## ANEXO 1

Informe "Análisis crítico del Anteproyecto de las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Valdivia del MMA y documentos anexos", de marzo de 2018, elaborado por el Dr. Alex Schwarz Kusch, Ph.D. en Ingeniería Civil y Ambiental de la Northwestern University, profesor asociado de la Universidad de Concepción, y el Dr. Baldomero Sáez Rámila, Ingeniero Civil de Industrias mención Química, Master of Science (M.Sc.) y Doctor of Philosophy (Ph.D.) en Ingeniería Ambiental, ambos grados académicos en la University of Illinois at Urbana-Champaign.



ANÁLISIS CRÍTICO DEL ANTEPROYECTO DE LAS NORMAS SECUNDARIAS DE CALIDAD AMBIENTAL PARA LA PROTECCIÓN DE LAS AGUAS CONTINENTALES SUPERFICIALES DE LA CUENCA DEL RÍO VALDIVIA DEL MMA Y DOCUMENTOS ANEXOS

Marzo 2018



El presente informe, denominado "Análisis crítico del anteproyecto de las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Valdivia del MMA y documentos anexos", ha sido elaborado por el profesional Sr. Alex Schwarz K.

Alex Schwarz K.

Ingeniero Civil M.Sc. y Ph.D.

Marzo de 2018



## Tabla de Contenido

1	RESUMEN EJECUTIVO	1
1.1	Análisis crítico del informe 1: "Aproximación Ecotoxicológica y Evaluación de Riesgo Teórico en Apoyo a la Elaboración del Anteproyecto de NSCA para la Protección de las Aguas de la Cuenca del Río Valdivia, Región de Los Ríos"	5
1.2	Análisis crítico del informe 2: "Evaluación de riesgo ecológico para el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter como apoyo a la elaboración del anteproyecto de las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas de la cuenca del río Valdivia, Región de los Ríos"	5
1.3	Análisis crítico del informe 3: "Informe técnico de las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas CONTINENTALES superficiales de la cuenca del río Valdivia"	7
1.4	Análisis crítico de los parámetros incluidos en la norma establecida en el AP NSCA DEL RÍO VALDIVIA del MMA y DE sus valores	9
2	INTRODUCCIÓN	11
3	ANÁLISIS CRÍTICO DEL INFORME 1: "APROXIMACIÓN ECOTOXICOLÓGICA Y EVALUACIÓN DE RIESGO TEÓRICO EN APOYO A LA ELABORACIÓN DEL ANTEPROYECTO DE N.S.C.A. PARA LA PROTECCIÓN DE LAS AGUAS DE LA CUENCA DEL RÍO VALDIVIA, REGIÓN DE LOS RÍOS"	12
3.1	Análisis de la metodología	<b>12</b> 12
3.2	Análisis de los resultados y discusión	15
3.3	Análisis de las conclusiones	21
3.4	Uso que se le da al documento en el proceso de elaboración de NSCA	23
<b>4</b> .1	ANÁLISIS CRÍTICO DEL INFORME 2 "EVALUACIÓN DE RIESGO ECOLÓGICO PARA EL SANTUARIO DE LA NATURALEZA CARLOS ANWANDTER COMO APOYO A LA ELABORACIÓN DEL ANTEPROYECTO DE LAS NORMAS SECUNDARIAS DE CALIDAD AMBIENTAL PARA LA PROTECCIÓN DE LAS AGUAS DE LA CUENCA DEL RÍO VALDIVIA, REGIÓN DE LOS RÍOS" Análisis de la metodología	<b>24</b> 24
4.2	Análisis de los resultados y discusión	26
4.3	Análisis de las conclusiones	28
4.4	Uso que se le da al documento en el proceso de elaboración de NSCA	30
5	ANÁLISIS CRÍTICO DEL INFORME 3: "INFORME TÉCNICO DE LAS NORMAS SECUNDARIAS DE CALIDAD AMBIENTAL PARA LA PROTECCIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DE LA CUENCA DEL RÍO VALDIVIA"	32
5.1	Apreciación general del documento técnico	32
5.2	Análisis crítico del sistema de clases de calidad desarrollado	33
5.3	Análisis crítico de la justificación para incluir las fracciones totales de metales como parámetros de las NSCA	34
5.4	Observaciones puntuales al documento	35
5.4.1	De lo que se desea proteger	35
5.4.2 5.4.3	De la selección de parámetros Del uso de ERE	36
5.4.4	Del cumplimiento de las NSCA	37 37
5.4.5	De la información actualizada de la calidad fisicoquímica de la cuenca del río	37
E 4 C	Valdivia	37
5.4.6	De las características hidroquímicas únicas y escasas de la cuenca	38



6	ANÁLISIS CRÍTICO DE LOS PARÁMETROS INCLUIDOS EN LA NORMA ESTABLECIDA EN EL AP NSCA DEL RÍO VALDIVIA DEL MMA Y DE SUS	
c 1	VALORES Objectives at a local NICCA	39
6.1	Objetivos de las NSCA	39
6.2	Criterios generales de selección y exclusión de parámetros	40
6.2.1	Guía CONAMA	40
6.2.2 6.3	Estudio Cade-Idepe	41
0.3	Análisis crítico de los criterios de selección y exclusión de parámetros utilizados en la actual NSCA, y de los criterios de fijación de valores	42
6.3.1	Respecto de la fijación de valores del anteproyecto	42
6.3.2	Respecto del criterio de excedencia del anteproyecto	43
6.3.3	Respecto de las áreas de vigilancia del anteproyecto	44
6.3.4	Opinión sobre los valores y parámetros seleccionados	45
7	CONCLUSIONES	49
Índice de	Tablas	
Tabla 1	Observaciones a la metodología del informe 1	12
Tabla 2	Observaciones a los resultados del informe 1	15
Tabla 3	Observaciones a las conclusiones del informe 1	21
Tabla 4	Observaciones a la metodología del informe 2	24
Tabla 5	Observaciones a los resultados del informe 2	26
Tabla 6	Observaciones a las conclusiones del informe 2	28
Tabla 7	Áreas de vigilancia consideradas en el anteproyecto de NSCA del río Valdivia	44
Tabla 8	Parámetros del anteproyecto de norma generado por el comité operativo para los	
	ríos San Pedro (RSP), Calle Calle (RCC) y Valdivia (RV) (en negrita se destacan	
= **	aquellos valores con respaldo en el expediente)	46
Tabla 9	Parámetros del anteproyecto de norma generado por el comité operativo para el río	
	Cruces (RC) y el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter (SNCA) (en negrita se	
	destacan aquellos valores con respaldo en el expediente)	47
Tabla 10	Parámetros de la Norma AP NSCA del río Valdivia (en negrita se destacan aquellos	
	valores con respaldo en el expediente)	48



#### 1 RESUMEN EJECUTIVO

Este informe presenta un análisis crítico del borrador del Anteproyecto de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de la Cuenca del río Valdivia del MMA (Ministerio del Medio Ambiente), en adelante AP NSCA del río Valdivia, publicado en el expediente electrónico del proyecto el 15 de diciembre de 2017. El objetivo del informe es determinar críticamente si la selección o exclusión de parámetros, y la fijación de valores del AP NSCA del río Valdivia, ha sido el resultado de un proceso metodológica y técnicamente robusto/sólido.

Para ello, previamente se realiza una revisión crítica de los siguientes documentos asociados al AP NSCA del río Valdivia:

- Informe 1: "Aproximación ecotoxicológica y evaluación de riesgo teórico en apoyo a la elaboración del anteproyecto de normas secundarias de calidad ambiental (NSCA) para la protección de las aguas de la cuenca del río Valdivia, Región de Los Ríos", Universidad Católica de Temuco, diciembre de 2009.
- Informe 2: "Evaluación de riesgo ecológico para el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter como apoyo a la elaboración del anteproyecto de las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas de la cuenca del río Valdivia, Región de los Ríos", Universidad Católica de Temuco, 2010.
- Informe 3: "Informe técnico de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de la Cuenca del Río Valdivia", Ministerio del Medio Ambiente, enero de 2017.

Los principales criterios bajo los cuales se realizaron los análisis críticos de los 3 informes anteriormente citados incluyen:

- Respecto de las metodologías, si hay suficiente información como para que la metodología pueda ser replicada, si quedó establecido que representa el consenso científico, y si está suficientemente respaldada y validada.
- Respecto de los resultados, si éstos son consistentes con la metodología y objetivos planteados, si se realiza el análisis adecuado, y de cómo se relacionan con estudios previos.
- Respecto a las conclusiones, cómo éstas se fundan en los resultados.

Por otra parte, los principales criterios bajo los cuales se realizó el análisis crítico de los parámetros y valores de la norma fueron:

- Consistencia de parámetros y valores a través del proceso de elaboración de las NSCA.
- Disponibilidad de la información de respaldo en el expediente público.
- Consideración de guías y recomendaciones para la elaboración de las NSCA.
- Costo económico y beneficios ambientales asociados.
- Si el criterio utilizado representa el consenso científico.



## 1.1 ANÁLISIS CRÍTICO DEL INFORME 1: "APROXIMACIÓN ECOTOXICOLÓGICA Y EVALUACIÓN DE RIESGO TEÓRICO EN APOYO A LA ELABORACIÓN DEL ANTEPROYECTO DE NSCA PARA LA PROTECCIÓN DE LAS AGUAS DE LA CUENCA DEL RÍO VALDIVIA, REGIÓN DE LOS RÍOS"

El objetivo general de este estudio fue establecer niveles de calidad ambiental protectores de las especies locales con mayor relevancia ecológica y sensibilidad en los ecosistemas del Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter (SNCA), utilizando la metodología de evaluación de riesgo ecológico teórico. El estudio recopiló y sistematizó la información disponible sobre el SNCA, concluyendo que no hay suficiente información para la caracterización ecológica del SNCA, y que se requieren estudios ecológicos que permitirían establecer tramas tróficas específicas dadas las características diferenciales de este ecosistema (p. 36).

El estudio presenta una descripción de la cuenca del río Valdivia, incluyendo una descripción de la diversidad de especies del SNCA, de la geomorfología de la cuenca del río Valdivia, su clima, geología, hidrogeología, y de sus usos de suelo. En la p. 40, se describe la diversidad de especies en la cuenca de forma muy general. Se indica que el SNCA sería una zona rica en diversidad vegetal con 80 especies; sin embargo, de las especies de flora sólo el 65% de ellas son nativas, por lo que existiría cierto grado de intervención humana. Además, hay más de 60 especies de avifauna. La fauna ictiológica no sería muy variada. Los insectos serían abundantes e importantes. La fauna de anfibios está compuesta por 8 especies de anuros. Finalmente, se menciona que residen un par de especies de crustáceos como camarones y pancoras. Además, en la p. 41, se concluye que el ecosistema es muy sensible a los impactos de las actividades productivas, por la situación ocurrida el 2004, por lo que se requiere evaluar acabadamente los potenciales impactos de las actividades productivas y determinar de manera acabada los efectos tóxicos y riesgos ecológicos. Respecto del uso de suelo de la cuenca, destaca la presencia de bosques (57,4%) y matorrales y praderas (33,7%). Las plantaciones exóticas sólo cubren el 1,2% (p. 52). En la p. 53, se indica que una amplia gama de actividades ejerce presión sobre el SNCA (ganadería, extracción de áridos, abastecimiento de agua, embarcaciones motorizadas y descarga de efluentes domésticos e industriales). Las descargas industriales que se localizan aguas arriba del SNCA, en el área de influencia directa, son ARAUCO, Lácteos Valdivia y Agrícola Cran Chile (p. 55).

A continuación, se realiza un análisis de la información de calidad de agua de la red de monitoreo de la DGA (1987-2008), ARAUCO-EULA (1996-2009) y CONAMA-DIRECTEMAR (2006-2009) para 68 parámetros. En el Anexo 7.3 se encuentra la estadística descriptiva para cada parámetro y por estación de monitoreo. La Tabla 4-7 muestra los parámetros que cumplen por estación con el criterio de los 8 registros continuos (p. 64-65), para ser considerados en las NSCA. Por último, la Tabla 4.9 (p. 69) muestra los promedios para las 10 estaciones analizadas. También se realiza un análisis espacial de los datos de calidad de agua, específicamente de similaridad entre sitios de muestreo versus uso de suelo y calidad de agua, encontrándose que los sitios de muestreo se separan en dos grupos que representan las secciones alta y baja de la cuenca. Los sitios de la sección baja son los afectos a la influencia marina. Los demás presentan régimen fluvial. Luego se realiza el cálculo de percentiles para la estimación de valores de la norma, los que se presentan en el Anexo 7.4 para cada parámetro y estación de monitoreo.

Luego, se presenta un cálculo de indicadores de calidad de agua (WQI por las siglas en inglés de *Water Quality Index*) para las estaciones E1-E6, aledañas al SNCA, en base a los parámetros pH, CE, OD, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2</sup>, Al, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y DQO. Se menciona que el WQI permite integrar la calidad de diferentes parámetros, asignando una calidad única y comparable entre estaciones. Según los valores WQI, la calidad de las aguas es regular en toda la cuenca (Tabla 4-16, p. 87). Sin embargo, los resultados obtenidos por WQI son discutibles, ya que la metodología de cálculo y valoración no ha sido consensuada.



Posteriormente, se desarrolla una propuesta de parámetros para ser incluidos en las NSCA. Un total de 29 elementos y/o compuestos cumplen con los requisitos basados en límites de detección y concentraciones naturales (Tabla 4-18, p. 89). Los criterios de descarte y selección de parámetros no están definidos de forma cuantitativa, sino cualitativa, por lo que su aplicación es bastante discrecional.

Luego, se resume la información de caracterización de la estructura comunitaria presente en la columna de agua y bentos del santuario, en la forma de un listado organizado de acuerdo a las diferentes comunidades biológicas existentes: plancton, invertebrados bentónicos, peces y macrófitas acuáticas (plantas acuáticas). El Anexo 7.2 muestra la sistematización de la información en catálogos específicos para cada componente biológico analizado. Se menciona que la información recopilada ha permitido caracterizar la estructura comunitaria que presenta el humedal y determinar especies de relevancia ecológica del ecosistema (p. 91); sin embargo, esto no se puede inferir a partir de un listado relativo a las especies presentes en la columna y bentos del SNCA. Los mismos autores reconocen en otros pasajes del mismo documento que la información para caracterizar la estructura es insuficiente (p. 94).

Luego, el estudio procede con la identificación de especies locales de relevancia ecológica en el SNCA. Del total de 282 especies disponibles para el santuario (Anexo 7.2), un panel de expertos seleccionó 33 especies (3 de fitoplancton, 3 de zooplancton, 3 de macroinvertebrados, 7 de peces y 17 de macrófitos). Se realiza una revisión del concepto de especies relevantes, y se concluye con el criterio que representaría el consenso actual. Estas especies serían aquellas altamente conectadas o generalistas, ya que las redes ecológicas son muy sensibles a su extinción (p. 94). Se menciona que la selección de estas especies altamente conectadas conlleva conocer y entender todas las características tróficas de las especies, es decir, todas las interacciones de alimentos de las especies en su contexto de la red ecológica y a su vez como éstas se conectan con otras especies. Se menciona que particularmente en el SNCA sólo se tiene información de la composición biológica de forma cualitativa. Se menciona además que las relaciones de alimento y las fuerzas de interacciones entre las especies son desconocidas, por lo tanto, es difícil reconocer bajo este marco teórico las especies claves o relevantes del SNCA, por lo que se plantea la necesidad de abrir líneas de investigación tendientes a establecer la estructura trófica del sistema (p. 94).

A continuación, se realiza un reconocimiento preliminar de bases de datos ecotoxicológicas por especies de relevancia ecológica. La información ecotoxicológica se compiló en una base de datos digital denominada "Base de Datos Ecotoxicológica Santuario de la Naturaleza Río Cruces". Además, en el estudio se presentan gráficamente perfiles de medias de LC50¹ (mg/L) para varias taxa dulceacuícolas, para los metales As (2 taxa), Cu (13 taxa), Fe (6 taxa), Mn (6 taxa) y Zn (10 taxa) (Figs. 4-18 a 4-24). Se enfatiza que los valores LC50 fueron seleccionados para organismos de distintos niveles tróficos existentes en la cuenca o géneros afines. Además, el umbral de toxicidad LC50 es el que normalmente se encontró más disponible en la literatura. Los gráficos muestran gran variabilidad en los valores LC50. Para el Cu, los LC50 son en general menores que 0,6 mg/L (la mayoría menores que 0,1 mg/L); sin embargo, hay insectos con LC50 cercanos a 10 mg/L (orden Trichoptera). En el caso del Fe, Mn y Zn, la mayoría de las taxa presentan LC50 menores que 1 mg/L.

Por último, el estudio presenta una caracterización teórica del riesgo ecológico para el SNCA (es teórica porque se basa en información toxicológica de la literatura para especies estandarizadas y no de especies representativas o de relevancia ecológica locales). Se realiza tanto una caracterización determinística del

-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Concentración letal que produce la muerte del 50% de los individuos durante un período de tiempo determinado (por ejemplo 24, 48, o 72 horas) durante bioensayos de toxicidad aguda.



riesgo ecológico, como una estimación probabilística mediante simulación de Montecarlo. El riesgo ecológico se estima en base al cociente de riesgo (RQ), el que se calcula como la razón PEC/PNEC, donde PEC es la concentración ambiental esperada, y PNEC es la concentración de efecto no observado (PNUMA, 1999; CE, 1996)<sup>2</sup>.

La caracterización determinística del riesgo ecológico se efectuó para las estaciones E3 (Rucaco) y E6 (Celco 3). El valor PEC se determinó como el percentil 66 para Al, NH<sub>4</sub>, As, Cu, Fe, Mn y Zn (Tabla 4-20, p. 106) y las concentraciones PNEC se estimaron como los valores HC5 y HC10, que corresponden a los percentiles 5 y 10 de los valores LC50, considerando un FS (factor de seguridad) de 2 (Tabla 4-21; p. 106). Es decir, son los valores LC50 que protegen al 90 y 95% de las especies consideradas en el análisis. El RQ determinístico (Tabla 4-22; p. 107) indica que existe riesgo potencial (RQ>1) para todos los parámetros analizados, excepto As.

A su vez, para la caracterización probabilística del riesgo ecológico se ajustaron distribuciones probabilísticas a los datos de monitoreo utilizando el software Crystal Ball. En la Tabla 4-23 (p. 107) se presentan las distribuciones seleccionadas para representar la exposición probabilística de Al, NH4, As, Cu, Fe, Mn y Zn. Además, se obtuvieron las distribuciones para representar la sensibilidad (LC50) a la exposición de los mismos parámetros. Luego, la Tabla 4-25 (p. 108) presenta una estimación del riesgo ecológico como la probabilidad que la PEC sea mayor que la PNEC con un factor de seguridad de 10. Finalmente, se determinan valores de NSCA considerando un FS de 10 y el percentil 66 de las concentraciones en E3 y E6, a partir del cociente de riesgo.

La metodología de cálculo del riesgo ecológico no está descrita con el suficiente nivel de detalle como para ser replicada, ni se presenta suficiente información de validación respecto del procedimiento de cálculo y aplicación en normas extranjeras. El principal respaldo metodológico es una autoreferencia a una publicación no científica de los autores. Una limitación importante del cálculo de riesgo ecológico que seguramente obedece a restricciones presupuestarias es que se realizó sólo para 7 parámetros, sin existir una justificación de esta selección. El estudio también es sesgado al realizar la evaluación de riesgo ecológico en base a los datos de monitoreo de las dos estaciones que están directamente aguas abajo de Planta Valdivia de Arauco, existiendo otras 15 estaciones aledañas al SNCA, y sin justificar la elección; y al promover el riesgo ecológico como criterio de fijación de valores de las NSCA del río Valdivia, aún cuando el conocimiento de los ecosistemas hídricos es manifiestamente insuficiente para ello.

En resumen, el estudio le dedica muy poco contenido a la descripción, validación y discusión de resultados y suficiencia de información, de la metodología de cálculo de riesgo ecológico como criterio de fijación de parámetros de las NSCA del río Valdivia, sobre todo considerando que esta metodología nunca había sido utilizada en el país.

La importancia de este estudio para el proceso de elaboración de NSCA para la cuenca del río Valdivia, fue la selección de especies locales "ecológicamente relevantes", realizada por un panel de expertos, para ser considerada en la ERE (evaluación de riesgo ecológico) con especies locales/nativas. Sin embargo, en el estudio de ERE con especies locales/nativas realizado, prácticamente no se tomó en cuenta este listado, ya que finalmente primó un enfoque "ecotoxicológico" preservacionista de selección de las especies más sensibles para realizar los bioensayos.

-

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Estas citas, como muchas otras, no se incluyen en la lista de referencias.



Este estudio fue presentado en la 9ª reunión del comité operativo de las NSCA para la protección de las aguas de la cuenca del río Valdivia el 21 de diciembre de 2009 y presentado a la 3ª reunión del comité ampliado el mismo día. No se incluyen observaciones a la metodología y alcance del estudio en el expediente de la norma, por lo que aparentemente no hubo un proceso de revisión por pares especialistas.

1.2 ANÁLISIS CRÍTICO DEL INFORME 2: "EVALUACIÓN DE RIESGO ECOLÓGICO PARA EL SANTUARIO DE LA NATURALEZA CARLOS ANWANDTER COMO APOYO A LA ELABORACIÓN DEL ANTEPROYECTO DE LAS NORMAS SECUNDARIAS DE CALIDAD AMBIENTAL PARA LA PROTECCIÓN DE LAS AGUAS DE LA CUENCA DEL RÍO VALDIVIA, REGIÓN DE LOS RÍOS"

El objetivo general de este estudio fue establecer los niveles máximos de tolerancia de las especies locales con mayor relevancia ecológica y sensibilidad en el SNCA, a través de la evaluación de riesgo ecológico (ERE). Primero, se procedió a seleccionar e identificar las especies de relevancia ecológica y el rol ecológico de las especies seleccionadas para los bioensayos en el SNCA. Esta selección se realizó utilizando un "enfoque ecotoxicológico" preservacionista que identificó las especies más sensibles para los bioensayos (p. 66). Las especies de fitoplancton seleccionadas fueron Selenastrum capricornutum, Scenedesmus quadricauda y Chlorela sp; las de zooplancton: Daphnia obtusa, Daphnia ambigua, Simocephalus sp., Acanthocyclops vernalis, Simosa sp. y Skistodiaptomus diabolicus; las de macroinvertebrados bentónicos: Meridialaris sp. y Paratanytarsus grimmii; las de peces: Galaxias maculatus y Oncorhynchus mykiss; y la de macrófitas: Myriophyllum sp. Se incluyeron fichas con la descripción y caracterización del rol ecológico de las especies seleccionadas y de otras especies presentes en el SNCA. Estas fichas de descripción en muchos casos están incompletas, y sólo se presentan a nivel de familia como es el caso de la Cyclopidae que incluye a las especies Acanthocyclops vernalis y Skistodiaptomus diabolicus. Es decir, estas últimas especies seleccionadas no están descritas, por lo que cabe preguntarse como fueron identificadas y aisladas.

El estudio presenta una contradicción significativa al referirse a las especies utilizadas en los bioensayos como especies locales de relevancia ecológica, siendo que no existe la información suficiente para caracterizar y jerarquizar la relevancia ecológica de las especies del SNCA. Correctamente se señala que "...en el Santuario del Río Cruces poseemos la información biológica desde una perspectiva cualitativa. Sin embargo, las relaciones de alimento y las fuerzas de interacciones entre las especies son desconocidas, por lo tanto es difícil reconocer bajo este marco teórico las especies claves o relevantes del Santuario del río Cruces por lo que se plantea la necesidad de abrir líneas de investigación tendientes a establecer la estructura trófica del sistema." Adicionalmente, el estudio presenta un sesgo preservacionista en la fijación de los valores de las NSCA, al seleccionarse las especies más sensibles para la realización del ERE, basado en un "enfoque ecotoxicológico". Se señala que "...bajo este enfoque (ecotoxicológico), el rol ecológico de las especies seleccionadas no es el factor más relevante para propiciar la protección del ecosistema, si no cuan sensible son a la contaminación ya que a través de esta característica es posible proponer valores estimados en la norma secundaria de calidad ambiental para cada parámetro químico, siendo éstos más exigentes para proteger a las especies que conforman el ecosistema."

La aplicación del criterio ecotoxicológico de selección de especies es arbitraria, ya que no representa el consenso del panel de expertos convocado para este fin; sólo 2 de las 11 especies locales/nativas preseleccionadas por el panel de expertos fueron utilizadas en los bioensayos. Tampoco se respetó la distribución de especies seleccionadas por el panel de expertos, al asignársele una importancia relativa mucho mayor a especies de zooplancton (presencia de 45% vs el 9% en la lista del panel de expertos), que son más sensibles. Por último, las especies de macrofauna bentónica ensayadas no eran locales, sino que fueron obtenidas de un afluente del lago Colico, lo cual no fue justificado.



Luego, se describen los protocolos de establecimiento y mantención de cultivos de las especies locales de "mayor relevancia ecológica" (fitoplancton, zooplancton, ictiofauna, macrofauna bentónica y macrófitas). Sólo se presenta información detallada sobre las condiciones de cultivo de las especies estandarizadas de fito y zooplancton (*Daphnia obtusa* y *Selenastrum capricornutum*). Respecto a las especies nativas/locales, en el caso del zooplancton (la mayoría de las especies utilizadas en los bioensayos pertenecen a esta categoría), sólo se entrega información general y no se informan los métodos de aislamiento y cultivo de las especies seleccionadas (*Daphnia ambigua, Simocephalus sp., Acanthocyclops vernalis, Simosa sp., Skistodiaptomus diabolicus*). Sin la información de aislamiento y cultivo de las especies, no se puede reproducir y validar los bioensayos.

A continuación, se describe la realización y validación de bioensayos sobre las especies de "relevancia ecológica" del SNCA y en las especies estandarizadas. Primero se presenta información de validación de bioensayos con dicromato de potasio para sólo siete de las 14 especies seleccionadas: Selenastrum capricornutum, Chlorella sp., Daphnia obtusa, Daphnia ambigua, Meridialaris sp., Paratanytarsus grimmii y Oncorhynchus mykiss. El estudio presenta luego los resultados de los bioensayos de toxicidad (Tabla 27, p. 119) y por último en la Tabla 28 (p. 124) se resume la información ecotoxicológica y se compara con información de la literatura (EPA). Esta comparación con la literatura es muy general, como para validar los resultados obtenidos.

Cabe destacar que el mayor número de especies recomendadas por el panel de expertos para realización de bioensayos correspondió a la categoría de macrófitas (plantas acuáticas); sin embargo, en la p. 123 se menciona que no fue posible estimar valores de toxicidad para la única especie macrófita utilizada *Myriophylum sp.*, debido a la baja actividad fotosintética de las plantas capturadas. Por lo tanto, la representatividad de las especies del SNCA en este estudio es cuestionable.

Finalmente, se caracterizó el riesgo ecológico sobre la base de la información obtenida de los bioensayos de las especies locales, estandarizadas y la determinación de los factores de seguridad para la protección de especies locales. La Tabla 30 (p. 128) presenta los percentiles para las concentraciones totales de Al, Cu, Fe, Mn y Zn para las estaciones de monitoreo E1-E6. Debido a que en los bioensayos prácticamente todo el metal está disuelto, y el monitoreo informa las concentraciones totales, es necesario realizar una conversión entre ambas cantidades, para lo cual se utiliza la Tabla 31 (p. 129) que muestra la relación entre la fracción disuelta y la fracción total de metales obtenida por UACH (2008), la cual se resume en la Tabla 32. Luego, las Tablas 33-37 muestran las concentraciones de no efecto PNEC y los porcentajes de especies protegidas para Al, Cu, Fe, Mn y Zn considerando factores de seguridad FS de 50 y 100 según recomendación de la OCDE (1992). Finalmente, la Tabla 40 presenta los límites propuestos para las NSCA basado en un enfoque de evaluación de riesgo probabilístico.

Una limitación importante de este estudio de ERE es que se realizó sólo para 5 parámetros, sin que se haya justificado la priorización de los parámetros. Lo anterior, como se señala en el expediente de norma, obedeció a restricciones presupuestarias. Tampoco se dan suficientes detalles metodológicos para reproducir los bioensayos. La información de identificación, aislamiento y masificación de especies locales/nativas seleccionadas no se entregó ni referenció, sin la cual ningún laboratorio puede reproducir los resultados. Adicionalmente, el riesgo ecológico se evaluó utilizando un enfoque probabilístico, el cual toma en cuenta la variabilidad en la respuesta tóxica de las especies representativas de un ecosistema. Por lo tanto, la selección de especies más sensibles para determinar la respuesta a la toxicidad de las especies en su conjunto es contradictorio con el enfoque.

Otra debilidad importante del análisis es que no se indican las fuentes de datos para la información de exposición (estaciones de monitoreo y fechas de monitoreo). La elección de factores de seguridad (50 y 100) y el % de protección de especies (70%) en la aplicación del método tampoco está justificada. En el



caso de los factores de seguridad se referencia un reporte de la OECD, pero no se hace un análisis de las fuentes de incertidumbre para validar estos valores. Además es contradictorio con los objetivos de las NSCA que se propongan valores que sólo protegen al 70% de las especies.

En síntesis, la metodología de evaluación de riesgo ecológico probabilística y su forma de aplicación en el caso del SNCA no están suficientemente respaldadas ni validadas. No se informa cómo esta metodología ha sido aplicada internacionalmente. Otros informes solicitados a terceros y que forman parte del expediente de la norma fueron revisados por especialistas, y las revisiones forman parte del expediente. En este caso no hubo una revisión, la cual hubiera dejado en evidencia los errores metodológicos, la falta de información y los sesgos del informe.

El uso que se le dio a este documento en el proceso de elaboración de NSCA fue para establecer las NSCA para los metales totales y disueltos de Al, Cu, Fe, Mn y Zn en algunas de las zonas de vigilancia.

## 1.3 ANÁLISIS CRÍTICO DEL INFORME 3: "INFORME TÉCNICO DE LAS NORMAS SECUNDARIAS DE CALIDAD AMBIENTAL PARA LA PROTECCIÓN DE LAS AGUAS CONTINENTALES SUPERFICIALES DE LA CUENCA DEL RÍO VALDIVIA"

Este documento debió sintetizar toda la información incorporada al proceso de elaboración de las NSCA y que sirviera de justificación y respaldo al AP NSCA del río Valdivia; sin embargo, el informe no fue diseñado para servir de respaldo técnico del AP NSCA del río Valdivia, sino como un reporte de análisis y mejora del DS 1/2015. Es más, gran parte de la información de respaldo de las NSCA ni siquiera está disponible en el expediente de la norma.

Respecto de los aspectos formales del documento, éste adolece de un formato adecuado, no tiene una estructura. No se indica el o los autores del documento ni el nombre del o los revisores. Tampoco se incluyen citas en el documento para respaldar gran parte de lo que se afirma en él, y algunas citas son erróneas, y se citan nuevos documentos que no son parte del expediente público y que no están disponibles para su análisis. Si bien éste es un informe técnico, es el documento que justifica las NSCA de la cuenca del río Valdivia, por lo que debería tener mayor rigor científico y formal.

El informe introduce una nueva metodología para establecer clases de calidad para la cuenca del río Valdivia que no está suficientemente validada. Las clases de calidad son necesarias para determinar el nivel de protección de las NSCA. Esta metodología no fue incluida ni analizada como parte de la elaboración del AP NSCA del río Valdivia.

También se incluye una justificación para incluir las concentraciones totales de metales como parámetros de las NSCA, que presenta errores conceptuales y sesgos significativos. Por ejemplo, se menciona el estándar para Al total de la US EPA de 1988, cuando con posterioridad en 1993, el documento "Office of Water Policy and Technical Guidance on Interpretation and Implementation of Aquatic Life Metals Criteria", menciona que la política desde entonces será utilizar la concentración de metales disueltos para fijar y medir el cumplimiento de los estándares de calidad del agua, basado en el consenso científico dentro y fuera de la EPA. La justificación es que la fracción disuelta se aproxima más a la fracción biodisponible del metal.

El informe destaca la utilización de la herramienta de Evaluación de Riesgo Ecológico (ERE) para determinar los niveles máximos de tolerancia de aquellas especies locales claves o aquellas que por su importancia funcional son especies de relevancia ecológica en estos sistemas. Como no se realizó una descripción de los ecosistemas, ni tampoco un estudio de diversidad, abundancia y función ecosistémica de especies, no se



puede hablar de especies locales claves ni relevantes ecológicamente. Por lo tanto, el estudio de ERE es totalmente insuficiente desde el punto de vista de lo que se desea proteger, y se hace un uso erróneo de este estudio a lo largo del informe. Como quedó claro de la revisión del estudio de ERE, fueron seleccionadas para los bioensayos las especies consideradas más sensibles, lo cual obedece a un criterio preservacionista, y apenas se tomó en cuenta la selección de especies propuesta por el panel de expertos.

Se deberían iniciar los estudios ecosistémicos que permitan conocer cabalmente todos los ecosistemas hídricos de la cuenca (y no sólo los del SNCA), para luego generar NSCA que no sean discrecionales.

El informe presenta una justificación incompleta de la selección de parámetros a normar, ya que no se mencionan todos los parámetros, y además es muy general. Los criterios de selección deberían ser cuantitativos, para evitar la discrecionalidad.

Respecto del cumplimiento de las NSCA (Informe Técnico DS 1/2015), el análisis de la calidad actual basado en mediciones de la DGA durante el período 2008-2012 indica que las zonas de vigilancia RCII, RCIII y RCIV no cumplirán las NSCA de CE, sulfato, sodio y cloruro. Cabe destacar que estos parámetros no están normados en el SNCA por la influencia marina. Es decir, el incumplimiento no genera efectos aguas abajo en el SNCA, sólo en RCII, RCIII y RCIV. Por otra parte, los metales Fe, Mn y Al tampoco cumplirán debido a su característica de metales mixtos, con aportes naturales significativos durante eventos de lluvia, o de resuspensión de sedimentos por acción de viento. Será muy difícil distinguir los aportes naturales de los aportes antrópicos.

Como fundamentación técnica de las NSCA (Capítulo 3) se presenta un análisis de la información de monitoreo ambiental reciente del Humedal del rio Cruces y sus tributarios realizado desde el 2014 por la Universidad Austral de Chile (Punto 3.6). La cobertura espacial de este programa de monitoreo es limitada para servir de fundamento técnico de las NSCA de la cuenca del rio Valdivia, por cuanto se focaliza en el SNCA, y sólo considera 8 puntos de monitoreo: 3 ubicados dentro del Humedal; dos en afluentes menores (rio Pichoy y rio Cayumapu); dos en el rio Cruces, aguas arriba y aguas abajo de la descarga de Arauco; y por último, uno en el rio Calle-Calle. No se especifican las coordenadas de estos puntos, por lo que no se puede determinar si coinciden o no con alguno de los puntos de control de las NSCA. Adicionalmente, no se monitorearon los 21 parámetros de las NSCA, excluyendo sodio y cromo total, y la cobertura temporal fue limitada: sólo para los parámetros pH y conductividad, 15 datos; OD, 14 datos; y, para los demás 5 datos. En el caso de los metales se informan las fracciones particuladas y disueltas. A su vez, las NSCA están basadas en concentraciones totales y disueltas. Se utiliza esta información para concluir que la zona ubicada aguas debajo de Rucaco no ha logrado recuperar las características fisicoquímicas que mantenía antes del año 2004. Este análisis es sesgado y debió discutirse la información del monitoreo sistemático, tanto histórico como reciente, realizado por la DGA.

Respecto de los criterios utilizados para fijar los valores de las NSCA, el documento establece que "fue necesario incorporar como criterio para establecer los valores a normar la recuperación gradual de las características fisicoquímicas históricas en aquellos tramos intervenidos" porque "existen áreas o tramos de la cuenca que han evidenciado cambios estadísticamente significativos en sus características fisicoquímicas, los cuales se relacionan directamente con la degradación de ecosistemas, con cambios en la distribución, abundancia y biodiversidad en la cuenca". Este criterio no se respalda con antecedentes científicos ni en el Informe Técnico ni en el expediente de las NSCA, por lo que su invocación resulta totalmente arbitraria e inadecuada para la fijación de valores de NSCA.

El documento tampoco incluye una explicación de cada valor de las NSCA, sólo realiza un análisis de su razonabilidad invocando normas internacionales y el documento de CADE-IDEPE, 2004 (incorrectamente referenciado como CADE-IPPEPE, 2004), que se basa en información de monitoreo "histórica" de la DGA



acumulada hasta el 2004. Este análisis es sesgado por omitir del análisis la información de monitoreo reciente de la DGA post 2004.

## 1.4 ANÁLISIS CRÍTICO DE LOS PARÁMETROS INCLUIDOS EN LA NORMA ESTABLECIDA EN EL AP NSCA DEL RÍO VALDIVIA DEL MMA Y DE SUS VALORES

Las NSCA son un instrumento de gestión ambiental importante para la protección de los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, una limitación significativa para la implementación de las NSCA en el país, es la ausencia de información de caracterización de los ecosistemas que se desea proteger. Mientras se realizan los estudios ecológicos tendientes a llenar este vacío de información, las NSCA deberían establecerse utilizando un criterio de mantención de la calidad actual de las aguas. De lo contrario, y en ausencia de guías metodológicas validadas, podrían seleccionarse parámetros y valores de cumplimiento que obedecen a criterios discrecionales que podrían imponer elevados costos económicos para las actividades económicas desarrolladas en las cuencas, sin reportar mayores beneficios ambientales, como ocurre con el AP NSCA del río Valdivia.

El documento de las NSCA establece que el objetivo de las NSCA es <u>conservar o preservar</u> los ecosistemas hídricos y sus servicios ecosistémicos, a través de la <u>mantención o mejoramiento de la calidad de las aguas</u> de la cuenca. Lamentablemente, no existe ningún documento técnico que sirva de guía para lograr estos objetivos. Los esfuerzos en tal sentido estaban sintetizados en la guía CONAMA; sin embargo, ésta ni siquiera se menciona entre los documentos que se tuvieron presentes en la elaboración de las NSCA (aunque es citada numerosas veces en el expediente de norma). En vez de haber desechado esta guía, la CONAMA y posteriormente el Ministerio del Medio Ambiente debió haberla actualizado, para incluir por ejemplo criterios ecológicos de fijación de valores, y de esa manera se hubiera evitado gran parte de la discrecionalidad de las autoridades en la elaboración de las NSCA de la cuenca del río Valdivia.

El documento de NSCA señala que el AGIES estima un costo de 1,2 a 1,8 millones de dólares anuales asociados a la eventual implementación de un plan de descontaminación. Este monto es extremadamente bajo, considerando los incumplimientos identificados en el documento de análisis técnico. Estimamos que el costo asociado a la implementación de un plan de descontaminación sería de dos órdenes de magnitud mayor, basado en las necesidades de tratamiento y los costos de capital y operación asociados. Es más, los beneficios ambientales asociados a estas inversiones serían menores, por cuanto las principales mejoras de calidad serían sólo menores y para los parámetros CE, cloruro, sodio y sulfato en un tramo de río, sin impactar positivamente la calidad de las aguas del SNCA, el cual está bajo la influencia marina, que aporta concentraciones mucho mayores de estos mismos parámetros.

Respecto a los criterios de fijación de valores de NSCA del anteproyecto, se señala en el expediente (reunión 21 del Comité Operativo de las NSCA del río Valdivia, celebrada el 28 de octubre de 2011) que "Parámetros con discontinuidad (CE, Cl, Na, SO4) se normarán con máximo histórico en toda la cuenca. En forma particular para las áreas de vigilancia comprendidas entre Rucaco y San Luis de Alba sólo se utilizarán los datos hasta el año 2004 y los valores promedio, debido a que la serie histórica presenta una discontinuidad a partir de este período." Al utilizar las series de datos en las estaciones de Rucaco y San Luis de Alba sólo hasta 2004, se fijó como objetivo de calidad, la calidad del agua previo a la entrada en operación de Planta Valdivia de Arauco respecto de estos parámetros. Esto representa un sesgo importante, ya que no se realiza un análisis de la pertinencia de este criterio. Considerando que el efecto tóxico de estos parámetros es bajo, no cabe esperar efectos significativos sobre el tramo fluvial del río Cruces, como además lo demostraron varios estudios ecológicos de mesocosmos y de bioindicadores (antecedentes que constan en el fallo de la causa por daño ambiental que condena a la principal empresa que descarga sus riles en el río Cruces). Luego, en el tramo estuarial del río (SNCA), la influencia marina genera variaciones



mucho mayores de estos parámetros, por lo que tampoco cabe esperar ningún efecto. Por lo tanto, este sesgo en la fijación de los valores de la norma podría generar un impacto significativo negativo en una actividad productiva de la región, sin generar un beneficio para los ecosistemas acuáticos de la cuenca del río Valdivia.

La adopción del criterio de excedencia del percentil 85 afectará las actividades productivas en la cuenca al promover incumplimientos de parámetros que presentan estacionalidad como la CE, cloruro, sodio y sulfato en tramos del río Cruces, sin que se haya evaluado la pertinencia de esta medida en términos de los beneficios para los ecosistemas.

Respecto del proceso de fijación de valores de la norma, al carecer de una guía metodológica para tal efecto, éste careció de consistencia y fue poco transparente, como se desprende de las diferencias de parámetros y valores de las diferentes versiones de anteproyecto y de proyecto de norma. Es más, la mayoría de los valores de las NSCA se generaron con posterioridad a las sesiones del comité operativo, en base a criterios no consensuados ni suficientemente justificados, y sin que conste un respaldo técnico en el expediente.



## 2 INTRODUCCIÓN

Este informe presenta un análisis crítico de la norma contenida en el AP NSCA del río Valdivia del MMA (Ministerio del Medio Ambiente), en adelante AP NSCA del río Valdivia, denominado "Anteproyecto de de las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Valdivia", publicado en el expediente electrónico del proyecto el 15 de diciembre de 2017. El objetivo del informe es determinar críticamente si la selección o exclusión de parámetros, y la fijación de valores del AP NSCA del río Valdivia, ha sido el resultado de un proceso metodológica y técnicamente robusto/sólido.

Para ello, previamente se realiza una revisión crítica de los siguientes documentos asociados al AP NSCA del río Valdivia:

- Informe 1: "Aproximación ecotoxicológica y evaluación de riesgo teórico en apoyo a la elaboración del anteproyecto de N.S.C.A. para la protección de las aguas de la cuenca del río Valdivia, Región de Los Ríos", Universidad Católica de Temuco, diciembre de 2009.
- Informe 2: "Evaluación de riesgo ecológico para el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter como apoyo a la elaboración del anteproyecto de las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas de la cuenca del río Valdivia, Región de los Ríos", Universidad Católica de Temuco, 2010.
- Informe 3: "Informe técnico Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de la Cuenca del Río Valdivia", Ministerio del Medio Ambiente, enero de 2017.

Por estar fuera del alcance del presente trabajo, este informe no considera la revisión de la literatura citada en los documentos anteriores, el manejo de la base de datos existentes, simulaciones y la generación de nuevos datos. Los principales criterios bajo los cuales se realizaron los análisis críticos de los 3 informes anteriormente citados incluyen:

- Respecto de las metodologías, si hay suficiente información como para que la metodología pueda ser replicada, si quedó establecido que representa el consenso científico, y si está suficientemente respaldada y validada.
- Respecto de los resultados, si éstos son consistentes con la metodología y objetivos planteados, si se realiza el análisis adecuado, y de cómo se relacionan con estudios previos.
- Respecto a las conclusiones, cómo éstas se fundan en los resultados.

Por otra parte, los principales criterios bajo los cuales se realizó el análisis crítico de los parámetros y valores de la norma fueron:

- Consistencia de parámetros y valores a través del proceso de elaboración de las NSCA.
- Disponibilidad de la información de respaldo en el expediente público.
- Consideración de guías y recomendaciones para la elaboración de las NSCA.
- · Costos y beneficios ambientales asociados.
- · Consenso científico.



# 3 ANÁLISIS CRÍTICO DEL INFORME 1: "APROXIMACIÓN ECOTOXICOLÓGICA Y EVALUACIÓN DE RIESGO TEÓRICO EN APOYO A LA ELABORACIÓN DEL ANTEPROYECTO DE N.S.C.A. PARA LA PROTECCIÓN DE LAS AGUAS DE LA CUENCA DEL RÍO VALDIVIA, REGIÓN DE LOS RÍOS"

En esta sección, se realiza un análisis crítico del documento "Aproximación ecotoxicológica y evaluación de riesgo teórico en apoyo a la elaboración del anteproyecto de N.S.C.A. para la protección de las aguas de la cuenca del río Valdivia, Región de Los Ríos". Está estructurada en las siguientes sub-secciones:

- Análisis de la metodología.
- Análisis de los resultados y discusión.
- · Análisis de las conclusiones.
- Uso que se le da al documento en el proceso de elaboración de NSCA.

#### 3.1 ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA

El objetivo general de este estudio fue establecer niveles de calidad ambiental protectores de las especies locales con mayor relevancia ecológica y sensibilidad en estos ecosistemas, utilizando la metodología de evaluación de riesgo ecológico teórico. Los objetivos específicos fueron:

- 1. Sistematización de la información científico-técnica disponible para la cuenca que permitiera la caracterización de la estructura comunitaria presente en la columna de agua y bentos del SNCA (Santuario de la Naturaleza Carlos Andwandter).
- 2. Identificación de especies locales de relevancia ecológica, y de especies clave y de mayor representatividad en el SNCA.
- 3. Selección de parámetros significativos a normar de acuerdo a las características naturales, las presiones antrópicas y las características hidrodinámicas de este sistema.
- 4. Determinación teórica de niveles de calidad ambiental sobre la base de ERE (Evaluación de Riesgo Ecológico).

La Tabla 1 presenta las observaciones a la metodología del estudio. Las observaciones se refieren a si hay suficiente información como para que la metodología pueda ser replicada, si quedó establecido que representa el consenso científico, y si está suficientemente respaldada y validada. Las actividades de la primera columna de la tabla son aquellas informadas y descritas en el estudio.

Tabla 1 Observaciones a la metodología del informe 1

Ac	tividad	Descripción	Observación	
1.	Recopilación y sistematización de la información disponible.	Se recopiló y analizó la información bibliográfica disponible para la cuenca del río Valdivia. Se generó una base de datos digital.	Las bases de datos consultadas parecen las adecuadas.	
2.	Estadística descriptiva y análisis de datos atípicos.	La información de calidad del agua disponible fue organizada en una base de datos Excel, y analizada estadísticamente mediante XLSTAT. Se identificaron datos atípicos con ProUCL.	El análisis de los datos de monitoreo parece el adecuado y la técnica de identificación de datos atípicos también.	



Act	ividad	Descripción	Observación
3.	Análisis espacial.	Las estaciones de muestreo se analizaron mediante cartografía hidrogeológica y de usos de suelo de la cuenca. Se realizó análisis de cluster mediante índice de Bray Curtis.	El análisis espacial parece adecuado.
4.	Cálculo de percentiles para la estimación de valores norma.	Se realizó con el software Excel 2007.	El cálculo y software parecen adecuados.
5.	Desarrollo de orientaciones en el análisis estadístico de datos bajo límite de detección.	Se utilizó el programa ProUCL, el cual puede emplearse para estimar la Concentración de Punto de Exposición (CPE) y los Valores Umbrales de Fondo (BTVS) para conjuntos de Datos con Nondetect (ND) y sin observaciones.	Se presentan referencias de la EPA para justificar el uso de ProUCL. El uso de Crystal Ball también parece adecuado.
		Además, se utilizó el programa Crystal Ball para ajustar distribuciones de probabilidades.	
6.	Cálculo del WQI (Índice de Calidad del Agua).	Se efectuó una adaptación propuesta por la National Sanitation Foundation de EEUU, en base a 9 parámetros de calidad de aguas.	Es una de las muchas propuestas metodológicas de cálculo de WQI.
7.	Propuesta de parámetros a normar.	Selección en base a: 1) series con más de 8 monitoreos continuos, 2) el número de valores con concentraciones bajo el Límite de Detección (LD), y 3) usos de la cuenca y fuentes potenciales de contaminación.	El único criterio cuantitativo es el 1). Para los otros criterios deberían definirse criterios cuantitativos para que su inclusión no fuese arbitraria.
8.	Caracterización de la estructura comunitaria presente en la columna de agua y bentos del santuario.	En base a la recopilación de información disponible, se caracterizaron los componentes biológicos presentes. Estos antecedentes habrían permitido caracterizar la estructura comunitaria del SNCA (p. 30).	La información recabada no permite caracterizar la estructura como los mismos autores señalan en otros pasajes (p. 94). Por lo tanto, el informe se contradice respecto de este punto.
9.	Identificación de especies locales de relevancia ecológica en el SNCA.	El listado de especies fue analizado por un panel de expertos para seleccionar especies "representativas" del SNCA. Los criterios fueron: posibilidad de mantener o cultivar (60%), indicador de buena calidad (20%), relevancia ecológica [20%, desagregada en rol trófico (10%) y abundancia (10%)].	Esta forma de valorar conduce a seleccionar especies fáciles de cultivar independiente de los otros criterios. No se conoce la valoración de los científicos y valores asignados a cada especie, lo cual le resta validez a esta forma de selección.



Actividad	Descripción	Observación
Reconocimiento preliminar de bases de datos ecotoxicológicas por especies de relevancia ecológica.	Se efectuó una revisión bibliográfica de umbrales a partir de los cuales se evidencian efectos adversos (crónicos o agudos) en organismos empleados en bioensayos.  Las bases de datos revisadas serían:	Las bases de datos son las usualmente consultadas.
	ECOTOX Database, PAN Pesticides, WQG, NEW ZEALAND ECOTOXICITY, doc. Subsecretaria RRHH Argentina, EPA WQC y TOXNET, para LC50 <sup>3</sup> de 6 metales (Al, As, Cu, Fe, Mn y Zn) sobre diferentes órdenes de especies como Cladocera, Cypriniformes, Díptera, Ephemeroptera, Osmeriformes, Plecoptera, Ploimida, Rotifera, Salmoniformes y Trichoptera.	
11. Estimación de HC5% para cada parámetro significativo a normar.	Como nivel de protección se utilizan los valores de HC5 <sup>4</sup> , mediante la metodología propuesta por Van Straalen & Denneman (1989), utilizando los datos de LC50. Este valor correspondería al valor PNEC de la evaluación de riesgo ecológico.  La metodología asume que la sensibilidad de las diferentes especies (variabilidad inter-específica) está distribuida de forma análoga a la sensibilidad de los diversos individuos de una misma especie (variabilidad intra-específica). Con varios LC50 es posible evaluar la variabilidad de la sensibilidad para todas las especies de la comunidad.	No queda claro si esta metodología está suficientemente validada, ya que no se referencian organizaciones internacionales como la EPA, CE, u OCDE. Sólo se referencia un artículo científico, por lo que no queda claro si el método propuesto representa el consenso científico.
12. Caracterización del riesgo ecológico.	Se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Medina & Encina (2004).  La estimación del riesgo ecológico se realizó mediante el cociente de riesgo (RQ) PEC/PNEC <sup>5</sup> (CEE, 1996).  Se informa que la concentración PNEC puede definirse además a partir de la concentración más baja a la cual hay efectos sobre las especies más sensibles (metodología determinística).	Se utiliza una auto-referencia a un artículo no científico para respaldar la metodología de ERE, por lo que no queda claro si el método representa el consenso científico, ni si está suficientemente validado, a través de su incorporación en normativas o prácticas internacionales.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> El valor LC corresponde a la concentración que mata al 50% de los individuos expuestos de una población.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> El valor HCp corresponde a la concentración tóxica o peligrosa para el p% de las especies de una comunidad. El valor HC5 corresponde al valor que protege al 95% de las especies consideradas.

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> El valor PEC corresponde a la concentración ambiental esperada en base a los antecedentes ambientales recopilados. El valor PNEC corresponde a la concentración sin efecto ecológico, para lo cual se utilizaron las bases de datos con valores de toxicidad para especies estandarizadas.



### 3.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 2 presenta las observaciones a los resultados obtenidos para cada actividad realizada en el estudio analizado. Las actividades en la primera columna de la tabla son las informadas en el estudio. En las observaciones se incluyen apreciaciones respecto de si los resultados son consistentes con la metodología y objetivos planteados, si se realiza el análisis adecuado, y de cómo se relacionan con estudios previos.

Tabla 2 Observaciones a los resultados del informe 1

Actividad	Resultado	Observación
Recopilación y sistematización de la información disponible.	Base de datos digital de toda la información recabada.  Se menciona que se recopilaron 87 estudios, la mayoría de los cuales se encuentran en formato digital y a libre disposición.  Se menciona que existe un número indeterminado de estudios desarrollados en	El estudio correctamente concluye que no hay suficiente información para la caracterización ecológica del SNCA. Por lo tanto, no pueden definirse las especies clave o ecológicamente relevantes.
	el marco de proyectos internos que no están disponibles.  Se menciona que no hay suficiente información ecológica del humedal, para conocer su estructura y funcionamiento. Se menciona que hay estudios que se han concentrado en ciertos grupos faunísticos y florísticos en desmedro de la investigación de la abundancia y riqueza específica de otros grupos. Además, se concluye que se requieren estudios ecológicos que permitirían establecer tramas tróficas específicas dadas las características diferenciales de este ecosistema (p. 36).	
2. Descripción de la cuenca.	Se presenta una descripción de la diversidad de especies del SNCA, de la geomorfología de la cuenca del río Valdivia, su clima, geología, hidrogeología, y de sus usos de suelo.  En la p. 40 se describe la diversidad de especies en la cuenca de forma muy general.  Se indica que el SNCA sería una zona rica en diversidad vegetal con 80 especies; sin embargo, de las especies de flora sólo el 65% de ellas son nativas, por lo que existiría cierto grado de intervención humana. Además, hay más de 60 especies de avifauna. La fauna ictiológica no sería muy variada. Los insectos serían abundantes e importantes. La fauna de anfibios está compuesta por 8 especies de anuros. Finalmente se menciona que reside un par de especies de crustáceos como camarones y pancoras. En la p. 41 se concluye que el ecosistema es muy sensible a los impactos de las actividades	No se informan los criterios de selección de las estaciones de monitoreo. Se indica que todas las estaciones se muestran en la Fig. 4-10; sin embargo, ésta no se incluye en el informe (p. 60



Actividad	Resultado	Observación
	2004, por lo que se requiere evaluar acabadamente los potenciales impactos de las actividades productivas y determinar de manera acabada los efectos tóxicos y riesgos ecológicos.	
	Respecto del uso de suelo de la cuenca, destaca la presencia de bosques (57,4%) y matorrales y praderas (33,7%). Las plantaciones exóticas sólo cubren el 1,2% (p. 52).	
	En la p. 53 se indica que una amplia gama de actividades ejerce presión sobre el SNCA (ganadería, extracción de áridos, abastecimiento de agua, embarcaciones motorizadas y descarga de efluentes domésticos e industriales). Las descargas industriales que se localizan agua arriba del SNCA, en el área de influencia directa, son CELCO, Lácteos Valdivia, y Agrícola Cran Chile (p. 55).	
	De las 17 estaciones de monitoreo de calidad del agua aledañas al SNCA, se seleccionaron 10 de ellas para el análisis de la información de monitoreo.	
	La designación de las estaciones corresponde a las del estudio de la UACH (2008):	
	E1: Río Cruces, CELCO 1, antes bocatoma.	
	E2: Río Cruces, DGA, antes bocatoma.	
	E3: Río Cruces, DGA, en Rucaco.	
	E4: Río Cruces, CELCO 2, bajo descarga.	
	E5: Río Cruces, DGA, Cahuincura.	
	E6: Río Cruces, CELCO 3, Fuerte San Luis.	
	E11: Río Cruces, CONAMA, Punucapa.	
	E15: Río Cruces, CONAMA, Cau Cau.	
	E16: Río Valdivia, CONAMA, silos de Torobayo.	
	E17: Río Valdivia, DGA, Transbordador.	
<ol> <li>Estadística descriptiva y análisis de datos atípicos.</li> </ol>	Análisis de la información de calidad de agua de la red de monitoreo de la DGA (1987-2008), ARAUCO-EULA (1996-2009) y CONAMA-DIRECTEMAR (2006-2009) para 68 parámetros.	No se especifica si la estadística descriptiva es sobre los datos ajustados.
	En el Anexo 7.3 se encuentra la estadística descriptiva para cada parámetro y por estación de monitoreo. La Tabla 4-7 muestra para cada parámetro, los que cumplen por estación con el criterio de los 8 registros continuos (p. 64-65).	
	La Tabla 4.9 (p. 69) muestra los promedios para las 10 estaciones analizadas. No todos los parámetros son medidos en todas las estaciones.	
4. Análisis espacial.	Análisis de similaridad entre sitios de	No se discute porqué las estaciones ubicadas más



Resultado	Observación
muestreo versus uso de suelo y calidad de agua.  Análisis de calidad de aguas y sitios de muestreo.  La Fig. 4-12 muestra el análisis de componentes principales entre estaciones de muestreo, uso de suelo y calidad del agua. Los sitios de muestreo se separan en dos grupos que representan la secciones alta y baja de la cuenca. Los sitios de la sección baja son los afectos a la influencia marina. Las demás presentan régimen	próximamente, como E1 y E2, y E3 y E4, no presentan las mayores similaridades.
fluvial.  Al realizar el análisis sólo de calidad del agua y sitios de muestreo, nuevamente se observa la similaridad entre estaciones bajo influencia marina (E17, E11, E15, y E16), asociado a CE (conductancia específica), cloruro y sulfato. Las demás estaciones están asociadas a metales (Mn, Cd, Co, Al, Fe, Zn, Cu), turbidez, nitratos y DQO. Finalmente, al realizar el análisis de componentes principales (Fig. 4-16, p. 79) de los perfiles físico-químicos de las estaciones bajo régimen fluvial solamente, se detectan 4 grupos [E4 (Celco 2) y E6 (Celco 3), E2(DGA antes bocatoma) y E3 (DGA Rucaco), E5 (DGA, Cahuincura), y E1 (Celco 1)]. Sin embargo, estos grupos son muy parecidos entre ellos con similaridad de 80%.	
Desarrollo de orientaciones en el análisis estadístico de datos bajo el límite de detección.  En el Anexo 7.4 se presentan percentiles para cada parámetro y estación de monitoreo.  Se ejemplifica con el parámetro Cu, el efecto de considerar o no los datos bajo el límite de detección, o simular su comportamiento. Dependiendo de las técnicas estadísticas utilizadas (ProUCL y Crystal Ball), se concluye que los resultados pueden variar notoriamente (Tabla 4-12, p. 84).	La Tabla 4-12 es poco legible, por lo que no se pueden constatar las diferencias.  Tampoco se indica si los percentiles que se informan fueron obtenidos con datos ajustados o no.  En el expediente de la norma no se menciona la utilización de herramientas de simulación del comportamiento de datos bajo el límite de detección, ni para la fijación de valores de las NSCA ni para la evaluación del cumplimiento, por lo que los efectos mencionados no tendrían implicancias.
WQI para las estaciones E1-E6 en base a los parámetros pH, CE, OD, Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Al, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , y DQO.  Según los valores WQI, la calidad de las aguas es regular en toda la cuenca (Tabla 4-16, p. 87). Sin embargo, en la p. 87 se menciona que la forma de calcular las categorías de normalización y la importancia relativa de los parámetros debe ser consensuada.  Se menciona que el WQI permite integrar la	Los resultados obtenidos por WQI son discutibles, ya que la metodología de cálculo y valoración no ha sido consensuada.
	muestreo versus uso de suelo y calidad de agua.  Análisis de calidad de aguas y sitios de muestreo.  La Fig. 4-12 muestra el análisis de componentes principales entre estaciones de muestreo, uso de suelo y calidad del agua. Los sitios de muestreo se separan en dos grupos que representan la secciones alta y baja de la cuenca. Los sitios de la sección baja son los afectos a la influencia marina. Las demás presentan régimen fluvial.  Al realizar el análisis sólo de calidad del agua y sitios de muestreo, nuevamente se observa la similaridad entre estaciones bajo influencia marina (E17, E11, E15, y E16), asociado a CE (conductancia específica), cloruro y sulfato. Las demás estaciones están asociadas a metales (Mn, Cd, Co, Al, Fe, Zn, Cu), turbidez, nitratos y DQO. Finalmente, al realizar el análisis de componentes principales (Fig. 4-16, p. 79) de los perfiles físico-químicos de las estaciones bajo régimen fluvial solamente, se detectan 4 grupos [E4 (Celco 2) y E6 (Celco 3), E2(DGA antes bocatoma) y E3 (DGA Rucaco), E5 (DGA, Cahuincura), y E1 (Celco 1)]. Sin embargo, estos grupos son muy parecidos entre ellos con similaridad de 80%.  Desarrollo de orientaciones en el análisis estadístico de datos bajo el límite de detección.  En el Anexo 7.4 se presentan percentiles para cada parámetro y estación de monitoreo.  Se ejemplifica con el parámetro Cu, el efecto de considerar o no los datos bajo el límite de detección, o simular su comportamiento. Dependiendo de las técnicas estadísticas utilizadas (ProUCL y Crystal Ball), se concluye que los resultados pueden variar notoriamente (Tabla 4-12, p. 84).  WQI para las estaciones E1-E6 en base a los parámetros pH, CE, OD, Cl <sup>-</sup> , SO4 <sup>2-</sup> , Al, NO3 <sup>-</sup> , y DQO.  Según los valores WQI, la calidad de las aguas es regular en toda la cuenca (Tabla 4-16, p. 87). Sin embargo, en la p. 87 se menciona que la forma de calcular las categorías de normalización y la importancia relativa de los parámetros debe ser consensuada.



Ac	tividad	Resultado	Observación
		asignando una calidad única y comparable entre estaciones.	
7.	Propuesta de parámetros a normar.	Se presentan tablas de elementos no seleccionados (Tabla 4-17) y de elementos seleccionados para ser incluidos en las NSCA <sup>6</sup> (Tabla 4-18).  Un total de 29 elementos y/o compuestos cumplen con los requisitos basados en límites de detección y concentraciones naturales (Tabla 4-18, p. 89).  La Tabla 4-17 (p. 88) muestra 43 parámetros excluidos en base a criterios de límites de exclusión, concentraciones naturales y baja variabilidad. Las explicaciones dadas son límite de detección/concentraciones bajas, o información insuficiente.  Respecto de los 29 parámetros seleccionados, se menciona que cumplen con los requisitos para análisis y selección para las NSCA basadas en límites de detección y concentraciones naturales.	Es interesante notar que en la Tabla 4-18 se nombran los criterios NSCA, WQI y uso de suelo. Los parámetros sulfato, DQO y cloruro, se explican por NSCA y uso de suelo. AOX por uso de suelo.  Los criterios de descarte y selección no están definidos de forma cuantitativa, sino cualitativa, por lo que su aplicación es bastante discrecional. Tampoco hay consistencia en el uso de los criterios. Se introduce el WQI como criterio. Llama la atención que se justifiquen parámetros con el WQI que aparentemente no fueran incluidos en su cálculo como temperatura, turbiedad, DBOs, y coliformes fecales. Adicionalmente, la aplicación de WQI es discutible, porque esta metodología no ha sido consensuada.
8.	Caracterización de la estructura comunitaria presente en la columna de agua y bentos del santuario.	Listado relativo a las especies presentes en la columna de agua y bentos del SNCA, organizado de acuerdo a las diferentes comunidades biológicas existentes: plancton, invertebrados bentónicos, peces y macrófitas acuáticas.  El Anexo 7.2 muestra la sistematización de la información en catálogos específicos para cada componente biológico analizado.	Se dice que la información recopilada ha permitido caracterizar la estructura comunitaria que presenta el humedal y determinar especies de relevancia ecológica del ecosistema (p. 91); sin embargo, esto no se puede inferir a partir de un listado relativo a las especies presentes en la columna y bentos del SNCA. Los mismos autores reconocen en otros pasajes que la información para caracterizar la estructura es insuficiente (p. 94).
9.	Identificación de especies locales de relevancia ecológica en el SNCA.	Del total de 282 especies disponibles para el santuario (Anexo 7.2), un panel de expertos seleccionó 33 especies (3 de fitoplancton, 3 de zooplancton, 3 de macroinvertebrados, 7 de peces y 18 de macrófitos).  Se realiza una revisión del concepto de especies relevantes, y se concluye con el criterio que representaría el consenso actual. Estas especies serían aquellas altamente conectadas o generalistas, ya que las redes ecológicas son muy sensibles a su extinción (p. 94).  Se menciona que la selección de estas especies altamente conectadas conlleva conocer y entender todas las características tróficas de las especies, es decir, todas las interacciones de alimentos de las especies en su contexto de la red ecológica y a su vez como éstas se conectan con otras	No se informan las valoraciones dadas por los expertos a cada criterio, que resultaron en la selección de las especies ecológicamente relevantes.  El nombre de esta actividad es contradictorio con el resultado logrado, lo que se puede prestar a un mal uso de este estudio.

 $<sup>^{\</sup>rm 6}$  NSCA significa normas secundarias de calidad ambiental.



Actividad	Resultado	Observación
	especies. Se menciona que particularmente en el SNCA sólo se tiene información de la composición biológica de forma cualitativa. Se menciona además que las relaciones de alimento y las fuerzas de interacciones entra las especies son desconocidas, por lo tanto, es difícil reconocer bajo este marco teórico las especies claves o relevantes del SNCA, por lo que se plantea la necesidad de abrir líneas de investigación tendientes a establecer la estructura trófica del sistema (p. 94).	
Reconocimiento preliminar de bases de datos ecotoxicológicas por especies de relevancia ecológica.	Base de datos digital denominada "Base de Datos Ecotoxicológica Santuario de la Naturaleza Río Cruces".  Se presentan gráficamente perfiles de medias de LC50 (mg/L) para varias taxa dulceacuícolas, para los metales As (2 taxa), Cu (13 taxa), Fe (6 taxa), Mn (6 taxa) y Zn (10 taxa) (Figs. 4-18 a 4-24).  Se enfatiza que los valores LC50 fueron seleccionados para organismos de distintos niveles tróficos existentes en la cuenca o géneros afines. Además, el valor LC50 es el que normalmente se encontró más disponible en la literatura.  Los gráficos muestran gran variabilidad en los valores LC50. Para el Cu, los LC50 son en general menores que 0,6 mg/L (la mayoría menores que 0,1 mg/L); sin embargo, hay insectos con LC50 cercanos a 10 mg/L (orden Trichoptera). En el caso del Fe, Mn y Zn, la mayoría de las taxa presentan LC50 menores que 1 mg/L.	Se menciona que se seleccionaron valores LC50 para organismos de distintos niveles tróficos existentes en la cuenca o géneros afines, y no se informan los criterios de selección. Por ejemplo, no se explica si se utilizó toda la información disponible o se seleccionaron organismos más sensibles.  No se especifica a qué nivel trófico corresponde cada organismo, por lo que no queda claro cuán representado está cada nivel.
11. Caracterización del riesgo ecológico.	Caracterización determinística del riesgo ecológico, y estimación probabilística mediante simulación de Montecarlo.  EL riesgo ecológico se estima en base al cociente de riesgo (RQ), el que se calcula como la razón PEC/PNEC. PEC es la concentración ambiental esperada, y PNEC es la concentración de efecto no observado (PNUMA, 1999; CE, 1996) <sup>7</sup> .  Se asume que la sensibilidad del ecosistema depende de la especie más sensible (p. 105). La incertidumbre asociada a extrapolación del efecto sobre el ecosistema aumenta a partir de datos de corto plazo de la ecotoxicidad (LC50) o cuando se utilizan pocas especies, por lo que es necesario utilizar factores de evaluación o seguridad (FS), los cuales	No se justifica la elección del factor de 2 que utiliza la EPA para los valores de protección de la Norma de Protección de Vida Acuática.  La dispersión de valores RQ determinísticos es alta, y los valores mayores de los metales son para Al, Fe, y Mn, los metales naturalmente presentes en la cuenca. Esto se debe probablemente a que los valores LC50 son estimados utilizando concentraciones de metales disueltos, y los valores PEC en base a concentraciones de metales totales. Estos cálculos debieron realizarse también para otras estaciones de monitoreo de la cuenca, no solamente aquellas que están aguas abajo de la descarga de PV. Esto es un sesgo importante.  Este análisis no presenta ninguna discusión de los resultados obtenidos. Por ejemplo, debería mencionarse que una mejor forma de evaluar los

 $<sup>^{7}</sup>$  Estas citas, como muchas otras no se incluyen en la lista de referencias.



Actividad	Resultado	Observación
Actividad	varían entre 10 y 1.000 (PNUMA, 1999; IPCS, 1999).  Caracterización determinística: se efectuó para las estaciones E3 (Rucaco) y E6 (Celco 3). El valor PNEC se determinó como el percentil 66 para Al, NH4, As, Cu, Fe, Mn y Zn (Tabla 4-20, p. 106). Las concentraciones PNEC se estimaron como los valores HC5 y HC10, que corresponden a los percentiles 5 y 10 de los valores LC50, considerando un FS de 2 (Tabla 4-21; p. 106). Es decir, son los valores LC50 que protegen al 90 y 95% de las especies consideradas en el análisis.  El RQ determinístico (Tabla 4-22; p. 107) indica que existe riesgo potencial (RQ>1) para todos los parámetros analizados, excepto As.  Caracterización probabilística: se ajustaron distribuciones probabilísticas a los datos de monitoreo utilizando el software Crystal Ball.  En la Tabla 4-23 (p. 107) se presentan las distribuciones seleccionadas para representar la exposición probabilística de Al, armonio, As, Cu, Fe, Mn y Zn.  Luego se obtuvieron las distribuciones para representar la sensibilidad (LC50) a la exposición de los mismos parámetros.  La Tabla 4-25 (p. 108) presenta una estimación del riesgo ecológico como la probabilidad que la PEC sea mayor que la PNEC con un factor de seguridad de 10.  Posteriormente, se determinan valores de NSCA considerando un FS de 10 y el percentil 66 de las concentraciones en E3 y E6, a partir del cociente de riesgo.	riesgos ecológicos es mediante la realización de estudios de mesocosmos, donde se expone a una comunidad representativa a concentraciones ambientales de contaminantes. Alternativamente, también se puede evaluar la presencia de organismos indicadores (macroinvertebrados bentónicos) para distintas estaciones de monitoreo.  Es fundamental validar esta metodología a la luz de otras metodologías que introducen menos incertidumbre.  En el caso de la determinación del riesgo probabilístico, no se indican los valores de ajuste de las distribuciones de probabilidades mediante Crystal Ball. No se informa la bondad del ajuste, ni si los datos fueron o no ajustados (valores extremos, valores sin detección). Llama la atención que, para un mismo parámetro, particularmente para Al, As, y Cu, las distribuciones sean diferentes para las diferentes estaciones. Tampoco se explicita por qué no se informa para E3 (Rucaco) la distribución de Fe.  No se informan los valores LC50 utilizados, para obtener las distribuciones para representar la sensibilidad (LC50) a la exposición de los parámetros de calidad, de manera que no puede verificarse si la selección de valores fue discrecional (valores más exigentes, por ejemplo). Respecto de la ERE, el Fe y el NHa presentan las mayores probabilidades de excedencia. No se discute por qué las diferencias entre estaciones para un mismo parámetro (Al, por ejemplo, 52% vs 2%). Es decir, no se explica por qué podría ocurrir esta variabilidad, ni como podría incidir en los valores de las NSCA. En el caso del Al, y en el de otros metales naturales como el Fe y Mn, esto podría deberse a la variabilidad natural de estos metales a lo largo del río Cruces. Es necesario estudiar esta variabilidad y determinar si existe correlación con las estructuras ecológicas, antes de concluir que valores elevados de estos metales significan un riesgo ecológico.  Se presentan resultados para Fe en E6 (Celco 3), cuando en la Tabla 4-23 no se presentó una distribución de los datos de monitoreo para esa estación, lo cual