

**INFORME TÉCNICO DE LA ELABORACION DEL PROYECTO DEFINITIVO DE  
LAS NORMAS SECUNDARIAS DE CALIDAD AMBIENTAL PARA LA  
PROTECCIÓN DE LAS AGUAS CONTINENTALES SUPERFICIALES DE LA  
CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA**

DOCUMENTO PREPARADO POR:

DEPARTAMENTO DE ECOSISTEMAS ACUÁTICOS y  
SEREMI DEL MEDIO AMBIENTE DE LA REGIÓN DE VALPARAÍSO  
DIVISIÓN DE RECURSOS NATURALES Y BIODIVERSIDAD  
MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

Versión agosto de 2021

## Contenidos

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>1.</b> | <b>Introducción .....</b>  | <b>3</b>  |
| 1.1.      | <i>Cuenca del río Aconcagua.....</i>                                 | 3         |
| 1.2.      | <i>Proceso de elaboración NSCA cuenca río Aconcagua.....</i>         | 6         |
| <b>2.</b> | <b>Fundamentación técnica del Proyecto Definitivo .....</b>          | <b>9</b>  |
| 2.1.      | <i>Objeto y ámbito de aplicación .....</i>                           | 12        |
| 2.2.      | <i>Definición de las Áreas de Vigilancia.....</i>                    | 12        |
| 2.3.      | <i>Definición de Parámetros a normar .....</i>                       | 25        |
| 2.4.      | <i>Definición de Tabla de Clases de Calidad .....</i>                | 33        |
| 2.5.      | <i>Definición de criterios de cumplimiento .....</i>                 | 39        |
| 2.6.      | <i>Análisis del estado actual de la cuenca .....</i>                 | 40        |
| 2.7.      | <i>Determinación de valores umbrales de las normas.....</i>          | 41        |
| <b>3.</b> | <b>Criterios Generales y objetivos de las normas propuestas.....</b> | <b>44</b> |
| <b>4.</b> | <b>Referencias .....</b>   | <b>44</b> |

## **1. Introducción**

El presente informe técnico entrega los antecedentes, información y análisis realizados para la elaboración del proyecto definitivo de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Aconcagua (en adelante “NSCA cuenca río Aconcagua”). La información presentada en este informe considera los antecedentes contenidos en el expediente público de las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Aconcagua y el análisis de las observaciones formuladas en la etapa de Consulta Pública, en virtud de lo indicado en el artículo 20 del D.S. N°38/2012 del Ministerio del Medio Ambiente (MMA).

Los antecedentes presentados en este informe fueron puestos a disposición del Departamento de Economía Ambiental para la actualización del Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES), como parte del proceso de elaboración del Proyecto Definitivo.

Las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Aconcagua se encuentran priorizadas en el Programa de Regulación Ambiental 2020-2021, aprobado mediante Res. Ex. N° 440, del 26 de mayo de 2020, del Ministerio del Medio Ambiente.

### **1.1. Cuenca del río Aconcagua**

La cuenca del río Aconcagua se encuentra situada entre los paralelos 32° 20' y 33° 07' latitud Sur y entre los meridianos 71° 31' y 70° 00' longitud Oeste. Tiene una superficie estimada de 7.337 km<sup>2</sup> y geográficamente está inserta en su totalidad dentro de la Región de Valparaíso.

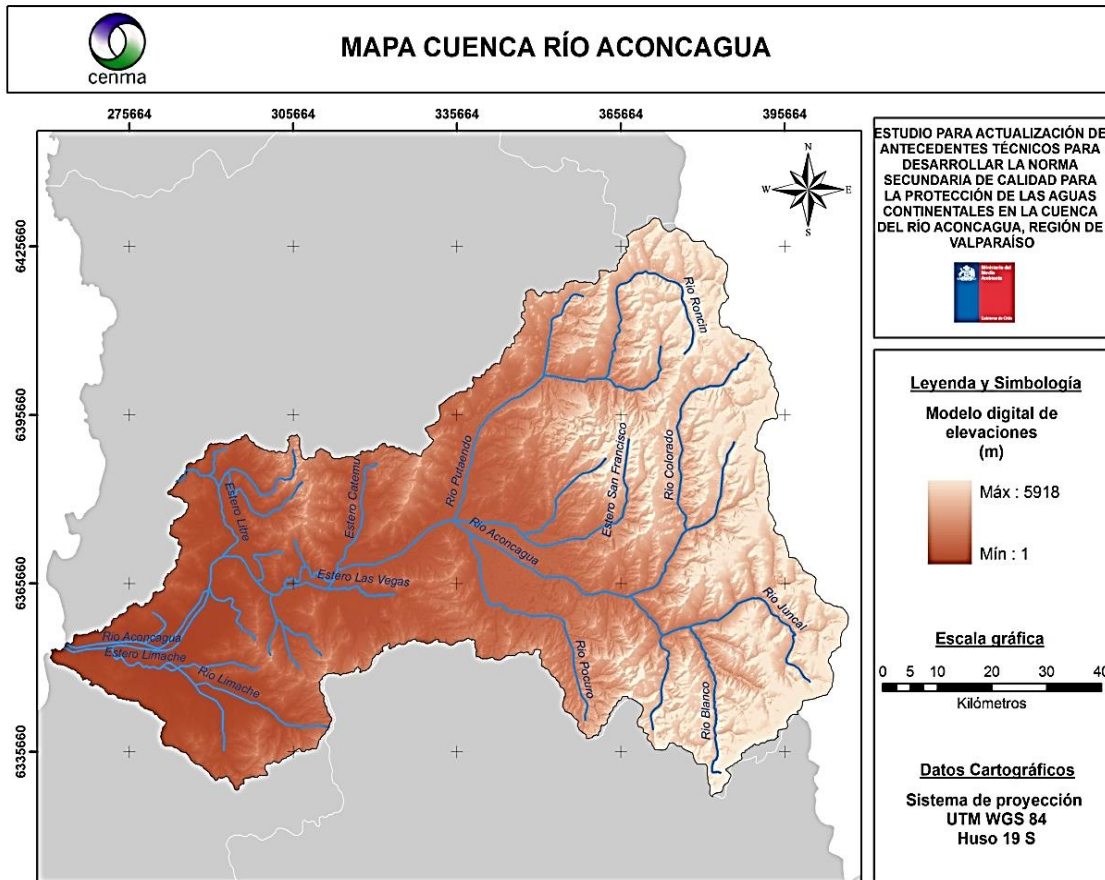
El río Aconcagua nace por la confluencia de los ríos Juncal y Blanco, y 13 Km aguas abajo recibe un importante caudal del río Colorado (Figura 1). Estos tres ríos nacen en la alta Cordillera de Los Andes con alturas entre 4.000 y 4.500 m.s.n.m., lo cual permite una glaciación importante y una nivación estacional considerable que contribuye a fijar las características hidrológicas del río Aconcagua, y así su régimen hidrológico es de alimentación mixta o nivo-pluvial. En sus zonas altas y medias el río Aconcagua es de régimen marcadamente nival, presentando un gran aumento de caudal en los meses de primavera-verano producto de los deshielos cordilleranos. En la zona baja, el río Aconcagua posee un régimen pluvial, por lo cual presenta crecidas asociadas directamente con las precipitaciones. En su nacimiento, después de la confluencia de los ríos Juncal y Blanco, (1.420 m.s.n.m.), presenta un caudal medio anual de 20,5 m<sup>3</sup>/s, luego entra al valle central en el sector del puente Las Vizcachas, en su Primera Sección, con un caudal medio anual natural de 33,0 m<sup>3</sup>/s. En su curso medio, recibe aportes de varios esteros de marcado régimen pluvial; por el lado norte, los esteros Catemu y Los Litres, mientras que por la ribera sur llegan los afluentes Rabuco y Los Loros. En su curso inferior, luego de recibir los aportes del estero Rautén, su principal tributario corresponde al estero Limache, una subcuenca regulada por el embalse Los Aromos. Finalmente, y luego de un recorrido de aproximadamente 190 kilómetros desde su nacimiento, desemboca al Océano Pacífico, en la comuna de Concón

(CONAMA 2006, CENMA 2015a).

El humedal en la desembocadura del río Aconcagua, se caracteriza por ser un Sitio Prioritario para la Conservación de la Biodiversidad definido en la Estrategia Regional de Biodiversidad (2005) y reconocido mediante la Res. Ex. N°739, del 28 de marzo del 2007, proveniente del Gobierno Regional de Valparaíso. Lo anterior, para los efectos de un adecuado manejo y protección ambiental con la finalidad de resguardar su capacidad vital y garantizar el acceso a los beneficios que contribuyan al bienestar de las generaciones actuales y futuras.

Los humedales costeros corresponden a parte de los ecosistemas más productivos del mundo, y son esenciales para la salud, el bienestar y la seguridad de quienes viven en ellos o en su entorno debido a su amplio abanico de beneficios. En términos generales, los humedales proveen relevantes servicios ecosistémicos ya que son sumideros de diversidad biológica, de material genético además de fuentes de agua, regulan el ciclo del agua y de la materia orgánica, reciclado de nutrientes, mantenimiento de redes tróficas y estabilización de sedimentos. Tienen un importante papel como depuradores naturales, contribuyendo al mantenimiento de la calidad de las aguas subterráneas y superficiales (MMA-Universidad de Valparaíso 2020). Además, los humedales presentan atributos especiales como parte del patrimonio cultural de la humanidad, están asociados a creencias religiosas y cosmológicas y a valores espirituales, constituyen una fuente de inspiración estética y artística, aportan información arqueológica sobre el pasado remoto y son base de importantes tradiciones sociales, económicas y culturales locales.

Las funciones y beneficios económicos nombrados anteriormente constituyen contribuciones, ya sean directas o indirectas, para el bienestar del ser humano (TEEB 2014). Estas, son conocidas como Servicios Ecosistémicos (SS.EE.). Según la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005) se define a los SS.EE. como los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas. Estos se agrupan en cuatro grandes categorías: servicios de provisión tales como alimento y agua; de regulación tales como la regulación de inundaciones, sequías, degradación de los suelos y enfermedades; servicios de apoyo o soporte, tales como formación de suelos y ciclos de nutrientes; y servicios culturales de tipo recreativo, espiritual, religioso y otros beneficios no materiales.



**Figura 1.** Mapa de la cuenca del río Aconcagua, hidrografía y elevaciones (CENMA, 2015a).

El río Aconcagua constituye la principal fuente de abastecimiento de agua potable de las Provincias de Los Andes, San Felipe, Quillota y Valparaíso. En el río Blanco y en las cabeceras de algunos tributarios (Estero el Cobre, Estero Catemu, Estero Los Litres) se desarrolla una importante actividad minera. También se han localizado en la parte alta de la cuenca, significativos proyectos hidroeléctricos que son alimentados con aguas de la parte alta de la cuenca del río Aconcagua.

La actividad industrial sobresale por su diversidad, ya que cuenta con actividades tan diversas como industrias de alimentos, conserveras, cemento y minería (CADE-IDEPE, 2003). Respecto a la minería, el sector minero metálico más importante de la región es la explotación del cobre fino, en los sectores de Los Andes y Catemu. La explotación de estos minerales se lleva a cabo por la División Andina de Codelco Chile (cobre y molibdeno) y Anglo American Chile. División Andina de Codelco, cuenta con el mayor yacimiento de la región, ubicado en la provincia de Los Andes, donde se ubican las minas subterráneas y a rajo abierto Sur-Sur. La producción de estas mineras se procesa en la fundición Ventanas y se exporta en forma de concentrado de cobre. Con respecto a la minería no metálica, destaca la explotación de caliza, que se destina

principalmente a la producción de Cemento Melón, en la comuna de La Calera (Universidad Mayor, 2005).

La industria está representada también, por la fabricación de productos químicos industriales y frigoríficos relacionados con la conservación de todo tipo de carnes (CADE IDEPE, 2003). Los rubros comercio, restaurantes, hoteles y servicios financieros han aumentado notablemente en la última década, así como también, transportes y telecomunicaciones.

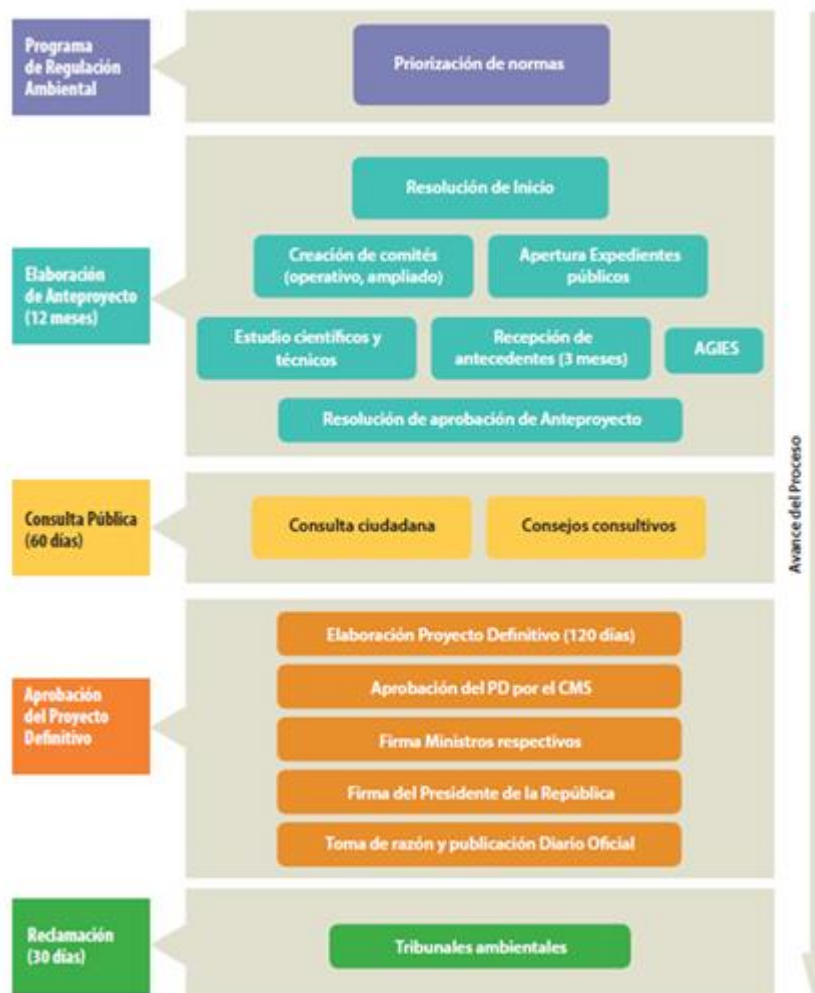
En resumen, las principales actividades económicas que se realizan en la cuenca son: agricultura, minería, agroindustria, manufactura, generación de electricidad (hidroeléctrica y termoeléctrica) así como también el turismo y los servicios de transporte. La cuenca del río Aconcagua se caracteriza por usos relacionados a la actividad minera en las cabeceras de la cuenca, asentamientos humanos con actividad agrícola en el sector medio, y la coexistencia de asentamientos humanos, actividad turística, pesquera e industrial en la desembocadura al mar.

## **1.2. Proceso de elaboración NSCA cuenca río Aconcagua**

La Ley N° 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente, en su Artículo 2°, letra ñ), define a las Normas Secundarias de Calidad Ambiental, NSCA, como *“aquellas que establecen los valores de las concentraciones y períodos máximos o mínimos permisibles de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la protección o conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza”*.

En base a lo anterior, las NSCA son un instrumento de gestión ambiental que busca la protección de los ecosistemas frente a determinados parámetros físico-químicos que pueden generar riesgos a su conservación, en este caso, de los ecosistemas acuáticos característicos de la cuenca del río Aconcagua.

El procedimiento de dictación de las NSCA, se guía de acuerdo a lo establecido en el Decreto Supremo N° 38, del 30 de octubre de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente (en adelante “Reglamento”). En el Artículo 6° del referido Reglamento, indica que este *“comprenderá las siguientes etapas: desarrollo de estudios científicos, análisis técnico y económico, consulta a organismos competentes, públicos y privados, y análisis de las observaciones formuladas. Todas las etapas deberán tener una adecuada publicidad”*. En este sentido, las etapas señaladas y sus plazos se resumen en la Figura 2.



**Figura 2.** Etapas y plazos del proceso de elaboración de normas de calidad, según Decreto Supremo N° 38/2012 del MMA (MMA, 2017).

En términos generales se reconocen 5 etapas, siendo la primera, la Priorización de las Normas en el Programa de Regulación Ambiental, por parte del Ministerio del Medio Ambiente, como lo señala el Reglamento en el Artículo 10° *“Corresponderá al Ministro definir un programa de regulación ambiental que contenga los criterios de sustentabilidad y las prioridades programáticas en materia de políticas, planes y programas de dictación de normas de calidad ambiental y de emisión y demás instrumentos de gestión ambiental”*. Actualmente, estas normas se encuentran priorizadas en el Programa de Regulación Ambiental 2020-2021, aprobado mediante Res. Ex. N° 440, del 26 de mayo de 2020, del Ministerio del Medio Ambiente.

La segunda etapa corresponde a la Elaboración del Anteproyecto, descrita en el Artículo 12° *“La elaboración del Anteproyecto de norma se iniciará mediante resolución dictada al efecto por el Ministro una vez efectuada la publicación a que se refiere el artículo 10. Dicha etapa durará doce meses. El Ministro podrá encargar estudios u ordenar aquellas actividades necesarias para*

*preparar el inicio de la elaboración del Anteproyecto de norma*". En el caso de la NSCA cuenca río Aconcagua, se dio inicio a la elaboración de estas NSCA mediante Res. Ex. N° 946, del 17 de septiembre de 2015, del Ministerio del Medio Ambiente. Posteriormente, mediante Res. Ex. N° 352, del 28 de abril de 2017, del Ministerio del Medio Ambiente, se aprobó el anteproyecto de las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Valdivia (en adelante "Anteproyecto").

La tercera etapa es de Consulta Pública, la cual se efectúa una vez que se haya publicado la Resolución de aprobación del Anteproyecto y, según lo indicado por el Artículo 20° del Reglamento: *"Dentro del plazo de sesenta días, contado desde la publicación de la resolución señalada en el artículo 17, cualquier persona, natural o jurídica, podrá formular observaciones al contenido del anteproyecto de norma"*. La Consulta Pública del Anteproyecto se realizó durante el 12 de junio de 2017 y el 6 de septiembre de 2017, recibándose un total de 194 observaciones de 66 observantes.

La cuarta etapa corresponde a la Elaboración del Proyecto Definitivo, es descrita por el Artículo 21° del Reglamento, señalándose que: *"Dentro de los 120 días siguientes de vencido el plazo a que se refiere el artículo precedente, considerando los antecedentes contenidos en el expediente y el análisis de las observaciones formuladas en la etapa de consulta, se elaborará el proyecto definitivo de norma"*. El presente Informe Técnico corresponde al documento que justifica el proyecto definitivo de las NSCA cuenca río Aconcagua.

Adicionalmente, el Artículo 22° del Reglamento indica los pasos a seguir una vez elaborado el proyecto definitivo de la norma: *"Agotado el plazo a que hace referencia el artículo anterior, el Ministro remitirá el proyecto definitivo de norma al Consejo de Ministros para la Sustentabilidad para su discusión y pronunciamiento, en conformidad a lo dispuesto en el artículo 71, letra f), de la ley N° 19.300.*

*El proyecto definitivo de norma será conocido por el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad en la sesión ordinaria o extraordinaria siguiente a la fecha de su presentación. El asunto deberá agregarse a la tabla respectiva"*.

Posteriormente, el proyecto definitivo debe ser sometido a consideración del Presidente de la República, según lo indicado en el Artículo 23° del Reglamento: *"Emitido el pronunciamiento del Consejo de Ministros para la Sustentabilidad, el proyecto definitivo de norma será sometido a la consideración del Presidente de la República para su decisión"*, según el Artículo 23°.

Finalmente, es importante indicar que la quinta etapa hace referencia a la opción de Reclamación una vez publicada la norma en el Diario Oficial, de acuerdo con lo señalado en el Artículo 40° del Reglamento: *"Los decretos supremos que establezcan normas primarias y secundarias de calidad ambiental y de emisión, serán reclamables ante el Tribunal Ambiental competente, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 50 de la ley N° 19.300, por cualquier persona que considere que no se ajustan a dicha ley y a la cual le causen perjuicio.*



El plazo para interponer el reclamo será de treinta días, contado desde la fecha de publicación del decreto en el Diario Oficial, o desde la fecha de su aplicación, tratándose de las regulaciones especiales para casos de emergencia”.

En base a los antecedentes expuestos en las secciones anteriores del presente informe, la figura 3 presenta los hitos más relevantes en el proceso de elaboración de las NSCA cuenca río Aconcagua.

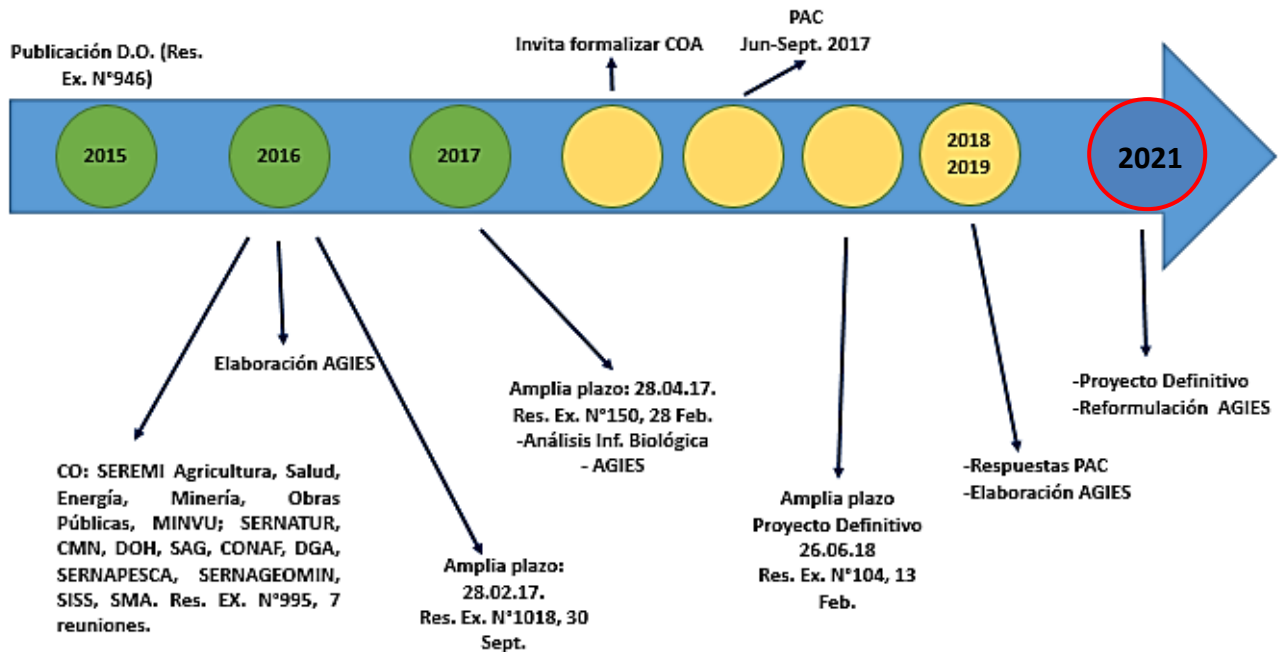


Figura 3. Línea de tiempo del proceso normativo de la NSCA cuenca río Aconcagua al 2021 (Fuente: elaboración propia).

## 2. Fundamentación técnica del Proyecto Definitivo

La metodología utilizada para el diseño del proyecto definitivo siguió los lineamientos de la “Guía para la Elaboración de Normas Secundarias de Calidad Ambiental en Aguas Continentales y Marinas 20171”, elaborada por el Ministerio del Medio Ambiente junto a la Agencia de Cooperación Alemana Deutsche Zusammenarbeit (MMA, 2017).

La tabla 1 detalla la información recopilada y utilizada de calidad de aguas para elaborar el proyecto definitivo de estas normas.

**Tabla 1.** Información de calidad agua, emisiones y estudios utilizados para el diseño del proyecto definitivo de las NSCA cuenca río Aconcagua.

<sup>1</sup> Disponible en: <http://catalogador.mma.gob.cl:8080/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=57f4f33c-e43c-495d-a82a-8f081ec981d3&fname=Guia%20NSCA%20Agua.pdf&access=public>

|   |  |
|---|--|
| <p>Bases de datos utilizadas en el proyecto definitivo de norma</p>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>i) Datos físico-químicos y biológicos de calidad de agua de la cuenca proveniente de: DGA (2018), MMA (2019), SAG (2015), SISS (2019; Estudio CENMA-MMA (2015a y 2015b). Información biológica y ecotoxicológica; Estudio UCT-MMA (2012), EULA (2015).</li> <li>ii) Información sobre emisiones relacionadas a fuentes puntuales: reportes de autocontrol de las fuentes emisoras de acuerdo a norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales (D.S. N° 90/2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia).</li> <li>iii) Información y estimación de fuentes difusas relacionadas a diferentes usos de suelo y actividades antrópicas.</li> </ul> <p>Antecedentes relativos a características físicas y políticas de la cuenca: hidrología, usos de suelo, subcuencas, tipología de ríos; actividades económicas: ubicación de industrias, puntos de descargas RILes; aspectos ecológicos y normativos: especies en categorías de conservación, presencia de sitios prioritarios para la conservación, áreas protegidas.</p> |
| <p>Período de datos utilizados en el presente proyecto de norma</p>               | <p>1980-2018</p>   |
| <p>Número total de datos analizados</p>   | <p>≥ 34.500 aproximadamente</p>  |
| <p>Número de parámetros propuestos a regular en el presente proyecto de norma</p> | <p>28</p>  |

Fuente: Elaboración propia

El detalle de la información sistematizada y utilizada en la elaboración del proyecto definitivo de estas normas es la siguiente:

- a) Estadística de calidad físico-química proveniente de la red de monitoreo de la calidad del agua de la Dirección General de Aguas (1980 a 2018).
- b) “Estudio para actualización de antecedentes técnicos para desarrollar la norma secundaria de calidad para la protección de las aguas continentales en la cuenca del río Aconcagua, Región de Valparaíso”, realizado por la Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA) de la Universidad de Chile, 2015a.
- c) Estudio “Diagnóstico y propuesta de control de las fuentes difusas en la cuenca del río Aconcagua, Región de Valparaíso”, realizado por la Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA) de la Universidad de Chile, 2015b.
- d) “Estudio de metodologías para la evaluación de riesgo ambiental de la aplicación de plaguicidas”, realizado por el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de Chile, 2006.
- e) Servicio de Monitoreo Hídrico Río Aconcagua, Región de Valparaíso, realizado por el Servicio Agrícola y Ganadero, 2016.
- f) Estudio “Generación de información cartográfica para el sistema de tipología de ríos y lagos de Chile”, de la Universidad de Chile, 2011.
- g) Proyecto “Desarrollo de una metodología para la evaluación y mitigación de la contaminación de aguas y suelo: aplicación a la cuenca del río Aconcagua” llevado a cabo por la Universidad Mayor, 2005.
- h) Estudio “Antecedentes generales a considerar para la formulación de la norma secundaria de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Aconcagua”, elaborado por el Centro EULA de Universidad de Concepción, 2015.
- i) Estudio de línea base limnológica y calidad de aguas en la cuenca del río Aconcagua, elaborado por el Centro EULA de la Universidad de Concepción, 2015.
- j) Estudio “Aproximación ecotoxicológica y evaluación de riesgo teórico en apoyo a la elaboración de proyecto de norma secundaria de calidad ambiental para la protección de las aguas del río Aconcagua, realizado por la Universidad Católica de Temuco, 2012.
- k) Revisión de Normas Internacionales para la protección de vida acuática de los siguientes países: Nueva Zelanda-Australia (ANZECC 2000), Canadá (2000), EE.UU. (2018), España (2011), Unión Europea (2010).
- l) Reglamento de Clasificación de Especies, RCE, elaborado por el Ministerio del Medio Ambiente, 2018.
- m) Informe “Biodiversidad de ecosistemas de agua dulce”. En P. A. Marquet et al. (editores), Biodiversidad y cambio climático en Chile: Evidencia científica para la toma de decisiones. Informe de la mesa de Biodiversidad. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, 2019.

- n) Otros antecedentes regionales obtenidos por los Comités Operativo y Comité Operativo Ampliado de estas normas, junto a los demás antecedentes que constan en el expediente público<sup>2</sup>.

## **2.1. Objeto y ámbito de aplicación**

Las NSCA son instrumentos regulatorios cuyo objetivo es conservar o preservar los ecosistemas acuáticos a través del mantenimiento o mejora de la calidad de las aguas continentales y marinas.

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 ecosistemas acuáticos del proceso de eutrofización y de otros procesos de contaminación relacionados a otros parámetros físico-químicos como metales. El enfoque ecosistémico empleado en el diseño de las NSCA permite asegurar la provisión de bienes y servicios de los ecosistemas (por ejemplo, riego, turismo, pesca artesanal, etc.), entre otros el suministro permanente de agua con condiciones adecuadas de calidad (MMA, 2017).

En particular, las NSCA para la cuenca río Aconcagua tienen por objetivo conservar o preservar los ecosistemas acuáticos y sus servicios ecosistémicos<sup>3</sup> a través de la mantención o mejora de la calidad de las aguas de la cuenca. Para abordar este objetivo, este instrumento de gestión ambiental establece determinados umbrales de calidad ambiental para cada área de vigilancia<sup>4</sup> y parámetro físico-químico establecido.

El ámbito de aplicación territorial de estas normas corresponde a la cuenca del río Aconcagua, la cual se encuentra ubicada en su totalidad en la región de Valparaíso. Un mayor detalle de las características generales de esta cuenca se encuentra en la sección 1.1 del presente informe.

## **2.2. Definición de las Áreas de Vigilancia**

En base a la metodología señalada por la Guía para la elaboración de Normas Secundarias de Calidad Ambiental en Aguas Continentales y Marinas (MMA, 2017), el establecimiento de las áreas de vigilancia se basó en una metodología cuantitativa (CENMA, 2015a) la cual se orientó en el uso de la información espacial recopilada con el fin de obtener una priorización, utilizando tres capas de información o atributos (física, biológica y económica) en cada uno de los tramos (ríos) que conforman la cuenca. La información relativa a los tres conjuntos de atributos fue: a) Características físicas y políticas de la cuenca (hidrología, usos de suelo, subcuencas, tipología de ríos, ciudades); b) Actividades económicas (ubicación de industrias, puntos de descargas RiLes); y c) Aspectos ecológicos y normativos (presencia de áreas protegidas, especies en

---

<sup>2</sup> Disponible en: [http://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id\\_expediente=928215](http://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id_expediente=928215)

<sup>3</sup> Servicios Ecosistémicos: contribución directa o indirecta de los ecosistemas al bienestar humano. Los que se clasifican en servicios de provisión, regulación y mantención, y culturales.

<sup>4</sup> Área de Vigilancia: área de drenaje de un curso de agua continental superficial, o una parte de él, que se establece y delimita para efectos de asignar y controlar su calidad ambiental.

categorías de conservación, estado ecológico de los tramos, áreas de vigilancia propuestas por CONAMA (2006), estaciones de monitoreo vigentes DGA).

La determinación de las áreas de vigilancia tiene por objeto generar tramos relativamente homogéneos que permitan un adecuado monitoreo y control de las NSCA para la cuenca del río Aconcagua generando información útil que pueda dar cuenta del estado ambiental del curso de agua y su cuenca de drenaje, en relación a las actividades antrópicas del tramo evaluado y los potenciales riesgos a la conservación de esta cuenca.

A partir de esta priorización emergieron grupos de tramos (áreas) con alto valor ambiental cuyos límites luego fueron ajustados para optimizar el uso de las estaciones de la DGA en operación a la fecha del diseño y a la presencia de potenciales fuentes de contaminación relevantes en el área. Producto de lo anterior, cada área de vigilancia cuenta con una estación control (principal) que debe estar ubicada al final de ésta. Cuando las normas se implementan, complementariamente se fijan una o más estaciones de observación (adicionales a las de control) cuando hay sub-áreas de especial significación física, biológica o económica y se quiere contar con más información ambiental en cada área.

Además, se trabajó activamente con el Comité Operativo de las normas (expediente público, minuta del 17.07.16<sup>5</sup>) que aportó conocimiento específico del territorio y las actividades que en esta cuenca se desarrollan para la definición de las Áreas de Vigilancia.

Por otro lado, también se consideró la clasificación de Fuster *et al.* (2011), según la cual se evidencian 3 tipologías de ríos en la cuenca del río Aconcagua: 6, 7 y 8 (Figura 4); es decir, el tramo del río que representan tiene similares características desde el punto de vista geomorfológico y algunas características de macro hábitat, como pendientes, velocidad del cauce o sustratos dominantes.

---

<sup>5</sup> [http://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id\\_expediente=928215](http://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id_expediente=928215). Documento N°10.

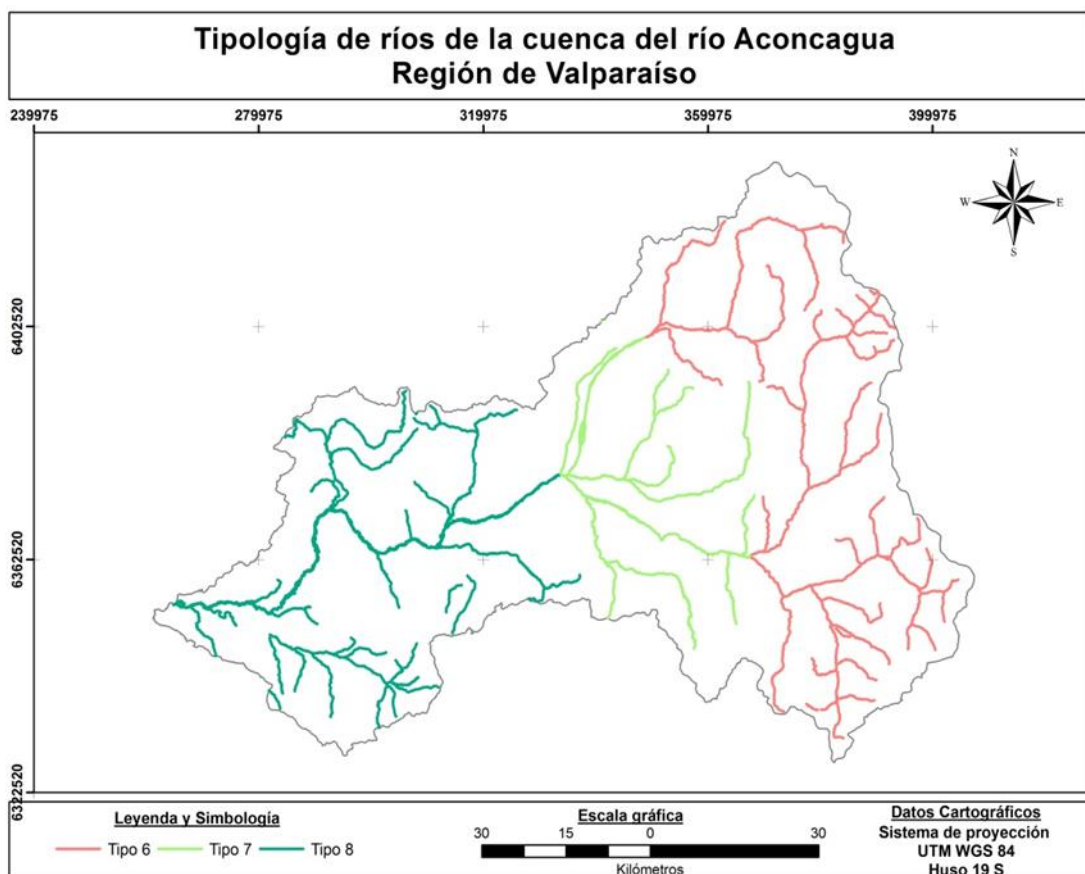
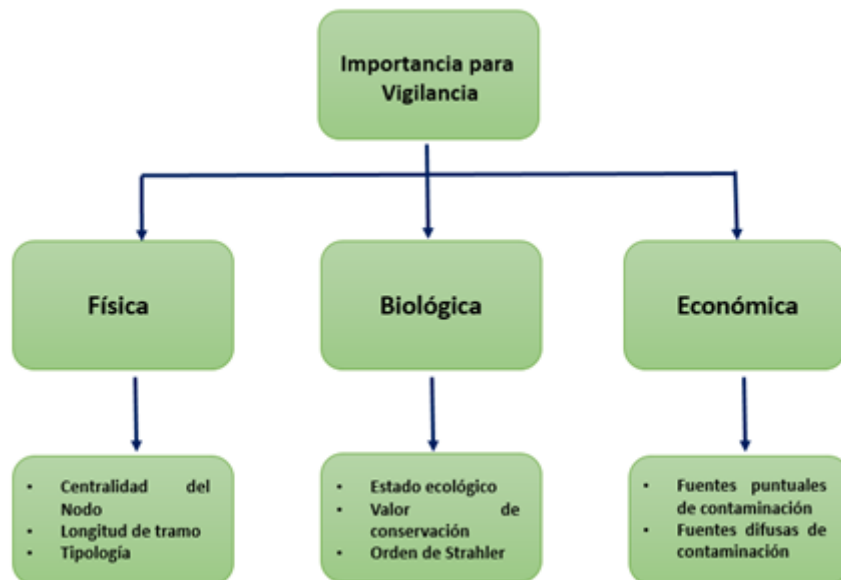


Figura 4. Tipología de ríos en la cuenca del río Aconcagua según Fuster *et. al.*, 2011 (CENMA, 2015a). La figura describe tipologías Tipo 6: Andino semiárido, Tipo 7: Transición semiárido y Tipo 8: Desembocadura.

De acuerdo con lo anterior, los componentes considerados para la definición de las áreas de vigilancia (Figura 10) y la priorización de tramos (Figura 5) fueron los siguientes:

- a) Físico, que integró la centralidad topológica, longitud y tipología del tramo
- b) Biológico, que integró el estado ecológico (calidad del agua), valor de conservación y orden de Strahler del tramo.
- c) Económico, que consideró indicadores de las fuentes puntuales y difusas de emisiones asociadas al tramo.



**Figura 5:** Esquema de la información utilizada para priorizar los tramos de la cuenca del río Aconcagua para definir áreas de vigilancia para las NSCA de esta cuenca (CENMA, 2015a).

### i. Componente Físico

La importancia física de cada tramo se calculó considerando los siguientes sub-componentes: a) centralidad topológica del tramo<sup>6</sup>, b) longitud del tramo y c) tipología del tramo. La centralidad topológica es una medida de la contribución de un tramo a la conectividad global de la red hidrográfica. La longitud es una medida del tamaño del tramo y por tanto de la cantidad de energía y materia que contiene. Finalmente, la tipología da cuenta de características comunes de los diferentes tramos de una red hidrográfica de acuerdo a criterios como: ecorregión, pendiente, altura, caudal del tramo, tipo geológico y sustrato predominante. Por otro lado, y de acuerdo con los tres tipos de ríos definidos por Fuster *et al.* (2011) para la cuenca del río Aconcagua, a cada uno se les asignó un puntaje según su tipología, siguiendo una escala geométrica (tabla 2).

**Tabla 2.** Puntaje asignado a cada tramo según tipología de Fuster *et al.* (2011).

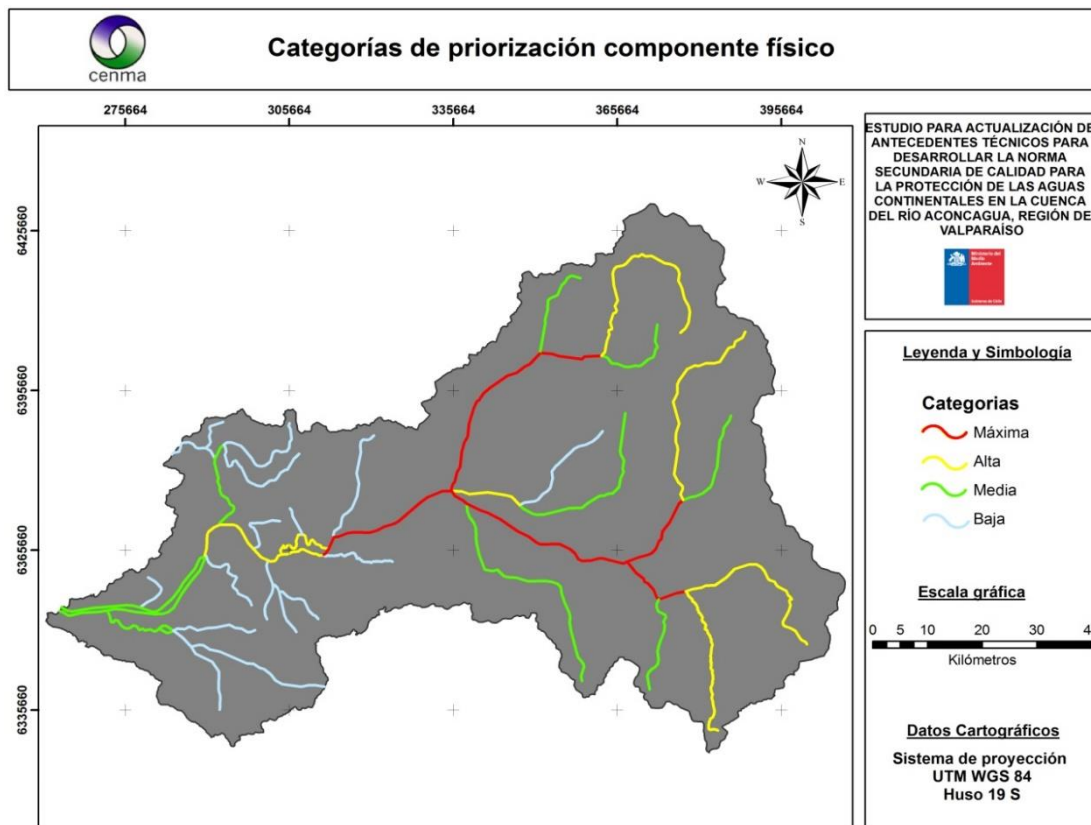
| Tipo                        | Puntaje |
|-----------------------------|---------|
| 6 - Andino semiárido        | 4       |
| 7 - Transición semiárido    | 2       |
| 8 - Desembocadura semiárido | 1       |

Fuente: CENMA, 2015a

<sup>6</sup> Que tan central es el nodo (tramo) en términos de su localización. Valor en términos de su importancia en conexión del cuerpo de agua. Se mide centralidad para establecer importancia de ese tramo, por ej. para desplazamiento de un pez. Que tan al centro está el tramo o nodo dentro de la cantidad total de nodos establecidos en una cuenca, es muy importante pues por ejemplo para hacer seguimiento a una partícula sea viva o inerte.

Los puntajes para cada tipología fueron establecidos en base al supuesto de que los tramos más cercanos a su origen cordillerano son físicamente más importantes para la vigilancia, ya que determinan lo que sucede aguas abajo en la cuenca. De manera general, existen criterios para entender el funcionamiento y la clasificación de los ríos en su tipología, tales como la altitud, pendiente del cauce, sustrato dominante y caudal medio anual, entre otros. Así, el criterio de altitudes mayores (y por lo tanto tipologías de cabecera de las altas cumbres), se basa en que éste es un factor determinante de las características hidráulicas como caudal, cantidad de oxígeno disuelto, temperatura y del sustrato del cauce, elementos que influyen en la estructura de los ecosistemas fluviales (Allan & Castillo, 2007). En este contexto, para la cuenca del río Aconcagua es en las zonas de altas cumbres cordilleranas donde el régimen del caudal medio anual explica las condiciones de escurrimiento, humedad, temporalidad de la zona inundada, cantidad de sedimentos y concentración de iones entre otras características, determinando las propiedades biológicas y físicas de los tramos inferiores (aguas abajo). Por lo anterior, es que se asignan mayores puntajes a las zonas cordilleranas altas y menores puntajes a la zona de desembocadura. El puntaje propuesto sigue una serie geométrica a fin de obtener mayor discriminación entre las diferentes categorías.

Luego del análisis anterior los tramos priorizados por importancia física para establecer las áreas de vigilancia de la cuenca del Aconcagua se muestran en la Figura 6.



**Figura 6.** Categorías de priorización de tramos del Aconcagua de acuerdo con la componente física (CENMA, 2015a).



## ii. Componente Biológico

La importancia biológica de cada tramo se calculó en base a tres propiedades: a) estado ecológico, b) valor de conservación, c) orden de Strahler.

### ii.a Estado Ecológico

Es un índice basado en la presencia de organismos bioindicadores de calidad de agua, que informa el estado de la biodiversidad en el sitio focal (CENMA, 2012). El valor del estado ecológico de cada tramo, de acuerdo a las categorías estándar, se asignaron de según lo señalado en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Valores del índice de estado ecológico, de acuerdo a las respectivas categorías

| Estado ecológico | Puntaje |
|------------------|---------|
| Malo             | 1       |
| Deficiente       | 2       |
| Moderado         | 4       |
| Bueno            | 8       |
| Muy bueno        | 16      |

Fuente: CENMA, 2015 a

Estos valores fueron establecidos bajo el criterio de asignar mayor importancia a aquellos tramos con el mejor estado ecológico, con el fin de resguardar y mantener su calidad biológica. El puntaje sigue una serie geométrica.

### ii.b Valor de Conservación

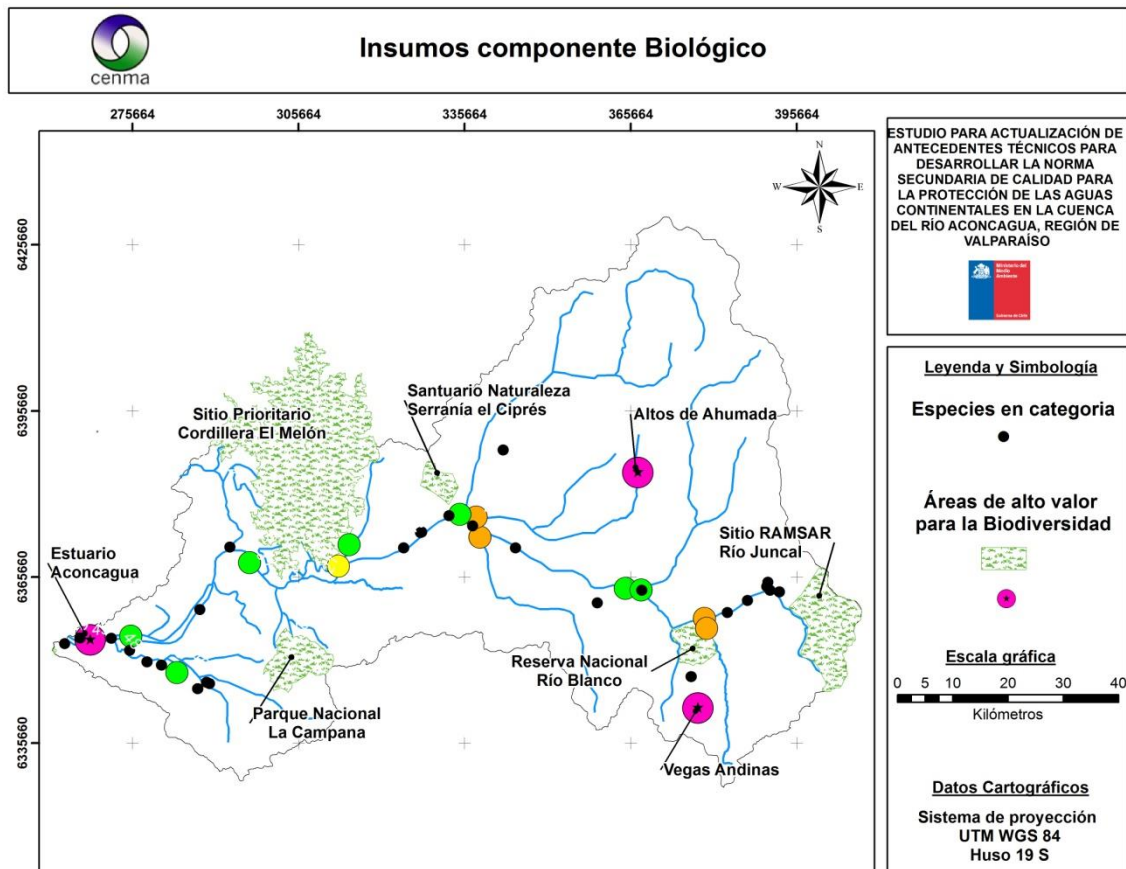
Es un indicador de la importancia del sitio para el resguardo de especies, sitios prioritarios para la conservación o áreas protegidas (figura 7). Se utiliza, en general, para dar valor a áreas con diferentes características ecológicas, basándose en la suma ponderada entre el número de especies y el puntaje según el valor de conservación de dichas especies (Guti, 1995).

Los puntajes asignados a cada categoría de conservación fueron propuestos con el objeto de dar mayor importancia (puntaje) a aquellos tramos con especies de mayor sensibilidad e importancia para su conservación biológica (e.g. En Peligro). Al igual que los puntajes anteriores, éste sigue una serie geométrica (Tabla 4) y se incorporó en el cálculo de un índice de valor de conservación (espacial) para cada tramo de río.

**Tabla 4.** Valores de ponderación de cada categoría de conservación de especies.

| Categoría de conservación i | Puntaje |
|-----------------------------|---------|
| En peligro                  | 8       |
| Vulnerable                  | 4       |
| Casi amenazada              | 2       |
| Preocupación menor          | 1       |
| Sin categoría               | 0       |

Fuente: CENMA, 2015 a



**Figura 7.** Información cartográfica utilizada para el componente biológico (CENMA, 2015a).

Respecto a la fauna acuática presente en la cuenca del río Aconcagua, existen diversos trabajos que dan cuenta de muestreos realizados para describir la comunidad acuática de este sistema fluvial. A modo general se consideraron los siguientes listados en cuanto a riquezas de especies por grupo taxonómico:

| Grupo taxonómico | N° de taxa (riqueza) |
|------------------|----------------------|
| Fitoplancton     | 32                   |
| Perifiton        | 22                   |
| Macrófitas       | 24                   |
| Anfibios         | 7                    |
| Invertebrados    | 57                   |
| Peces            | 5-8 <sup>7</sup>     |
| Aves             | 73                   |

Fuente: Elaboración propia

Destacan los trabajos realizados por Dazarola (1972), Arratia (1981), Quiroz (1999), Zunino *et. al.* (2009), EULA (2015), Cenma (2015a), y Habit y Górski *et al.* (2019). Esta información es un ejemplo de la información considerada sobre objetos de conservación de uno de los grupos más amenazados, en cada una de las áreas de vigilancia de la cuenca. De acuerdo con estos estudios y su escala temporal se citan entre 5 y 8 especies par el grupo de fauna íctica (tabla 5).

**Tabla 5:** Especies nativas en el río Aconcagua (P= presencia) y (A=ausencia).

|                                    | Blanco | Juncal | Aconcagua zona aguas arriba Putaendo | Aconcagua zona aguas abajo Putaendo | Aconcagua zona desembocadura |
|------------------------------------|--------|--------|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| <b>Especies Nativas</b>            |        |        |                                      |                                     |                              |
| <i>Mordacia lapicida</i>           | A      | A      | A                                    | A                                   | P                            |
| <i>Trichomycterus areolatus</i>    | A      | A      | A                                    | P                                   | P                            |
| <i>Cheirodon pisciculus</i>        | A      | A      | P                                    | P                                   | P                            |
| <i>Basilichthys microlepidotus</i> | A      | A      | P                                    | P                                   | P                            |
| <i>Odentesthes regia</i>           | A      | A      | A                                    | A                                   | P                            |
| <i>Galaxias maculatus</i>          | A      | A      | A                                    | A                                   | P                            |
| <i>Percilia gillissi</i>           | A      | A      | A                                    | A                                   | P                            |
| <i>Mugil cephalus</i>              | A      | A      | A                                    | A                                   | P                            |

Fuentes: Dazarola (1972), Arratia (1981), Quiroz (1999), Zunino *et. al.* (2009), EULA (2015), Cenma (2015a), y Habit y Górski *et al.* (2019).

<sup>7</sup> Considerando el estuario y sinonimias.

Sin embargo, y tal como se analiza en EULA (2015) el número de especies registradas en la cuenca ha ido disminuyendo, llamando la atención por ejemplo la **ausencia** del género ***Percichthys*** (EULA 2015), lo que refuerza la idea de recuperar ciertos ecosistemas de la cuenca. En los monitoreos y bases de datos más recientes se reportan sólo las siguientes especies:

- *Trichomycterus aerolatus* (Bagrecito), en categoría **Vulnerable** de acuerdo al RCE-MMA, 2018.
- *Cheirodon pisciculus* (Pocha), en categoría **Vulnerable** de acuerdo al RCE-MMA, 2018.
- *Basilichthys microlepidotus* (Pejerrey chileno), en categoría **Vulnerable** de acuerdo al RCE-MMA, 2018.
- *Odonthestes regia* (Pejerrey de mar), en categoría Preocupación Menor (LC) de acuerdo al RCE-MMA, 2018.
- *Galaxias maculatus* (Puye), en categoría **Vulnerable** de acuerdo al RCE-MMA, 2018.
- *Mugil cephalus* (Lisa), en categoría Preocupación Menor de acuerdo al RCE-MMA, 2018.

El informe de Habit y colaboradores (2019) preparado en el contexto de la COP25 señala: *“Cuenca completas, como las de los ríos Petorca y Aconcagua, prácticamente ya no albergan especies de vertebrados nativos dulceacuícolas, debido a las malas prácticas de gestión del recurso”* y asimismo señala *“El nivel actual de presiones descrito ha afectado severamente a la biodiversidad acuática de los ecosistemas de agua dulce de la zona centro-norte del país, llegando incluso al colapso ecosistémico de la laguna Aculeo (33°50 S, 70°54 O, 350 msnm). Las principales causas de este colapso son la interacción entre el incremento de la población en la cuenca, el aumento de extracciones ilegales de agua y el cambio climático (Alaniz et al., 2019).*

Todo lo anterior refuerza la necesidad de la recuperación y protección de estos ecosistemas acuáticos.

### iii. Componente Económico

Se denominó importancia económica, al grado de intervención y amenaza ambiental de un tramo producto de la concentración de actividades humanas. Este componente incluyó: a) presencia de fuentes emisoras puntuales y b) presencia de fuentes de contaminación difusas, estimadas de acuerdo al tipo de uso de suelo.

Para la determinación de este componente se consideraron los siguientes aspectos de la cuenca (Figura 8):

- 1.- Fuentes de contaminación puntual asociadas por la proximidad al tramo
- 2.- Factor de peligrosidad de la fuente

Además, para lo anterior se incluyeron dos grandes grupos de actividades económicas: i) actividades mineras, ii) actividades no mineras (industriales, agrícola-ganadero, sanitarias, áridos, principalmente). En el Anexo I, Tablas a, b y c del estudio CENMA (2015a), se detalla el

listado completo de las industrias presentes en la cuenca y su Índice de Peligrosidad.

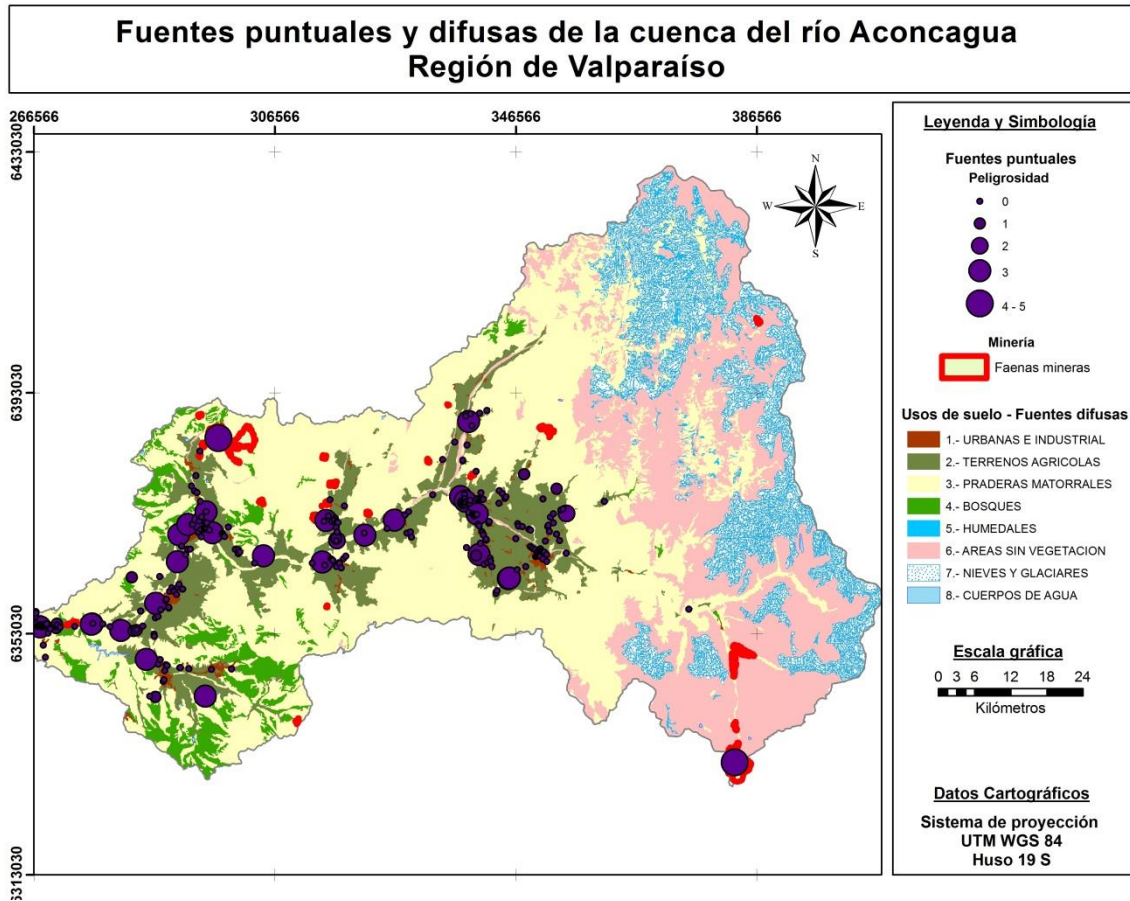


Figura 8. Fuentes puntuales, difusas y ubicación de faenas mineras en la cuenca del río Aconcagua (CENMA, 2015a).

Como resultado del análisis y la ponderación de los componentes físico, biológico y económico (Figura 9), e incorporando la actualización de los límites de cuenca y subcuenca realizado por la DGA durante el año 2017, se estableció la aplicación de estas normas en 16 áreas de vigilancias (Figura 10).

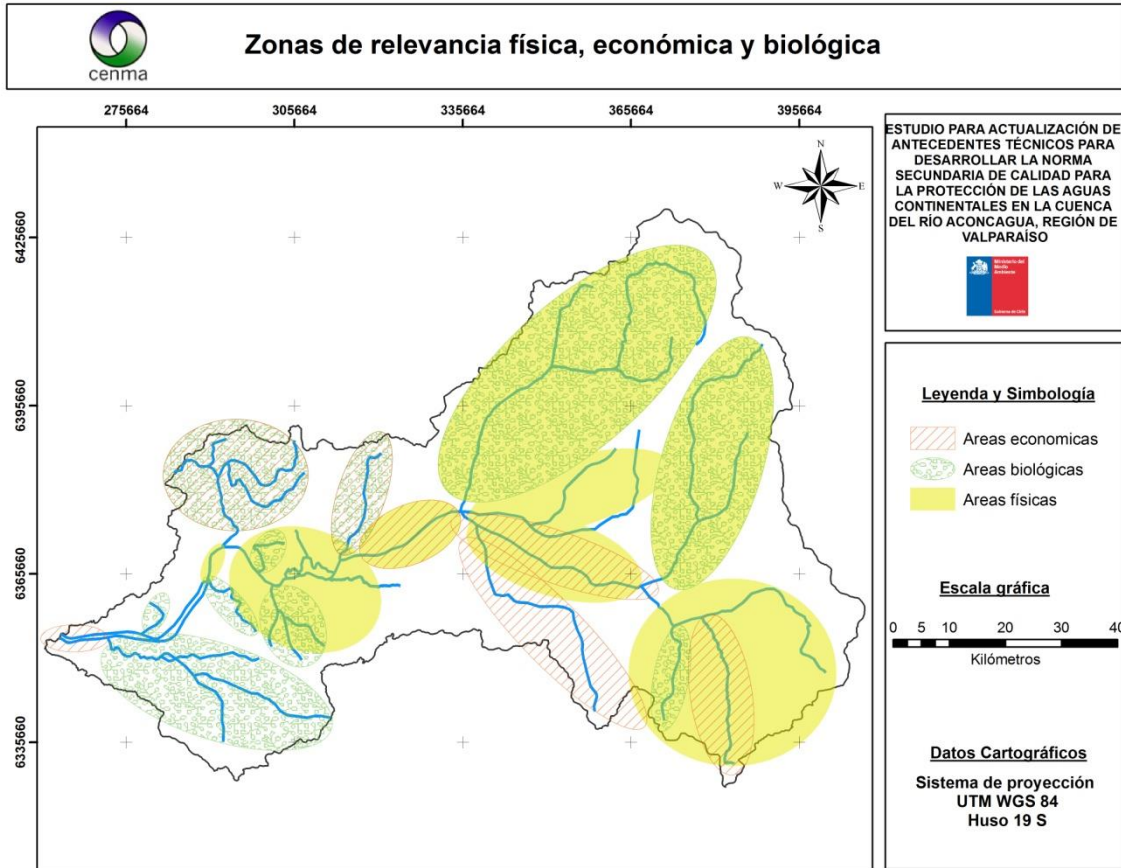


Figura 9. Zonas de la cuenca del río Aconcagua con relevancia por priorización económica, ecológica y física (CENMA, 2015a).

Finalmente, en la Figura 10 se representa la delimitación de las áreas de vigilancia de las NSCA cuenca río Aconcagua.

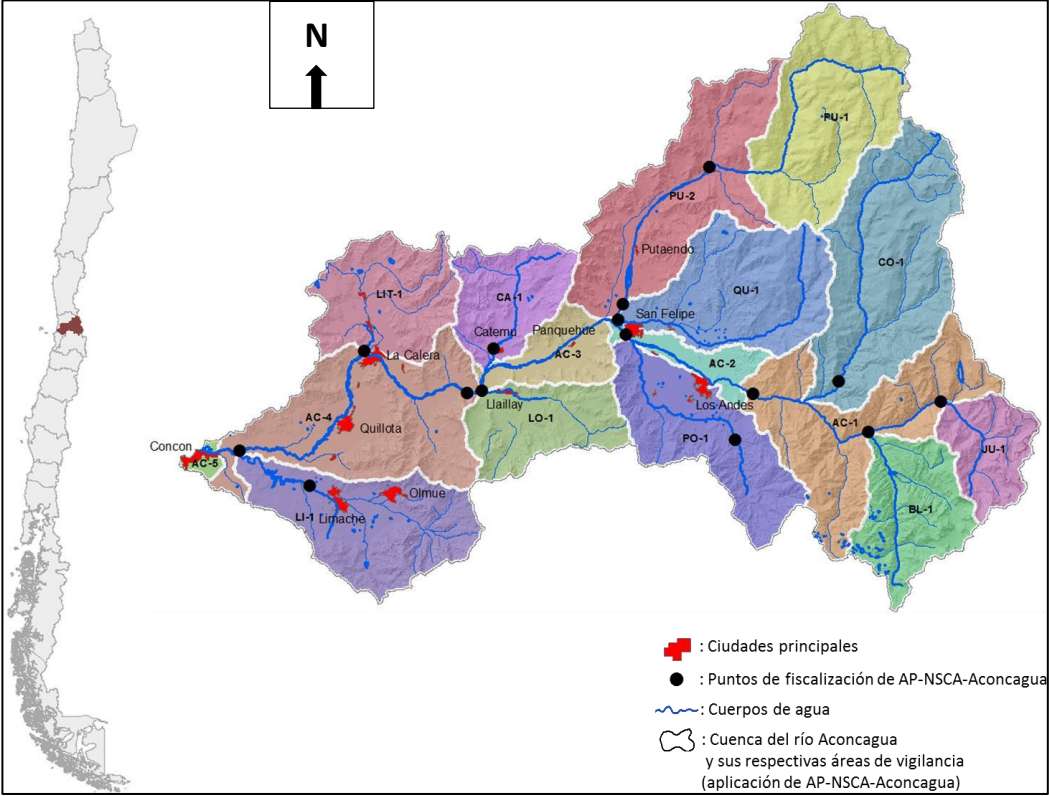


Figura 10. Delimitación de las Áreas de Vigilancia para las NSCA cuenca río Aconcagua (MMA, 2017)

Complementariamente con lo anterior, en la Tabla 6 se detallan las áreas de vigilancias indicando cauce, límites, coordenadas referenciales y código del Banco Nacional de Aguas (BNA) de la estación monitora de cada área (estación control).

**Tabla 6:** Áreas de vigilancia establecidas en el Proyecto Definitivo de las NSCA cuenca río Aconcagua. Coordenadas en UTM WGS 84 – Huso 19.

| CAUCE         | ÁREA DE VIGILANCIA | LÍMITES ÁREA DE VIGILANCIA  | COORDENADAS referenciales de inicio y término |                    | Estación Monitora (CODIGO B.N.A.) |
|---------------|--------------------|---|---|--------------------|-----------------------------------|
|               |                    |   | (N)   | (E)                |                                   |
| Río Blanco    | BL –10             | De: Naciente río Blanco<br>Hasta: Aguas abajo Est. DGA río Blanco en Río blanco                         | 6.332.736<br>6.357.968                        | 382.426<br>378.437 | 5402001-5                         |
| Río Juncal    | JU - 1             | De: Naciente río Juncal<br>Hasta: Río Juncal antes de Río Juncalillo                                    | 6.350.684<br>6.362.872                        | 395.947<br>391.654 | 5401003-6                         |
| Río Colorado  | CO - 1             | De: Naciente río Colorado<br>Hasta: Confluencia río Aconcagua   | 6.406.272<br>6.363.094                        | 389.406<br>367.429 | 5406001-7                         |
| Río Aconcagua | AC - 1             | De: Confluencia río Blanco y Juncal<br>Hasta: Aguas debajo de Est. DGA río Aconcagua en Chacabuquito    | 6.357.968<br>6.365.623                        | 378.437<br>356.577 | 5410002-7                         |
|               | AC - 2             | De: aguas abajo Est. DGA río Aconcagua en Chacabuquito<br>Hasta: aguas abajo Junta río Putaendo         | 6.365.623<br>6.377.090                        | 356.577<br>333.642 | 5410005-1                         |
|               | AC - 3             | De: Aguas abajo junta río Putaendo<br>Hasta: Est. DGA en Romeral  | 6.377.090<br>6.365.625                        | 333.642<br>312.329 | 5423003-6                         |
|               | AC - 4             | De: Est. DGA en Romeral<br>Hasta: Límite con estuario   | 6.365.625<br>6.354.774                        | 312.329<br>268.042 | 5426003-2                         |
|               | AC - 5             | De: Límite con estuario<br>Hasta: desembocadura con el mar  | 6.354.774<br>6.355.446                        | 268.042<br>265.416 | nueva estación                    |
| Río Putaendo  | PU - 1             | De: Naciente Río Putaendo aguas arriba embalse Chacrillas   | 6.402.874<br>6.377.148                        | 351.722<br>334.875 | 5414001-0                         |
|               | PU- 2              | De: aguas arriba embalse Chacrillas<br>Hasta: confluencia con Río Aconcagua aguas abajo DGA en el baden | 6.402.057<br>6.377.042                        | 358.031<br>334.883 | 5414003-7                         |



|                          |                |  |                        |                    |           |
|--------------------------|----------------|--|------------------------|--------------------|-----------|
| <b>Estero Pocuro</b>     | <b>PO - 1</b>  | De: Naciente estero Pocuro<br>Hasta: Confluencia río<br>Aconcagua    | 6.340.995<br>6.373.455 | 359.043<br>338.085 | 5411001-4 |
| <b>Estero Quilpué</b>    | <b>QUI - 1</b> | De: Naciente estero Quilpué<br>Hasta: Confluencia río<br>Putando     | 6.392.898<br>6.377.023 | 367.162<br>334.887 | 5415001-6 |
| <b>Estero Catemu</b>     | <b>CA - 1</b>  | De: Naciente estero Catemu<br>Hasta: Confluencia río<br>Aconcagua    | 6.388.091<br>6.368.217 | 325.888<br>313.206 | 5421004-3 |
| <b>Estero Los Loros</b>  | <b>LO - 1</b>  | De: Naciente estero Los Loros<br>Hasta: Confluencia río<br>Aconcagua | 6.358.672<br>6.364.648 | 335.541<br>312.029 | 5422001-4 |
| <b>Estero Limache</b>    | <b>LI - 1</b>  | De: Naciente estero Limache<br>Hasta: Confluencia río<br>Aconcagua   | 6.341.553<br>6.354.293 | 303.468<br>270.702 | 5427001-1 |
| <b>Estero Los Litres</b> | <b>LIT - 1</b> | De: Naciente Estero El Sauce<br>Hasta: Confluencia río<br>Aconcagua  | 6.391.460<br>6.371.811 | 306.242<br>293.081 | 5424002-3 |

Fuente: Elaboración propia

### 2.3. Definición de Parámetros a normar

Considerando la relación entre fuentes de emisiones puntuales y difusas y sus potenciales efectos en la contaminación de las aguas superficiales de la cuenca del río Aconcagua y la biodiversidad asociada, se realizó un análisis para la selección de parámetros a normar. Para la selección de parámetros a incluir en estas NSCA, se consideraron los siguientes criterios:

**a) Calidad del agua (concentraciones ambientales):** Se revisaron los datos de parámetros fisicoquímicos medidos en la cuenca. Para la selección de los parámetros a incluir en las normas se consideró el efecto de dichos parámetros en el ecosistema: a) parámetros tóxicos (p.ej. metales y metaloides), b) parámetros no tóxicos (p.ej. nutrientes) y c) parámetros relacionados a propiedades físicas (p.ej. O.D, Conductividad, pH), fundamentales para evaluar alteración en la calidad de las aguas.

**b) Fuentes emisoras puntuales y difusas de la cuenca:** Se analizó los efectos que parámetros fisicoquímicos emitidos por fuentes puntuales y difusas presentes en la cuenca pueden tener sobre los ecosistemas acuáticos a proteger. Por ejemplo, el rubro minero, abundante en la cuenca, está asociado a la emisión de metales pesados, como As, Cu, Fe, entre otros, además de impactar en el pH y la conductividad eléctrica de las aguas. Los pasivos mineros están asociados al drenaje ácido de roca, también relacionado a un incremento en la concentración de metales o metaloides en las aguas, y algunas sales como sulfatos y cloruros. Otras fuentes

relevantes son las emisiones relacionadas con las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) y las emisiones difusas por escorrentía de suelos asociadas, principalmente, a las actividades agrícolas, agroindustriales y pecuarias de la cuenca del río Aconcagua.

**c) Estado del Ecosistema:**

**c.1) Indicadores del Estado trófico del Ecosistema:** Se consideró la carga de nutrientes, que provocan fenómenos de florecimientos algales, macrófitas y bacterias, lo que conlleva a un aumento de la turbiedad, disminuyendo la transparencia del agua, contribuyendo a la eutrofización (por ejemplo, control de Clorofila “a” en la desembocadura del río Aconcagua).

**c.2) Efectos ambientales de los parámetros:** Estos impactos pueden afectar a los diferentes niveles del ecosistema, individuos, poblaciones o comunidades. Pueden estar directamente relacionados con cambios en el nicho ecológico de las especies, funciones vitales de las mismas o alternación de sus interacciones (por ejemplo, Arsénico, Cobre, Aluminio, Amonio, entre otros).

**d) Redundancia de parámetros:** Se evitó la selección de parámetros que representen el mismo efecto ambiental y que se comprobara su correlación estadística significativa con los datos utilizados para normar (por ejemplo, parámetros que pueden considerarse redundantes son conductividad eléctrica, salinidad, sólidos totales disueltos).

**e) Otros criterios:** Además de los criterios anteriores, se establecieron como criterios adicionales que los parámetros deben tener datos suficientes para establecer clases de calidad, que deben contar con datos para todas o la mayoría de las áreas de vigilancia definidas, considerado un mínimo de 8 datos en los últimos 10 años.

Una vez integrados todos los criterios de selección señalados en el punto anterior y, evaluada la data histórica proveniente de las estaciones de monitoreo de la DGA en la cuenca, fueron seleccionados 28 parámetros a controlar en las NSCA cuenca río Aconcagua (Tabla 7), donde además se presenta el rubro de las fuentes emisoras a la cual está asociado y el efecto biológico-ecológico más relevante en el ecosistema fluvial.

**Tabla 7:** Parámetros a normar a en la cuenca del río Aconcagua, en relación a las descargas de distintos rubros de fuentes emisoras puntuales y difusas, y el efecto que tienen en los ecosistemas acuáticos.

| PARÁMETRO               | RUBRO              | EFECTO BIOLÓGICO  | EXPLICACIÓN  |
|-------------------------|--------------------|---|--|
| Aluminio Total          | -Minería y Pasivos | Estrés oxidativo en comunidades acuáticas y mutaciones genéticas. Inhibición de fotosíntesis. | Los metales y metaloides totales incluyen todos los compuestos del metal, orgánicos e inorgánicos, |
| Hierro Total y disuelto | Ambientales        |   |  |
| Cobre Total             | -Industrias        |   |  |
| Cromo Total             | -Agricultura       |   |  |
| Arsénico Total          | -Termoeléctricas   |   |  |
|                         | -Extracción de     |   |  |

|                         |   |  |  |
|-------------------------|---|--|--|
| Zinc Total              | petróleo<br>-Depósitos de basura<br>- SS Rurales (SSRs)   | Bioacumulación en especies acuáticas **                                  | disueltos o unidos a partículas. **  |
| Níquel Total            |   |  |  |
| Manganeso Total         |   |  |  |
| Mercurio Total          |   |  |  |
| Molibdeno Total         |   |  |  |
| Plomo Total             |   |  |  |
| pH                      | -Minería y Pasivos Ambientales<br>-PTAS<br>-Actividad agropecuaria<br>-Agroindustria                | Aumenta toxicidad de otros parámetros (metales y metaloides).            | Permite determinar la alcalinidad y acidez del agua, lo cual es fundamental para el desarrollo de la vida. Los valores adecuados se acercan a la neutralidad. Determina la biodisponibilidad de metales, de modo que aguas más ácidas pueden re-disponer metales existentes en los sedimentos. * |
| Conductividad Eléctrica | -Minería y Pasivos Ambientales<br>-Extracción de áridos<br>-Agricultura                             | Alteraciones metabólicas. Problemas en la osmorregulación de organismos. | Evalúa la cantidad de iones y equilibrio químico existente en el agua y que puede afectar a la biota. Un exceso indica vertidos antrópicos por productos químicos como sales o metales. *  |
| Oxígeno Disuelto        | -Minería y Pasivos Ambientales<br>-PTAS<br>-Actividad agropecuaria<br>-Agroindustria<br>-Sanitarias | Alteraciones metabólicas, anoxia. Aumento toxicidad de metales pesados.  | Es un indicador recurrente del estado de salud de un cuerpo de agua, debido a que la biota requiere de un mínimo para su adecuado desempeño. Su  |

|          |  |   |   |
|----------|--|---|---|
|          |  |   | déficit indica un elevado metabolismo aeróbico, exceso de microorganismos, alta carga orgánica y eutrofización. *   |
| Fosfatos | -Agricultura<br>-Ganadería<br>-Minería   | Cambio en la trofía, alteración de estructura comunitaria acuática y anoxia.  | Corresponde a una de las formas más comunes e informativas de macronutrientes para productores primarios. Su disponibilidad en el agua determina el potencial de productividad biológica del sistema completo, por ende, su estado trófico. * |
| Sulfatos | Minería y Pasivos Ambientales<br>-PTAS<br>-Actividad agropecuaria                | Toxicidad directa y aumento de toxicidad de metales pesados. Inhibición de fotosíntesis. Incidencia en la osmorregulación de los peces. | En concentraciones elevadas es altamente tóxico para la actividad primaria, afectando la cadena trófica. *  |
| Nitratos | -Agricultura<br>-PTAS<br>-Industrias<br>-Minería<br>-Agroindustria<br>-Ganadería | Cambio en la trofía, alteración de estructura comunitaria acuática y anoxia.  | Corresponde a una de las formas más comunes e informativas de macronutrientes para productores primarios. Su disponibilidad en el agua determina el potencial de productividad biológica del sistema completo, por ende,                      |

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
|  |  |   | su estado trófico. *   |
| Amonio   | -Actividad agropecuaria<br>-Sanitarias<br>-Industrias  | A pH altos se transforma en amoniacó, muy tóxico para las especies acuáticas. | En concentraciones elevadas es altamente tóxico para la vida resultando en efectos perjudiciales para la flora y fauna.<br>*   |
| Coliformes Fecales                                 | -Sanitarias<br>- Aguas servidas<br>-Industrias   | Posible presencia de patógenos, anoxia.                                       | Corresponde al indicador más utilizado para estimar contaminación microbiológica proveniente de humanos y animales.<br>*   |
| Sólidos Suspendidos Totales                        | -Plantas de agua potables<br>-Ganadería<br>-Minería<br>-Termoeléctricas<br>-Extracción de áridos<br>-Agroindustria | Disminuye la penetración de luz afectando la fotosíntesis                     | Diferentes tipos de sólidos en suspensión evidencian contaminación física de las aguas y alteración para la vida. Sus amplios efectos varían desde disminuir la visibilidad para encontrar refugio o alimento, hasta obstrucción de órganos vitales. Como indicador ambiental evidencia actividades que generan alteraciones físicas en el cauce (ej. extracción de áridos) o en ribera. * |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno, (DBO <sub>5</sub> ) | -Industrias<br>-PTAS<br>-Ganadería   | Relación con el oxígeno y los procesos biológicos                             | Mide el proceso de respiración aerobia en un lugar y tiempo  |

|                                   |  |  |  |
|-----------------------------------|--|--|--|
|                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Minería</li> <li>-Depósitos de basura</li> <li>-Agroindustria</li> </ul>   | asociados (respiración, degradación). Anoxia   | determinado e indica la concentración de microorganismos, así como la contaminación orgánica del sistema. Es un indicador de la concentración másica de compuestos orgánicos biodegradables. * y **              |
| Cloruros                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>-PTAs</li> <li>-Agroindustria</li> <li>-Ganadería</li> <li>-Manufactura de agroquímicos</li> <li>-Minería</li> <li>-Extracción de áridos</li> </ul> | Incidencia en la osmorregulación de los peces.   | Uno de los elementos más prevalentes entre los descargados de las actividades desarrolladas en la cuenca. *  |
| Demanda Química de Oxígeno, (DQO) | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Industrias</li> <li>-Aguas servidas</li> <li>-PTAS</li> <li>-Ganadería</li> <li>-Acuicultura</li> <li>-Depósitos de basura</li> </ul>              | Depende del químico asociado. Anoxia   | Es un indicador de la concentración másica de compuestos orgánicos. Sirve en comparación con la DBO <sub>5</sub> para evaluar el contenido de compuestos persistentes, así como también compuestos inorgánicos** |
| Fósforo Total                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Aguas servidas</li> <li>-PTAS</li> <li>-Agricultura</li> <li>-Ganadería</li> </ul>   | El incremento de la concentración de fósforo en las aguas superficiales provoca el crecimiento de organismos dependientes del fósforo, como son las algas. Estos | Corresponde a una de las formas más comunes e informativas de macronutrientes para productores primarios. Su disponibilidad en el agua determina el potencial de   |

|                  |  |  |   |
|------------------|--|--|---|
|                  |  | organismos consumen grandes cantidades de oxígeno, provocando un déficit del mismo en los ríos, lagos y embalses.  | productividad biológica del sistema completo, por ende, su estado trófico. *  |
| Nitrógeno Total  | -Aguas servidas<br>-Agricultura<br>-Ganadería<br>-Acuicultura  |  | Corresponde a una de las formas más comunes e informativas de macronutrientes para productores primarios. Su disponibilidad en el agua determina el potencial de productividad biológica del sistema completo, por ende, su estado trófico. * |
| Clorofila a      | -Agricultura<br>-Ganadería   | Medida indirecta de la biomasa fitoplanctónica en un determinado volumen de agua o área definida (fitobentos). Esta biomasa aumenta conforme empeora el estado trófico de un ecosistema. | Junto al N y P es el tercer parámetro más adecuado para evaluar el estado trófico de un recurso hídrico. **   |
| Aceites y Grasas | -Planta procesadora productos del mar<br>-Termoeléctricas<br>-Agroindustria<br>-Industrias<br>-Lechería<br>-Aguas servidas | Penetración de luz, respiración y fotosíntesis   | Contaminantes prevalentes derivados de diversas actividades industriales. Tienen efectos visibles y persistentes sobre el ecosistema acuático, provocando fácilmente preocupación social.   |

|  |  |  |   |
|--|--|--|---|
|  |  |  | * |
|--|--|--|---|

\*= Parámetros fundamentales para evaluar alteración de las aguas, según CENMA (2015a).  
 \*\*= MMA (2017).

Fuente: Elaboración propia en base a MMA 2017 y CENMA (2015a).

En resumen, los 28 parámetros seleccionados incluyen:

- Metales pesados y metaloides, que están directamente asociados a las faenas mineras, a través de la posible generación de drenaje ácido de roca.
- Parámetros básicos y forzantes, es decir aquellos más relevantes desde el punto de vista de la contaminación de origen humano, que presentan efectos más directos sobre los organismos y de los cuales dependen muchos otros parámetros que se oxidan o reducen y/o concentran o diluyen. Entre ellos está el pH, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto y nutrientes (Integrated Monitoring Guide for SDG 6. UN, 2018). El pH se seleccionó debido al aporte de ciertos parámetros desde potenciales fuentes de contaminación de la cuenca (minería, agricultura y agroindustria), que pueden modificar esta variable hasta valores letales o subletales para la biota acuática, afectando la toxicidad o biodisponibilidad de otros elementos/compuestos, como los metales y nutrientes.
- La Conductividad Eléctrica, Fosfatos, Nitratos, Cloruros y Sulfatos se incluyeron por su relación con las potenciales fuentes de contaminación provenientes de la actividad minera y agrícola presentes en la cuenca. Sus efectos pueden provocar estrés oxidativo, inhibición de la fotosíntesis y alteraciones, tanto metabólicas como físicas, en los organismos y sus hábitats. Las emisiones ligadas a la agricultura, y también a la agroindustria, están relacionadas con compuestos nitrogenados y fosfatados. Las NSCA incluyen Nitrato y Fosfato dada la relevancia que estas actividades económicas tienen en la cuenca y a los potenciales efectos de estos parámetros sobre los ecosistemas acuáticos.
- Se seleccionó Oxígeno Disuelto en el agua, puesto que el metabolismo de la mayoría de los organismos presentes en la cuenca es aeróbico (fotosíntesis y respiración). Además, este parámetro regula procesos tales como la biodisponibilidad de metales pesados, la liberación de compuestos tóxicos y la proliferación de especies micro-aerofílicas o anaeróbicas (microalgas, bacterias y malezas acuáticas), que pueden provocar efectos adversos en los ecosistemas acuáticos.
- Asociados al rubro sanitario, agropecuario y a los asentamientos humanos se encuentran los parámetros amonio y coliformes fecales. Para el primero se ha documentado un importante impacto sobre las plantas acuáticas que son los productores primarios más importantes en los ríos y los encargados de la oxigenación de las aguas.

Finalmente, es importante destacar que, durante el transcurso del análisis y selección de los parámetros a normar, se trabajó con el Comité Operativo conformado específicamente para este proceso normativo. Lo anterior queda reflejado en las minutas N°4<sup>8</sup> con fecha 12.08.16 y N°5<sup>9</sup> del 02.09.16, incluidas en el expediente público de las NSCA cuenca río Aconcagua.

<sup>8</sup> [http://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id\\_expediente=928215](http://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id_expediente=928215). En el documento N°16.

<sup>9</sup> [http://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id\\_expediente=928215](http://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id_expediente=928215). En el documento N°35.



## 2.4. Definición de Tabla de Clases de Calidad

Las tablas de clases de calidad son una herramienta para evaluar el estado de los ecosistemas acuáticos en relación con la calidad fisicoquímica del agua de la cuenca. 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 (MMA, 2017).

Los rangos para la tabla de clases de calidad de la cuenca del río Aconagua se establecieron en base a los datos históricos de la cuenca antes descritos, información sobre efectos biológicos, basados en estudios de bioindicadores (EULA 2015, CENMA 2012) efectos ecotoxicológicos, basados en bioensayos (UCT 2012, Gaete *et. al.*, 2008 y 2009), literatura especializada sobre contaminación de aguas (Montalvo, 2010) y uso de referencias bibliográficas de normativas internacionales (Australia, Nueva Zelanda, España, EE.UU. y Canadá).

La definición de cada una de las cinco clases sigue los lineamientos metodológicos detallados en la Guía para la elaboración de Normas Secundarias de Calidad Ambiental en Aguas Marinas y Superficiales, MMA (2017).

La determinación de los límites de clases de calidad de 1 (excepcional calidad) a 5 (peor calidad), se funda en términos generales, considerando criterios biológicos (especies en categoría de conservación, áreas protegidas) a través de sitios de referencia monitoreados en 3 sectores de la cuenca (alto, medio y bajo) de acuerdo a la tipología de ríos de esta cuenca (Fuster 2011), criterios físicos asociados a la disponibilidad física de hábitat acuático, criterios estadísticos obtenidos de la base de datos de calidad de aguas de la cuenca 1980-2018, evaluaciones de riesgo ecológico e información ecotoxicológica.

De acuerdo con la metodología propuesta para la elaboración de normas (MMA, 2017), la Tabla 8 muestra un resumen de la información utilizada para elaborar la tabla de clases de calidad.

**Tabla 8:** Resumen de la base de datos consolidada utilizada para la construcción del Proyecto definitivo.

| Bases de datos                               | Período de información | Descripción   | Uso   |
|--|------------------------|---|---|
| <b>Dirección General de Aguas, DGA. 2019</b> | 1980-2018              | Red hidrometeorológica de la DGA, estaciones de calidad de agua | Estadística de la calidad físico-química del agua en la cuenca. Niveles de calidad ambiental, |

|   |           |   |   |
|---|-----------|---|---|
|   |           |   | definición de parámetros a normar   |
| <b>EULA 2015</b>                          | 2014-2015 | Estudio “Antecedentes generales a considerar para la formulación de la norma secundaria de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Aconcagua” EULA 2015.               | Información sobre bioindicadores, criterios biológicos, caracterización de la cuenca, definición valores de calidad ambiental |
| <b>CENMA 2015a</b>                        | 1980-2014 | Estudio “Actualización de antecedentes técnicos para desarrollar la norma secundaria de calidad para la protección de las aguas continentales en la cuenca del río Aconcagua, Región de Valparaíso”                               | Definición de áreas de vigilancia, parámetros, valores de calidad ambiental   |
| <b>CENMA 2012</b>                         | 2012      | Campaña de monitoreo y evaluación del Estado Ecológico de 10 Cuencas hidrográficas de Chile   | Niveles de calidad ambiental  |
| <b>UC Temuco 2012</b>                     | 2012      | Estudio “Aproximación eco toxicológica y evaluación de riesgo ecológico teórico en apoyo a la elaboración de proyecto de normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas de la cuenca del río Aconcagua”. | Niveles de calidad ambiental  |
| <b>Servicio Agrícola y Ganadero, SAG</b>  | 2011-2015 | Estudio “Servicio de Monitoreo Hídrico Río Aconcagua, Región de Valparaíso”   | Definición de parámetros y niveles de calidad ambiental   |
| <b>Ministerio del Medio Ambiente, MMA</b> | 2011-2019 | Red de monitoreo ambiental de ecosistemas acuáticos de Chile 2018-2019: insumo para plataforma de Humedales de Chile  | Información sobre bioindicadores, criterios biológicos, caracterización del estuario, definición                              |

|                                  |           |  | valores de calidad ambiental |
|----------------------------------|-----------|--|------------------------------|
| <b>Publicaciones científicas</b> | 1998-2009 | <p>Gaete y Chávez, 2008: "Evaluación de la toxicidad de mezclas binarias de cobre, cinc y arsénico sobre <i>Daphnia obtusa</i> (Kurz, 1874) (Cladocera, Crustacea); <i>Limnetica</i>, 27 (1):1-10 (2008).</p> <p>Aránguiz <i>et. al.</i>, 2009: "Daño oxidativo en la microalga <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> expuesta a aguas receptoras de un efluente minero en del río Blanco (V región, Chile)"; <i>Quim. Nova</i>, Vol. 32, No. 9, 2417-2422, (2009).</p> <p>Dodds, W.K., Jones, J.R., Welch, E.B., 1998. Suggested classification of stream trophic state: distributions of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen, and phosphorus.</p> <p>Bricker, Suzanne B., C.G. Clement, D.E. Pihalla, S.P. Orlano and D.R.G. Farrow. 1999. National Estuarine Eutrophication Assessment: Effects of Nutrient Enrichment in the Nation's Estuaries. NOAA, NOS, Special Projects Office and the National Centers for Coastal Ocean Science, Silver Spring, MD: 71 pp.</p> <p>Smith V.H., G.D Tilman, J.C Nekola. 1999. Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. <i>Environmental Pollution</i>.</p> | Niveles de calidad ambiental |

Fuente: Elaboración propia

Una vez sistematizada toda la información, se realizaron análisis de consistencia y confiabilidad de datos (reporte de coordenadas geográficas, fecha precisa de la toma de muestras y reporte

de unidad de medida de cada parámetro).

Posteriormente se realizó la identificación de posibles datos anómalos (mediante la identificación de *outliers*), provenientes de eventuales errores de medición o transcripción de datos. Para la detección de outliers (datos extremos) los cuales fueron sacados del análisis, se utilizó el método de Boxplot Ajustado (Vanderviere and Huber, 2004). Este método se basa en estadísticos de rangos (mediana y cuartiles) y no asume normalidad ni simetría en la distribución de las variables. Por lo anterior, este método es apropiado en general para datos donde se espera una distribución de frecuencias sesgada (Seo, 2006).

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

En la Tabla 9 se observan los criterios de construcción de la Tabla de Clases de Calidad de la cuenca del río Aconcagua para el Proyecto Definitivo.

**Tabla 9.** Criterios de construcción de la Tabla de Clases para la cuenca del río Aconcagua

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| <b>Clase 1:<br/>Excelente</b> | Concentraciones ambientales de referencia para la cuenca (concentraciones que representan una muy buena condición ambiental).<br>Criterios de definición por parámetro:<br><ol style="list-style-type: none"> <li>1. Percentil 50 de la distribución de todos históricos los datos de calidad fisicoquímica de la estación de referencia (aquella con mejor valor de percentil 50 para el respectivo parámetro).</li> </ol>   |
| <b>Clase 2:<br/>Óptima</b>    | Concentraciones ambientales consideradas como óptimas para la conservación y preservación de los ecosistemas acuáticos.<br>Criterios de definición por parámetro:<br><ol style="list-style-type: none"> <li>1. Percentil 95 de la distribución de todos históricos los datos de calidad fisicoquímica de la estación de referencia (aquella con el valor más bajo del percentil 95 para el respectivo parámetro).</li> <li>2. Percentil 5 de la distribución de todos históricos los datos de calidad fisicoquímica de la estación de referencia (aquella con el valor más bajo del percentil 5 para el respectivo parámetro). Exclusivo para oxígeno disuelto y pH.</li> <li>3. Áreas de vigilancia con la clase 2 de acuerdo de los índices biológicos de calidad y biodiversidad de la cuenca según tipología</li> </ol> |
| <b>Clase 3:<br/>Media</b>     | Concentraciones ambientales que representan un ecosistema con perturbación antrópica.<br>Criterios de definición por parámetro:   |

|                              |  |
|------------------------------|--|
|                              | 1. Media entre las Clase 2 y la Clase 4.   |
| <b>Clase 4:<br/>Mala</b>     | Concentraciones ambientales que pueden producir riesgo en la estructura y funciones del ecosistema o en algunas especies en particular.<br>Criterios de definición por parámetro: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Percentil 95 de la distribución de todos los datos históricos de calidad fisicoquímica de la estación considerada de peor calidad para el respectivo parámetro (aquella con peor valor de percentil 95).</li> <li>2. Percentil 5 de la distribución de todos históricos los datos de calidad fisicoquímica de la estación considerada de peor calidad para el respectivo parámetro (aquella con peor valor de percentil 5). Exclusivo para oxígeno disuelto y pH.</li> </ol> |
| <b>Clase 5:<br/>Muy Mala</b> | Concentraciones ambientales inaceptables.<br>Criterios de definición por parámetro: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Valores que exceden el valor establecido como clase 4.</li> </ol>  |

En resumen, para determinar los valores de cada clase, en general, se utilizaron análisis estadísticos a través de la obtención de distintos estadígrafos o percentiles (percentil 5, 15, 50, 85, 95), a partir de la información de los 28 parámetros definidos para normar y de las 16 áreas de vigilancia. Para lo anterior, se utilizó el criterio de casos, según el cual los mejores casos o concentraciones más bajas de un parámetro (con excepción del oxígeno disuelto y el pH), fueron asociadas a una condición prístina del área de vigilancia o Clase 1, mientras que los peores casos o concentraciones más altas de un parámetro (con excepción del oxígeno disuelto (OD) y el pH), fueron asociadas a una condición ambiental crítica del área de vigilancia o Clase 4.

Para la construcción de estas clases se consideró el período de data histórica comprendido entre los años 1980-2018, el cual además contempló el ciclo de la mega sequía que afecta a la zona central de Chile desde el año 2008, situación que se mantendría a futuro, según las proyecciones de cambio climático.

La definición de clases resultante fue contrastada con la información de bioindicadores de la cuenca (CENMA, 2012) y los trabajos de ecotoxicología descritos anteriormente y literatura general (Parra *et. al.* 2004, Cortes & Montalvo 2010). Una vez definidas las clases de calidad por parámetro, los valores fueron utilizados para definir los niveles de calidad de cada parámetro en cada área de vigilancia. Finalmente, en base al registro histórico de información se establecieron los niveles esperados por parámetro y por área de vigilancia, de acuerdo a los objetivos ambientales planteados.

El criterio utilizado para definir los valores de Clase 2 fue el cálculo estadístico del P95 de la estación de referencia (áreas de vigilancia con mejores índices biológicos de calidad y biodiversidad). Las estaciones de referencia corresponden a sectores de la cuenca en que los indicadores biológicos de calidad fueron más altos, donde se registró presencia de especies nativas en alguna categoría de protección ambiental<sup>10</sup>. Esta información se obtuvo a partir de estudios antes descritos y se complementó con capas de información biológica, tales como la Planilla de Registros Darwin Core, administrada por el Departamento de Especies del MMA,

<sup>10</sup> Registros actualizados de especies (MMA, 2020)

especialmente para peces e invertebrados que fueron definidos como objetos de conservación en la cuenca del río Aconcagua.

En concordancia con los criterios y consideraciones anteriormente expuestos (Tabla 9), la tabla 10 presenta la Tabla de Clases de Calidad del Proyecto Definitivo de las NSCA cuenca río Aconcagua.

**Tabla 10:** Tabla de Clases de Calidad de la cuenca del río Aconcagua

| Parámetros  | Unidad     | Clase 1 | Clase 2 | Clase 3  | Clase 4 | Clase 5   |
|-------------|------------|---------|---------|----------|---------|-----------|
| Al          | mg/L       | 0,8     | 2,1     | 8,2      | 14,2    | >14,2     |
| As          | mg/L       | 0,002   | 0,005   | 0,013    | 0,020   | >0,020    |
| AyG         | mg/L       | 5       | 10      | 10,5     | 11      | >11       |
| Coli/100ml  | NMP/100 ml | 2       | 240     | 1320     | 2400    | >2400     |
| Cond        | µS/cm      | 197     | 284     | 635/750* | 985     | >985      |
| Cl-         | mg/L       | 4       | 11      | 30       | 49/66*  | >49/>122* |
| Cr          | mg/L       | 0,01    | 0,01    | 0,036    | 0,05    | >0,05     |
| Cu          | mg/L       | 0,07    | 0,30    | 0,48     | 0,66    | >0,66     |
| DBO5        | mg/L       | 3       | 4       | 6        | 8       | >8        |
| DQO         | mg/L       | 3       | 8       | 21       | 33      | >33       |
| FeT         | mg/L       | 0,29    | 2,12    | 7,95     | 13,77   | >13,77    |
| Fe dis      | mg/L       | 0,01    | 0,05    | 0,20     | 0,35    | >0,35     |
| Hg          | mg/L       | 0,001   | 0,002   | 0,0025   | 0,003   | >0,003    |
| Mn          | mg/L       | 0,02    | 0,09    | 0,48     | 0,86    | >0,86     |
| Mo          | mg/L       | 0,01    | 0,05    | 0,13     | 0,2     | >0,2      |
| Ni          | mg/L       | 0,01    | 0,02    | 0,035    | 0,05    | >0,05     |
| N-NH4       | mg/L       | 0,03    | 0,68    | >0,68    | >0,68   | >0,68     |
| N-NO3       | mg/L       | 0,8     | 2,0     | 3,7      | >5,4    | >5,4      |
| NT          | mg/L       | 1,4     | 3,4     | >3,4     | >3,4    | >3,4      |
| OD          | mg/L       | 10,3    | 7,1     | 5,3      | 3,5     | <3,5      |
| Pb          | mg/L       | 0,01    | 0,05    | 0,06     | 0,07    | >0,07     |
| pH          | ----       | 6-9     | 6-9     | 6-9      | 6-9     | <6 ó >9   |
| P-PO4       | mg/L       | 0,003   | 0,087   | 0,894    | 1,7     | >1,7      |
| PT          | mg/L       | 0,012   | 0,9     | 1,38     | 1,95    | >1,95     |
| SO4         | mg/L       | 42      | 100     | 257      | 413     | >413      |
| SST         | mg/L       | 10      | 32      | 388      | 743     | >743      |
| Zn          | mg/L       | 0,010   | 0,020   | 0,08     | 0,137   | >0,137    |
| Clorofila a | µg/L       | 5       | 20      | 40       | 60      | >60       |

\*Clases que aplican en condiciones definidas en relación al art.7 de la norma, a la parte alta de la cuenca.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.5. Definición de criterios de cumplimiento

El cumplimiento de las NSCA se evalúa, en la mayoría de los casos, a través de un análisis estadístico preestablecido en el cuerpo del decreto supremo que las aprueban (MMA 2017). Sin perjuicio de lo anterior, pueden considerarse criterios de cumplimiento adicionales, tales como la excedencia del valor umbral establecido en las NSCA en cierto número de monitoreos consecutivos y/o en un tiempo predefinido.

El cumplimiento de las NSCA cuenca río Aconcagua deberá verificarse anualmente, de acuerdo al Programa de Medición y Control de la Calidad Ambiental (PMCCA), el cual deberá dictarse en un plazo máximo de seis meses desde la publicación del decreto supremo que apruebe estas normas.

En cuanto a los criterios de cumplimiento, el Proyecto Definitivo considera cuatro (4) monitoreos al año, con representatividad estacional, estableciendo que se consideran sobrepasadas las normas, cuando el percentil 85 de los valores de las concentraciones de las muestras analizadas para un parámetro, considerando un período de dos años calendarios consecutivos, supere los valores establecidos en las presentes normas, a excepción de los siguientes casos:

- a) Para el control del oxígeno disuelto, cuando el percentil 15 de los valores de las concentraciones de las muestras analizadas, considerando un período de dos años calendarios consecutivos, sea menor a los valores establecidos en las presentes normas. En el caso del control de pH, cuando el percentil 15 o el percentil 85, de los valores de las concentraciones de las muestras analizadas, considerando un período de dos años calendarios consecutivos, se encuentre fuera del rango establecido en el presente decreto.
- b) Si durante el periodo de cumplimiento analizado, se constatará la ocurrencia de, al menos, un año definido hidrológicamente como húmedo, se considerarán sobrepasadas las normas secundarias de calidad ambiental cuando el percentil 75 de los valores de las concentraciones de las muestras analizadas en BL-1, JU-1, CO-1 y AC-1, para los parámetros Aluminio total, Arsénico total, Conductividad Eléctrica, Cromo total, Cobre total, Hierro total, Hierro disuelto, Mercurio total, Manganeso total, Molibdeno total, Níquel total, Plomo total, Sulfatos y Zinc total, considerando un periodo de dos años calendarios consecutivos, supere los valores establecidos en las presentes normas.
- c) Para el control de n-nitrato, nitrógeno total, fósforo de fosfatos, fósforo total, y clorofila "a", se considerarán sobrepasadas las normas secundarias de calidad ambiental cuando el promedio de los valores de las concentraciones de las muestras analizadas, considerando un periodo de dos años calendarios consecutivos, supere los valores establecidos en las presentes normas.
- d) Si en un año de monitoreo, uno o más parámetros superan al menos en tres (3) oportunidades los límites establecidos en las NSCA cuenca río Aconcagua.

## 2.6. Análisis del estado actual de la cuenca

El análisis del estado actual de la cuenca permite estimar el comportamiento que tendría la implementación de la normativa bajo el supuesto que los patrones medidos y observados hasta ahora conocidos se repitiesen en el futuro. El estado actual se determinó como el percentil 85 (P85) de cada parámetro y por cada área de vigilancia, y promedio en los casos de los nutrientes (ortofosfatos, fósforo total, nitratos y nitrógeno total) y Clorofila a, y se obtuvo a partir de la data de calidad de aguas superficiales de los últimos dos años (2017-2018). Para algunos casos donde no se cumplía la periodicidad definida (mínimo 8 datos) se completaron los registros con los años previos. Asimismo, este análisis se realiza para estimar los costos y beneficios del cumplimiento normativo en el Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES) de esta NSCA y un eventual plan de descontaminación ambiental.

La Tabla 11 presenta el análisis del estado actual de la cuenca del río Aconcagua, el cual se realiza en base a los criterios de cumplimiento establecidos en la sección 2.5 para el periodo 2008-2018, y a los valores establecidos en Tabla de Clases de Calidad (Tabla 10).

**Tabla 11.** Evaluación del estado actual para las áreas de vigilancia/parámetro en la cuenca del río Aconcagua (período 2008-2018).

| Parámetros | PU-1  | PU-2  | JU-1  | CO-1  | BL-1  | AC-1  | AC-2  | AC-3  | AC-4  | AC-5  | QUI-1 | PO-1  | CA-1  | LO-1  | LI-1  | LIT-1 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Al         | 4,8   | 0,5   | 5,8   | 5,6   | 0,8   | 9,5   | 6,5   | 0,7   | 1,3   |       | 11,0  | 8,0   | 0,5   | 1,8   | 0,6   | 0,8   |
| As         | 0,013 | 0,009 | 0,008 | 0,012 | 0,011 | 0,010 | 0,009 | 0,005 | 0,004 | 0,004 | 0,012 | 0,012 | 0,001 | 0,005 | 0,002 | 0,004 |
| AyG        |       |       |       | 10    | 5     | 10    | 10    |       | 10    | 10    |       |       |       |       |       |       |
| Coli/100ml |       |       |       | 230   | 240   | 220   | 1600  |       | 240   | 540   |       |       |       |       |       |       |
| Cond       | 346   | 273   | 931   | 571   | 844   | 612   | 597   | 705   | 871   |       | 572   | 397   | 671   | 882   | 897   | 861   |
| Cl-        | 8,7   | 5,0   | 24,6  | 48,6  | 102,2 | 36,3  | 36,5  | 23,9  | 48,4  |       | 39,6  | 4,2   | 17,8  | 33,2  | 39,6  | 39,7  |
| Cr         | 0,05  | 0,01  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  |       | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,03  |
| Cu         | 0,12  | 0,03  | 0,03  | 0,14  | 0,24  | 0,45  | 0,44  | 0,06  | 0,04  | 0,06  | 0,35  | 0,03  | 0,02  | 0,05  | 0,02  | 0,06  |
| DBO5       | 3     | 2     | 2     | 2     | 13    | 2     | 3     | 2     | 2     | 3     | 2     | 2     | 2     | 14    | 10    | 2     |
| DQO        | 12    | 4     | 5     | 5     | 21    | 15    | 13    | 7     | 15    |       | 15    | 3     | 7     | 15    | 10    | 14    |
| Fe         | 4,94  | 2,19  | 5,48  | 8,11  | 1,08  | 6,45  | 6,86  | 1,47  | 1,57  | 2,26  | 9,18  | 8,56  | 0,31  | 1,99  | 0,64  | 1,05  |
| Fe dis     | 0,13  | 0,06  | 0,14  | 0,21  | 0,03  | 0,17  | 0,18  | 0,04  | 0,04  | 0,06  | 0,24  | 0,22  | 0,01  | 0,05  | 0,02  | 0,03  |
| Hg         | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 |       | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| Mn         | 0,39  | 0,12  | 0,29  | 0,35  | 0,16  | 0,57  | 0,46  | 0,13  | 0,19  |       | 0,48  | 0,35  | 0,04  | 0,16  | 0,18  | 0,43  |
| Mo         | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,13  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  |
| Ni         | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  |       | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  |
| N-NH4      |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0,06  |       |       |       |       |       |       |
| N-NO3      | 0,93  | 1,56  | 0,66  | 0,91  | 1,52  | 0,9   | 1,52  | 3,6   | 3,06  |       | 1,75  | 1,52  | 5,3   | 5,08  | 1,72  | 4,9   |
| NT         |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1,67  |       |       |       |       |       |       |
| OD         | 6,9   | 6,5   | 6,8   | 7,7   | 6,8   | 8     | 6,8   | 8,2   | 8,4   | 3,5   | 7,4   | 6,9   | 7,2   | 5,6   | 6,5   | 7,3   |
| Pb         | 0,07  | 0,07  | 0,07  | 0,07  | 0,07  | 0,07  | 0,07  | 0,07  | 0,07  |       | 0,07  | 0,07  | 0,07  | 0,07  | 0,07  | 0,07  |
| pH_max     | 8,6   | 8,6   | 8,8   | 8,8   | 8,2   | 8,6   | 8,8   | 8,8   | 8,6   | 8,5   | 8,6   | 8,6   | 8,1   | 8,1   | 8,5   | 8,4   |
| pH_min     | 7,23  | 6,59  | 7,07  | 7,33  | 7,34  | 7,37  | 7,15  | 7,68  | 7,61  | 7,8   | 7,36  | 7,52  | 7,37  | 7,05  | 7,37  | 7,31  |
| P-PO4      | 0,52  | 2,06  | 0,52  | 0,52  | 0,53  | 0,52  | 0,55  | 0,56  | 0,72  |       | 0,70  | 0,52  | 0,62  | 0,71  | 0,072 | 0,76  |
| PT         |       |       |       | 0,53  | 0,34  | 0,53  | 0,77  |       | 0,38  | 0,45  |       |       |       |       |       |       |
| SO4        | 100   | 80    | 413   | 160   | 234   | 179   | 185   | 168   | 244   | 351   | 177   | 118   | 134   | 201   | 247   | 190   |
| SST        |       |       |       | 318   | 29    | 335   | 414   |       | 31    |       |       |       |       |       |       |       |
| Zn         | 0,05  | 0,02  | 0,03  | 0,10  | 0,02  | 0,09  | 0,06  | 0,02  | 0,01  |       | 0,07  | 0,02  | 0,02  | 0,02  | 0,01  | 0,02  |



|             |  |  |  |  |  |  |  |  |      |  |  |  |  |  |
|-------------|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|
| Clorofila a |  |  |  |  |  |  |  |  | 22,8 |  |  |  |  |  |
|-------------|--|--|--|--|--|--|--|--|------|--|--|--|--|--|

Los colores de cada celda en la tabla significan: azul = clase 1; verde = clase 2; amarillo = clase 3; naranja = clase 4; rojo = clase 5 y blanco= sin información.

## 2.7. Determinación de valores umbrales de las normas

El paso siguiente en la evaluación del estado actual de la cuenca, fue analizar aquellas combinaciones parámetros/área de vigilancia, para las cuales las clases de calidad resultantes fueron clases 4 y 5 (83 combinaciones), es decir características físico-químicas que denotarían una mala condición de la calidad del agua de la cuenca.

Se analizó un total de 83 combinaciones en dichas clases. Lo anterior, considerando dos escenarios; el primero, que dichos valores elevados (con excepción del parámetro Oxígeno Disuelto y pH) se den de manera natural, debido a condiciones geológicas o hidrológicas particulares y locales, o que no existen fuentes emisoras puntuales o difusas a la cuales atribuir dicha calidad, y el segundo, que por el contrario, estas concentraciones no correspondan a la calidad natural de la cuenca y entonces existen alternativas de mejora en la calidad de las aguas por abatimiento de emisiones antrópicas (en un eventual plan de descontaminación se evaluaría 25 incumplimientos a abatir). Estos casos se presentan en la Tabla 12 y su análisis se detalla en las secciones 3.1 y 3.2 del informe del AGIES<sup>11</sup>.

**Tabla 12.** Casos de eventual incumplimiento normativo (proyectado), respecto a la calidad actual de la cuenca del río Aconcagua.

| Parámetro                | Área de vigilancia |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      | Total |
|--------------------------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|
|                          | BL-1               | AC-1 | AC-2 | AC-3 | AC-4 | AC-5 | PU-2 | CA-1 | LIT-1 | LI-1 | LO-1 |       |
| Aluminio Total           |                    | 1    |      |      |      |      |      |      |       |      |      | 1     |
| Coliformes Fecales/100ml |                    |      | 1    |      |      |      |      |      |       |      |      | 1     |
| Cloruros                 | 1                  |      | 1    |      |      |      |      |      |       |      |      | 1     |
| Conductividad            | 1                  |      |      | 1    | 1    |      |      | 1    | 1     | 1    | 1    | 7     |
| DBO <sub>5</sub>         | 1                  |      |      |      |      |      |      |      |       | 1    | 1    | 3     |
| Manganeso Total          |                    | 1    |      |      |      |      |      |      |       |      |      | 1     |
| N-NO3                    |                    |      |      |      |      |      |      | 1    | 1     |      | 1    | 3     |
| Oxígeno disuelto         |                    |      |      |      |      | 1    |      |      |       |      |      | 1     |

<sup>11</sup> Revisar páginas 25 y 27 del informe de AGIES.

|                    |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| <b>P-PO4</b>       |          |          |          |          |          |          | 1        |          |          |          |          | <b>1</b>  |
| <b>Sulfato</b>     |          |          |          |          |          | 1        |          |          |          |          |          | <b>1</b>  |
| <b>SST</b>         |          |          | 1        |          |          |          |          |          |          |          |          | <b>1</b>  |
| <b>Zinc Total</b>  |          | 1        |          |          |          |          |          |          |          |          |          | <b>1</b>  |
| <b>Clorofila a</b> |          |          |          |          |          | 1        |          |          |          |          |          | <b>1</b>  |
| <b>Total</b>       | <b>3</b> | <b>3</b> | <b>3</b> | <b>1</b> | <b>1</b> | <b>3</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>4</b> | <b>25</b> |

Fuente: Elaboración propia.

La determinación de los valores umbrales del Proyecto Definitivo para cada parámetro y área de vigilancia, se realizó teniendo en consideración el objetivo de las NSCA cuenca río Aconcagua la tabla de clases de calidad (tabla 10) y la calidad actual de la cuenca (Tabla 11).

La Tabla 13 presenta los niveles de calidad ambiental para cada una de las 16 áreas de vigilancia para los 28 parámetros normados en el Proyecto Definitivo. En términos generales, las normas establecen que aquellos parámetros que, en determinadas áreas de vigilancia, tienen una calidad actual en Clase 4 o Clase 5 (no relacionada a la calidad natural del cuerpo de agua) sean recuperados al valor de la Clase 3 (concentraciones ambientales aceptables) siempre que existan fuentes de emisión puntuales o difusas que puedan reducir su carga aportante.

**Tabla 13.** Valores de calidad propuestos (\*) para cada uno de los parámetros a normar y por área de vigilancia, en la cuenca del río Aconcagua.

| Parámetros  | Unidad    | PU-1  | PU-2  | JU-1  | CO-1  | BL-1  | AC-1  | AC-2  | AC-3  | AC-4  | AC-5  | QUI-1 | PO-1  | CA-1  | LO-1  | LI-1  | LIT-1 |
|-------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Al          | mg/l      | 8,2   | 0,8   | 8,2   | 8,2   | 2,1   | 8,2   | 8,2   | 2,1   | 2,1   |       | 14,2  | 8,2   | 0,8   | 2,1   | 2,1   | 2,1   |
| As          | mg/l      | 0,020 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,013 | 0,013 | 0,002 | 0,005 | 0,005 | 0,005 |
| AyG         | mg/l      |       |       |       | 10    | 10    | 10    | 10    |       | 10    | 10    |       |       |       |       |       |       |
| Coli/100ml  | NMP/100ml |       |       |       | 240   | 240   | 240   | 1320  |       | 240   | 1320  |       |       |       |       |       |       |
| Cond        | µS/cm     | 635   | 284   | 985   | 635   | 750   | 750   | 635   | 635   | 635   |       | 635   | 635   | 635   | 635   | 635   | 635   |
| Cl-         | mg/l      | 30    | 11    | 30    | 49    | 66    | 66    | 30    | 30    | 49    |       | 49    | 11    | 30    | 30    | 49    | 49    |
| Cr          | mg/l      | 0,05  | 0,036 | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  |       | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,036 |
| Cu          | mg/l      | 0,30  | 0,07  | 0,07  | 0,30  | 0,48  | 0,48  | 0,48  | 0,07  | 0,07  | 0,07  | 0,48  | 0,07  | 0,07  | 0,07  | 0,07  | 0,07  |
| DBO5        | mg/l      | 4     | 4     | 4     | 4     | 8     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 6     | 6     | 4     |
| DQO         | mg/l      | 21    | 8     | 8     | 8     | 21    | 21    | 21    | 8     | 21    |       | 21    | 8     | 8     | 21    | 21    | 21    |
| Fe          | mg/l      | 7,95  | 7,95  | 7,95  | 13,77 | 2,12  | 7,95  | 7,95  | 2,12  | 2,12  | 7,95  | 13,77 | 13,77 | 2,12  | 2,12  | 2,12  | 2,12  |
| Fe dis      | mg/l      | 0,204 | 0,204 | 0,204 | 0,354 | 0,054 | 0,204 | 0,204 | 0,054 | 0,054 | 0,204 | 0,354 | 0,354 | 0,054 | 0,054 | 0,054 | 0,054 |
| Hg          | mg/l      | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 |       | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| Mn          | mg/l      | 0,48  | 0,48  | 0,48  | 0,48  | 0,48  | 0,48  | 0,48  | 0,48  | 0,48  |       | 0,48  | 0,48  | 0,09  | 0,48  | 0,48  | 0,48  |
| Mo          | mg/l      | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,13  | 0,13  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,13  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  |
| Ni          | mg/l      | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  |       | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05  |
| N-NH4       | mg/l      |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0,68  |       |       |       |       |       |       |
| N-NO3       | mg/l      | 2     | 2     | 0,8   | 2     | 2     | 2     | 2     | 3,7   | 3,7   |       | 2     | 2     | 3,7   | 3,7   | 2     | 3,7   |
| NT          | mg/l      |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 3,4   |       |       |       |       |       |       |
| OD          | mg/l      | 5,3   | 5,3   | 5,3   | 7,1   | 5,3   | 7,1   | 5,3   | 7,1   | 7,1   | 7,1   | 7,1   | 5,3   | 7,1   | 5,3   | 5,3   | 7,1   |
| Pb          | mg/l      | 0,07  | 0,07  | 0,07  | 0,07  | 0,07  | 0,07  | 0,07  | 0,07  | 0,07  |       | 0,07  | 0,07  | 0,07  | 0,07  | 0,07  | 0,07  |
| pH max      | -         | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     | 9     |
| pH min      | -         | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     |
| P-PO4       | mg/l      | 0,89  | 0,89  | 0,89  | 0,89  | 0,89  | 0,89  | 0,89  | 0,89  | 0,89  |       | 0,89  | 0,89  | 0,89  | 0,89  | 0,09  | 0,89  |
| PT          | mg/l      |       |       |       | 0,9   | 0,9   | 0,9   | 0,9   |       | 0,9   | 0,9   |       |       |       |       |       |       |
| SO4         | mg/l      | 100   | 100   | 413   | 257   | 257   | 257   | 257   | 257   | 257   | 257   | 257   | 257   | 257   | 257   | 257   | 257   |
| SST         | mg/l      |       |       |       | 388   | 32    | 388   | 388   |       | 32    |       |       |       |       |       |       |       |
| Zn          | mg/l      | 0,08  | 0,020 | 0,08  | 0,137 | 0,08  | 0,08  | 0,08  | 0,020 | 0,010 |       | 0,08  | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,010 | 0,020 |
| Clorofila a | µg/l      |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 20    |       |       |       |       |       |       |

La Tabla 14 presenta un resumen de las NSCA cuenca río Aconcagua, indicado el número total de combinaciones de parámetros y áreas de vigilancias normadas e información relativa a eventuales excedencias de valores normado en el contexto de la elaboración de un plan de descontaminación ambiental, considerando el proyecto definitivo y la calidad del agua actual en la cuenca.

**Tabla 14:** Descriptores del proyecto de norma

| Descriptor                                | Característica Norma |
|---|----------------------|
| <b>Nº total de normas</b>                 | 366                  |
| <b>Nº total de eventuales excedencias</b> | 25                   |
| <b>Mayor nº de excedencias</b>            | Conductividad        |
|   | Cloruros             |
|   | DBO5                 |
| <b>% de saturación</b>                    | 6,8%                 |

Fuente: Elaboración propia

### 3. Criterios Generales y objetivos de las normas propuestas

- En términos de conservación de la biodiversidad se utilizó la información de distintas fuentes disponibles para definir áreas de vigilancia con alta biodiversidad, siendo las principales la de CENMA (2015a), EULA (2015), y los registros del GBIF del MMA para especies nativas acuáticas. Dado lo anterior, resulta relevante buscar la protección ambiental en las zonas con alto valor biológico según la información disponible (PU-1, PU-2, JU-1, AC-1, AC-2, AC-3, AC-4, AC-5, LI-1 y LIT-1).
- En general, se ha normado como límite máximo la Clase 3, con el objetivo de mantener las buenas condiciones de calidad y resguardo de la biodiversidad. No obstante, algunos parámetros en áreas de vigilancia específicas fueron normados en Clase 4, debido a condiciones naturales de calidad de agua en la cuenca.
- En determinadas áreas de vigilancia existen parámetros físico-químicos que no han sido normados debido a que existe insuficiente información para caracterización del área, o por la dificultad de reflejar la variabilidad propia del sistema (por ejemplo, cloruros y conductividad en AC-5, algunos metales disueltos y totales). Por lo tanto, a partir de datos recopilados en las estaciones monitoras de la Red de Observación de estas normas (una vez que entren en vigencia), en una revisión de la misma se buscará normar dichos parámetros físico-químicos.

### 4. Referencias

Allan, J.D. & Castillo, M.M, 2007. Stream Ecology. Structure and function of running waters. Published by Springer, Dordrecht. 444 pp.

Análisis General del Impacto Económico y Social, AGIES, para la cuenca del río Aconcagua, 2017. Ministerio del Medio Ambiente. Departamento de Economía Ambiental. 43p.

ANZECC, A. (2000). "Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality". Australian and New Zealand Environment and Conservation Council and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand, Canberra: 1-103. Disponible en <https://www.waterquality.gov.au/guidelines/anz-fresh-marine>. (AU-AG-01-NWQMS / NZ-AG-01-NWQMS).

Aránguiz F., Gaete H., Hidalgo M., Lobos G., 2009. Daño oxidativo en la microalga *seudokirchneriella subcapitata* expuesta a aguas receptoras de un efluente minero en el río Blanco (V región, Chile). Quim. Nova, Vol. 32, No. 9, 2417-2422.

Arratia, G. 1981. Los peces de las aguas continentales de Chile. Publicación ocasional Museo Historia Natural, Chile 34,108 pp.

ASTM, 1988. Standard Guide for Assessing the Hazard of a Material to Aquatic Organism and their Uses. The American society for testing and Materials. E 1023-84 (Reapproved 1988). Annual Book of ASTM Standars, (11.01): 599-614.

Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality, 2000. National water quality management strategy. The Guidelines, Volume 1. 314p. [https://www.sea.gov.cl/sites/default/files/migration\\_files/Normas\\_secundarias/Anexo\\_documental/Australia/Agua/AU-AG-01-NWQMS.pdf](https://www.sea.gov.cl/sites/default/files/migration_files/Normas_secundarias/Anexo_documental/Australia/Agua/AU-AG-01-NWQMS.pdf)

Bricker S., Clement C., Pirhalla D., Orlando P., Farrow, D., 1999. National Estuarine Eutrophication Assessment. Effects of Nutrient Enrichment in the Nation's Estuaries. 84 p.

CADE IDEPE, 2004. "Diagnóstico y Clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: cuenca del Río Aconcagua". Gobierno de Chile, Ministerio de Obras Públicas. 160 p.

CENMA (Estudio), 2012. Campaña de monitoreo y Evaluación del Estado Ecológico de 10 Cuencas hidrográficas de Chile. [DOC software]

Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA), 2015a. "Estudio para actualización de antecedentes técnicos para desarrollar la norma secundaria de calidad para la protección de las aguas continentales en la cuenca del río Aconcagua, Región de Valparaíso". 100 p.

Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA), 2015 b. "Diagnóstico y propuesta de control de las fuentes ses en la cuenca del río Aconcagua, Región de Valparaíso". 275 p.

Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), 2006. Anteproyecto de Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Aconcagua. Resolución Exenta N° 0030 con fecha 10 de enero 2016. 10 p.

Córdova S., Gaete H., Aránguiz F., Figueroa R., 2009: "Evaluación de la calidad de las aguas del estero Limache (Chile central), mediante bioindicadores y bioensayos"; *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 37(2): 199-209.

Cortés, I. Montalvo, S. 2010. Aguas: Calidad y Contaminación. Un enfoque químico ambiental. Santiago, Chile. 328 p.

Dazarola G. 1972. Contribution a l'étude de la faune ichthyologique de la région Valparaíso Aconcagua (Chili). *Annales de Limnologie* 8(1): 87-100.

Dodds, W.K., Jones, J.R., Welch, E.B., 1998. Suggested classification of stream trophic state: distributions of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen, and phosphorus. *Water Research* 32, 1455-1462.

Directiva 2006/44/CE del parlamento europeo y del consejo, 2006. Calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces.

Encina F. & O. Díaz, 2001. Contaminación, estimación del riesgo ecológico y protección asociado a algas bentónicas marinas. En *Sustentabilidad de la biodiversidad* Ed. K. Alvear & T. Antezana. Universidad de Concepción-Chile. 357-336 pp.

Estrategia Regional de Biodiversidad, 2005. Estrategia y plan de acción para la conservación de la biodiversidad biológica. Región de Valparaíso. 225 p.

Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005. Los Ecosistemas y el Bienestar Humano: Humedales y Agua. Informe de Síntesis. Washington, DC: World Resources Institute. ISBN 1-56973-597-2.

Figueroa R, Palma R, Ruiz V & X. Niell, 2007. Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: río Chillán, VIII Región. *Revista Chilena de Historia Natural* 80 (2) 225-242.

Fuster, R., 2011. Cartografía de tipología de ríos. Informe para el Ministerio del Medio Ambiente.

Gaete y Chávez, 2008: "Evaluación de la toxicidad de mezclas binarias de cobre, cinc y arsénico sobre *Daphnia obtusa* (Kurz, 1874) (Cladocera, Crustácea); *Limnetica*, 27 (1):1-10.

Guti, G., 1995. Conservation status of fishes in Hungary. *Opuscula Zoológica*. Budapest 27-28: 153-158.

Greb, S.F., DiMichele W.A. & Gastaldo, R.A., 2006. Evolution and importance of wetlands in Earth history. *Geological Society of America, Special Paper* 399:1-40.

Habit E, C. Beltrán, S. Arévalo & P. Victoriano, 1998. Benthonic fauna of the Itata river and irrigation canals (Chile). *Irrigation Science* 18: 91-99.

Habit E, P. Piedra, D. Ruzzante, S. Walde, M. Belk, V. Cussac, J. González & N. Colin, 2010. Changes in distribution of native fishes in response to introduced species and other anthropogenic effects. *Global Ecology and Biogeography* 19:697-710.

Habit E, P. Victoriano & A. Rodríguez-Ruiz, 2003. Variaciones espacio-temporales del ensamble de peces de un sistema fluvial de bajo orden del centro-sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 76:3-14.

Habit E, P. Victoriano & H. Campos, 2005. Ecología trófica y aspectos reproductivos de

Trichomycterus areolatus (Pisces, Trichomycteridae) en ambientes lóticos artificiales. *Revista de Biología Tropical* 53(1-2): 195-210.

Habit, E., K. Górski, D. Alò, E. Ascencio, A. Astorga, N. Colin, T. Contador, P. de los Ríos, V. Delgado, C. Dorador, P. Fierro, K. García, Ó. Parra, C. Quezada-Romegialli, B. Ried, P. Rivera, C. Soto-Azat, C. Valdovinos, I. Vera-Escalona, S. Woelfl (2019). «Biodiversidad de ecosistemas de agua dulce». En P. A. Marquet et al. (editores), *Biodiversidad y cambio climático en Chile: Evidencia científica para la toma de decisiones. Informe de la mesa de Biodiversidad*. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

Hilsenhoff, W., 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 7, 65–68.

Integrated Monitoring Guide for SDG 6. UN, 2018. <https://www.unwater.org/publications/integrated-monitoring-guide-sdg-6-2/>

Kirwan, M.L. & Megonigal, J.P., 2013. Tidal wetland stability in the face of human impacts and sea-level rise. *Nature* 504:53.60.

Ley del Agua, National Recommended Water Quality Criteria (USA-AG-01-WA) [https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/migration\\_files/Normas\\_secundarias/Anexo\\_documental/Estados\\_Unidos\\_de\\_Norteam%C3%A9rica/Agua/USA-AG-01-WA.pdf](https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/migration_files/Normas_secundarias/Anexo_documental/Estados_Unidos_de_Norteam%C3%A9rica/Agua/USA-AG-01-WA.pdf)

Loayza-Muro, R. A., Elías-Letts, R., Marticorena-Ruíz, J. K., Palomino, E. J., Duivenvoorden, J. F., Kraak, M. H., & Admiraal, W. (2010). Metal-induced shifts in benthic macroinvertebrate community composition in Andean high-altitude streams. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 29(12), 2761-2768.

MEA, 2005. *Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: Biodiversity synthesis*. World Resources Institute. Washington, DC, USA.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA), 2018. *Guía para la Elaboración de Normas Secundarias de Calidad Ambiental en Aguas Continentales y Marinas 2017*. 106 p.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA), 2018. *Reglamento de Clasificación de Especies*. Décimo cuarto proceso.

NCh, Norma Chilena Oficial N° 1.333, 1987. *Requisitos de calidad de agua para diferentes usos*. Inscripción N° 49.092 por Instituto Nacional de Normalización, INN. Santiago de Chile, 20 pp. (1978).

O’Ryan R. & Ulloa A., 1999. “Strategy for Controlling Ozone -Depleting Substances in a Country that Imports them: the case of Chile”, XVII Latin American Meeting of the Econometric Society,

August 2-6, 1999, Cancún, México.

O'Ryan & M Diaz, 1999. "The Use of Probabilistic Analysis to Improve Decision-Making in Environmental Regulation in A Developing Context: The Case of Arsenic Regulation in Chile", European Association of Environmental and Resource Economics Conference, Oslo, Noruega, junio 25-27, 1999.

Palma A, J. González-Barrientos, C. A. Reyes & R. Ramos-Jiliberto, 2013. Biodiversidad y estructura comunitaria de ríos en las zonas árida, semiárida y mediterránea-norte de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 86: 1-14.

Palma A, 2013. Importancia de las regiones Mediterránea, Templada y Patagónica en la diversidad de Ephemeroptera, Plecóptera, y Trichoptera: implicancias de futuros cambios ambientales en sus distribuciones. *Boletín de Biodiversidad de Chile* 8: 37-47.

Palma A., J. González-Barrientos, C. A. Reyes & R. Ramos-Jiliberto. 2013. Biodiversidad y estructura comunitaria de ríos en las zonas árida, semiárida y mediterránea-norte de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 86: 1-14.

Quiroz S. 1999. Ictiología de poblaciones de peces en el estero de Viña del Mar. Seminario de Título, Universidad de Playa Ancha de Ciencias de la Educación, Valparaíso, 71 pp.

Real Decreto 60/2011, España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas.  
[https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/migration\\_files/Normas\\_secundarias/Anexo\\_documental/Reino\\_de\\_Espa%C3%B1a/Agua/ES-AG-03-60.pdf](https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/migration_files/Normas_secundarias/Anexo_documental/Reino_de_Espa%C3%B1a/Agua/ES-AG-03-60.pdf)

Real Decreto 817/2015, España. Por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.  
[http://noticias.juridicas.com/base\\_datos/Admin/559060-rd-817-2015-de-11-sep-establecen-los-criterios-de-seguimiento-y-evaluacion.html](http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/559060-rd-817-2015-de-11-sep-establecen-los-criterios-de-seguimiento-y-evaluacion.html).

Servicio Agrícola y Ganadero, 2006. Estudio de metodologías para la evaluación de riesgo ambiental de la aplicación de plaguicidas. 93 p.

Servicio Agrícola y Ganadero, 2011. Informe de Análisis. Servicio de Monitoreo Hídrico río Aconcagua, Región de Valparaíso. 253 p.

Secretaría de la Convención de RAMSAR. Manual de la convención Ramsar: Guía de la convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971), 6ta edición. [En línea] 2013.  
<https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/manual6-2013-sp.pdf>.

Smith VH., Tilman GD., Necola JC., 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Env. Pollut.* 100 (1-3): 179-96. doi:



10.1016/s0269-7491(99)00091-3

Unión Europea; Directiva 2006/44/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, 2006. Calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:264:0020:0031:ES:PDF>.

Universidad Católica de Temuco, 2012. Aproximación ecotoxicológica y evaluación de riesgo teórico en apoyo a la elaboración de proyecto de norma secundaria de calidad ambiental para la protección de las aguas del río Aconcagua. 78 p.

Universidad de Chile, 2011. “Generación de información cartográfica para el sistema de tipología de ríos y lagos de Chile”. Facultad de Ciencias Agronómicas. 129 p.

Universidad de Concepción, 2015. Estudio de línea base limnológica y calidad de aguas en la cuenca del río Aconcagua, centro EULA. 406 p.

Universidad de Valparaíso-MMA. 2020. Red de monitoreo ambiental de ecosistemas acuáticos de Chile 2019-21: Insumo para plataforma de humedales de Chile. Segundo Informe de Avance. Informe Científico y Técnico. Facultad de Ciencias del Mar y de Recursos Naturales. Universidad de Valparaíso. 80 pp.

Universidad Mayor, 2005. “Desarrollo de una metodología para la evaluación y mitigación de la contaminación de aguas y suelo: Aplicación de la cuenca del río Aconcagua”. Informe Final, Tomo I. Metodología. Proyecto Fondo SAG. 255 p.

Van Straalen N. & C. Denneman, 1989. Ecotoxicological Evaluation of Soil Quality Criteria. Department of Ecology and Ecotoxicology, Free University, De Boelelaan, Amsterdam, The Netherlands. ECOTOXICOLOGY AND ENVIRONMENTAL SAFETY 18, 24 I-25 1. 11pp

Vannote R., G. Minshall, K. Cummins, J. Sedell & C. Cushing, 1980. The river continuum concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 37:130-137.

Vighi M., 1989. Ecotossicologia. Ed Guridico Scientifiche.Milano.

Welch, E. B., J. M., Jacoby, & C. W. May. 1998. Stream quality. In: Naiman, R. J. & R. E. Bilby (Eds.). River Ecology and Management: Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion. Springer-Verlag. New York, U.S.A. pp. 69-94.

Welch E.B & Jacoby, J.M., 2004. Pollutant effects in freshwater. Applied limnology. Cambridge University Press. 504 pp.

Zuleta, C. & Contreras, M., 2019. Humedales costeros de la Región de Coquimbo. 331 p.

Zunino S., Aliaga C., Da Venezia P., 2009. Comunidades de peces en desembocaduras de ríos y esteros de la Región de Valparaíso, Chile central. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 44(1): 123-130.