	Fe, Al, Mn, SST, clorofila a. Hydroflushing puede provocar peaks de contaminantes, especialmente de los acumulados en los sedimentos.	Embalses y de pasada con muro: el cambio de flujo lótico a léntico puede provocar eutrofización (por ejemplo, se observó en el río Laja).
Explotación de Áridos	SST y también metales, nutrientes y pesticidas acumulados en el sedimento.	
Mataderos	DQO, DBO ₅ , pH, SST, Cl-, N-NH ₄ ⁺ *, N-NO ₂ ⁻ , N-NO ₃ ⁻ , aceites y grasas, coliformes fecales.	
Agroindustria	DQO, DBO ₅ , pH, SST, N-NH ₄ ⁺ *, N-NO ₂ ⁻ , N-NO ₃ ⁻ , Na, aceite y grasas, coliformes fecales.	
Manufactura de fertilizantes y pesticidas	Fertilizantes, pesticidas, DQO, DBO ₅ , pH, Ntotal, Ptotal, SST, SO ₄ ²⁻ , aceite y grasas.	
Depósitos de basura	Varios contaminantes, DBO ₅ , DQO, amonio, metales pesados, sales y residuos de tóxicos. Con lluvia se pueden resolver contaminantes y drenar a los recursos hídricos.	Se observan muchas deposiciones de basura en las riberas de los ríos, estuarios, lagos y en la costa. Los plásticos entran al mar y contaminan especies marinas.
Agua de lluvia	Aceites y Grasas, metales, Hidrocarburos (totales, volátiles y fijos), entre otros.	Contaminantes del aire y de las calles y autopistas, incluyendo tóxicos de frenos y neumáticos.

* $N-NH_4^+ = N-NH_4^+ + N-NH_3$ (La forma química depende del pH, por esta razón se mide como suma).

Respecto de lo anterior, la Comisión Europea en el Reglamento E-PRTR, obliga a los Estados Miembros a informar los datos de emisiones notificados por los complejos industriales y fuentes de emisiones difusas. Estas listas actualizadas, pueden servir para revisar la selección de parámetros y para conocer contaminantes emergentes en Chile. Los últimos se podrían incluir en un monitoreo realizado como parte del Análisis Integral (capítulo 4) o en la Red de Observación de las NSCA que se esté elaborando.

5.3.4 Parámetros en Estuarios

La importancia ecológica de los estuarios se abordó anteriormente, de allí el interés en regularlos como parte de las cuencas hidrográficas. Algunos estuarios están incluidos en la Red del Monitoreo de Humedales que gestiona el Ministerio del Medio Ambiente y la información puede aumentar si se consideran los resultados científicos de distintos autores. Si no existe suficiente información, se puede utilizar un set de parámetros básicos, consistentes en Ntotal, Ptotal, Clorofila a, turbiedad y oxígeno. Una for-

ma de aumentar la información biológica en estuarios, es monitorear este tipo de parámetros en la Red de Observación de las NSCA: fitoplancton, fitobentos, macrófitas, macroalgas, macroinvertebrados bentónicos, fauna íctica, y también nutrientes y metales en los sedimentos. De esta manera, una vez que las normas cumplan su plazo de revisión, equivalente al menos a 5 años (D.S. N°38/2012), se podrá evaluar qué parámetros tienen mayor implicancia en dichos parámetros biológicos e incorporarlos en las normas revisadas.

5.3.5 Metales

En los recursos hídricos de Chile se encuentran, de manera natural, distintos metales y metaloides que llegan por la erosividad de las lluvias o el viento. Sin embargo, hay varias fuentes antropogénicas de emisión de metales, especialmente los relaves y pasivos mineros, pero también industrias. Por ejemplo, se utilizan metales como hierro y aluminio para la sedimentación o floculación de otros contaminantes como biomasa orgánica o sedimentos.

Metales Totales / Disueltos y Metales Esenciales / No Esenciales

Para determinar el valor de Metales Totales o Disueltos, se utilizan las mismas muestras colectadas en terreno con la sola diferencia que, para los metales disueltos la muestra se filtra a través de una membrana de 0,45 μm de poro, mientras que para los metales totales se analiza la muestra sin filtrar. La importancia de medir los Metales Totales es que estos son utilizados por la mayoría de los organismos (desde microorganismos hasta peces) a través de sus distintas estrategias de asimilación (filtración, fagocitosis, succión y depredación). Los metales también pueden adherirse a granos de sedimento y quedar biodisponibles para la biota, por ejemplo algas y bacterias.

Junto con los metales totales, puede ser importante normar los metales disueltos porque, como se explica precedentemente, a pHs bajo 5 metales de esta fracción se movilizan y pueden tener una alta toxicidad. La Figura 20 muestra la diferencia de la toxicidad de metales esenciales (para la fisiología de las especies) y no esenciales para la biota.

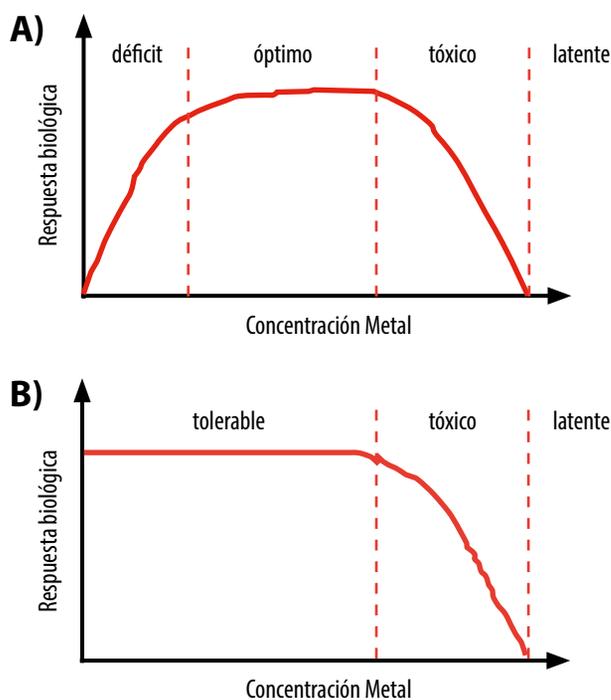


Figura 20: Diferencia en las toxicidades de metales esenciales (A) y no-esenciales (B) (Harding, 2005, modificado).

5.3.6 Sedimentos

En los sedimentos se pueden acumular nutrientes, metales y metaloides, pesticidas, hidrocarburos y otros tóxicos, que se pueden resuspender por el movimiento de los mismos sedimentos, la actividad biológica un cambio en el pH o de oxígeno del medio. Además, los sedimentos son el hábitat para las especies bentónicas (de fondo). En este contexto, resulta importante normar parámetros de importancia ambiental en los sedimentos. Hasta la fecha de publicación de esta guía, en Chile no existe normativa ambiental asociada a sedimentos.

En cuanto a la data, existen datos físico-químicos provenientes del programa POAL (DIRECTEMAR) de sedimentos marinos y de algunos estudios del SERNAGEOMIN y de la DGA, en ríos. Por ejemplo, Lacassie (2008) reportó concentraciones elevadas de cobre, molibdeno, arsénico, antimonio y varios otros contaminantes en los sedimentos de la cuenca del río Rapel.

5.3.7 Contaminantes Emergentes en Chile

En Chile existe una brecha importante de información sobre compuestos tóxicos del tipo disruptores endocrinos y cancerígenos, especialmente los compuestos orgánicos persistentes (COPs) reportados en ecosistemas acuáticos de otros países. Ejemplos puntuales son Bifenilos Policlorados (PCBs), Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs), medicamentos, hormonas, Polibromodifenil Éteres (PBDEs), cloroalcanos, nonilfenoles, octilfenoles, etoxilados, pesticidas y sus metabolitos (a veces más tóxico, que la sustancia original), entre otros.

Como la medición de estos contaminantes emergentes es normalmente muy cara para ser incorporada como estudio de una norma, alternativamente se puede utilizar la bioacumulación o los biomarcadores (peces y otras especies) reportados en la literatura. Los biomarcadores pueden mostrar la reacción de las especies frente a uno o más contaminantes, por ejemplo con cambios en el nivel de ciertas hormonas en los tejidos de las especies. Si los reportes de la literatura no corresponden a especies presentes en Chile, se sugiere aplicar el criterio de cercanía taxonómica entre las especies citadas y las especies de los ecosistemas a normar (Por ejemplo, pertenecientes a la misma familia o género).

5.3.8 Concentraciones Naturales

Es importante distinguir entre fuentes naturales y antrópicas que eleven algún contaminante. Este subcapítulo aborda las fuentes naturales de diferentes parámetros, más comunes en Chile. No obstante, es preciso no restringirse a lo aquí detallado y más bien considerar que se debe analizar en cada cuenca o cuerpo de agua marina, si existen otras fuentes naturales.

5.3.8.1 Rocas y Sismicidad

La geología del país hace que en muchas zonas las aguas contengan naturalmente altas concentraciones de sales y metales. En varias cuencas, por ejemplo ríos Valdivia y Biobío, se observan peaks de aluminio y hierro, provocados por arrastres de material en la escorrentía superficial, especialmente con las primeras lluvias intensas de otoño o invierno. Sin embargo, siempre se debe revisar, si las prácticas antrópicas del entorno de la cuenca o del cuerpo de agua marina, pueden aumentar este efecto, por ejemplo la minería o silvicultura.

Dado que Chile es un país altamente sísmico se debe considerar que después de un temblor o terremoto es posible que la calidad del agua cambie temporal o permanentemente. Por ejemplo, por la liberación de compuestos desde otros tipos de rocas a la superficie. En lagos, un terremoto y sus réplicas pueden provocar la mezcla de la columna de agua, cuya condición previa fue la estratificación.

5.3.8.2 Volcanes y Fuentes Geotermales

La actividad volcánica y geotérmica puede tener distintos tipos de influencia en la calidad de agua. La ceniza y el humo pueden provocar lluvia ácida, lo que a su vez puede bajar el pH del agua de un cuerpo de agua y movilizar metales y metaloides desde los sedimentos. En Chile, la presencia de rocas volcánicas que contienen varios metales y metaloides, incluyendo arsénico, pueden provocar que las aguas termales presenten altos valores de este compuesto. Un ejemplo de lo anterior es lo que se observa en la cuenca del río Mataquito (Aravena, 2012), en algunos tramos del Río Lontué.

5.3.8.3 Salares

En la cordillera de los Andes, particularmente en la zona altiplánica (> 2.000 msnm) se ubican algunos salares que pueden tener influencia en la conductividad y el contenido

de sales de ríos, lagos y otros humedales. Cabe destacar que, el efecto de la presencia de ecosistemas acuáticos salinos no se restringe al norte de Chile, por ejemplo en el río Cachapoal (Proyecto Definitivo NSCA del Río Rapel*) hay un humedal hipersalino en su primera AV.

5.3.8.4 Afloramiento de Aguas Subterráneas

Las aguas subterráneas están presentes en todas regiones del país. Muchas veces el nivel freático aflora formando lagunas y lagos, modificando los niveles de agua de estos ecosistemas. En ríos, a veces los afloramientos de agua subterránea pueden cambiar notoriamente la calidad del agua, diluyendo o concentrando. Strauch et al. (2006) muestran con un análisis de isótopos estables el intercambio entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas en la cuenca del río Elqui y qué impacto tienen las actividades mineras en la calidad del río.

5.3.8.5 Temperatura

La temperatura cambia naturalmente dependiendo de las horas luz (día y noche), de la estación del año y de las condiciones climáticas, esto hace que sea difícil normar dicho parámetro. Sin embargo, la temperatura tiene mucha influencia en los procesos biológicos. Así por ejemplo, aguas abajo de una termoeléctrica puede ser necesario normar una diferencia (o delta) de temperatura de pocos grados Celsius, en relación con la temperatura aguas arriba de la planta termoeléctrica, para proteger la biota presente en este sector.

5.3.8.6 Cambio Climático

En Chile se observan varios efectos del cambio climático sobre la cantidad y la calidad del agua. La sequía, el retroceso y desprendimiento de glaciares y de la nieve en las cordilleras, disminuye los caudales en los ríos y la recarga de los acuíferos que alimentan lagos y otros humedales. Si a lo anterior se suma la disminución de los caudales por el sobreuso de la población humana, disminuye notablemente la capacidad de dilución de contaminantes.

Además, el aumento de temperatura ejerce mucha presión ecológica sobre las condiciones en el hábitat de los ríos, los lagos y las aguas marinas, por ejemplo el riesgo de eutrofización de las aguas.

* http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2017/proyectos/OFICIO_175141_CUENCA_RIO_RAPEL.pdf

Por lo demás, los eventos de precipitaciones extremas son cada vez más frecuentes y pueden provocar fenómenos aluvionales que dañan considerablemente la estructura y función de los ecosistemas acuáticos. Así, junto con los impactos físicos, los aluviones también arrastran contaminantes desde las áreas inundadas o desde pasivos ambientales (ejemplo relaves mineros) presentes en una cuenca, como se ha observado en las regiones de Atacama y Coquimbo.

En estos casos, el monitoreo de las normas no se debe interrumpir, aunque los datos post-evento no deben considerarse en el cumplimiento de las normas, por tratarse de fenómenos naturales.

5.3.9 Impactos de Contaminantes en los Ecosistemas Acuáticos

Los impactos de contaminantes en los ecosistemas acuáticos pueden afectar a los diferentes niveles tróficos del ecosistema. La Tabla 3 muestra un resumen de ejemplos de impactos de metales y metaloides seleccionados dependiendo del tipo de componente biótico. Sin embargo este cuadro es referencial, puesto que, si la concentración de un determinado parámetro esta elevada en una cuenca o en cuerpo de agua marina, siempre se debe realizar un análisis de literatura actualizada y preferentemente local (en Chile, el río, el lago o el agua marina que se quiere normar), lo que robustecerá los antecedentes y criterios para fijar un valor en cada lugar y completar adecuadamente su justificación.

Tabla 3: Resumen de impactos de metales y metaloides seleccionados en diferentes especies acuáticas.

Parámetro	Símbolo químico	Tipo	Bioacumulación/Acumulación	Toxicidad	Órganos/enzimas/hormonas
Aluminio	Al	metal	sedimento	agudo y crónico (bioensayos); pH bajo Al ⁺³ más tóxico; depende de la dureza ⁽¹⁹⁾	enzimas de branquias ⁽¹⁾
Antimonio	Sb	metaloides	sedimento ⁽²⁾		
Arsénico	As	metaloides	peces ⁽³⁾ , algas ⁽⁴⁾ plantas ^{(4),(16)} sedimento ^{(2),(16)}	entre los 4 metales pesados más tóxicos ⁽¹⁴⁾	cancerígeno ⁽⁵⁾
Boro	B	metaloides		depende de la dureza; más para los embriones y larvas de peces y anfibios ⁽⁶⁾	
Cadmio no-esencial, alta persistencia ⁽¹⁵⁾	Cd	metal	peces ⁽⁷⁾ , plantas ⁽¹⁶⁾ sedimento ⁽¹⁶⁾ macroinvertebrados ⁽¹⁷⁾	entre los 4 metales pesados más tóxicos ⁽¹⁴⁾ ; depende de la dureza ⁽¹⁹⁾	
Cobalto	Co	metal	peces ⁽⁷⁾	bioensayos ⁽⁸⁾	
Cobre	Cu	metal	peces ^{(7),(18)} sedimento ^{(2),(16)} , plantas ⁽¹⁶⁾ macroinvertebrados ⁽¹⁷⁾	depende de la dureza ⁽¹⁹⁾	
Cromo	Cr	metal	peces ^{(7),(18)} , plantas ⁽¹⁶⁾ sedimento ⁽¹⁶⁾		cancerígeno ⁽⁵⁾
Hierro	Fe	metal	peces ⁽⁷⁾	bioensayos agudo y crónico, MMA	branquias, tracto gastrointestinal ⁽⁹⁾
Manganeso	Mn	metal	peces ⁽⁷⁾		crecimiento ⁽¹⁰⁾
Mercurio no-esencial, alta persistencia ⁽¹⁵⁾	Hg	metal	muchas especies y magnificación ⁽¹¹⁾ plantas ⁽¹⁶⁾ sedimento ⁽¹⁶⁾	inorgánico y metilmercurio más tóxico, crónico ⁽¹¹⁾ ; entre los 4 metales pesados más tóxicos ⁽¹⁴⁾	sistema nervioso central
Molibdeno	Mo	metal	sedimento ⁽²⁾	bioensayos ⁽¹²⁾ ; depende de la dureza ⁽¹⁹⁾	
Níquel	Ni	metal	peces ⁽⁷⁾	depende de la dureza ⁽¹⁹⁾	cancerígeno ⁽⁵⁾
Plomo no-esencial, alta persistencia ⁽¹⁵⁾	Pb	metal	peces ^{(7),(18)} macroinvertebrados ⁽¹⁷⁾	entre los 4 metales pesados más tóxicos ⁽¹⁴⁾ ; depende de la dureza ⁽¹⁹⁾	cancerígeno ⁽⁵⁾
Zinc	Zn	metal	peces ⁽⁷⁾ macroinvertebrados ⁽¹⁷⁾		peces ⁽¹³⁾

(1): Rosseland et al., 1990; (2): Lacassie, 2008; (3): Copaja et al., 2016; (4): Pell et al., 2013; (5): Madhuri et al., 2012; (6): Birge & Black, 1977; (7): Abu Hilal & Ismail, 2008; (8): WHO, 2006; (9): Hurtado et al., sin año; (10): Hayat et al., 2007; (11): Wiener et al., 2003; (12): Heijerick et al., 2012a y 2012b; (13): The Nature Conservancy, 2009; (14): Pandey & Madhuri, 2014; (15): Khayatzaheh & Abbasi, 2010; (16): Harding, 2005, (17): Goodyear & Mc Neill, 1999; (18): Tapia et al., 2009; (19): Canadian Environmental Quality Guidelines.

5.3.9.1 Consideraciones Importantes sobre algunos Nutrientes y pH

Nitrógeno Amoniacal = Amonio (N-NH₄⁺) + Amoniaco (N-NH₃)

El nitrógeno amoniacal es la suma de las formas amonio (N-NH₄⁺) y amoniaco (N-NH₃). La forma entre los dos compuestos depende del pH. Desde un pH de 8,5 se acelera la transformación de amonio en amoniaco, el que puede llegar a ser muy tóxico para los peces y otros organismos, por lo que para proteger estas especies se debe focalizar la atención en las fuentes de aguas crudas (agua servida sin tratamiento, riego con purines de ganadería, etc.), si los valores de pH son elevados. La Figura 21, muestra las distintas especies de nitrógeno en el agua dependiendo del pH y oxígeno disuelto.

pH

Siempre es importante normar el pH por su efecto sobre otros parámetros, como se mostró en el ejemplo

de nitrógeno amoniacal. Khayatzadeh & Abbasi (2010) describen qué metales pesados pueden formar compuestos, por ejemplo con carbonatos, sulfatos y materia orgánica. En general estos compuestos presentan baja toxicidad para las especies acuáticas y una parte de estos precipita y se acumula en los sedimentos del fondo. Sin embargo, cuando baja el pH, por ejemplo por lluvia ácida o por fuentes de contaminación que favorecen la actividad biológica anaeróbica, los metales pesados pueden resuspenderse en la columna de agua y afectar a la biota acuática por su gran toxicidad. Por ejemplo Greig et al. (2010) observaron que los peces son muy sensibles con los metales que se resuspenden en condiciones de pH bajo.

Nitrógeno de Nitrito (N-NO₂)

Nitrito puede llegar a ser un compuesto tóxico para peces (Kroupova et al., 2005). En cuanto a la base de datos país, los servicios públicos encargados de monitorear los recursos hídricos, escasamente analizan este compuesto. No obstante, estas mediciones sí se

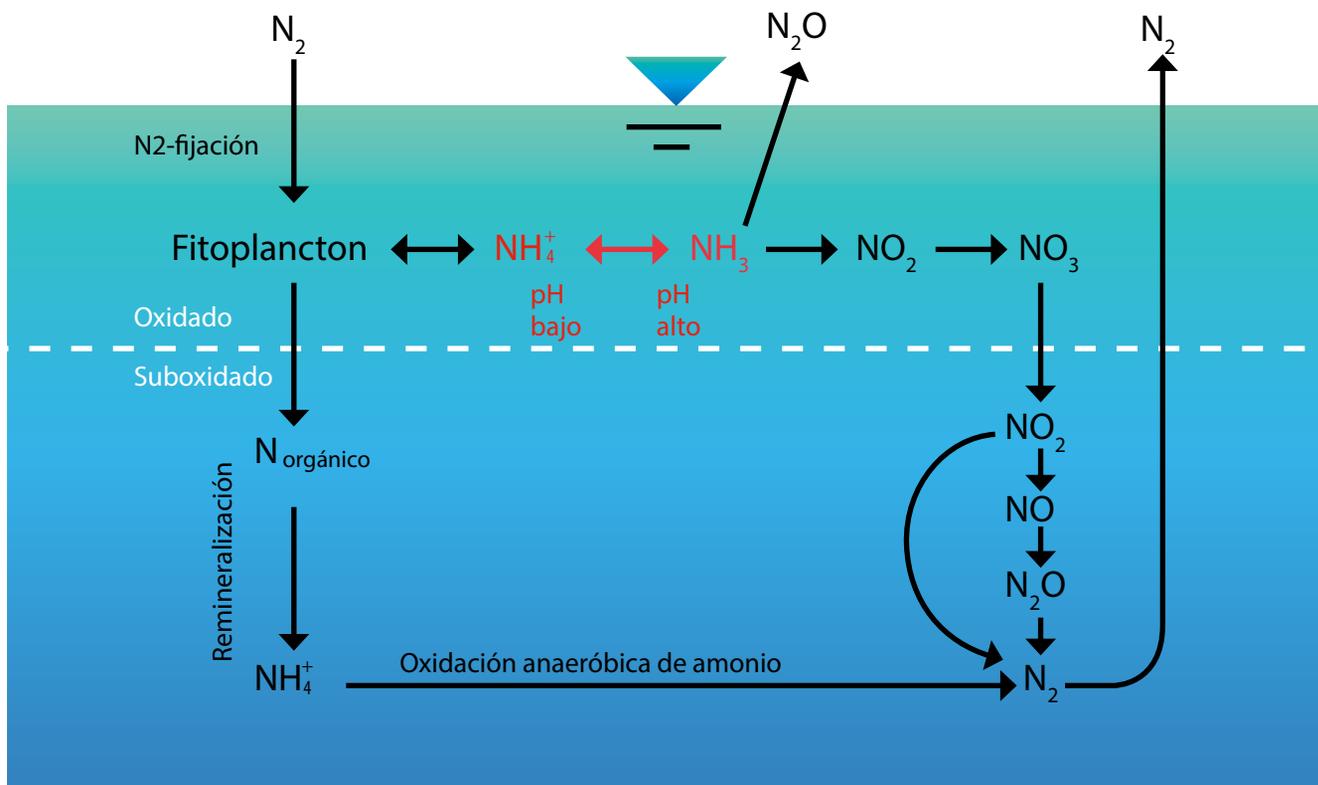


Figura 21: Muestra las relaciones entre las formas de nitrógeno en un ecosistema acuático (basado en Francis et al., 2007).

realizan en redes de monitoreo privadas. En estos monitoreos se han reportado concentraciones que son riesgosas para las especies acuáticas, especialmente peces (Kroupova et al., 2005), por ejemplo en las cuencas de los ríos Biobío y Rapel.

Nitrógeno de Nitrato (N-NO₃⁻)

Esta forma química de nitrógeno es muy soluble, por eso está fácilmente disponible y aumenta los niveles de trofia de los ecosistemas (ver capítulo 5.3.2). Es importante medir las distintas formas químicas de nitrógeno para tener antecedentes sobre potenciales eventos de contaminación.

Nitrógeno Orgánico (N_{org})

El nitrógeno orgánico es el principal producto nitrogenado de excreción y de la degradación de la biota. Se puede medir en forma suspendida, disuelta (fracción < 0,45 μm de tamaño), particulada (fracción > 0,45 μm de tamaño) y total (disuelto más particulado).

Nitrógeno Total (N_{total})

Es la suma de todas las formas nitrógeno en el agua:

$$N_{total} = N-NH_4^+ + N-NH_3 + N-NO_2^- + N-NO_3^- + N_{org}$$

Existen diferentes metodologías para medir el nitrógeno total, de manera directa o sumando las fracciones medidas. Este parámetro es uno de los cuales se utilizan para evaluar el riesgo de eutrofización (ver capítulo 5.3.2).

Nota: el Nitrógeno Kjeldahl incluye solamente N-NH₄⁺ + N-NH₃ + N_{org}, de esta manera no sirve para evaluar el riesgo de eutrofización del recurso hídrico. En el contexto internacional, este parámetro se utiliza para controlar los procesos en plantas de tratamiento de aguas servidas o para calcular, junto con el nitrato y el nitrito, el nitrógeno total.

Fósforo de Ortofosfato (P-PO₄)

El Ortofosfato es el fósforo inorgánico, incluyendo los fosfatos condensados. Existe biota que se alimenta de esta forma química de fósforo, pero también hay especies que utilizan el fósforo orgánico disuelto (< 0,45 μm) o particulado (>0,45 μm). Así, si se requiere evaluar el

efecto sobre la biota en su totalidad, se debe utilizar el fósforo total (disuelto + particulado y orgánico + inorgánico).

Fósforo Total (P_{total})

Es el segundo parámetro más importante para evaluar el estado trófico de un ecosistema acuático (ver capítulo 5.3.2). En ríos, es normalmente el parámetro limitante, mientras que en aguas marinas, es el nitrógeno. Sin embargo, en la geología del territorio chileno hay también tipos de rocas, que pueden aportar fósforo a los recursos hídricos y explicar algunos incrementos locales o estacionales. Así, el aporte geológico natural debe ser considerado.

5.3.9.2 Parámetros indicadores del estado del ecosistema

DBO₅

La definición se encuentra en Tabla 1 de este documento. Con esta variable se mide la cantidad de oxígeno consumido por bacterias y otros microorganismos heterótrofos al degradar la carga orgánica en el agua en un periodo, frecuentemente, de 5 días (DBO₅). Es importante normar este parámetro, porque la degradación de materia orgánica puede producir una demanda de oxígeno en el agua, tal que la concentración de oxígeno puede disminuir por debajo de valores necesarios para la vida acuática, especialmente en el caso de vertebrados (crustáceos, peces, entre otros). La medición de la DBO, debe ser acompañada de la DQO, para evaluar si hay tóxicos en el agua que afecten a la degradación biológica.

DQO

La definición se encuentra en la Tabla 1 de este documento. Se utiliza para medir el grado de contaminación asociada a carga orgánica difícil de degradar y partes de la carga inorgánica.

Clorofila a

La clorofila a es el tercer parámetro más adecuado para evaluar el estado trófico de un recurso hídrico (ver 5.3.2). La Clorofila a es un pigmento requerido para realizar fotosíntesis y por lo tanto es una medida indirecta de la biomasa fitoplanctónica en un deter-

minado volumen de agua o área definida (fitobentos). Particularmente, esta biomasa aumenta conforme empeora el estado trófico de un ecosistema, llegando a situaciones extremas de eutroficación, donde se producen los florecimientos o blooms de fitoplancton que pueden o no ser tóxicos, según el tipo de microalga que predomine. En el caso que los blooms de microalgas observados en una determinada AV correspondan a cianobacterias, es importante considerar estudios adicionales de toxinas.

Turbiedad / Transparencia

La turbiedad y la transparencia indican la capacidad del agua de transmitir luz, necesaria para la fotosíntesis y el control de la temperatura. Esta capacidad puede ser disminuida por materiales en suspensión, coloidales u otras partículas muy finas, o por algas. El aumento puede afectar por ejemplo a las plantas acuáticas y a las formas larvales de insectos o estadios

tempranos de vertebrados acuáticos. En lagos con poca carga de partículas inorgánicas y sustancias colorantes, la transparencia es un buen indicador para evaluar el estado trófico junto con la Clorofila a y las formas inorgánicas de N y P. Para normar esta variable en ríos se debe revisar el comportamiento del parámetro en toda la cuenca.

5.3.9.3 Sales

Osmorregulación

La osmorregulación es un proceso que regula la presión osmótica del medio interno de un organismo, manteniendo los líquidos osmóticos del cuerpo. La Figura 22 muestra la diferencia de este proceso en peces de agua dulce y de agua salada, así como y las diferencias de sensibilidad al estrés salino (SO_4^{2-} , Na^+ , Cl^- , K^+ , Mg^{2+} , F^- , Ca^{2+}) en sus hábitats. El impacto de sales en especies de agua dulce se encuentra en numerosas publicaciones.

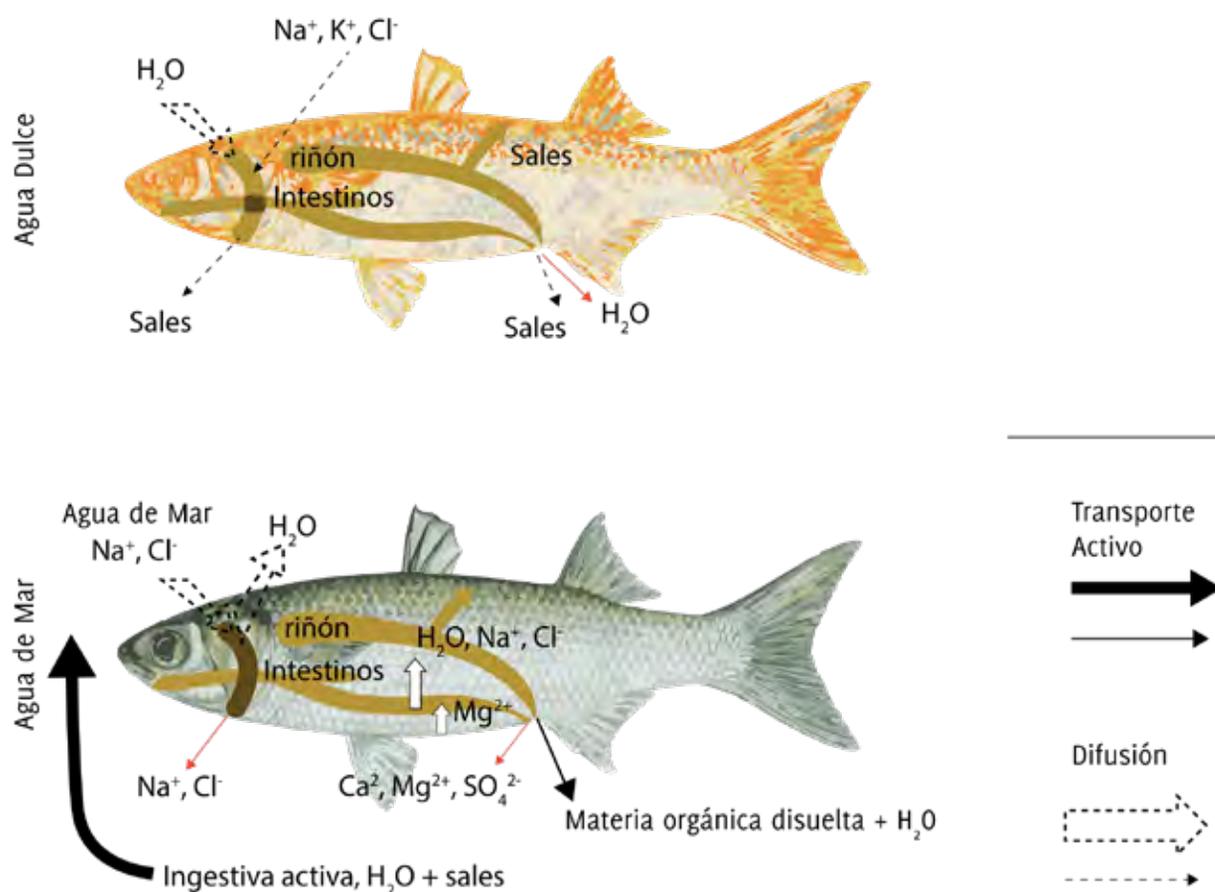


Figura 22: Osmorregulación en peces (Fuente: Gutierrez & Aguilera, 2015).

5.3.9.4 Otros tóxicos

Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)

Los compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX) corresponden a la suma de todos compuestos orgánicos de halógenos (Cloro, Bromo, Yodo y Flúor) adsorbibles. Especialmente los grupos de organoclorados y de organobromados contienen compuestos muy tóxicos para la vida acuática y para las personas. Los compuestos organoclorados son altamente persistentes (Hellawell, 1989), ya que su hidrofobicidad permite su concentración en el ambiente, en compartimentos como los sedimentos y tejidos grasos (proceso de bioacumulación). Además, por ser de difícil biodegradación son concentrados a lo largo de la cadena trófica (proceso de biomagnificación), observándose este fenómeno hasta en aves y mamíferos marinos que se alimentan de especies acuáticas.

Hidrocarburos Totales

Dada la deficiencia en su medición en los laboratorios que realizan este análisis en Chile (a la fecha de la publicación de esta guía), en los cuales los límites de detección de las metodologías suelen ser muy altos (10 mg/L) respecto de laboratorios internacionales, es recomendable medir en su lugar Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos o HAP, para los cuales además, se dispone de suficiente información sobre sus efectos tóxicos en los ecosistemas acuáticos. Además, es mejor medir HAP en vez de Hidrocarburos Totales, considerando que entre estos últimos existen muchos compuestos con distintos grados de toxicidad lo que resulta altamente inespecífico para normarlos. Sin embargo, en cuerpos de agua con valores frecuentemente sobre el límite de detección, especialmente en aguas marinas y lagos navegables, el parámetro se puede normar.

Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP o PAH- inglés)

Los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos son de los compuestos más tóxicos entre los hidrocarburos, entre otras cosas porque son persistentes en el medio ambiente. Su origen proviene, de la combustión de carbón, aceite, petróleo y madera; de incendios fo-

restales; de actividades volcánicas; de aguas lluvia de calles y de la deposición atmosférica, entre otros. Los HAP son muy solubles, se absorben por el tracto gastrointestinal de mamíferos y muestran una tendencia a localizarse en el tejido graso de los individuos (Abdel-Shafy & Mansour, 2015). Madhuri et al. (2012) mostró que los HAP pueden producir cáncer en peces. Otros efectos de los HAP sobre peces fueron reportados por Collier et al. (2014).

Organoclorados

Los organoclorados son compuestos que corresponden a la suma de todos compuestos orgánicos de cloro. En esta suma se encuentran algunos muy tóxicos, como por ejemplo pesticidas prohibidos en otros países, debido a su fuerte impacto en la salud humana y el medio ambiente. Efectos negativos de los compuestos organoclorados, como también de los organofosforados, han sido confirmados en peces (Khayatzadeh & Abbasi, 2010). Estos compuestos pueden ser compuestos intermedios de los procesos de desinfección por cloración (CBPs), especialmente en aguas marinas debido a los halogenados existentes en esta matriz. Así, el cloro oxida los iones Br produciendo HOBr y OBr⁻, pudiendo quedar en solución HOCl y OCl⁻. Los componentes oxidantes residuales reaccionan con la materia orgánica del agua de mar y en estas reacciones se pueden generar trihalometanos como bromoformo, entre otros.

5.3.9.5 Redundancia de parámetros

Se debe revisar, si existe redundancia entre los parámetros seleccionados a normar. Un ejemplo de lo anterior es la asociación entre la conductividad, la salinidad y los sólidos disueltos totales (SDT). De esta forma, al medir los SDTs, se miden principalmente las sales disueltas, que es la misma información que se obtiene midiendo la salinidad. Y, al medir la conductividad se mide la capacidad de conducir electricidad por las sales disueltas en el agua, obteniéndose la misma información (aunque con otra unidad), que midiendo la salinidad. Siendo además la medición de la conductividad mucho más económica.

Otro análisis de redundancia se puede hacer con los metales divalentes (Cd, Zn, Fe, Mn). No obstante se

debe considerar la influencia de la presencia de fuentes puntuales específicas (Por ejemplo producción y transporte de concentrado de cobre) o de fenómenos naturales como geotermia.

De darse una redundancia de parámetros (de 3 a 1, por ejemplo), es aconsejable escoger aquel que mayormente influya en la variable respuesta (biológica). Es aconsejable evitar la redundancia, aunque ello debe estar técnicamente bien fundado en el expediente de la norma.

5.4

Evaluación del Estado Actual de la Cuenca o el Cuerpo de Agua Marina



En una siguiente etapa de la elaboración de las NSCA, se debe evaluar el estado de las especies en los ecosistemas acuáticos de la cuenca o del cuerpo de agua marina. El criterio que se debe aplicar es que un buen estado de la calidad del agua se debe mantener, mientras que donde hay un ecosistema amenazado, el estado de la calidad del agua se debería recuperar, no obstante en esta última situación debe haber consenso con el Comité Operativo de la norma. Los resultados en esta parte de la elaboración de normas se utilizan para tomar decisiones sobre los niveles de las normas (ver 5.5). El primer paso es desarrollar una Tabla de Clases de Calidad.

5.4.1 Elaboración de Tablas de Clases de Calidad

Para construir las Tablas de Clases de Calidad, que se describirán en el presente capítulo, es importante tener en cuenta siempre las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál es el estado de la biota en las diferentes condiciones físico-químicas de la cuenca o el cuerpo de agua marina?
2. ¿Cuál es el estado natural sin contaminación de origen antrópico que es posible de corroborar con

información espacial o temporal de la cuenca o el cuerpo de agua marina a normar?

3. ¿Qué significa un buen estado de la biota como variable respuesta?

En cuanto a las Tablas de Clases de Calidad, estas son una herramienta para evaluar el estado de los ecosistemas acuáticos en relación con la calidad físico-química del agua medida en la cuenca o el cuerpo de agua marina. Para este fin, los valores de la Tabla de Clases de Calidad se deben determinar sobre la base del impacto de cada parámetro en las especies de los ecosistemas acuáticos. Las Tablas se construyen con 5 clases de calidad cada una de las cuales corresponde a un rango de concentración. El valor señalado en cada clase representa el valor máximo de su rango, por lo que su valor mínimo viene dado por el valor señalado en la clase anterior. Estos rangos se fijan en base a la mayor cantidad posible de información biológica, ecotoxicológica, estadística y otros antecedentes relacionados con el estado de los ecosistemas acuáticos.

Para la mayoría de los ecosistemas acuáticos de Chile, existe limitada información biológica, por lo tanto es importante compilar y sistematizar toda la información disponible en instituciones públicas y

privadas con objeto de desarrollar la Tabla de Clases de Calidad. Para lo anterior, se debe utilizar la información del Análisis Integral (capítulo 4). Adicionalmente, es importante considerar que, cuando unas determinadas NSCA están vigentes, se compila más información debido al monitoreo del seguimiento de las normas (bioindicadores, bioensayos, etc.). Esta información se puede utilizar para revisar la Tabla de Clases de Calidad en el proceso de revisión de las NSCA, de manera de precisar rangos y agregar más parámetros, entre otros.

La Tabla 4 muestra un ejemplo de las definiciones de las clases de calidad. Algunos de los criterios de las clases tienen como origen, índices biológicos de Alemania, por ejemplo del índice saprobio (Norma alemana DIN 38 410, parte 1 y 2, de 1990).

Para definir las condiciones físico-químicas que reflejan las diferentes clases descritas en la Tabla 4, se pueden aplicar diferentes metodologías. La presente guía muestra algunas posibilidades para determinar esta relación,

sin embargo se pueden revisar otras metodologías con el mismo objetivo, es más, se recomienda utilizar diferentes metodologías para minimizar la incertidumbre en la determinación de las clases de calidad. Las condiciones en los ecosistemas acuáticos son complejas por lo que es necesario utilizar toda la información disponible.

Metodologías para la Elaboración de Tablas de Clases de Calidad

Las metodologías posibles de aplicar para la elaboración de la Tabla de Clases, necesariamente dependerán de la información disponible. En esta parte de la guía se exponen algunos de estos métodos.

5.4.1.1 Análisis Multivariable

Una metodología para evaluar la relación entre la calidad del agua y el impacto en los ecosistemas acuáticos es el análisis multivariable. Es un análisis estadístico “exploratorio” que utiliza la correlación múltiple entre los parámetros abióticos y bióticos. Los resultados se grafían en representaciones canónicas. La Figura 23 muestra un ejemplo de la cuenca del río Elqui.

Tabla 4: Ejemplo de las definiciones de las clases de calidad.

Clase	Perturbación	Biota / Eutrofización
1 Excelente	Escasa perturbación	Estado natural o muy similar al natural de la cuenca o el cuerpo de agua marina, asegura la preservación de las especies más sensibles, reproducción de peces sensibles, alta saturación de oxígeno, estado ultraoligotrófico, apta para fuente de agua potable
2 Bueno	Moderadamente perturbado	Óptima para la protección y conservación de ecosistema acuáticos, alta biodiversidad con una gran densidad, siempre una buena concentración de oxígeno, escasa carga orgánica, estado oligotrófico
3 Regular	Perturbado	Disminución de biodiversidad, tendencia al aumento del estado trófico (mayor abundancia de macrófitas, aumento de turbiedad, etc.), gran diversidad de peces, pero no apta para peces sensibles, oxígeno se reduce respecto de clases anteriores (cargas orgánicas, algas), estado mesotrófico
4 Mala	Altamente perturbado	Condición crítica para el ecosistema acuático, daños en su estructura y función (mortalidad $\geq 50\%$ del ecosistema acuático), muy pocas especies tolerantes con abundancia muy alta, especies sensibles desaparecen, mortalidad masiva de peces, concentraciones ambientalmente inaceptables, estado eutrófico
5 Muy mala	Muy fuertemente perturbada con grandes cargas de contaminantes	Intoxicaciones, aparición de cianobacterias tóxicas, peces desaparecen, pérdida de biodiversidad, concentraciones ambientalmente inaceptables, muy poco oxígeno, alta turbiedad, estado hipertrófico

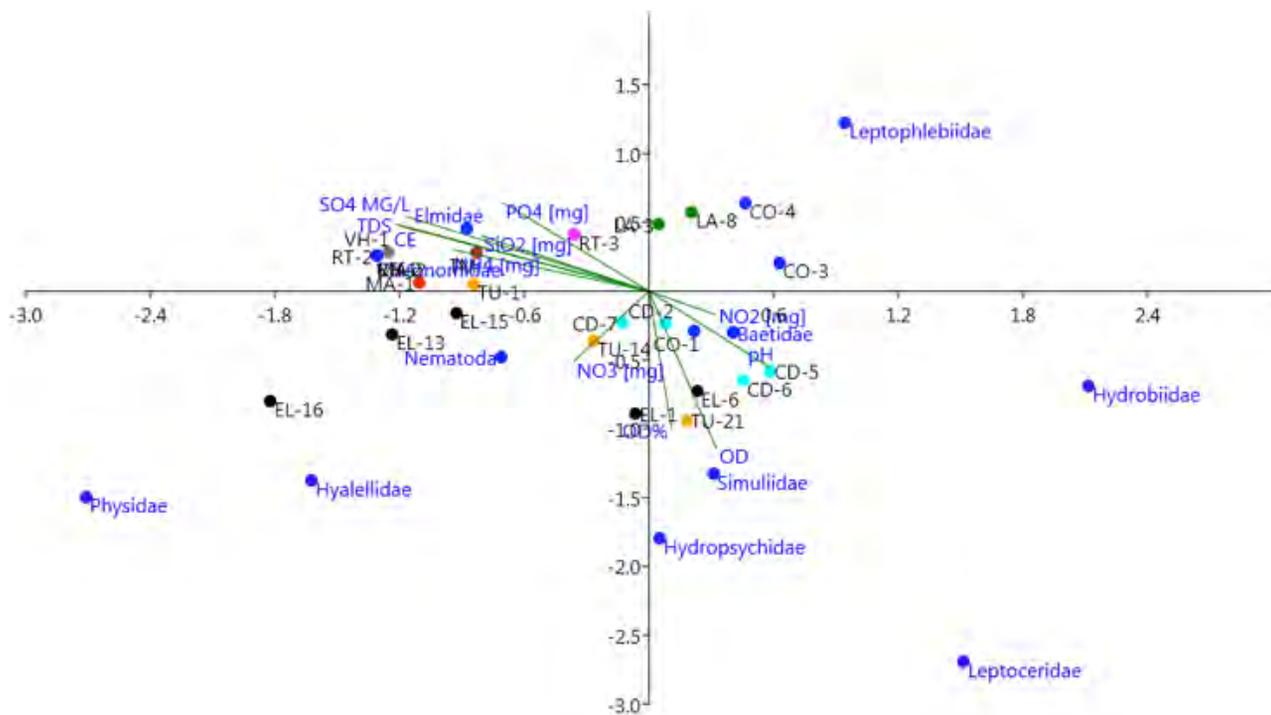


Figura 23: Representación Canónica de la cuenca del río Elqui (Fuente: MMA-UCN, 2017).

El análisis multivariante, es una metodología estadística para reducir la varianza total de un conjunto de parámetros analizados, unos con otros, y encontrar los “parámetros forzantes de los ecosistemas” (aquellos que fuerzan la variabilidad de la mayor parte de los otros parámetros). En cada análisis multivariante, la combinación de correlaciones genera nuevos ejes (denominados componentes) de un gráfico multidimensional en el que cada parámetro adquiere nuevos valores. Las componentes I y II son las que acumulan el mayor porcentaje de la varianza de los parámetros correlacionados. Estas componentes se representan gráficamente en dos ejes, uno horizontal (componente I) y otro vertical (componente II). Cada parámetro o punto de monitoreo analizado puede ser asociado a una de estas componentes y dependerá de su valor en el eje, el grado de correlación con cada componente y los parámetros que éste represente. Una descripción acabada del principio matemático de este análisis se puede encontrar en Rencher (2003).

En el ejemplo de la Figura 23, se muestra que el sulfato (SO_4^{2-}), los sólidos disueltos totales (TDS) y la conductividad eléctrica (CE) son parámetros asociados a la componente I, lo que significa que “explican esta componente”

y además que dichas variables (forman un cluster). Tanto como las correlaciones directas, a través de este análisis se pueden analizar las correlaciones inversas. Así, en el ejemplo se puede observar que el pH y el sulfato, se localizan en posiciones opuestas, lo que indica que están inversamente correlacionados, es decir, un aumento del primero provocaría una reducción del segundo.

En este ejemplo también se analizaron las abundancias de las familias de macroinvertebrados como un parámetro más (puntos azules). El resultado indicaría que la familia de Elmidae fue resistente a la contaminación minera pues forma un cluster con SO_4^{2-} , TDS y CE; mientras que la familia Hydrobiidae reacciona de manera más sensible a las concentraciones altas de este mismo tipo de contaminación, ubicándose asociada a la Componente I, pero en el otro lado del eje.

Otro de los usos que se le puede dar a este tipo de análisis es establecer la relación de los puntos de monitoreo que forman parte de la base de datos de las normas con los parámetros que definen cada una de las componentes. En el ejemplo de la Figura 23 la estación MA-1 (rojo) se puede asociar a la componente I, que a su vez está definida

por los parámetros SO_4^{2-} , TDS y CE. Siendo esta estación la primera localizada aguas abajo de la actividad minera del ejemplo, se explicarían los altos valores de estos parámetros y la influencia de la minera en la contaminación de este punto.

Este análisis puede ser de gran ayuda, especialmente cuando faltan índices biológicos adaptados a las condiciones del recurso hídrico a normar. Por ejemplo, en las cuencas de los ríos del norte de Chile, se registran varias familias de especies de macroinvertebrados bentónicos que no están en los listados de organismos sensibles, de acuerdo con los índices bióticos de la bibliografía.

No obstante sus virtudes, para que este tipo de análisis sea suficientemente robusto, se requiere de una buena cantidad de datos de monitoreo físico-químico y biológico, los cuales además, deben coincidir en tiempo y lugar del levantamiento de la información.

En cuanto a los parámetros forzantes antes descritos, si estos se correlacionan con la biota se pueden seleccionar para realizar bioensayos o aumentar la frecuencia del monitoreo.

Una forma de relacionar directamente la calidad física-química del agua con los impactos en las especies, es la Evaluación de Riesgo Ecológico (ERE). Para este análisis se realizan bioensayos que muestran la ecotoxicidad de los parámetros seleccionados sobre las especies del ecosistema a normar. La selección de especies es muy importante para que los bioensayos puedan mostrar el riesgo para los ecosistemas acuáticos completos.

5.4.1.2 Evaluación de Riesgo Ecológico/ Bioensayos

Para realizar un estudio de ERE se deben seleccionar especies representativas del ecosistema a normar. En base a esto, se deben seleccionar especies que tienen una función importante para el ecosistema en los diferentes niveles tróficos representados:

- Peces
- Macroinvertebrados
- Fitoplancton
- Zooplancton
- Macrófitos

La selección de las especies es importante. La experiencia de los expertos muestra que muchas especies nativas, de peces por ejemplo, no sobreviven en condiciones de laboratorio y que no se puede realizar la reproducción necesaria para las repeticiones de los bioensayos. Considerando este aspecto de la sensibilidad, frecuentemente se utilizan especies resistentes, pero éstas pueden ser tan resistentes que no sirven para evaluar el riesgo para el ecosistema acuático completo. Por ejemplo, algunos bioensayos con *Galaxias maculatus* (Puye), mostraron la gran resistencia de este pez a parámetros tóxicos. Lo mismo se puede observar en la naturaleza, ya que los individuos de esta especie se reproducen en el estuario del río Biobío (Campos, 1979), el cual es uno de los puntos con mayores aportes de contaminación de la cuenca, dada la presencia de varias fuentes de emisiones en este sitio y desde toda la cuenca aguas arriba. Se debe mencionar que las NSCA deben tener un especial foco en la protección de las especies más sensibles. Si estas últimas se encuentran en buenas condiciones, este hábitat tiene un alto potencial de desarrollo de la biodiversidad.

En este contexto es importante considerar que se deben evaluar la contaminación aguda y crónica en los análisis de bioensayos. Así, por ejemplo para el caso de los metales pesados, una exposición crónica (concentraciones subletales sostenidas en el tiempo) puede producir cáncer en el ser humano y en algunas especies acuáticas, mientras una exposición aguda provoca la muerte de los individuos. La determinación de los distintos tipos de toxicidad se puede obtener a través de diferentes índices o concentraciones:

Toxicidad aguda

LC50= Concentración letal media: concentración que causa la muerte a la mitad de los individuos ensayados

PNEC= Concentraciones de No Efecto (valor más elevado que no afecta la muerte de los individuos)

Toxicidad crónica

NOEC= Concentración de efecto no observado

LOEC= Concentración más baja de efecto observado

Las concentraciones de no efecto (PNEC), se calculan aplicando un factor de seguridad (FS) de 50 y 100 a los LC50, por ejemplo de acuerdo a lo recomendado por la Unión Europea en la Directiva Marco de Agua (Tabla 5).

Tabla 5: Factores de seguridad por resultados de NOEC según la Directiva Marco de Agua (UE, 2000/60/CE, 2000).

Descripción	Factor de seguridad
Al menos un L(E) C50 puntual de cada uno de los tres niveles tróficos del conjunto de base	1000
Un NOEC prolongado (peces o Daphnia o un organismo representativo de las aguas saladas)	100
Dos NOEC prolongados de especies que representen dos niveles tróficos (peces y/o Daphnia o un organismo representativo de las aguas saladas y/o algas)	50
NOEC prolongado de, al menos, tres especies (normalmente fauna ictiológica, Daphnia o un organismo representativo de las aguas saladas y algas) que representen tres niveles tróficos	10
Otros casos, incluidos datos de campo o ecosistemas modelo, que permitan el cálculo y la aplicación de factores de seguridad más precisos	Evaluación caso a caso

En caso que se disponga de datos sobre persistencia y bioacumulación, deberán tenerse en cuenta al derivar el valor final de la norma de calidad medioambiental.

La norma así derivada deberá compararse con las posibles pruebas procedentes de estudios de campo. En caso de que aparezcan anomalías, deberá revisarse la derivación con objeto de calcular un factor de seguridad más preciso.

La norma resultante deberá someterse a un examen crítico de expertos y a consulta pública con objeto, entre otras cosas, de permitir el cálculo de un factor de seguridad más preciso.

Los factores de seguridad de la Tabla 5, como también los publicados por la OCDE (1992), muestran la importancia de tener suficientes bioensayos para disminuir la incertidumbre al normar. Es necesario hacer notar que, en el caso de NSCA de aguas continentales, se utilizan especies de agua dulce para las AVs no salobres.

Para evaluar la toxicidad crónica existen diferentes metodologías. Por ejemplo adultos de distintas especies reaccionan con cambios en los patrones de respiración cuando se les expone a un contaminante que les afecta. De esta manera, se puede medir el consumo de oxígeno. En el contexto internacional se utilizan embriones o larvas, normalmente de peces, anfibios u otros organismos, los cuales muestran cambios en el crecimiento o malformaciones.

En el caso de los antecedentes necesarios para normar, si no se realizaron bioensayos para la cuenca o el cuerpo de agua marina a normar, se puede revisar datos existentes para ecosistemas comparables (por

ejemplo, ríos o lagos pertenecientes a una misma zona geográfica y localizándose una altitud similar).

En el caso de las especies estandarizadas (cultivos estándar de uso común en laboratorios certificados), se pueden utilizar resultados de bioensayos de otros países, pero siempre se debe evaluar si el valor fijado a través de dichos resultados protege las especies nativas de los ecosistemas chilenos. En el caso de estas comparaciones es muy importante la cercanía taxonómica de las especies a comparar y si sus hábitats son comparables.

Distintos resultados de bioensayos de especies de aguas continentales y marinas se encuentran en publicaciones científicas, en proyectos y el seguimiento de las Resoluciones de Calificación Ambiental de fuentes de emisión, incluyendo hidroeléctricas y minerías.

Si se tiene suficiente información, se pueden desarrollar curvas de ERE. Las Figuras 24 y 25 muestran ejemplos de curvas de ERE de toxicidad aguda y crónica para especies en Canadá.

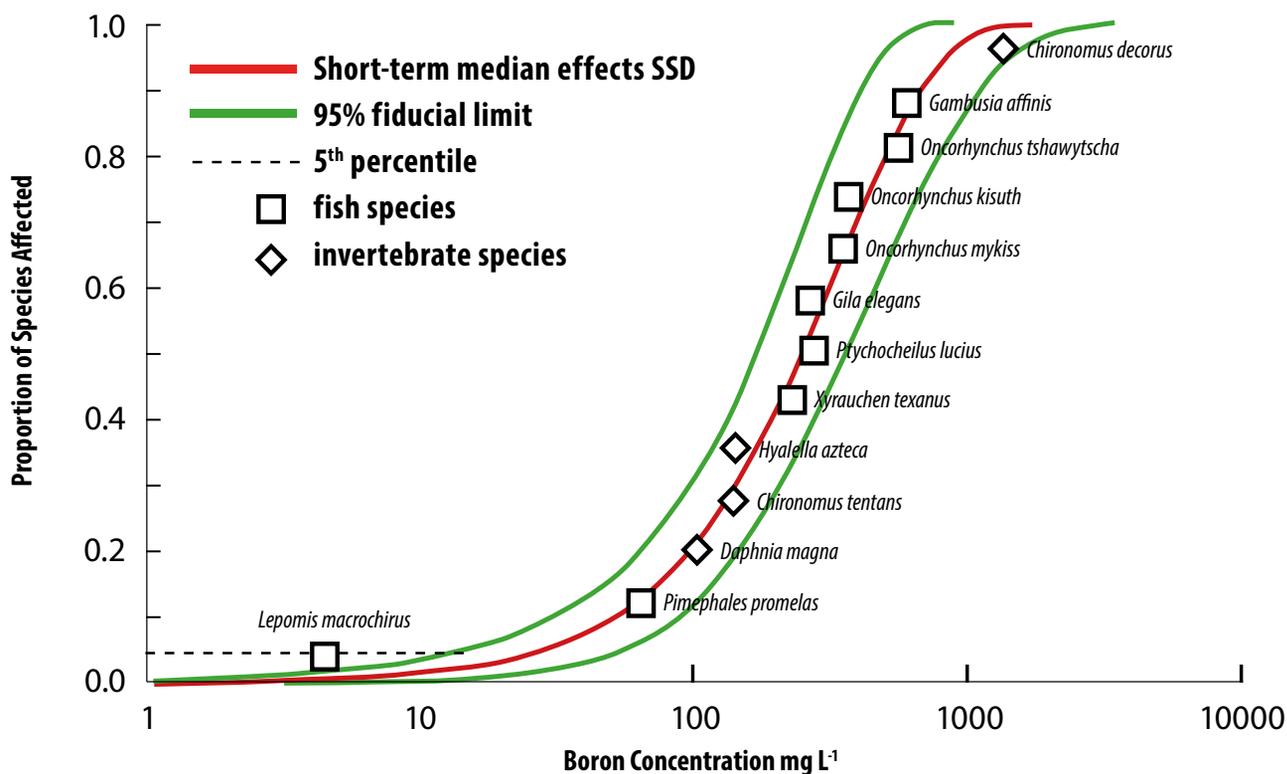


Figura 24: Proporción de especies afectadas por la concentración de Boro, ERE aguda (LC50).
 (Fuente: Canadian Council of Ministers of the Environment, 2009).

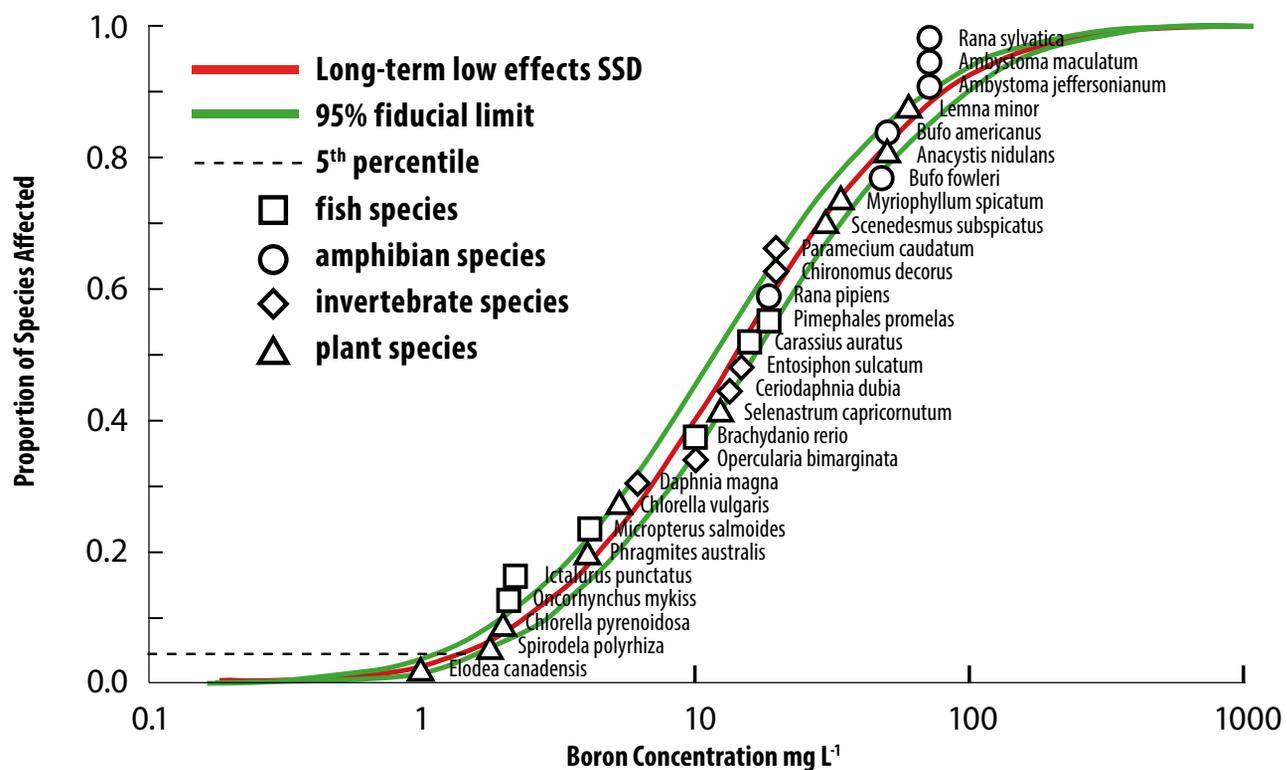


Figura 25: Proporción de especies afectadas por la concentración de Boro, ERE crónica.
 (Fuente: Canadian Council of Ministers of the Environment, 2009).

Otra metodología para determinar la relación entre los datos físico-químicos y el estado de los ecosistemas acuáticos es el uso de índices biológicos.

5.4.1.3 Índices Biológicos

Los índices biológicos, por ejemplo el Índice Biótico de Familias (IBF) o el Stream Invertebrate Grade Number-Average Level 2 (SIGNAL 2) para macroinvertebrados, pueden dar una buena información para las Tablas de Clases de Calidad. Así, estos índices se pueden comparar con los datos físico-químicos en los mismos puntos de monitoreo desde donde se tomaron las muestras biológicas. Si solo se utilizan los datos físico-químicos, éstos pueden dar solamente información de la calidad del agua en el momento de la toma de muestra. Por otra parte, por ejemplo las especies sensibles necesitan un periodo con una buena calidad del agua en su hábitat para desarrollar su población.

En general, los índices de macroinvertebrados son adecuados para evaluar el estado de los ecosistemas acuáticos para niveles tróficos inferiores (zooplancton, fitoplancton y fitobentos), de los cuales depende el resto de la red trófica (peces, mamíferos, aves).

No obstante lo anterior, los índices biológicos utilizados actualmente en Chile, muestran que falta información de las especies nativas para adaptar estos índices a las condiciones reales de los recursos hídricos del país, especialmente en el norte de Chile.

Los índices utilizan información a nivel de familias, sin embargo en una misma familia a veces existe mucha diferencia de sensibilidades entre las especies (Aguilera, 2013). En países donde la base de datos es más completa se tienden a utilizar índices al nivel de especies o al menos de género. Por ejemplo, el Índice de Saprobio de Alemania utiliza la composición de las especies, incluyendo especies indicativas para ciertos niveles de la contaminación del agua en 7 clases de calidad biológica (Norma alemana DIN 38 410, parte 1 y 2, de 1990). Bajo este criterio la sola presencia de determinados

taxa y su abundancia indican una determinada clase de calidad: Las libélulas y los tricópteros necesitan buena o muy buena calidad del agua para su desarrollo, mientras que el tubifex se encuentra en gran abundancia en aguas contaminadas.

A través de la abundancia de estas especies, se puede evaluar si esta condición es constante y si las especies tienen suficiente tiempo para reproducirse. También, se puede observar que cuando la calidad del agua es mala, la tendencia es a que se encuentren pocas especies resistentes cuyas abundancias son elevadas. Por el contrario, cuando la calidad del agua es buena, la diversidad (riqueza y abundancia de especies) debiera ser elevada, incluyendo especies sensibles presentes en menores abundancias, no obstante las especies resistentes pueden encontrarse en diferentes tipos de calidad del agua.

En las aguas marinas se puede utilizar el índice AMBI (AZTI´ Marine Biotic Index).

Existen también índices biológicos para peces, macrófitas, algas, bacterias, zooplancton, fitoplancton y otras especies.

En 2014/2015 el MMA elaboró un estudio para desarrollar un índice de macrófitas en los ríos del sur, el que fue desarrollado por la Universidad Católica de Temuco en un trabajo conjunto con otros expertos del tema: "Desarrollo de un Índice con Macrófitas de Estados Tróficos de Ríos en las Regiones de la Araucanía, Los Ríos y Los Lagos" (Id: 608897-118-LE14). En este estudio también se reporta buena información sobre la diversidad de las macrófitas en las tres regiones.

Además, expertos que han desarrollado trabajo en ambientes acuáticos chilenos, reportan que los índices de trofía internacional se pueden utilizar para evaluar el estado trófico de los ríos, lagos y aguas marinas del territorio. La Tabla 6 muestra ejemplos para estos índices de uso internacional.

Tabla 6: Características del estado trófico en lagos, ríos y aguas marinas (Fuente: Smith et al., 1999).

	Trophic state	TN (mg m ⁻³)	TP (mg m ⁻³)	chl <i>a</i> (mg m ⁻³)	SD (m)
Lakes	Oligotrophic	< 350	< 10	< 3.5	> 4
	Mesotrophic	350 - 650	10 - 30	3.5 - 9	2 - 4
	Eutrophic	650 - 1200	30 - 100	9-25	1-2
	Hypertrophic	> 1200	> 100	> 25	< 1
				Suspended chl <i>a</i> (mg m ⁻³)	benthicchl <i>a</i> (mg m ⁻²)
Streams	Oligotrophic	< 700	< 25	< 10	< 20
	Mesotrophic	700 - 1500	25 - 75	10 - 30	20 - 70
	Eutrophic	> 1500	> 75	> 30	> 70
				chl <i>a</i> (mg m ⁻³)	(m)
Marine	Oligotrophic	< 260	< 10	< 1	< 6
	Mesotrophic	260 - 350	10 - 30	1 - 3	3 - 6
	Eutrophic	350 - 400	30 - 40	3 - 5	1.5 - 3
	Hypertrophic	> 400	> 40	> 5	> 1.5

^a The terms oligotrophic, mesotrophic, and eutrophic correspond to systems receiving low, intermediate, and high inputs of nutrients. Hypertrophic is the term used for systems receiving greatly excessive nutrient inputs. TN, total nitroge; TP, total phosdpphorus; TIN, total inorganic nitrogen; chl *a*, chlorophyll *a*; SD Secchi disk transparency.

Estos datos de estados tróficos se pueden utilizar para fijar valores de las clases de calidad, como muestra el ejemplo de las definiciones de las clases, descrito en la Tabla 4 de este mismo documento.

Otra metodología es la selección de estaciones de referencia para fijar las clases de mejor calidad. El siguiente capítulo muestra su aplicación.

5.4.1.4 Estaciones de Referencia y Outliers

Estaciones de Referencia

Para la selección de estaciones de referencia se debe compilar y sistematizar la información del Análisis Integral (capítulo 4), de los índices biológicos y otra información disponible en la cuenca o el cuerpo de agua marina. Mientras mayor y más precisa sea la información con la que se cuente para el desarrollo de la Tabla de Clases de Calidad, más respaldados estarán los valores de ésta.

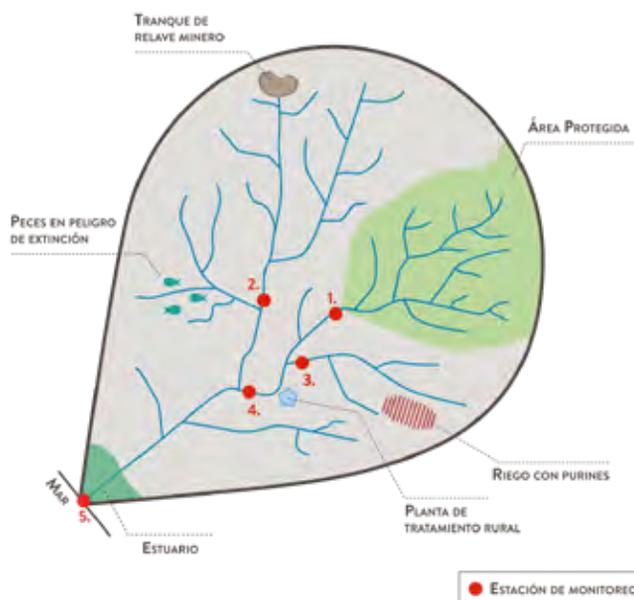


Figura 26: Cuenca ejemplo.

En el caso del ejemplo de la Figura 26, se debe revisar si los datos físico-químicos de la estación 1, estación de referencia en este ejemplo, donde se encuentran peces en alguna Categoría de Conservación, sirven para fijar los valores de las clases 1 y 2. Si en las estaciones 3 y 4 se observaran florecimientos de microalgas, fenómenos de mortandades de peces o crustáceos, intoxicaciones y alergias de personas debido al baño (u otros), estas podrían servir para determinar los valores de nutrientes en las clases 4 o 5. Finalmente, la estación 2 podría servir para fijar los valores para las clases 4 o 5 en metales y conductividad.

La zonación ecológica de los ríos, es decir la existencia en una misma cuenca, de tramos rítrónicos (alta velocidad, alta pendiente y bajo caudal) y potámicos (disminuyen la velocidad y la pendiente y aumenta el caudal), debiera considerarse como un aspecto de la mayor relevancia ecológica, que inclusive delimita naturalmente ecosistemas diferentes en la misma cuenca. En algunos casos, cuando la zonación es muy clara, pudiera significar elaborar más de una Tabla de Clases para la misma cuenca.

Outliers

En relación con el análisis de los datos físico-químicos de las estaciones de referencia, es importante separar entre los valores de origen natural y los valores con influencia antrópica o errores del monitoreo. El gráfico en Figura 27 muestra un ejemplo de la cuenca del río Biobío.

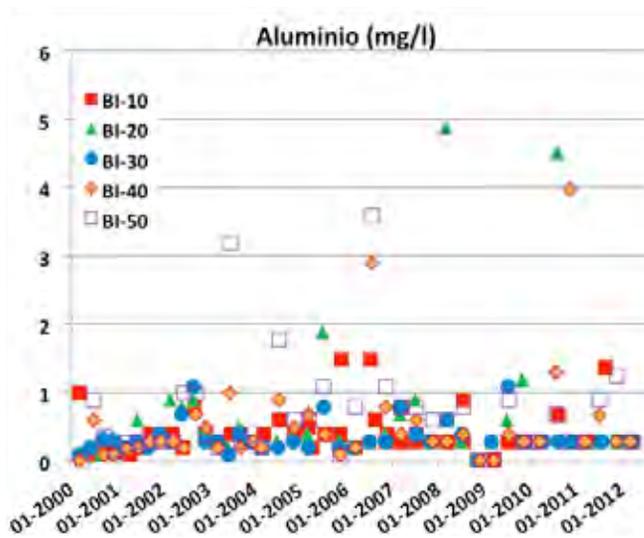


Figura 27: Concentraciones de aluminio en la cuenca del río Biobío (datos: DGA).

Se observan importantes incrementos de aluminio en las estaciones BI-20, BI-40 y BI-50. Como dichos valores se encuentran muy por sobre los restantes datos, pudieran eliminarse del análisis aplicando el criterio de estar fuera del rango de ± 3 x desviación estándar que identifica outliers. Sin embargo, cabe precisar que internacionalmente dicho criterio se utiliza para identificar “potenciales outliers” y distinguir entre errores del monitoreo o del análisis en el laboratorio, versus valores reales del ecosistema. El ejemplo de la Figura 27 muestra por qué es importante hacer este análisis. La estación BI-20 está localizada a los pies de la Cordillera de los Andes, aguas abajo de tres grandes hidroeléctricas. Los incrementos del ejemplo ocurren justo después de lluvias intensas. Este efecto existente en ríos de cordillera y que desencadena incrementos de metales, como Al, Fe y Mn después lluvias intensas, se puede observar en varias cuencas del sur y de la zona central de Chile (por ejemplo ríos Valdivia y Biobío) y el proceso que lo causa es denominado intemperización de rocas. Dicho fenómeno podría explicar los peaks en la estación BI-20. Sin embargo, en la estación BI-10, localizada aguas arriba de la estación BI-20 en la cordillera, también se observan peaks de metales que alcanzan valores de aproximadamente 1,5 mg/l. Para el punto BI-20, se debe evaluar si la causa del incremento podría ser la entrada de un afluente con altos valores de aluminio, o si las hidroeléctricas emplazadas en este mismo sector tendrían algún impacto que los explique, por ejemplo la aplicación de hydroflushing, para sacar sedimentos de los embalses. Además, en el análisis de las precipitaciones del ejemplo, se encontró que los peaks de las estaciones BI-40 y BI-50 no tendrían relación con lluvias intensas. Para resolver lo anterior, se analizó si hay fuentes emisoras de aluminio en estas AVs, encontrándose potenciales fuentes de contaminación. A través de bioensayos con especies de la cuenca se evaluó que estos peaks representaron un gran riesgo ecotoxicológico para las especies de la cuenca.

Pese a que en algunos casos los outliers sí pueden ser debidos a fuentes de contaminación puntuales “temporales”, no pueden ser consideradas en los criterios de norma. Ejemplos de estos eventos de contaminación temporal son lavados de establos y de post-vendimia, extracción de áridos no intensiva, contingencias ambientales (roturas de mineraductos, derrames de petróleo e incendios).

Análisis de datos físico-químicos

Para analizar los datos físico-químicos de las estaciones seleccionadas, se debe considerar el comportamiento en el tiempo del parámetro en cada estación. De encontrarse tendencias o cambios significativos del parámetro, lo aconsejable es que se verifique su significancia estadística. La Figura 28 a representa el ejemplo de la instalación de una fuente emisora en un ecosistema acuático, la que hace cambiar la tendencia temporal del contaminante analizado. Tal y como es representado en la Figura 28 b, en algunas cuencas y cuerpos de aguas marinas de Chile, se observaron mejoras de la calidad del agua (como tendencia), después de la vigencia del D.S. N° 90/2000 (norma de emisión vigente en todo el territorio chileno). De esta manera, es muy importante considerar cómo otras regulaciones (normas de emisión o Resoluciones de Calificación Ambiental), pueden cambiar las tendencias de los datos. La decisión sobre cuál periodo de tiempo utilizar para normar, corresponde sea determinada por el Comité Operativo de cada norma. No obstante, es recomendable que si producto de otra regulación la calidad del agua se mejora (Figura 28 b), este sea el punto de partida o base para fijar los niveles de las NSCA.

Aunque, la aproximación estadística para determinar estaciones seleccionadas es importante, no se pueden utilizar percentiles fijos de estas estaciones, sin analizar datos biológicos antes y después de cambios significativos en la calidad del agua.

El capítulo 5.4.2 presenta el cálculo y el uso de percentiles en el cumplimiento de las normas.

Cuando el valor de algún parámetro se encuentra en el límite de detección (LD) de su metodología de análisis, es necesario revisar antecedentes sobre el impacto de estos niveles en la biota. Si el valor del LD no genera un riesgo para las especies, este valor referencial (ej. $<0,01$ mg/L) se puede utilizar como un valor real (ej. $0,01$ mg/L). Si por el contrario, el valor del LD es de alto riesgo para las especies presentes en el ecosistema acuático, se debe hacer el esfuerzo para generar datos cuantificables del mismo parámetro, es decir con un LD menor. Si en la elaboración de las NSCA no es posible obtener suficientes datos con un LD adecuado, este parámetro no se puede normar, sin embargo, se puede agregar a la Red de Observación del monitoreo de las normas vigentes, para normarlo en la próxima revisión de las NSCA. Alternativamente, la fijación del valor de un parámetro con mucho impacto en la biota y alto LD,

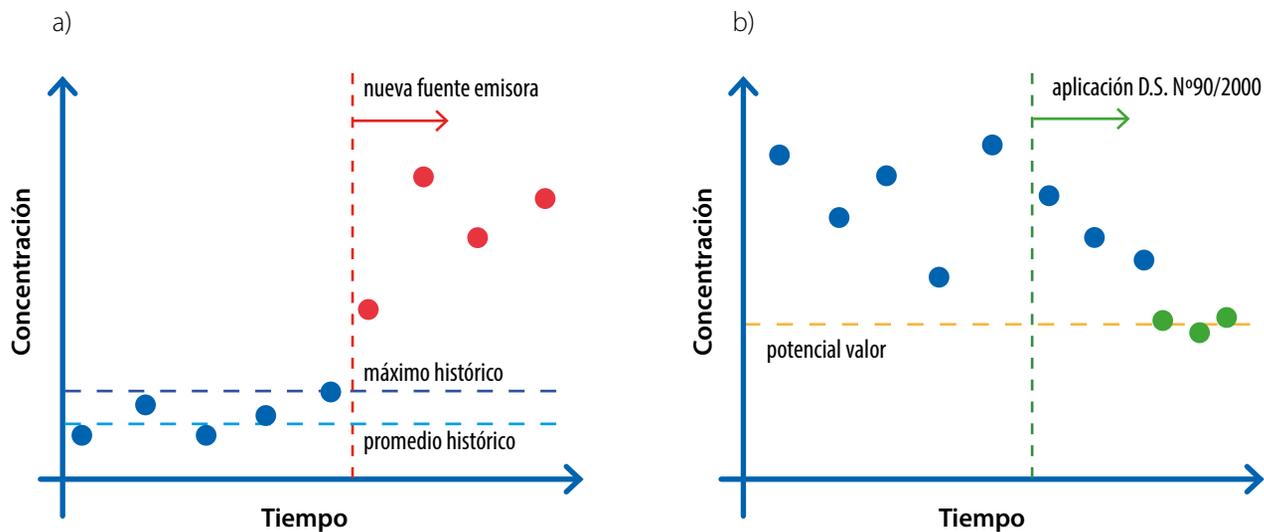


Figura 28: Ejemplos del uso de datos de estaciones de referencia.

se puede apoyar en bioensayos con especies estandarizadas y nativas.

5.4.1.5 Otra información biológica disponible

El MMA está permanentemente generando mayor información sobre especies acuáticas, la que está publicada en páginas por internet y a través de otro tipo de publicaciones, por ejemplo el libro "Biodiversidad de Chile: Patrimonio y Desafíos". La Figura 29 muestra un ejemplo de "ficha de antecedentes" de una especie íctica, incluyendo información sobre condiciones de temperatura, oxígeno disuelto, pH y conductividad en que se encontró esta especie.

5.4.1.6 Indicadores del hábitat

Tras un estudio llevado a cabo por el Ministerio del Medio Ambiente en 2013-2014, se replicó una metodología desarrollada en Nueva Zelanda consistente en caracterizar los hábitats acuáticos considerando su potencial para el desarrollo de la biodiversidad, metodología conocida como FENZ por sus siglas en inglés de Freshwater Ecosystems of New Zealand. Al replicar esta metodología para ecosistemas chilenos, se buscaron criterios para evaluar el potencial del hábitat para el desarrollo de especies (principalmente peces) en la cuenca (SPU - capacidad de hospedaje). La Tabla 7 muestra los predictores considerados para la clasificación de ríos.

Familia, genero: Characidae - <i>Cheirodon</i> Especie: <i>Cheirodon pisciculus</i> Estado de conservación: Vulnerable (RCE) Hábitat: Ocupa la zona superficial de los cursos de agua, prefiriendo aquellos lugares en que las aguas se remansan cerca de las orillas y con abundante vegetación subacuática
Distribución: (a) Mundial; (b) Rango de distribución en Chile (a) Endémico de Chile (b) Se distribuye en la zona central desde Vallenar en río Huasco hasta la cuenca hidrográfica del río Maipo (Eigenmann 1928)
Características limnológicas del hábitat <ul style="list-style-type: none">• Temperatura promedio descrita: entre 15°C - 20,8°C• Oxígeno disuelto y % saturación: entre 8,2mg/L - 13,3 mg/L y 71,9 % - 153,1 %• Condición de pH promedio en su hábitat: entre 7,7 - 8,7• Conductividad: entre 179 mhos/cm - 3600,7 mhos/cm
Tipo de sustrato Rango de profundidades donde habita Velocidad de corriente (puede ser cualitativo, nula, baja media, alta)
Características hidrológicas de la cuenca Régimen pluvial, nival, mixto. Agua de vertientes <ul style="list-style-type: none">• Cuenca río Aconcagua: régimen mixto• Cuenca río Maipo: régimen mixto con primacía de régimen nival
Comunidad íctica características
Talla de adultos y juveniles El tamaño de <i>C. pisciculus</i> , tiene un mayor registro de 68 mm de longitud total para el tranque Angostura, hoy del río Maipo
Alimentación y periodo de reproducción Aspectos sobre su biología indican que es un pez carnívoro

Figura 29: Ficha del pez *Cheirodon pisciculus* (Fuente: elaboración propia MMA).

Tabla 7: Predictores para el hábitat (Fuente: MMA-CEA, 2014; FENZ).

Variable	Escala espacial	Predictor
Substrato	Sub-segmento	Sedimento
Hábitat	Sub-segmento	Escurrimiento hídrico
Caudal	Segmento	Caudal
Topografía	Segmento	Pendiente
Meteorología	Segmento	Temperatura aire
Físico	Segmento	Temperatura agua
Morfológicos	Segmento	Sombra
Vegetación	Segmento	Vegetación ribereña
Nutrientes	Segmento	Carga de nitrógeno
Meteorología	Cuencas aguas arriba	Temperatura del aire, Precipitación
Vegetación	Cuencas aguas arriba	Cobertura de vegetación nativa
Topografía	Cuencas aguas arriba	Pendiente
Uso de suelo	Cuencas aguas arriba	Cobertura de turberas/humedales, lagos, glaciares
Geología	Cuencas aguas arriba	Dureza de las rocas, Fósforo en rocas
Geometría	Cuencas aguas abajo	Distancia a la cosa, lagos, obstrucciones (embalses)
Topografía	Cuencas aguas abajo	Pendiente

Con estos criterios se analizó la cuenca del río Cachapoal. Posteriormente, se superpusieron curvas de habitabilidad

de las especies potencialmente presentes en el ecosistema, tal como muestra la Figura 30.

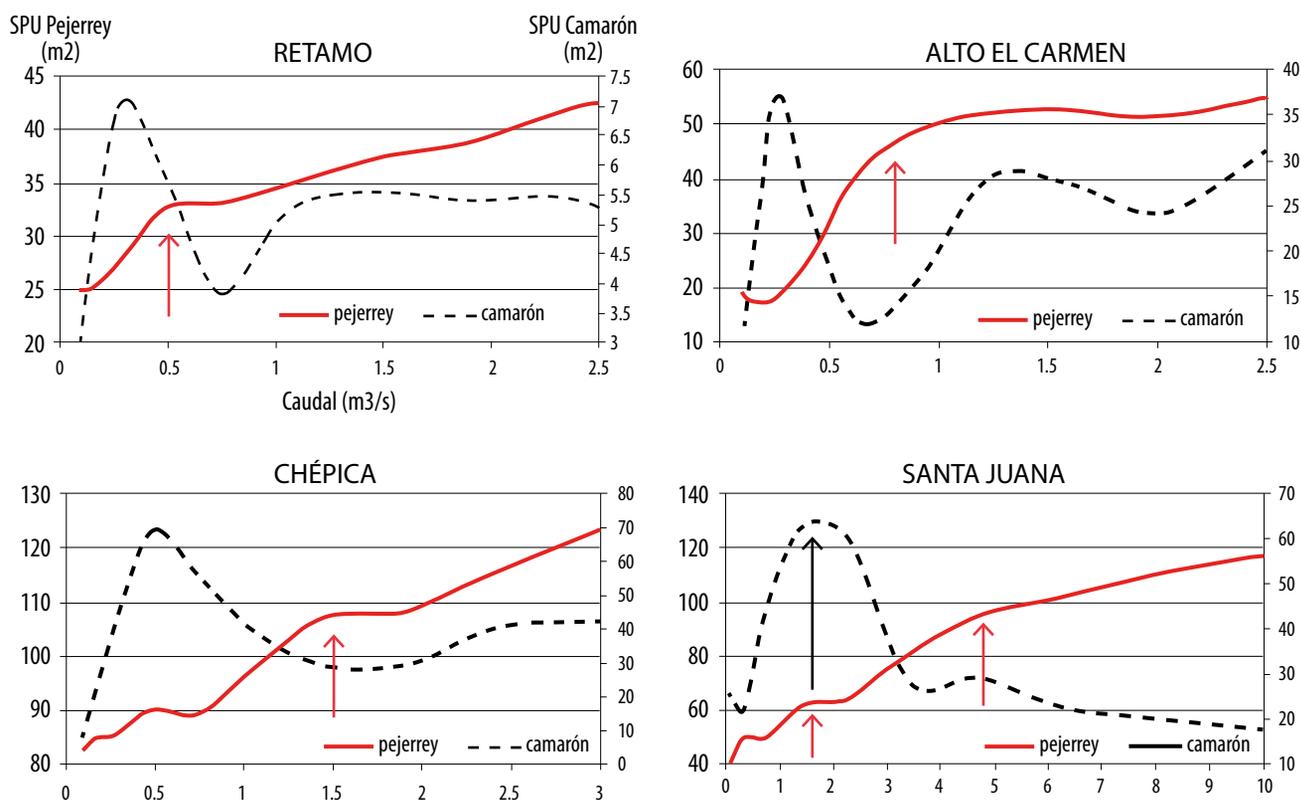


Figura 30: Curvas de habitabilidad (Fuente: MMA-CEA, 2014).

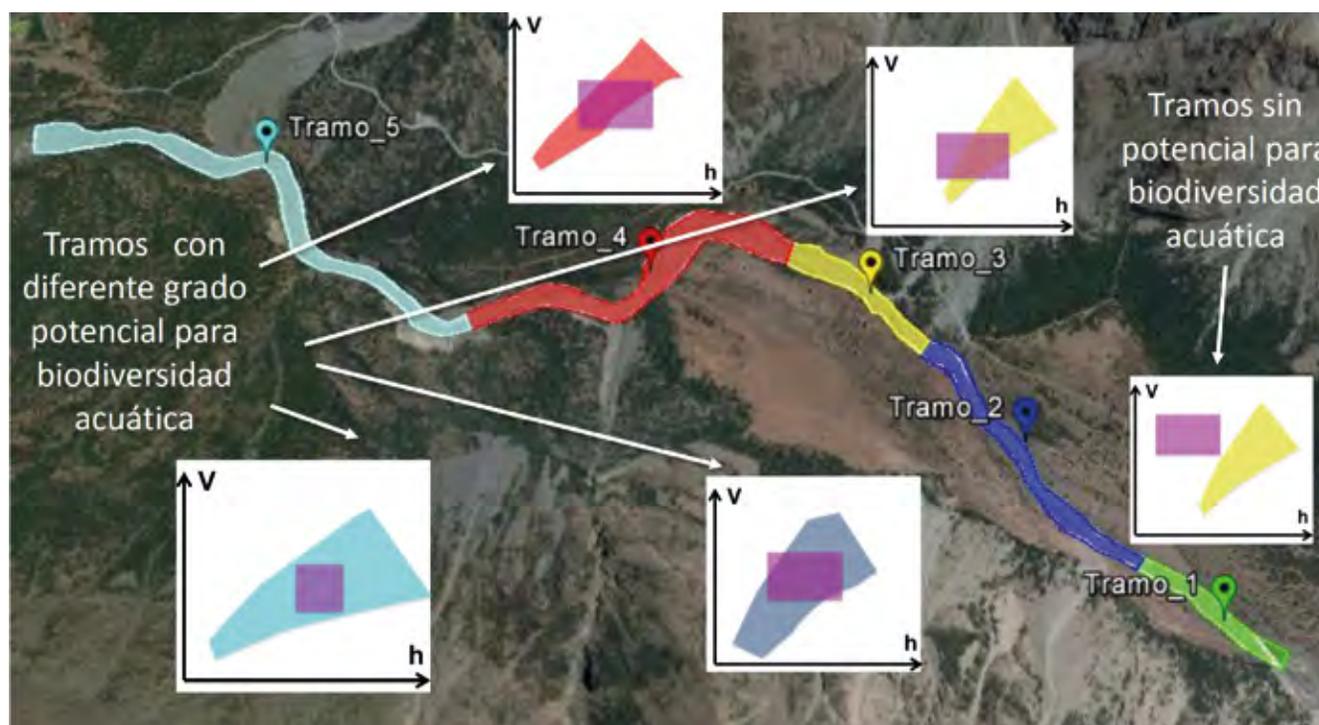


Figura 31: Superposición de los predictores con curvas de habitabilidad, Metodología FENZ (Fuente: MMA-CEA, 2014).

En relación con la Figura 30, un aspecto a tener en cuenta es la posibilidad de proteger a las dos especies representadas por sus curvas de habitabilidad, o tomar la decisión sobre cuál de las dos especies se quiere proteger.

La Figura 31 presenta la superposición de los predictores físicos con curvas de habitabilidad, como las mostradas en la Figura 30. Se observa que las 4 especies graficadas más a la izquierda del esquema, pueden vivir en el hábitat disponible. Por el contrario, la especie graficada más a la derecha del esquema, presenta un hábitat potencialmente insuficiente o inadecuado.

5.4.1.7 Servicios Ecosistémicos

Criterios adicionales que se pueden utilizar para construir las Tablas de Clases de Calidad en NSCA son los Servicios Ecosistémicos. Así, por ejemplo se puede ofrecer el Servicio Ecosistémico “fuente para agua potable” en este parámetro y al mismo tiempo se provee otro Servicio Ecosistémico correspondiente a un refugio para la reproducción de especies muy sensibles. Otro ejemplo pueden ser los esfuerzos para evitar la

eutrofización de los ecosistemas, tal que se eviten los impactos en varios Servicios Ecosistémicos a la vez, biodiversidad, turismo (empeoramiento del paisaje), recreación (malos olores), temas sanitarios (alergias de contacto o gastrointestinales), entre otros.

5.4.1.8 Comparación con Normas y Antecedentes Internacionales

Cuando se completa la Tabla de Clases de Calidad con criterios y metodologías respaldadas científicamente, que evalúen la relación entre los datos físico-químicos y sus impactos sobre los ecosistemas acuáticos, se puede sumar a estos criterios de fijación de valores la revisión de antecedentes y normas internacionales. Para este análisis se deben utilizar solamente regulaciones internacionales que protejan los ecosistemas acuáticos o sus especies. En caso de faltar este tipo de información también se pueden utilizar aquellas normas cuyo objetivo sea la protección de Servicios Ecosistémicos en cuencas o cuerpos de agua marina, como agua potable (salud humana), riego, turismo y pesca artesanal. El Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) de Chile ha validado la utilización de normativa

de referencia de los siguientes países (art. 11, D.S. N° 40 /2012, MMA): "... República Federal de Alemania, República Argentina, Australia, República Federativa del Brasil, Canadá, Reino de España, Estados Unidos Mexicanos, Estados Unidos de América, Nueva Zelanda, Reino de los Países Bajos, República Italiana, Japón, Reino de Suecia y Confederación Suiza. Para la utilización de las normas de referencia, se priorizará aquel Estado que posea similitud en sus componentes ambientales, con la situación nacional y/o local, lo que será justificado razonablemente por el proponente." Por ejemplo los antecedentes de Nueva Zelanda son un soporte muy adecuado para la elaboración de normas de este tipo en Chile, debido a que la biodiversidad de ambos países es altamente comparable. También, desde Alemania se pueden utilizar antecedentes para normar compuestos tóxicos poco conocidos en Chile, por ejemplo los AOX.

En adelante se explica la elaboración de la Tabla de Clases de Calidad con la cuenca ejemplo anteriormente utilizada.

5.4.1.9 Ejemplo para Elaborar una Tabla de Clases de Calidad

Información Disponible:

Resultado del Análisis Multivariante

Los resultados muestran, que los metales y el sulfato, como también los nutrientes, tienen la mayor influencia en la biota de la cuenca.

Tabla 8: Ejemplo de resultados de ERE.

Porcentaje de especies protegidas	PNEC Al		PNEC Cu	
	FS		FS	
	50	100	50	100
100 %	0,01	0	0,001	0,000
90 %	0,02	0,01	0,005	0,002
80 %	0,10	0,03	0,013	0,007
70 %	0,22	0,11	0,02	0,016
60 %	0,48	0,24	0,034	0,017
50 %	0,53	0,27	0,038	0,019
40 %	0,89	0,45	0,04	0,022
30 %	1,13	0,57	0,06	0,032
20 %	1,61	0,81	0,13	0,065
10 %	2,80	1,40	0,45	0,226
0 %	4,27	2,14	1,35	0,677

(Fuente: Smith et al., 1999, modificado)

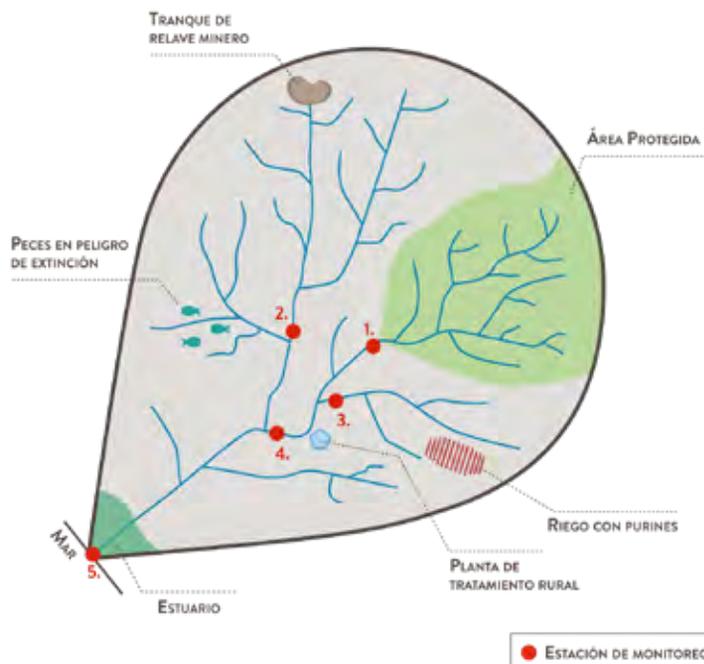


Figura 32: Cuenca ejemplo.

Tabla 9: Ejemplo del estado trófico de ríos. (Smith et al., 1999)

Estado trófico	Ntotal	Ptotal	Clorofila a
	mg/l	mg/l	µg/l
Oligotrófico	< 0,7	< 0,025	< 10
Mesotrófico	0,7 - 1,5	0,025 - 0,075	10 - 30
Eutrófico	1,6 - 2,0	0,076-0,1	31- 50
Hipertrófico	> 2,0	> 0,1	> 50

Tabla 10: Ejemplo de datos de un índice biológico.

Estación	1	2	3	4	5
Índice biológico	muy bien	muy mal	mal	regular	mal

Descripción de la selección de las clases de calidad en el ejemplo de la Tabla 12:

Cobre

Si existen bioensayos con ERE de especies de la cuenca a normar o de estas mismas en una cuenca con condiciones climáticas y geofísicas similares, se pueden utilizar directamente para determinar los rangos de las clases. En este caso, para la protección de las especies en el Área Protegida, se decidió fijar la clase 1 con 100 % de protección. Para la clase 2, y aunque parece exigente, ésta se fijó considerando un 90% de protección del ERE. Lo anterior, ya que los valores de las estaciones 3 y 4 mostraron valores más bajos que el 90% de protección y se requiere mantener esta condición. Además, en el Análisis Multivariante se observó

Tabla 11: Ejemplo de datos de monitoreo.

Parámetro	Unidad	Fecha	Estación				
			1	2	3	4	5
Nitrógeno total	mg/l	01/2013	0,07	0,2	2,5	1,9	1,1
Nitrógeno total	mg/l	04/2013	0,05	0,15	2,3	1,8	1,2
Nitrógeno total	mg/l	07/2013	0,03	0,08	1,7	1,6	0,9
Nitrógeno total	mg/l	10/2013	0,04	0,1	1,9	1,7	0,8
Nitrógeno total	mg/l	01/2014	0,08	0,19	2,4	1,8	1,2
Nitrógeno total	mg/l	04/2014	0,05	0,2	2,6	1,9	1,3
Nitrógeno total	mg/l	07/2014	0,03	0,07	1,6	1,5	0,8
Nitrógeno total	mg/l	10/2014	0,03	0,1	1,8	1,6	0,9
Cobre	mg/l	01/2013	0,001	2,0	0,01	0,004	0,05
Cobre	mg/l	04/2013	0,001	1,8	0,004	0,003	0,04
Cobre	mg/l	07/2013	0,001	1,6	0,002	0,002	0,03
Cobre	mg/l	10/2013	LD	1,7	0,003	0,003	0,03
Cobre	mg/l	01/2014	LD	2,1	0,009	0,002	0,06
Cobre	mg/l	04/2014	0,001	1,9	0,004	0,003	0,05
Cobre	mg/l	07/2014	0,001	1,6	0,002	0,001	0,03
Cobre	mg/l	10/2014	LD	1,5	0,001	0,001	0,02
Conductividad	µS/cm	01/2013	40	1500	70	65	600
Conductividad	µS/cm	04/2013	38	1400	65	60	550
Conductividad	µS/cm	07/2013	30	900	60	57	480
Conductividad	µS/cm	10/2013	35	1000	61	59	500
Conductividad	µS/cm	01/2014	42	1600	69	64	650
Conductividad	µS/cm	04/2014	40	1400	67	62	560
Conductividad	µS/cm	07/2014	29	900	59	55	490
Conductividad	µS/cm	10/2014	30	1100	60	57	520

Tabla 12: Resultado de Tabla de Clases de Calidad para nitrógeno total, cobre y conductividad.

Parámetro	Unidad	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Justificación
Cobre	mg/l	0,001	0,005	0,02	0,038	> 0,038	ERE: 100%, 90%, 70%, 50%; FS: 50
Conductividad	µS/cm	40	69	265	600	> 600	Estaciones de referencia: 1, 3, 5, P85; cl. 3 = prom. cl. 2 y 4
Nitrógeno total	mg/l	0,1	0,7	1,5	2,0	> 2,0	Estado trófico: Tabla 8: clases: 1 ultraoligotrófico, 2 oligotrófico, 3 mesotrófico, 4 eutrófico, 5 hipertrófico

una alta sensibilidad de la biota frente a los metales con los cuales se realizaron los bioensayos para el ERE. Para la clase 4 se decidió proteger el 50 % de las especies de los ecosistemas acuáticos. La clase 3 se fijó en 70 % de protección de la biota. Y como debe hacerse, la clase 5 presentó para todos parámetros del ejemplo, valores por sobre la clase 4.

Conductividad

La estación 1, localizada justo aguas abajo del Área Protegida, fue considerada como estación de referencia, y con el percentil 85 de sus valores se fijó la clase 1. El mismo cálculo basado en el percentil, se aplicó en la estación 4 para la clase 2 y en la estación 5 (sin marea) para la clase 4. La clase 3 se fijó como el promedio entre las clases 2 y 4. Para lo anterior, se revisaron los datos de las Tablas 10 y 11, como también los resultados del análisis multivariante, no obstante es importante relevar que no se pueden utilizar solamente datos físico-químicos para la fijación de clases, sino incorporar la información biológica. En este caso, el análisis multivariante mostró que la biota de la cuenca fue sensible a sulfato, el cual tiene relación directa con la conductividad.

Adicionalmente, las estaciones 3 y 4 presentaron valores muy parecidos y un poco más elevados que los de la clase 1, de esta manera se utilizaron para fijar la clase 2. No obstante lo anterior, los índices biológicos de las estaciones 3 y 4 resultaron estar en las categorías "mal" y "regular", respectivamente, lo que se entiende considerando que dichos índices no responden a un solo parámetro (por ejemplo conductividad eléctrica), sino a un conjunto de éstos.

Nitrógeno total

Para proteger la cuenca de la eutrofización y fijar los valores de nitrógeno total en la Tabla de Clases de Calidad, se utilizaron las clasificaciones de Smith (1999), que definen categorías desde oligotrófico hasta hipereutrófico, y de la OCDE (1982), que incorpora el concepto ultraoligotrófico. La clase 1 se definió como la condición ultraoligotrófica, la clase 2 como oligotrófica, la clase 3 como mesotrófica, la clase 4 como eutrófica y la clase 5 como hipertrófica. El rango de 0 - 0,1 mg/L en la estación 1 fue adecuado para fijar la clase 1 y mantener una muy buena condición en esta estación.

5.4.1.9 Revisiones de las Tablas de Clases de Calidad después del Desarrollo de un Anteproyecto de Normas

Existe la posibilidad de realizar cambios en la Tabla de Clases de Calidad con nuevos antecedentes presentados durante la Participación Ciudadana (PAC). De ser utilizados estos antecedentes deben ser subidos a los Expedientes Electrónicos del proceso normativo (ver 5.1.2), como evidencia sobre los criterios que se utilizan para construir las normas.

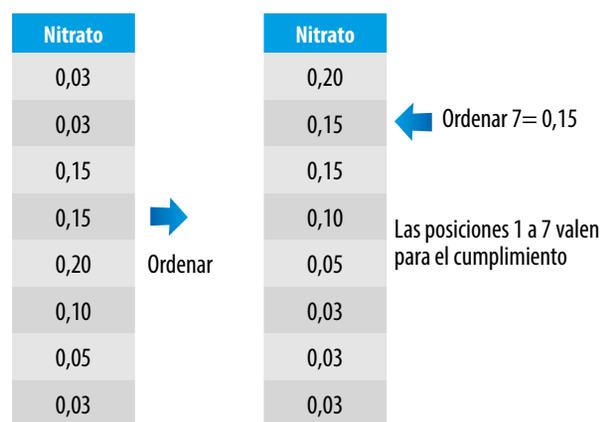
En las revisiones de las normas vigentes (Art. 38 y 39, D.S. N° 38/2012, MMA), se pueden mejorar también las Tablas de Clases de Calidad.

En la mayoría de las cuencas o cuerpos de aguas marinas chilenas, no existe suficiente información para desarrollar más que una Tabla de Clases de Calidad, sin embargo para proteger la biota de la cuenca o el cuerpo de agua marina completo, puede ser necesario utilizar diferentes

Tablas de Clases de Calidad. Las condiciones naturales en ríos varían a lo largo de la cuenca según su zonificación. Así, en las cabeceras de cuenca, que normalmente corresponden a tramos rítrónicos, donde los nutrientes son naturalmente bajos y existe una importante altura geográfica, la biodiversidad es limitada, dominando los organismos especialistas. Dada la poca riqueza de especies, en estos sitios los índices biológicos (ver 5.4.1.3) pueden arrojar un mal resultado, aunque el ecosistema acuático se encuentre en un muy buen estado (prístino y sin intervención antrópica). Por otra parte, en las desembocaduras de los ríos, donde hay un intercambio con aguas marinas, se pueden detectar cambios en la composición de las especies en los ecosistemas. Considerando esta notoria diferencia entre cabecera y desembocadura, por ejemplo de los ríos de la zona central de Chile, en algunos casos se puede evaluar desarrollar, al menos 3 Tablas de Clases de Calidad (cabecera, zona media y estuario). También, como ha sido mencionado anteriormente, es posible considerar diferencias entre las zonas ecológicas de rítrón, transición, potamón y estuario. Además, se observa en varias cuencas hidrográficas, que existe una diferencia significativa entre dos subcuencas, por ejemplo por diferentes orígenes naturales de contaminantes o por diferentes condiciones geofísicas, en este caso podrían ser necesarias dos Tablas de Clases de Calidad. La información necesaria para el desarrollo de las Tablas, se puede completar a través de la Red de Observación de las NSCA vigentes o con estudios adicionales.

5.4.2 Cumplimiento y Condiciones de Excedencia de las NSCA (Seguimiento de las NSCA)

El cumplimiento de las NSCA se evalúa a través de un análisis estadístico preestablecido en el Anteproyecto de la misma. Por ejemplo, es posible que las NSCA establezcan que el cumplimiento se calcule con el percentil 85 y con la posición más cercana a este valor, en un periodo de 2 años y con 4 mediciones por año en las cuatro estaciones del año; lo que significa que para cada parámetro en cada estación se debe calcular el percentil de al menos 8 datos. Para el cálculo del percentil, lo primero que se debe hacer es ordenar los datos medidos y determinar la posición del percentil, tal como se muestra en la Figura 33.



$8 \text{ valores} * 0,85 = 6,8 \Rightarrow \text{más cerca} = \text{posición } 7$

Figura 33: Ejemplo de cálculo de un percentil.

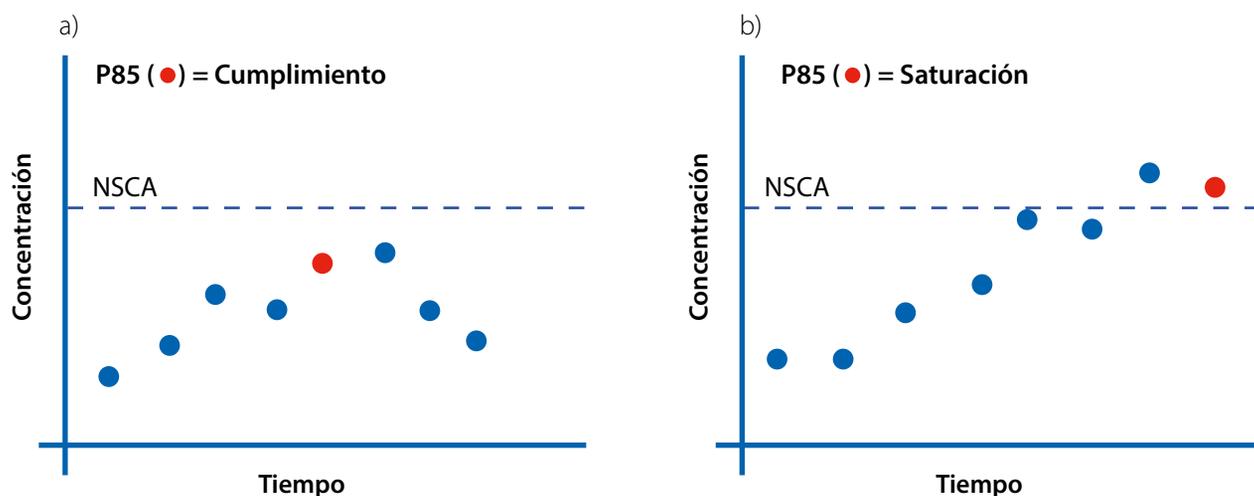


Figura 34: Ejemplos del cumplimiento normativo con percentiles.

La forma de interpretar el ejemplo de la Figura 33 es que, si el valor de 0,15 cumple con el umbral de las normas, este parámetro cumple en este periodo de medición. La Figura 34 muestra un ejemplo con este mismo percentil en un gráfico. Así, el caso a) cumple el umbral de las NSCA (línea azul) y también la latencia (línea verde), mientras que el caso b) no cumple.

En parámetros que presentan toxicidad aguda y crónica (medidos a través de bioensayos), por ejemplo algunos metales, es posible normar con dos criterios, un percentil para la toxicidad aguda (máximo) y un promedio para la toxicidad crónica con valores umbrales más bajos. La Figura 35 muestra un ejemplo de lo anterior.

En los casos de las regiones extremas se debe considerar que los monitoreos deben realizarse asociados, por ejemplo, a la mayor actividad biológica (punto importante en las regiones de Aysén y Magallanes) o no asociados a eventos climáticos extremos predecibles por ejemplo el invierno altiplánico que tiene lugar en el Norte de Chile.

En cuanto a la frecuencia de monitoreo y la cantidad de datos que se generan en el control de las normas, y su relación con el percentil seleccionado para el análisis del cumplimiento de la misma, no existe una recomendación específica. No obstante lo anterior, cuando se tienen muchos datos se pueden utilizar percentiles mayores. Ejemplo de lo anterior puede ser una frecuen-

cia de monitoreo de 4 veces por año con una análisis de cumplimiento cada tres años y un percentil 95.

Si el límite de detección (LD) es menor al límite normativo, se considerará que el valor es válido para efectos de la evaluación de cumplimiento. Si el LD es mayor o igual al límite normativo, se considerará que el resultado corresponde a un valor no válido para efectos de la evaluación de cumplimiento.

En cuanto a los LD, cabe enfatizar que los métodos de ensayo utilizados para medir parámetros contenidos en las NSCA, debieran medir "idealmente" a lo menos 1/3 de dichos valores. Lo anterior, considerando que existe una incertidumbre de las mediciones analíticas, que podría indicar presencia del contaminante aunque éstos se midan bajo el LD.

En relación con alcanzar la latencia en normas, según la ley 19.300, Art. 2, letra t), ésta se calcula en un 80 % del umbral normado. Si el resultado del valor de la latencia está en el límite de detección, no corresponde declarar la latencia para ese parámetro en particular.

Para el Control del Cumplimiento de las NSCA, en el seguimiento de las normas vigentes, se deben aplicar las Instrucciones Generales sobre la Elaboración de los Programas de Medición y Control de la Calidad Ambiental del Agua (SMA, RE N°670 de 21 de Julio de 2016) para desarrollar el Programa de Monitoreo y Control de la Calidad Ambiental (PMCCA).

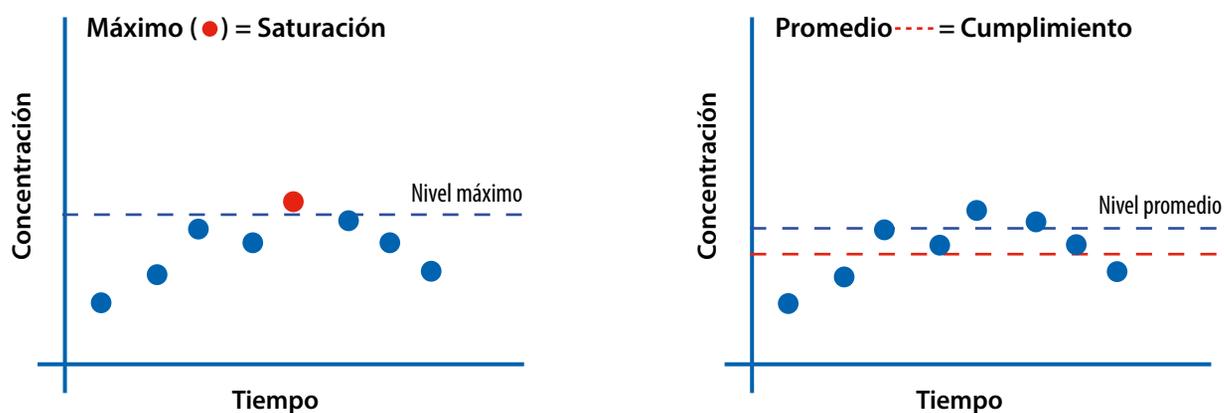


Figura 35: Ejemplo de dos criterios: Percentil y promedio.

5.4.3 Análisis del Estado Ecológico Actual de la Cuenca o del Cuerpo de Agua Marina

Para la evaluación del Estado Actual de la cuenca o el cuerpo de agua marina, se deben utilizar los criterios del cumplimiento. Así, con el percentil, el promedio u otro criterio, más el periodo de cumplimiento, se calcula el NSCA Estado Actual de cada parámetro, en cada AV. Los resultados se deben comparar con la Tabla de Clases de Calidad para evaluar el estado de los ecosistemas.

Ejemplo para el análisis del Estado Actual

En este ejemplo se utilizaron los valores de la Tabla 11 de la presente guía y se calculó el percentil 85 con datos de 2 años. La Tabla 13 muestra los resultados estadísticos de este análisis y adicionalmente la Tabla 14 presenta la aplicación de la Tabla de Clases de Calidad.

Tabla 13: Resultados de percentiles 85.

Parámetro	Unidad\Estación	1	2	3	4	5
Cobre	mg/l	0,001	2,0	0,009	0,003	0,05
Cond.	μS/cm	40	1500	69	64	600
Nitrógeno total	mg/l	0,07	0,2	2,5	1,9	1,2

Tabla 14: Resultado de percentiles con la Tabla de Clases de Calidad.

Parámetro	Unidad\Estación	1	2	3	4	5	Clase de Calidad
Cobre	mg/l	0,001	2,0	0,009	0,003	0,05	excelente
Cond.	μS/cm	40	1500	69	64	600	buena
Nitrógeno total	mg/l	0,07	0,2	2,5	1,9	1,2	regular
							mala
							muy mala

Las Figuras 36 y 37 muestran ejemplos para la visualización de una Tabla de Clases de Calidad con datos de monitoreo en la cuenca del río Biobío.

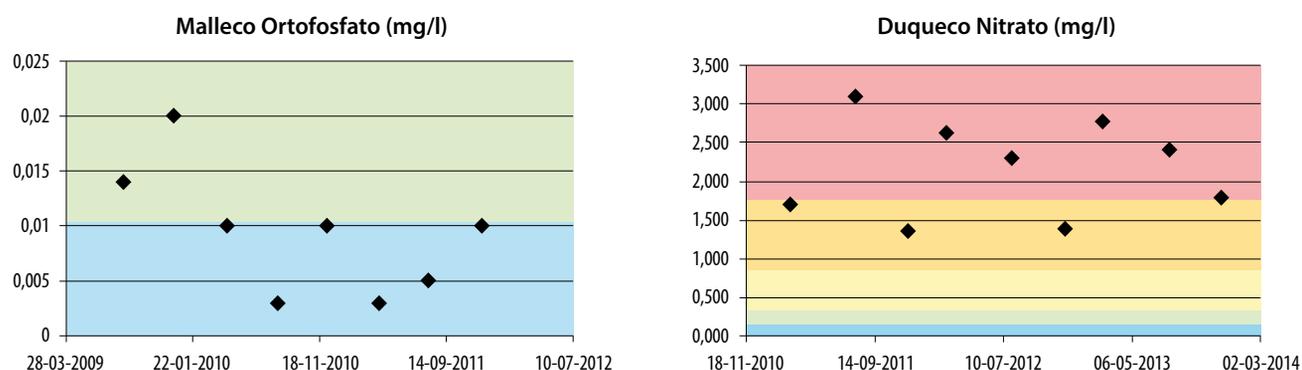


Figura 36: Presentación gráfica de la aplicación de una Tabla de Clases de Calidad.

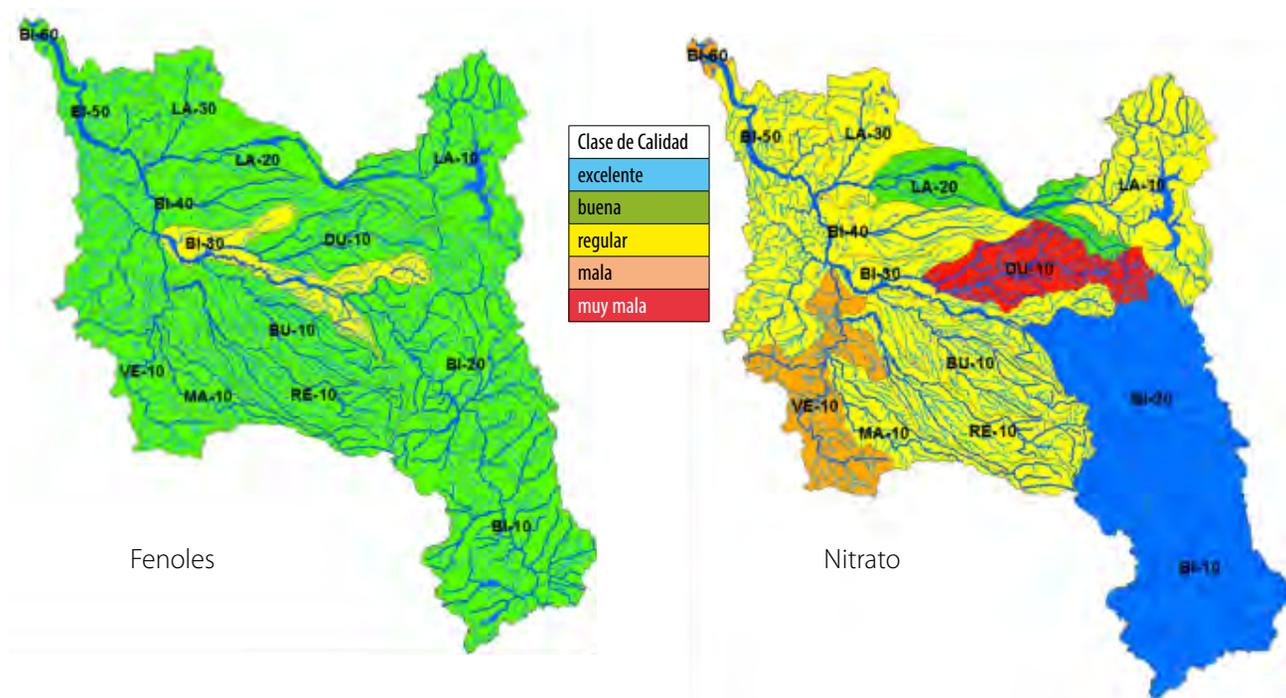


Figura 37: Presentación en mapas de la aplicación de una Tabla de Clases de Calidad para diferentes parámetros normados.

5.5

Determinación de Valores Umbrales de las Normas



5.5.1 Determinación de los Objetivos para cada Parámetro y Área de Vigilancia

En cuanto a los objetivos de cada parámetro en cada AV, se debe decidir según el resultado de la Tabla del Estado Actual, si la condición del ecosistema es aceptable y por consiguiente, se puede fijar el umbral para mantener esta condición, especialmente en el caso de aguas prístinas. Cuando la condición no sea aceptable en términos ecosistémicos, se debe recuperar este parámetro y es aconsejable fijar el umbral de las normas en un nivel que proteja los ecosistemas acuáticos adecuadamente. Estas decisiones técnicas deben ser idealmente respaldadas por los Comités Operativos de las normas, quienes deben conocer y tener claridad sobre los criterios de la construcción de los instrumentos normativos.

Para la determinación de los objetivos de regulación de cada parámetro en cada AV, se podrían utilizar las clases de calidad con los siguientes criterios:

Clase 1

Si un valor del Estado Actual se encuentra en la clase 1, significa que presenta una muy buena condición, la cual es apta para la reproducción de varias especies. Así es importante mantenerla para proteger el hábitat de estas especies. Además, esta calidad de agua podría servir como fuente para agua potable u otros servicios ecosistémicos.

Clase 2

En las condiciones de esta clase se encuentra la mayor biodiversidad, por lo que es importante mantener esta condición.

Clase 3

La clase 3 ya tiene impactos negativos sobre la biota de los ecosistemas acuáticos. Así, en cuencas o cuerpos de aguas marinas con alta intervención antrópica, se debe decidir si esta condición es aceptable o si se debe mejorar. Un criterio para tomar la decisión sobre mantener o recuperar las condiciones ecológicas en clase 3 podría ser, si por ejemplo aguas abajo del río, existe una captación para agua potable, o si se ven afectados otros servicios ecosistémicos. Si la decisión es la recuperación del ecosistema, ésta debería realizarse gradualmente para no afectar al desarrollo económico de la zona.

Clase 4

Este estado de la calidad del agua es inadecuado para proteger los ecosistemas acuáticos. Las condiciones de calidad del agua en esta clase se deben recuperar hasta alcanzar los valores umbrales de la clase 3. En algunos casos se puede normar en estas concentraciones, cuando el área está influenciada por una alta concentración de origen natural y no por intervenciones humanas. Por otra parte, si el costo de recuperar esta área resulta muy elevado y no existe acuerdo del Comité Operativo, se puede

resolver recuperar sólo los parámetros más críticos para los ecosistemas involucrados.

Clase 5

El estado de la calidad del agua en esta clase es absolutamente inadecuado para proteger los ecosistemas acuáticos. Las condiciones de calidad del agua en esta clase se deben recuperar hasta alcanzar la clase 3. Al igual que en la clase 4, en algunos casos se puede normar en esta clase, cuando el área está influenciada por una concentración muy alta de origen natural, considerando que la biota existente en esa área ha estado expuesta por largo tiempo a esas condiciones y han operado factores de selección natural, tal que dicha biota se encuentra naturalmente adaptada a esta situación. En algunos de estos es posible encontrar taxa altamente especialistas.

Es importante considerar la situación de la cuenca o el cuerpo de agua marina completa y sus diferentes

clases de calidad a las cuales se arriban en un proceso normativo. Para lo anterior, ayuda la presentación en mapas de la cuenca para tomar las decisiones de objetivos (mantener o recuperar) para un determinado parámetro (Figura 38).

5.5.2 Determinación de Valores Umbrales para cada Parámetro y cada Área de Vigilancia

En relación con este tipo de análisis, en la Tabla 15 se presenta un ejemplo de desarrollo de escenarios, para la toma de desiciones de niveles de las NSCA. Para cada escenario, los diferentes criterios se basan en la evaluación del Estado Actual de la cuenca. De esta manera se establecen diferentes niveles de protección de los ecosistemas acuáticos. Los resultados se entregan como insumos para los AGIES.

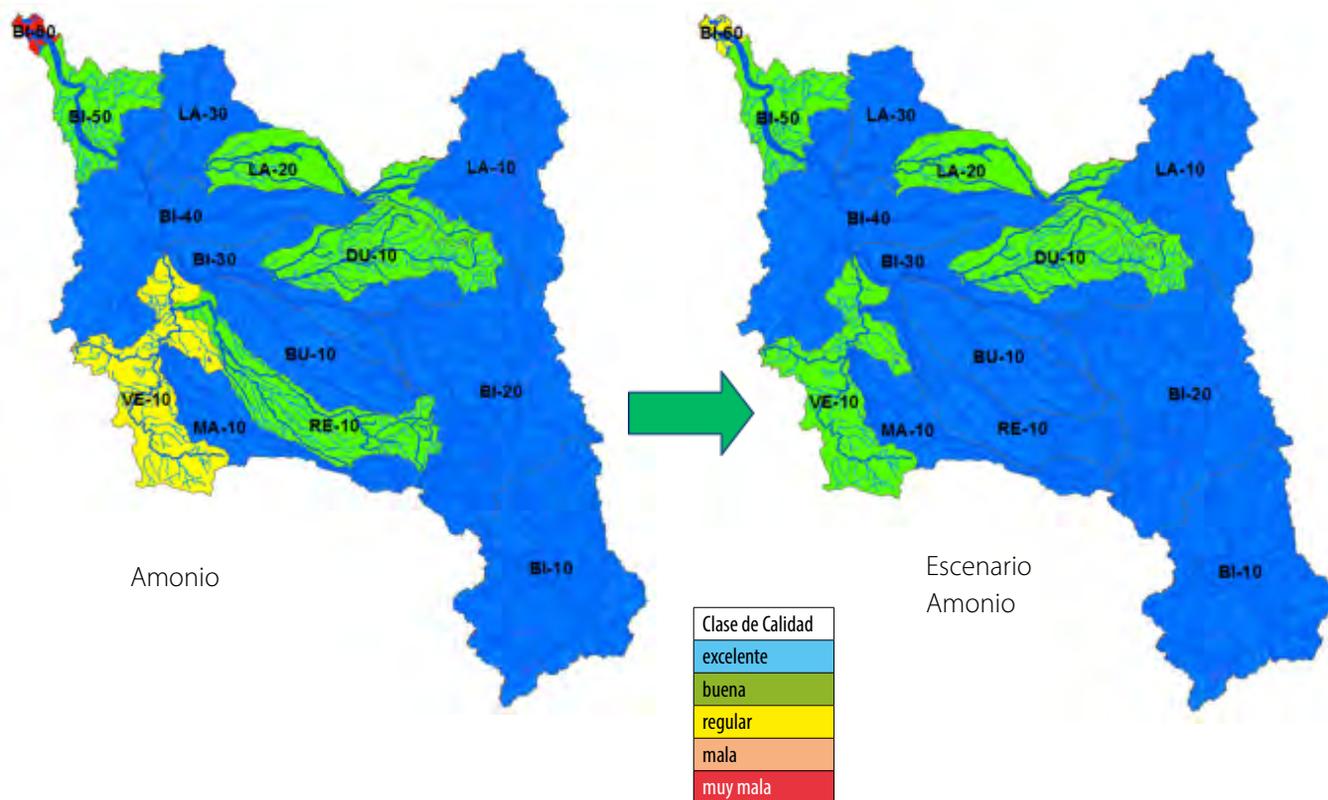


Figura 38: Presentación en mapas para tomar decisiones de objetivos en un parámetro.

Tabla 15: Resultado de percentiles con la Tabla de Clases de Calidad (Tabla 12).

Parámetro	Unidad\Estación	Clase de Calidad				
		1	2	3	4	5
Cobre	mg/l	0,001	2,0	0,009	0,003	0,05
Cond.	μS/cm	40	1500	69	64	600
Nitrógeno total	mg/l	0,07	0,2	2,5	1,9	1,2

Escenario 1 (óptimo ambiental)

Criterios: Los valores en clase 1 y clase 2 se mantienen en su clase, todos en clase 3, 4 y 5 se bajan a clase 2.

Parámetro	Unidad\Estación	1	2	3	4	5
Cobre	mg/l	0,001	0,005	0,005	0,004*	0,005
Cond.	μS/cm	40	69	69	67*	69
Nitrógeno total	mg/l	0,1**	0,25*	0,7	0,7	0,7

Escenario 2 (intermedio)

Clase 1 y clase 2 se mantienen en su clase. Clase 3 se baja a clase 2. Clase 4 y 5 se bajan a clase 3.

Parámetro	Unidad\Estación	1	2	3	4	5
Cobre	mg/l	0,001	0,031	0,005	0,004*	0,031
Cond.	μS/cm	40	265	69	67*	265
Nitrógeno total	mg/l	0,1**	0,25*	1,5	1,5	0,7

Escenario 3 (menor protección en áreas contaminadas)

Clase 1, clase 2 y clase 3 se mantienen en su clase. Clase 4 y 5 se bajan a clase 3.

Parámetro	Unidad\Estación	1	2	3	4	5
Cobre	mg/l	0,001	0,031	0,011*	0,004*	0,031
Cond.	μS/cm	40	265	69	67*	265
Nitrógeno total	mg/l	0,1**	0,25*	1,5	1,5	1,4*

*Latencia = 80% del umbral de la norma, **límite clase 1

5.6

Redacción del Decreto del Anteproyecto



La redacción del documento de un Anteproyecto de normas debe considerar, a lo menos, información general de la cuenca o el cuerpo de agua marina, de las Áreas de Vigilancia, de los valores umbrales o valores normativos, de los criterios del cumplimiento y de otros aspectos específicos para la cuenca o el cuerpo de agua marina. Adicionalmente, para la

comprensión de dicho documento, la unidad técnica a cargo de las normas debe preparar una Minuta Técnica acompañante, la cuál describa detalladamente, todos los criterios, procesos y decisiones de la elaboración del Anteproyecto. Ambos documentos, deben ser subidos a los Expedientes Electrónicos antes la PAC (ver 7.1).

6

Insumos para
Análisis General del
**Impacto Económico
y Social (AGIES)**



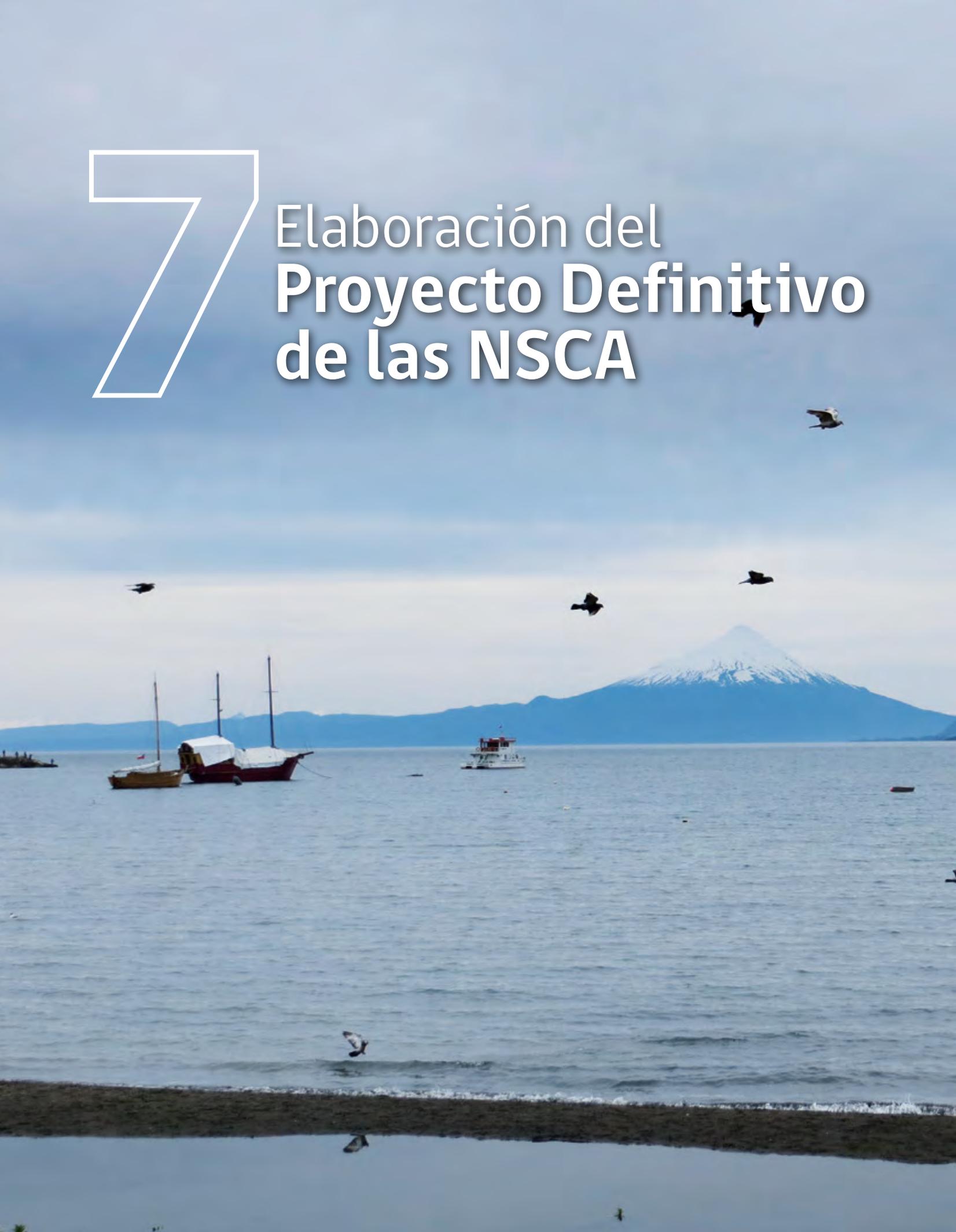


El Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES) debe evaluar los costos y beneficios que podría tener la aplicación de las NSCA en una determinada cuenca o cuerpo de agua marina. Los profesionales encargados de las NSCA y los profesionales que elaboren el AGIES deben trabajar conjuntamente, desde el desarrollo del Análisis Integral de la planificación de las normas (capítulo 4), de manera de preparar los insumos requeridos para este tipo de análisis, entre los que cuentan, las Tablas de Clases, las Tablas de Estado Actual de la Cuenca y las áreas de Vigilancia. Durante la elaboración del AGIES todos los profesionales involucrados con el desarrollo de las normas, se deben apoyar para generar información que mejore el entendimiento de las condiciones en la cuenca o en el cuerpo de agua marina. Se deben realizar reuniones periódicas de trabajo y de avance, y los resultados del AGIES se deben revisar en conjunto. Todos antecedentes utilizados para el AGIES deben incluirse en los Expedientes de las normas.

Los resultados del AGIES pueden producir antecedentes que hagan necesario mejorar partes del Anteproyecto de las NSCA.

7

Elaboración del Proyecto Definitivo de las NSCA





Para la elaboración del Proyecto Definitivo de las NSCA, el Anteproyecto de ésta debe ser evaluado por la ciudadanía y por expertos en el tema ambiental, lo cual se lleva a cabo a través de la Participación Ciudadana y los Consejos Consultivos (nacional y regional) que apoyan la labor del Ministerio del Medio Ambiente.

7.1

Proceso de la Participación Ciudadana



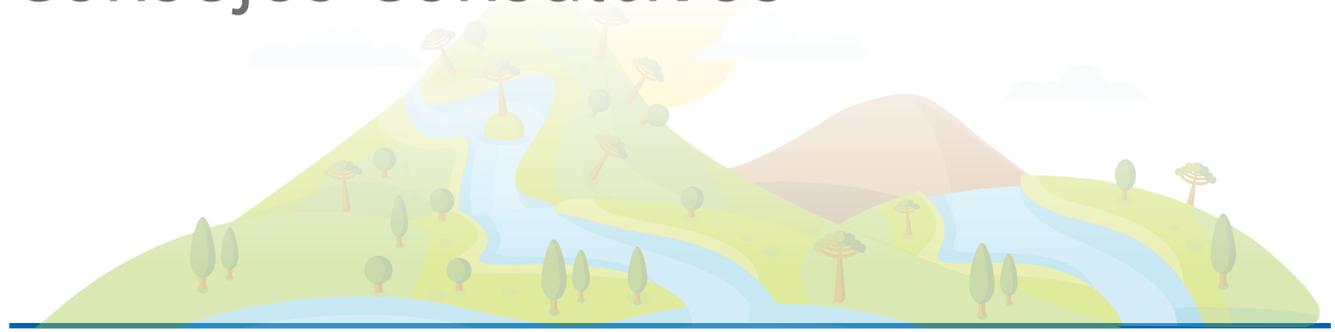
El proceso de la Participación Ciudadana (PAC) es aquel, mediante el cual se comunica, difunde y se pide opinión a los ciudadanos, sobre una gestión ambiental, en este caso las NSCA. Existen dos vías de participación, una presencial por medio de talleres a nivel local o regional, y la otra por medio del sistema E-PAC en la página web del MMA. Para proceder a la PAC, un extracto del Anteproyecto de normas debe ser publicado en el Diario Oficial de Chile, así como en un diario de circulación nacional. Es labor del equipo técnico que elaboró el Anteproyecto de normas, incluyendo a aquellos profesionales que elaboraron los AGIES, presentarlo en talleres regionales. La formalidad de la metodología de la PAC, se encuentra debidamente explicada en la Res. Ex. N° 601/2015 del MMA. Una vez consolidadas

las preguntas y observaciones recibidas durante la PAC, los equipos técnicos que elaboraron el Anteproyecto de las normas deben desarrollar las respuestas, para lo cual hay un plazo de 45 días hábiles (Art. 19 Res. Ex. N°601/2015, MMA).

La PAC es un trabajo conjunto entre profesionales de las Unidades de Recursos Naturales y Biodiversidad, de Participación Ciudadana y de Economía Ambiental del Ministerio del Medio Ambiente y es recomendable que este trabajo comience en la etapa de Análisis Integral (capítulo 4) y termine en la etapa de Respuestas de la PAC.

Los resultados de la PAC deben publicarse en los Expedientes de las NSCA.

7.2 Consejos Consultivos

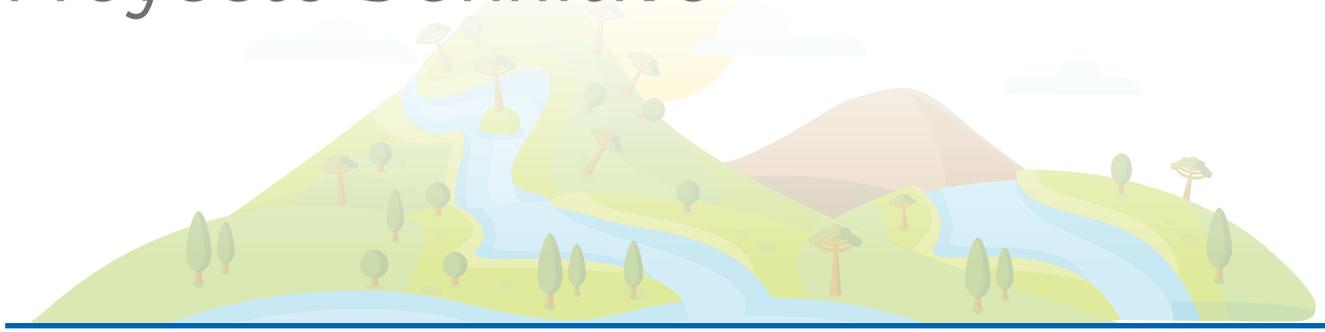


El MMA debe someter a la opinión de sus Consejos Consultivos los Anteproyectos de las NSCA. Los Consejos Consultivos están constituidos por dos científicos, dos representantes de organizaciones no gubernamentales, dos representantes de centros académicos independientes, dos representantes del empresariado, dos representantes de los trabajadores y un representante del Presidente de la República. Desde la recepción de antecedentes, hay un plazo de 60 días para que el Consejo Consultivo emita su opinión referente, en este caso, a las NSCA (Art. 18 D.S. N° 38/2012).

Adicionalmente, se pueden someter las normas a opinión del Consejo Consultivo Regional correspondiente a la región donde se encuentra emplazada la cuenca o el cuerpo de agua marina a normar. Este proceso regional debe ser organizado por la SEREMI correspondiente.

Los resultados de los Consejos Consultivos deben publicarse en los Expedientes de las NSCA

7.3 Proyecto Definitivo



Los resultados de la PAC y de los Consejos Consultivos deben ser analizados y considerados en sus méritos para incorporar modificaciones al Proyecto Definitivo de las normas. Para preparar el texto del Decreto Supremo de

las NSCA, el profesional a cargo de este instrumento debe trabajar en conjunto con la División Jurídica del MMA. El plazo de esta etapa es 120 días, desde que ha concluido la consulta pública (Art. 21 D.S. N° 38/2012).

8

Aprobación del
Proyecto Definitivo





El Proyecto Definitivo debe presentarse al Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y debe ser sometido a su pronunciamiento. En este proceso se debe acompañar la presentación de la **Minuta Técnica** que detalle los principales criterios para la confección de las normas (AVs, parámetros, valores umbrales de normas y AGIES). Después del pronunciamiento del Consejo de Ministros para la Sustentabilidad, las normas se tramitan y formalizan a través de la dictación de un decreto supremo. En última instancia la Contraloría General de la República debe revisar el decreto y tomar razón del mismo.

Publicación, Vigencia y Reclamación de las Normas

El decreto tomado razón por la Contraloría General de la República, se publica en el Diario Oficial. La vigencia de las normas generalmente se inicia con la publicación de las mismas. Existe la posibilidad de reclamar las normas frente a los Tribunales Ambientales, por parte de cualquier persona natural o jurídica que así lo considere. El plazo para dicha reclamación es de 30 días hábiles, contados la publicación de las normas en el Diario Oficial.

A large white outline of the number 9 is positioned on the left side of the image. The background features a calm body of water reflecting a dense forest of green trees under a clear blue sky.

Seguimiento de las
Normas Secundarias de
**Calidad Ambiental
Vigentes**



El seguimiento de una NSCA requiere de la participación de diferentes entidades relacionadas con el Medio Ambiente en el Estado. Esto a través de diferentes instrumentos y regulaciones hacen posible la fiscalización de las normas.

9.1

Programa de Medición y Control de la Calidad Ambiental (PMCCA)



Para realizar el monitoreo del control de Cumplimiento de las NSCA vigentes, se debe dictar un Programa de Medición y Control de la Calidad Ambiental (PMCCA), según las “Instrucciones Generales sobre la Elaboración de los Programas de Medición y Control de la Calidad Ambiental del Agua dictadas por la Superintendencia del Medio Ambiente” (SMA, RE N°670 de 21 de Julio de 2016). Previo a la dictación y formalización del PMCCA, el MMA debe preparar una minuta técnica, en coordinación con la DGA, la DIRECTEMAR, la SMA y las otras instituciones responsables del monitoreo de las normas (existen normas en las que hay compromisos de monitoreo del Ministerio

de Salud y el Servicio Agrícola y Ganadero o SAG), la que debe ser entregada a la SMA para la promulgación de este Programa. El PMCCA consta de dos redes de monitoreo, la Red de Control para recopilar los datos y evaluar el cumplimiento de las NSCA, y la Red de Observación con información sobre bioindicadores, ecotoxicología y hidromorfología. La Red de Observación también puede incluir nuevas estaciones de monitoreo y parámetros que respalden cambios en la revisión de las normas (al menos cada 5 años). La DGA es responsable mayoritariamente de la Red de Control, mientras que la responsabilidad de la Red de Observación, la tiene el MMA.

9.2

Informe Técnico de Cumplimiento e Informe de Calidad



Los datos del monitoreo para el control del cumplimiento de las normas, deben ser reportados a la SMA, por parte de todos los organismos involucrados (por ejemplo, la DGA, DIRECTEMAR). La SMA fiscaliza el control de las normas y evalúa la validez de los datos. Los resultados de este análisis, incluyendo la evaluación del cumplimiento de las normas, se incluyen en un Informe Técnico de Cumplimiento de Normas de Calidad Ambiental del Agua, disponible en la plataforma SNIFA (<http://snifa.sma.gob.cl/v2>). Los Informes Técnicos de la SMA incluyen los parámetros y estaciones correspondientes a la Red de Control de las normas, junto con

un consolidado de los datos reportados para la Red de Observación y la validez de éstos en base a las metodologías de ensayo utilizadas. Por su parte el MMA, debe elaborar un Informe de Calidad de las normas que incluya el análisis tanto de la Red de Control de las normas como de su Red de Observación (índices biológicos, ecotoxicología, nuevas estaciones y parámetros, entre otros). El Informe de Calidad de normas se debe publicar anualmente en la plataforma SINIA (<http://sinia.mma.gob.cl/>) y tiene una aproximación más ecológica, indicando asociaciones entre parámetros y sus efectos en la biota.

9.3

Programa de Medición y Control de la Calidad Ambiental (PMCCA)



En el caso de incumplimiento de normas por uno o más parámetros, en una o más AV, el MMA debe declarar una zona saturada (Figura 39). Desde la publicación de esta declaración hay un plazo de 90 días para iniciar el Anteproyecto de un Plan de Descontaminación en esta zona. El Plan de Descontaminación debería abarcar todas las

AVs con zonas saturadas. El MMA puede desarrollar un Plan de Prevención, cuando el resultado del criterio del cumplimiento (percentil, promedio, etc.) sea igual o mayor al 80% del valor de las normas. El proceso de la elaboración de planes de prevención o de descontaminación se realiza según D.S. N° 39/2012 (MMA).



Figura 39: Seguimiento de Normas Secundarias de Calidad Ambiental Vigentes.



10

Conclusiones y
Desafíos



Las NSCA se elaboran y aplican para proteger a los ecosistemas acuáticos y también, indirectamente, sus servicios ecosistémicos. Para este fin, es importante evaluar el impacto de distintos contaminantes en los ecosistemas, especialmente los efectos sobre las especies presentes en éstos. Esta guía presenta las metodologías y criterios que, a la fecha de su publicación, se utilizan en el MMA para elaborar las NSCA en ríos, lagos y aguas marinas. Se muestra entre otros, cómo se seleccionan los parámetros a normar, las Áreas de Vigilancia y cómo se evalúa el Estado Actual de los ecosistemas acuáticos a través de una Tabla de Clase de Calidad. En cuanto a esta Tabla, ella constituye un elemento central de la elaboración de NSCA y debe ser una herramienta robusta y bien fundada técnicamente, para evaluar el estado del ecosistema en relación con las concentraciones de parámetros de la calidad del agua.

A la fecha de publicación de la presente guía, esta metodología está siendo aplicada en la elaboración de los Anteproyectos de normas de las cuencas de los ríos Rapel, Aconcagua, Mataquito, Huasco y Elqui. De esta manera, el MMA sigue las recomendaciones de la Evaluación del Desempeño Ambiental de Chile 2016 de la OCDE: *“Seguir expandiendo la cobertura de las normas sobre calidad del agua y acelerar la implementación de la plataforma prevista de información sobre calidad del agua e información ecológica, con el propósito de recopi-*

lar y publicar sistemáticamente información sobre la calidad del agua; perfeccionar el monitoreo de la contaminación del suelo y de la extracción de agua para proteger los ecosistemas, en particular los humedales.” (OCDE, 2016).

El desafío más grande de las NSCA es abordar el control de los contaminantes emergentes, como por ejemplo COPs, PAH, PCB, pesticidas y sus metabolitos, hormonas,

medicamentos, antibióticos, detergentes, entre otros. Se espera que en el futuro se disponga de suficiente información a nivel nacional que permita evaluar, recuperar o prevenir sus impactos en los ecosistemas acuáticos y sus Servicios Ecosistémicos. Asimismo, la utilización de biomarcadores, como tecnologías de monitoreo ambiental, podrán ayudar a determinar la presencia de contaminantes que impactan a los ecosistemas acuáticos.

11

Referencias
Bibliográficas





Abdel-Shafy, H.I. & M.S.M. Mansour, 2015. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian Journal of Petroleum* (2016) 25, pp. 107–123.

Abu Hilal, A. & N. Ismail, 2008. Heavy Metals in Eleven Common Species of Fish from the Gulf of Aqaba, Red Sea. *Jordan Journal of Biological Sciences*. Vol. 1, Nr. 1, Mar. 2008, ISSN 1995-6673, pp 13–18.

Aguilera, K.A., 2013. Implicancias de la Utilización de Distintos Niveles Taxonómicos en la Bioindicación con Macroinvertebrados Bentónicos. Tesis de Magíster, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile.

Aravena, D. J., 2012. Desarrollo de Metodología para Estimación de Potencial Geotérmico Explotable en la Región del Maule, Zona Volcánica Sur, Chile. Memoria para Optar al Título de Geólogo, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geología.

Birge, W. J. & J. A. Black, 1977. Sensitivity of Vertebrate Embryos to Boron Compounds. EPA-560/1-76-008, EPA, Office of Toxic Substances, Washington D.C.

Campos, H., 1979. Avances en el estudio sistemático de la familia Galaxiidae (Osteichthys:Salmoniformes). Arch. Biología Med. Exper. 12: pp. 107-118.

Canadian Council of Ministers of the Environment, 2009. Boron - Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life Canadian Environmental Quality Guidelines, sin año. Descarga: <http://st-ts.ccme.ca/en/index.html>, Octubre 2017.

Castro Varela, G., 2007. Diseño Monitoreo Frente Derrames de Hidrocarburos. Informe final, Asesoría SAG.

Collier, T.K., B.F. Anulacion, M.R. Arkoosh, J.P. Dietrich, J.P. Incardona, L.L. Johnson, G.M. Ylitalo & M.S. Myers, 2014. Effects on Fish of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and Naphthenic Acid Exposures. Organic Chemical Toxicology of Fishes: Volume 33, Fish Physiology, 4, pp. 195-255.

Copaja, S., V. Nuñez & D. Véliz, 2016. Distribution of Arsenic and Mercury in the Aquatic Ecosystem of the Five Chilean Reservoirs. J. Chil. Chem. Soc., 61, Nº 4 (2016).

D.S. Nº38/2012. Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión. MMA.

D.S. Nº39/2012. Reglamento para la Dictación de Planes de Prevención y Descontaminación. MMA.

D.S. Nº40/2012. Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. MMA.

D.S. Nº46/2002. Norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas. MINSEGPRES.

D.S. Nº90/2000. Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. MINSEGPRES.

D.S. Nº93/1995. Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental. MINSEGPRES.

D.S. Nº320/2001. Reglamento Ambiental para la Acuicultura. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. Última versión 2016.

FAO, 2002. Los Fertilizantes y su Uso, cuarta edición, ISBN 92-5-304414-4.

Francis, C. A., J. M. Beman & M. M. Kuypers, 2007. New processes and players in the nitrogen cycle: the microbial ecology of anaerobic and archaeal ammonia oxidation, The ISME Journal (2007) 1, 1751-7362/07, pp. 19–27.

García, T., 2013. Propuesta de Índices de Calidad de Agua para Ecosistemas Hídricos de Chile, Tesis, Universidad de Chile.

Geller, W., 1992. The Temperature Stratification and Related Characteristic of Chilean Lakes in Midsummer, Aquatic Sciences 54, 1, pp. 35-57.

Goodyear, K.L., S. Mc Neill, 1999. Bioaccumulation of heavy metals by aquatic macro-invertebrates of different feeding guilds: a review. The Science of the Total Environment 229, 1999, 1-19.

Greig, H., D. K. Niyogi, K. L. Hogsden, P. G. Jellyman, J. S. Harding, 2010. Heavy metals: confounding factors in the response of New Zealand freshwater fish assemblages to natural and anthropogenic acidity. Science of the Total Environment 408 (2010) 3240–3250.

Gutierrez, X. & A. Aguilera, 2015. Calidad de agua en la producción de smolt. Nº 5 Agosto 2015, descarga: www.salmonexpert.cl, abril 2017.

Harding, J.S., 2005. Impacts of metals and mining on stream communities, in Metal Contaminants in New Zealand, T.A. Moore, A. Black, J.A. Centeno, J.S. Harding, D.A. Trumm (Eds.), resolutionz press, Christchurch, NZ, pp 343-357.

Hayat, S., M. Javed & S. Razzaq, 2007. Growth Performance of Metal Stressed Major Carps Viz. Catla Catla, Labeo Rohita and Cirrhina Mrigala Reared under Semi-Intensive Culture System. Pakistan Vet. J., 2007, 27(1): 8-12.

Heijerick, D.G., L. Regoli & W. Stubblefield, 2012a. The chronic toxicity of molybdate to marine organisms. I. Generating reliable effects data. Science of the Total Environment 430 (2012) 260–269.

