



DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

ANÁLISIS GENERAL DEL IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DEL PROYECTO DEFINITIVO DE LAS NORMAS SECUNDARIAS DE CALIDAD AMBIENTAL PARA LA PROTECCIÓN DE LAS AGUAS CONTINENTALES SUPERFICIALES DE LA CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA

Agosto 2021

Presentación

El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) es el encargado de coordinar el diseño y establecimiento de normas de calidad y de emisión, así como planes de prevención y/o descontaminación ambiental. De acuerdo a lo establecido en la Ley N° 19.300 y en el reglamento para la dictación de Normas de calidad (D.S. N° 38/2012 del MMA), se requiere de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) de la propuesta regulatoria, de tal forma que sirva como antecedente de apoyo para la Participación Ciudadana (PAC) y a la toma de decisiones enfocada principalmente en el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad (CMS). Esta tarea recae en el Departamento de Economía Ambiental (DEA) del Ministerio del Medio Ambiente.

El proceso de elaboración de una Norma Secundaria de Calidad Ambiental (NSCA), desde el desarrollo del Anteproyecto hasta su aprobación, contempla la elaboración de dos documentos:

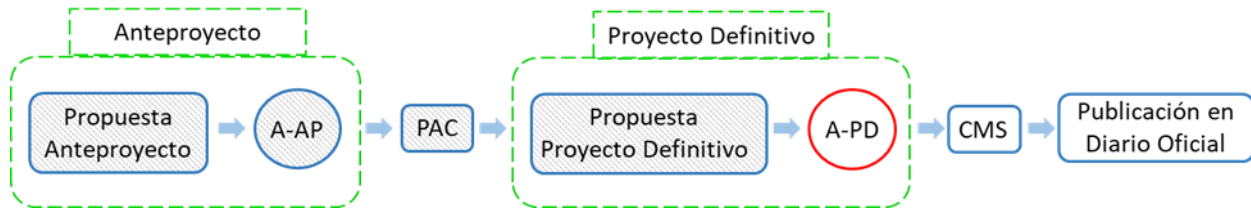
- AGIES del Anteproyecto (A-AP), para apoyar el proceso de participación ciudadana.
- Actualización de costos y beneficios para el Proyecto Definitivo (A-PD), que corresponde a una actualización de los valores del AGIES del Anteproyecto, según los cambios establecidos después del proceso de participación ciudadana, de tal forma de apoyar al CMS en la toma de decisión.

Es importante señalar que estos documentos son un apoyo a la toma de decisión de la autoridad y sirven para nutrir los procesos de Participación Ciudadana, el Consejo Consultivo y el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad, por lo cual no debe ser considerado como el único o definitivo instrumento de evaluación. Tanto el AGIES del Anteproyecto, como la actualización de costos y beneficios para el Proyecto Definitivo, corresponden solamente a uno de los múltiples antecedentes para la toma de decisión. Otros antecedentes pueden ser, por ejemplo, antecedentes geográficos y demográficos, datos históricos, situación política y la percepción pública respecto a la contaminación.

El presente documento corresponde a la Actualización de Costos y Beneficios para el Proyecto Definitivo A-PD (en rojo, Figura 1) de las NSCA para la protección de aguas continentales de la cuenca del río Aconcagua. En este documento se actualiza la estimación de los beneficios cuantificables y los costos identificados según la información disponible por el MMA a la fecha de

evaluación.

Figura 1. Representación abreviada del proceso normativo y etapa actual del AGIES.



Fuente: Elaboración propia.

Nota: A-AP=AGIES Anteproyecto, PAC=Participación Ciudadana, A-PD=Actualización AGIES Proyecto Definitivo, CMS=Consejo de Ministros para la Sustentabilidad.

Específicamente, se evalúan los costos asociados al cumplimiento de las normas derivados de la necesidad de monitoreo y fiscalización, los costos de un eventual Plan de Descontaminación en la cuenca considerando los valores actuales de concentración y los beneficios valorizables por la protección de especies y ecosistemas.

Resumen

El Anteproyecto de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA) de la cuenca del río Aconcagua, en conjunto con el Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES), fue publicado y sometido a consulta pública el año 2017. Entre los años 2018 – 2020, a partir de observaciones surgidas en el proceso de participación ciudadana y actualización de antecedentes disponibles para la evaluación, se elaboró el Proyecto Definitivo.

El presente documento presenta la actualización de costos y beneficios para el Proyecto Definitivo de la NSCA del río Aconcagua. Respecto del Anteproyecto, el Proyecto Definitivo contiene modificaciones que involucran cambios en el AGIES. A continuación, se resumen los cambios que inciden en la evaluación.

- Se evalúan límites máximos y mínimos permisibles para 28 parámetros¹ en 16 áreas de vigilancia.
- Se actualiza la línea base de calidad del río Aconcagua al año 2018, considerando datos de calidad natural (ver Anexo 5.3). Dicha información se encuentra en el Informe Técnico proporcionado por el Departamento de Ecosistemas Acuáticos (MMA, 2020a).
- Se actualiza al año 2018 la línea base de emisiones para fuentes puntuales que reportan al D.S. N° 90/2000 (ver Anexo 5.5).
- Se actualiza al año 2019 el catastro de Agua Potable Rural (APR) y al año 2017 el de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) rurales (ver Sección 2.2.1).
- Se modifica la metodología de estimación de cargas difusas de contaminantes, utilizando factores de exportación para nutrientes² y datos reportados y observados, para minería e industria (ver Sección 2.2.2).
- Se modifica la metodología de estimación de la relación entre emisiones y calidad del agua, además de la metodología para estimación de costos de abatimiento, considerando optimización de costos (ver Secciones 2.3 y 2.4.1).

Del análisis de costos y beneficios del Proyecto Definitivo se desprende lo siguiente:

- Las mayores cargas descargadas en la cuenca (kilogramo/año) corresponden a los siguientes parámetros normados: *sulfato*, *cloruro*, *DBO₅*, *nitrógeno total Kjeldahl* y *sólidos suspendidos totales*.
- Los límites máximos permisibles de concentración establecidos para 28 parámetros en 16 áreas de vigilancia generarían, en el contexto de un eventual plan de descontaminación en la cuenca, 25 superaciones (6,8%) y 341 cumplimientos (93,2%) respecto a la calidad actual. Las superaciones ocurrirían en 11 áreas de vigilancia, donde la mayor cantidad se observa en 4 de ellas: AC-1, AC-2, BL-1 y LO-1. Los parámetros que presentarían una mayor cantidad de superaciones corresponden a *conductividad eléctrica* (7), *nitrato* (3), *cloruro* (5), y *DBO₅* (3).
- Los costos de implementación (monitoreo y fiscalización) de la norma se estimaron en US\$

¹ Considera el rango del parámetro *pH* como dos estándares normativos independientes (el valor superior y el valor mínimo, *pH máximo* y *pH mínimo*, respectivamente). Además, en el Proyecto Definitivo se agrega el nuevo parámetro *Hierro Disuelto*.

² Factor de exportación se define como la estimación del aporte de un cierto contaminante por parte de un área específica en dirección a un cuerpo de agua (CENMA, 2019).

- 0,025 millones anuales.
- Los costos valorizados por la eventual implementación de un Plan de Descontaminación en la cuenca, asociados a revertir 12 superaciones de las normas se estiman en US\$1,20 millones anuales.
 - La implementación de los límites regulatorios y su cumplimiento generará un impacto positivo en la calidad del agua y por ende en los procesos y estructuras de los ecosistemas, lo cual aporta en la mantención y mejora de la provisión de los servicios ecosistémicos (SSEE) identificados en la cuenca. El beneficio económico estimado considera la Disposición a Pago (DAP)³ por mejoras en calidad del agua, utilizando valores provenientes de estudios nacionales e internacionales.
 - El beneficio valorizado de la NSCA se estima en US\$16,66 millones anuales.
 - Considerando la armonización y complementariedad que existe entre la NSCA y un eventual Plan de Descontaminación derivado de ésta, se obtienen costos y beneficios de US\$1,23 y US\$16,66 millones anuales, respectivamente.

Del análisis se concluye que la NSCA de la cuenca del río Aconcagua es consistente con los compromisos del Ministerio del Medio Ambiente, velando por la protección de los ecosistemas acuáticos y sus servicios ecosistémicos mediante las mejoras en la calidad del agua. En base a los beneficios y costos valorados monetariamente, se concluye además que la NSCA es socialmente rentable.

³ La disposición a pagar corresponde a la máxima cantidad de dinero que un individuo pagaría por obtener un bien o servicio (Saz Salazar & García Menéndez, 2002).

Contenidos

1. ANTECEDENTES.....	6
1.1 ASPECTOS DE DISEÑO DE LA NSCA.....	6
1.2 ASPECTOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	6
2. METODOLOGÍA.....	9
2.1 LÍNEA BASE DE CONCENTRACIONES.....	9
2.2 LÍNEA BASE DE EMISIONES.....	10
2.2.1 <i>Emisiones de fuentes puntuales</i>	10
2.2.2 <i>Emisiones de fuentes difusas</i>	12
2.3 EVALUACIÓN DE CUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES REGULATORIOS.....	13
2.3.1 <i>Concentración modelada del río</i>	14
2.3.2 <i>Análisis de factibilidad</i>	17
2.4 COSTOS.....	18
2.4.1 <i>Costos de abatimiento</i>	18
2.4.2 <i>Costos de monitoreo y fiscalización</i>	20
2.5 BENEFICIOS.....	21
2.5.1 <i>Contexto</i>	21
2.5.2 <i>Identificación de SSEE presentes en la cuenca del río Aconcagua</i>	23
2.5.3 <i>Valoración de beneficios asociados a mejora en calidad del agua</i>	23
3. RESULTADOS.....	25
3.1 EVALUACIÓN DE CUMPLIMIENTO.....	25
3.2 REDUCCIÓN DE EMISIONES.....	27
3.3 COSTOS.....	28
3.3.1 <i>Costos de Monitoreo y Fiscalización</i>	28
3.3.2 <i>Costos de abatimiento</i>	29
3.4 BENEFICIOS.....	31
3.4.1 <i>Identificación de SSEE presentes en la cuenca del río Aconcagua</i>	31
3.4.2 <i>Valoración de beneficios asociados a mejora en calidad del agua</i>	31
3.5 COMENTARIOS FINALES.....	33
4. FICHA DEL AGIES.....	34
5. ANEXOS.....	35
5.1 ASPECTOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	35
5.2 LÍMITES DE CONCENTRACIÓN PERMITIDA DEL PROYECTO DEFINITIVO DE NSCA DE ACONCAGUA.....	36
5.3 LÍNEA BASE DE CALIDAD DE AGUA (“SITUACIÓN ACTUAL”).....	38
5.4 NIVEL DE CALIDAD NATURAL DEL AGUA.....	40
5.5 LÍNEA BASE DE EMISIONES.....	42
5.6 BENEFICIOS.....	47
5.6.1 <i>Cuantificación de beneficiarios de la cuenca del río Aconcagua</i>	47
5.7 MEDIDAS DE ABATIMIENTO.....	47
5.7.1 <i>Eficiencias abatimiento tecnologías para fuentes emisoras puntuales</i>	50
5.7.2 <i>Curvas de costos de abatimiento</i>	55
5.8 COBERTURA VEGETACIÓN RIPARIANA.....	59
5.9 SUPUESTOS PARA ESTIMACIÓN DE COSTOS DE MONITOREO Y FISCALIZACIÓN.....	60
5.10 PARÁMETROS DE ANÁLISIS Y USO DE SOFTWARES.....	62
6. BIBLIOGRAFÍA.....	63

1. Antecedentes

La actualización de costos y beneficios del Proyecto Definitivo de la NSCA de la cuenta del río Aconcagua presenta diferencias respecto al AGIES del Anteproyecto⁴ publicado el año 2017. El Proyecto Definitivo tiene modificaciones que impactan en el análisis, las cuales se detallan en este capítulo.

1.1 Aspectos de diseño de la NSCA

Las modificaciones del Proyecto Definitivo que inciden en la evaluación se detallan en la Tabla 1 a continuación.

Tabla 1. Cambios en el diseño regulatorio relevantes para la evaluación.

Aspecto	Anteproyecto	Proyecto Definitivo
Parámetros regulados	Se regulan 27 parámetros (Art. 5).	Se regulan 28 parámetros (Art. 5), agregándose Hierro Disuelto.
Límites normativos	Definió 375 límites regulatorios ⁵ , basados en criterios ecológicos, estadísticos y referencias de calidad de cuerpos de agua propios de la cuenca (datos 1980-2014). Los límites se detallan en el AGIES de Anteproyecto, Anexo 5.2.	Define 366 límites regulatorios por actualización de información (datos 1980-2018) y nuevos criterios técnicos en la fijación de valores de clases de calidad. Estos se basan en criterios ecológicos, estadísticos, hidrológicos y referencias de calidad de cuerpos de agua propios de la cuenca. Los límites se detallan en el Anexo 5.2.
Frecuencia de monitoreo	Contempla cuatro monitoreos de calidad de agua anuales (Art. 9) con representatividad estacional para cada parámetro a controlar. También considera dos ensayos ecotoxicológicos y dos monitoreos de bioindicadores, año por medio.	Contempla cuatro monitoreos de calidad de agua anuales (Art. 9) con representatividad estacional para cada parámetro a controlar. Además, incluye dos ensayos ecotoxicológicos y dos muestreos de bioindicadores por año.

Fuente: Elaboración propia en base a MMA(2017; 2020b).

1.2 Aspectos de la evaluación económica

Además de los cambios asociados al diseño regulatorio se realizaron modificaciones a la evaluación económica, detalladas en la Tabla 2. Dichas modificaciones se originan por cambios tanto de información base utilizada para el diseño regulatorio como de precisiones en los supuestos y metodología empleados (más detalle en Anexo 5.1, Tabla 17).

⁴ Disponible en

https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2017/proyectos/2cb_AGIES_AP_NSCA_Aconcagua_2017.pdf

⁵ Un límite regulatorio corresponde a la regulación de un contaminante en un área de vigilancia. Esto quiere decir que un mismo contaminante tendrá diferentes estándares para distintas áreas de vigilancia.

Tabla 2. Cambios entre AGIES del Anteproyecto y actualización de costos y beneficios del Proyecto Definitivo.

Aspecto	Anteproyecto	Proyecto Definitivo
Línea base de emisiones	<ul style="list-style-type: none"> • Año 2015 para emisiones de fuentes puntuales, incluyendo PTAS urbanas que reportan al D.S. N° 90/2000. Se utilizan valores probabilísticos para determinar las cargas⁶. • Año 2012 para PTAS rurales. Se caracterizan emisiones con Tabla Emisor D.S. N°90/2000 para todos los parámetros, utilizando valores probabilísticos para determinar cargas. • Se estiman emisiones de fuentes difusas utilizando balance de masa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Año 2018 de emisiones de fuentes puntuales, incluyendo PTAS urbanas que reportan al D.S. N° 90/2000. Se utiliza el promedio mensual de las muestras. • Año 2017 para PTAS rurales. Se caracterizan emisiones con Tabla de caracterización de Establecimiento Emisor D.S. N°90/2000 para SST, AyG, DBO₅, N, P y coliformes fecales⁷. Se utilizan valores determinísticos para estimar cargas. • Se incluyeron emisiones estimadas de Aguas Residuales Sin Saneamiento Sanitario (ARSSS) provenientes de población atendida por Sistemas de Agua Potable Rural (APR) identificados hasta el año 2019. Se utilizan los mismos supuestos que para PTAS rurales para caracterizar emisiones relacionadas a esta población y estimar cargas. • Se utilizan factores de exportación para estimar emisiones de fuentes difusas de usos de suelo agrícolas. Se utilizan Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) y datos de la Red Hidrométrica Nacional de la DGA, cuando corresponda.
Simulación de la concentración en el río	Se aplica Factor Emisión concentración (FEC) sin dilución para relacionar las emisiones de las fuentes emisoras con las concentraciones medidas en el río en una localización determinada.	Se aplica Factor emisión concentración (FEC) ⁸ considerando factor de dilución.

⁶ Ver sección 5.1.2 de MMA (2017a)http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2017/proyectos/2cb_AGIES_AP_NSCA_Aconcagua_2017.pdf⁷ SST: Sólidos sedimentables, AyG: Aceite y grasas, DBO₅: Demanda bioquímica de oxígeno, N: nitrito+ nitrato (lagos), P: fósforo y Coliformes fecales: Coliformes fecales o termotolerantes.⁸ En FEC considera las distancias entre las fuentes emisoras y las estaciones de monitoreo en el área de vigilancia siguiente para incorporar los efectos de dilución de las emisiones a lo largo del río. Para más detalle, ver sección 2.3.1.

Aspecto	Anteproyecto	Proyecto Definitivo
Costos	<ul style="list-style-type: none"> • Curvas de costo de abatimiento y eficiencia de remoción de tecnologías en base a Fundación Chile (2010), AMPHOS 21 (2014), ECOTEC Ingeniería (2017). Se estima el costo medio por kilogramo de contaminante abatido. • Se evalúa costo adicional de monitorear nuevos parámetros⁹. • Frecuencia de monitoreo: se evalúa el costo de hacer una campaña en terreno de monitoreo adicional a la que realiza la DGA. 	<ul style="list-style-type: none"> • Curvas de costo de abatimiento y eficiencia de remoción de tecnologías en base a Fundación Chile (2010), AMPHOS 21 (2014), ECOTEC Ingeniería (2017). Se considera la minimización de costos para el cumplimiento de las normas. • Se actualizan los valores de análisis de laboratorio para monitorear nuevos parámetros⁹. Ver detalle en sección de metodología (2.4.2). • Frecuencia de monitoreo: se evalúa el costo de fiscalización de hacer dos campañas en terreno adicionales y se adecúa la estimación de costos de fiscalización (horas persona).
Beneficios	<p>Aproximaciones metodológicas cualitativas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificación de los servicios ecosistémicos (SSEE) presentes en la cuenca relacionados con la NSCA en base a estudio Cienciambiental (2014). <p>Aproximaciones metodológicas cuantitativas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valoración económica del bienestar por la protección de SSEE a través de estudios nacionales. • Valoración a través de la Disposición a Pagar (DAP) por mejoras en calidad del agua, en base a estudio de Huenchuleo <i>et al</i> (2016), debido a implementación de instrumentos de gestión ambiental. • Valoración de costos ambientales evitados considerando evaluación de Hernández-Sancho <i>et al</i> (2010) 	<p>Aproximaciones metodológicas cualitativas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificación y revisión de los SSEE presentes en la cuenca relacionados con la NSCA en base a estudio Cienciambiental (2018). <p>Aproximaciones metodológicas cuantitativas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valoración a través de la Disposición a Pagar por mejoras en calidad del agua utilizando referencias internacionales (Johnston <i>et al</i>, 2005 y 2017 y Van Houtven <i>et al</i>.2007) y una nacional (Huenchuleo & De Kartzow (2018)).

Fuente: MMA (2017), Información proporcionada por el Departamento de Ecosistemas Acuáticos y elaboración propia.

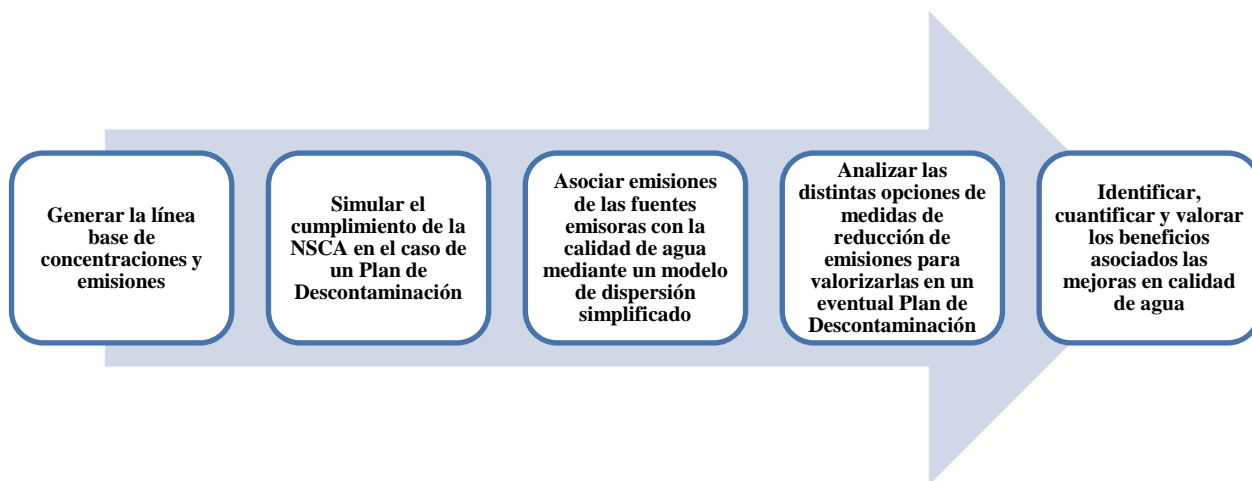
⁹ Corresponde a contaminantes que la Dirección General de Aguas (DGA) no realiza. Se considera un valor promedio referencial de los costos de análisis de laboratorio.

2. Metodología

Con la finalidad de obtener una estimación del impacto general de la NSCA en la cuenca del río Aconcagua, se aplica una metodología que permite estimar los beneficios y costos que generaría su implementación para los distintos actores involucrados (sociedad, privados y Estado), producto de la mejora en calidad del agua. Esto se realiza sin perjuicio que luego estos costos y beneficios sean reevaluados en un eventual Plan de Descontaminación, que considere la evaluación de medidas específicas a implementarse en dicho instrumento, además de información actualizada.

La metodología general empleada en la elaboración del AGIES consiste en (i) generar la línea base de concentraciones y emisiones, (ii) simular el cumplimiento de la NSCA en el caso de un eventual Plan de Descontaminación, (iii) asociar emisiones de las fuentes emisoras con la calidad de agua mediante un modelo de dispersión simplificado, (iv) analizar las distintas opciones de medidas de reducción de emisiones para valorizarlas en costos del cumplimiento de un potencial Plan de Descontaminación (v) identificar, cuantificar y valorar los beneficios asociados a las mejoras en calidad del agua. Las principales etapas para el desarrollo de dicha metodología se representan esquemáticamente en la Figura 2.

Figura 2. Diagrama general de la metodología de AGIES.



Fuente: Elaboración propia.

2.1 Línea base de concentraciones

La línea base de la calidad del agua (calidad actual), así como la calidad natural para la cuenca es proporcionada por el Informe Técnico del Departamento de Ecosistemas Acuáticos (MMA, 2020a). La dimensión temporal de los datos de las estaciones de monitoreo para la calidad actual considera el período 2008-2018, mientras que para la calidad natural se considera el período 1980-2018.

La calidad actual (Tabla 19 del Anexo 5.3) se calcula utilizando el percentil 85 de los datos para cada parámetro regulado en cada área de vigilancia. Esto a excepción de: *pH*, para cual se consideran los percentiles 15 y 85 (valores mínimo y máximo, respectivamente), *Oxígeno Disuelto*, donde se considera el percentil 15 de los datos y *fósforo de fosfato*, *fósforo total*, *nitrógeno de nitrato* y

nitrógeno total, para los cuales se utiliza el promedio. Por otro lado, la calidad natural (Tabla 20 del Anexo 5.4) se calcula con el percentil 5 de los datos, exceptuando el *pH* y *Oxígeno Disuelto*, donde se utilizaron los percentiles 50 y 95, respectivamente.

2.2 Línea base de emisiones

2.2.1 Emisiones de fuentes puntuales

Las fuentes emisoras puntuales en la cuenca del río Aconcagua son diferenciadas en dos grupos. El primero corresponde a 32 empresas tipificadas como fuente emisora según el D.S. N° 90/2000 (MINSEGPRES, 2000), que reportan autocontroles a la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) y Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).

El segundo grupo corresponde a los Servicios Sanitarios Rurales (SSR), que están compuestos a su vez por Plantas de Tratamiento de Agua Servida (PTAS) rurales y la estimación de emisiones de Aguas Residuales Sin Saneamiento Sanitario (ARSSS) provenientes de los sistemas de Agua Potable Rural (APR). En conjunto, los SSR constituyen 39 fuentes emisoras. Las PTAS rurales se identificaron en base a ECOTEC (2017), Seremi de Salud (2017) y SUBDERE (2017), mientras que las APR se identificaron por medio de cartografía temática de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH, MOP, 2019). De éstas últimas, solo se consideraron los APR que estuviesen localizados en un radio de 200 metros en torno a los cursos de agua de la cuenca del río Aconcagua, asumiendo que pueden impactar la calidad del agua. La información de los cursos de agua se obtuvo en base a la cartografía del Inventario Nacional de Humedales de Chile del MMA (2020)¹⁰.

La Tabla 3 detalla información del número de fuentes emisoras, los rubros en los cuales se agruparon dichas fuentes para efectos del AGIES y la fuente de información utilizada para caracterizar las emisiones por tipo de fuente, según rubro.

Tabla 3. Rubros, cantidad de fuentes emisoras puntuales por rubro y fuente de información de emisión.

Rubro	Rubro específico	N° Fuentes Emisoras	Fuente de Información
Agricultura	Cultivo de frutales en árboles o arbustos con ciclo de vida mayor a una temporada	1	D.S. N°90/2000
Alimentos	Packing-exportación agrícola	4	D.S. N°90/2000
	Producción y exportación de frutos secos o deshidratados	1	D.S. N°90/2000
	Elaboración y conservación de frutas, legumbres y hortalizas	2	D.S. N°90/2000
	Producción, procesamiento y conservación de carnes de ave y otras carnes distintas a las rojas	1	D.S. N°90/2000
Industrial	Generación de electricidad	5	D.S. N°90/2000

¹⁰ Véase en: <https://gis.mma.gob.cl/portal/apps/webappviewer/index.html?id=19ff876d63ed4a53aef1a57e39370474>

Rubro	Rubro específico	N° Fuentes Emisoras	Fuente de Información
	Fabricación de gas, distribución de combustibles gaseosos por tuberías	2	D.S. N°90/2000
	Refinería	1	D.S. N°90/2000
	Cultivo de especies acuáticas en cuerpo de agua dulce- reproducción y crianza de peces marinos	1	D.S. N°90/2000
Minería	Extracción de cobre	4	D.S. N°90/2000
Sanitarias urbanas	Plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS) urbanas	10	D.S. N°90/2000
	Subtotal fuentes DS90/2000	32	
Servicios Sanitarios Rurales (SSR)	Plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS) rurales	18	Aguas servidas domiciliarias (caracterizadas según D.S. 90/2000) (*)
	Aguas Residuales Sin Saneamiento Sanitario (ARSSS)	21	Aguas servidas (caracterizadas según D.S. 90/2000) (*)
	Subtotal SSR	39	
	Total	71	

Fuente: Elaboración propia. Nota: (*) Se considera que las ARSSS y PTAS rurales no poseen tratamiento de aguas servidas domésticas, por tanto, se considera y homologan a un RIL sin tratamiento caracterizado en el D.S. N°90/2000.

Las cargas de las fuentes puntuales que reportan por D.S. N°90/2000 se estimaron utilizando la Ecuación 1. Sus emisiones fueron caracterizadas para el año 2018, exceptuando fuentes para las cuales se contaba con datos del 2019, utilizando el promedio anual de las muestras para cada parámetro.

$$W_{FE_{i,j}} = \frac{C_{Desc_{i,j}} \cdot Q_j \cdot NA_j}{FCU} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde,

- $W_{FE_{i,j}}$: Emisión del parámetro i en la fuente emisora j (ton/año).
 $C_{Desc_{i,j}}$: Concentración promedio anual de la descarga del parámetro i en la fuente j (mg/L, coliformes fecales NMP/100ml o $\mu\text{g/L}$ para clorofila a).
 Q_j : Caudal de descarga de la fuente j ($\text{m}^3/\text{día}$).
 NA_j : Nivel de actividad de la fuente j según rubro al que pertenece (días/año).
 FCU : Factor de conversión de unidades (10^6 para mg/L y 10^9 para $\mu\text{g/L}$).

Los caudales de las fuentes puntuales que reportan por D.S. N°90/2000 fueron obtenidos de la fuente de información especificada en Tabla 3. Se realizó un análisis de datos para identificar y excluir

datos extremos¹¹, empleando el método de Tukey (Dawson, 2011). Luego de esto, se estimó el promedio anual de las muestras de caudal. Los caudales de aquellas fuentes cuyo nivel de actividad no es constante durante un año de calendario o funcionan menos de 24 horas al día, fueron caracterizados en base a auto reportes de la fuente o caudal supuesto para su rubro.

Las cargas para los SSR fueron establecidas en base a la definición de carga contaminante media diaria (equivalente a 100 hab/día) de la tabla de “Establecimiento emisor” del D.S. N°90/2000. Solo se seleccionaron los contaminantes característicos de aguas servidas: *sólidos suspendidos totales*, *aceites y grasas*, *DBO₅*, *nitrógeno total Kjeldahl*, *fósforo* y *coliformes fecales*. Esto último, según juicio experto y revisión bibliográfica realizada por el Departamento de Ecosistemas Acuáticos. Estos valores son presentados en la Tabla 4.

Tabla 4. Tabla de carga contaminante media diaria (equiv.100Hab/día) ARSSS y PTAS rurales.

Parámetros	Valor característico	Unidad	Carga media 100hab/día	Unidad carga
Sólidos Suspendidos Totales	220	mg/L	3520	g/d
Aceites y Grasas	60	mg/L	960	g/d
DBO₅	250	mg O ₂ /L	4000	g/d
Fósforo Total	10	mg/L	160	g/d
Nitrógeno total Kjeldahl	50	mg/L	800	g/d
Coliformes Fecales o termotolerantes	10.000.000	NMP/100ml	1,6E+12	Coli/d

Fuente D.S. 90/2000 (MINSEGPRES, 2000). Unidad de carga expresada en: unidad de masa por unidad de tiempo (g/d o gramos/día) y coliformes fecales por unidad de tiempo (Coli/d o coliformes fecales /día).

La población que abastece cada SSR fue obtenida a partir de datos de la DOH y ajustada al año 2019 según el crecimiento proporcional de la comuna donde se ubican, utilizando para ello datos del Censo (INE, 2017a).

2.2.2 Emisiones de fuentes difusas

Las emisiones de contaminantes provenientes de fuentes difusas relacionadas al uso de suelo son estimadas mediante factores de exportación, por tipo de parámetro (nutrientes en específico)¹² y tipo de suelo. El concepto factor de exportación corresponde a la estimación del aporte de un cierto contaminante por parte de un área específica en dirección a un cuerpo de agua (CENMA, 2019). El número de hectáreas por tipo de suelo en la cuenca, fue estimado por el Departamento de Ecosistemas Acuáticos en base a la información de (CONAF, 2020). Por su parte, los factores de exportación fueron obtenidos de literatura especializada. El factor de exportación para parámetros evaluados por tipo de suelo se muestra en Tabla 5.

¹¹ *Outliers*

¹² *Nitrógeno total (N), fósforo total (P), fosfato (P-PO₄) y nitrato (N-NO₃).*

Tabla 5. Uso de suelo en la cuenca y factores de exportación (kg/ha/año) para parámetros evaluados.

Uso de suelo	Nitrógeno Total (kg/ha/año)	Nitrato (kg/ha/año)	Fósforo Total (kg/ha/año)	Fosfatos (kg/ha/año)
Agrícola	9,80	5	0,99	0,1
Bosque	1,80	1,8	0,11	0,11
Cuerpo de agua	2,33	-	0,13	0,13
Pradera	1,33	0,43	0,28	0,16
Urbano	9,90	-	1,91	0,25

Fuente: Elaboración propia en base a Doddy McCarthy (1992), Reckhow *et al* (1980), US EPA, (2008), Oyarzún *et al*, (1997), León-Muñoz *et al* (2013), Cárdenas (2007) León-Muñoz *et al* (2012), White *et al*, (2015), Lin (2004) y Kluesener & Lee (1974), citado por Reckhow *et al* (1980). (-) Celda sin valor.

Las emisiones difusas relacionadas al uso de suelo de nutrientes i , para cada área de vigilancia k y cada suelo u , se obtuvieron según lo indicado en la Ecuación 2.

$$W_{i,k} = \sum_u FE_{i,u} \cdot A_{u,k} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde,

- $W_{i,k}$: Emisión total del parámetro i en el área de vigilancia k (kg/año).
 $FE_{i,u}$: Factor de exportación del parámetro i por tipo de uso de suelo u (kg/ha/año).
 $A_{u,k}$: Superficie de uso de suelo u en el área de vigilancia k (ha).

En el Anexo 5.5,

Tabla 23, se presentan las superficies (ha) de suelo por área de vigilancia considerada en la evaluación.

Además, se incluyeron en el análisis aportes difusos asociados a fuentes (rubro minero y rubro industrial - generación de electricidad) que, de acuerdo a la información de sus Resoluciones de Calificación Ambiental generan emisiones no puntuales a los cuerpos de agua de la cuenca. Para la fuente minera, las emisiones se caracterizaron a través de Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) vigentes al 2020 y un análisis de calidad del agua del área de restitución con información de la Red Hidrométrica Nacional de la DGA. Respecto a la fuente industrial, se consideró información de sus RCAs vigentes al año 2019.

2.3 Evaluación de cumplimiento de los límites regulatorios

Con el objetivo de estimar los costos de abatimiento, se consideran las superaciones de los límites regulatorios establecidos por la NSCA ante un eventual Plan de Descontaminación. Para ello, la línea base actual de concentraciones se compara con los límites regulatorios para identificar las eventuales superaciones de la norma. Luego, se modela la concentración en el río respecto a los aportes de emisiones puntuales y difusas para evaluar la reducción de éstas que se requeriría para alcanzar los niveles normativos.

2.3.1 Concentración modelada del río

La calidad actual (línea base) está conformada por el aporte de las fuentes emisoras puntuales y difusas y las concentraciones que se encuentran en forma natural en el medio, como se representa en la Ecuación 3.

$$C_{LBi,k} = C_{Naturali,k} + C_{FEi,k} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde,

$C_{LBi,k}$: Concentración observada en el río del parámetro i en el área de vigilancia k (mg/L, Coliformes Fecales NMP/100ml o $\mu\text{g/L}$ para clorofila a).

$C_{Naturali,k}$: Concentración natural del parámetro i en el área de vigilancia k (mg/L, Coliformes Fecales NMP/100ml o $\mu\text{g/L}$ para clorofila a).

$C_{FEi,k}$: Concentración del parámetro i aportada por todas las fuentes emisoras que aportan al área de vigilancia k (mg/L, Coliformes Fecales NMP/100ml o $\mu\text{g/L}$ para clorofila a).

Si la norma establece niveles de calidad ($C_{NSCAi,k}$) menores de la línea base, es decir, el delta ($C_{NSCAi,k} - C_{LBi,k}$) tiene magnitud negativa¹³, se requerirá reducir las emisiones de las fuentes contaminantes. Para determinar esta reducción y que se cumpla con la norma, se simula la concentración observada en la cuenca a partir de las cargas contaminantes (W). Para modelar la concentración aportada por las fuentes emisoras, y a su vez el cumplimiento normativo por medio de la reducción de emisiones, se emplea un modelo de dispersión, para el cual se requiere la estimación del Factor de Emisión Concentración (FEC), que se expresa mediante Ecuación 4.

$$C_{FEi,k} = \sum_{j=1}^N W_{FEi,j} \cdot FEC_{i,j,k} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde,

$W_{FEi,j}$: Carga aportada por la fuente emisora j del parámetro i (ton/año).

$FEC_{i,j,k}$: Factor emisión concentración para el parámetro i , la fuente emisora j (1...N) que aporta en el área de vigilancia k .

El FEC corresponde a un factor que se determina por medio de un modelo de dispersión y transporte de contaminantes, por ende, permite relacionar las emisiones de las fuentes emisoras con la disminución de las concentraciones en cierta localización (Rioseco *et al*, 2015). En este análisis, el FEC se estimó considerando la relación entre la concentración presente en el cuerpo de agua y las emisiones de fuentes puntuales y difusas, empleando ponderadores en base a la distancia entre la fuente emisora y la estación de monitoreo directamente “aguas abajo” a la fuente emisora, como se representa en Ecuación 5.

¹³ Esta relación es inversa para *Oxígeno disuelto* y *pH mínimo*, pudiendo ser expresada como $(C_{LBi,k} - C_{NSCAi,k})$

$$FEC_{i,j,k} = \frac{\alpha_{i,k}}{d_{j,k}} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde,

- $FEC_{i,j,k}$: FEC para el parámetro i , la fuente emisora j en el área de vigilancia k .
 $\alpha_{i,k}$: Coeficiente de concentración que relaciona la emisión total del parámetro i aportada en cada área de vigilancia k con la concentración aportada por fuentes emisoras consideradas.
 $d_{j,k}$: Distancia de la fuente emisora j a las áreas de vigilancia “aguas abajo” k que impacta (km).

El coeficiente $\alpha_{i,k}$ se expresa en la Ecuación 6.

$$\alpha_{i,k} = \frac{(C_{LB_{i,k}} - C_{natural_{i,k}})}{\sum_{i,j} W_{FE_{i,j,k}} \cdot Coef_{e_{i,i}} / d_{j,k}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Para simular el impacto de una potencial reducción de emisiones, se asume que solo las fuentes emisoras catastradas pueden reducir la concentración observada en el río. Por lo tanto, en la Ecuación 7 se plantea la manera de modelar la concentración del río al reducir emisiones mediante la eficiencia de remoción, por parámetro, para estas fuentes emisoras.

$$C_{modelada_{i,k}} = C_{Natural_{i,k}} + \sum_{j=1}^N W_{FE_{i,j}} \cdot (1 - \varepsilon_{eq_{i,j}}) \cdot FEC_{i,j,k} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde,

- $C_{modelada_{i,k}}$: Concentración modelada en el río del parámetro i para las áreas de vigilancia k (mg/L, Coliformes Fecales NMP/100ml o $\mu\text{g/L}$ para clorofila a).
 $C_{natural_{i,k}}$: Concentración natural en el río del parámetro i para las áreas de vigilancia k (mg/L, Coliformes Fecales NMP/100ml o $\mu\text{g/L}$ para clorofila a).
 $\varepsilon_{eq_{i,j}}$: Eficiencia equivalente de reducción de emisiones del parámetro i para la fuente j (%).

La eficiencia equivalente de reducción de emisiones descrita en la Ecuación 8 se calcula en función de la variable de decisión del problema de optimización ($x_{j,m}$) descrito en el capítulo de costos (ver Sección 2.4.1).

$$\varepsilon_{eq_{i,j}} = 1 - \prod_{m=1}^M (1 - \varepsilon_{i,m})^{x_{j,m}} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde,

$\varepsilon_{i,m}$: Eficiencia de abatimiento del parámetro i para la tecnología de abatimiento m (%).

Las eficiencias de remoción de contaminantes están diferenciadas por tipo de fuente (puntual o difusa). En el caso de fuentes puntuales, las eficiencias provienen de Fundación Chile (2010), AMPHOS 21 (2014) y ECOTEC Ingeniería (2017). En el anexo 5.7 se presenta detalle de las tecnologías de abatimiento para fuentes puntuales y sus eficiencias.

Para fuentes difusas se considera como medida de abatimiento la forestación con vegetación ripariana. Su uso es reconocido en la literatura técnica como una manera de reducir o mitigar el impacto de actividades antrópicas cercanas a cuerpos de agua (Parkyn *et al.*, 2005), siendo asociados principalmente con la remoción de nutrientes. Esta actúa como filtro y mitiga las emisiones difusas que se originan “aguas arriba” (Collins *et al.*, 2009; Parkyn *et al.*, 2005). Las eficiencias de abatimiento consideradas en vegetación ripariana, se presentan en la Tabla 6. Dichas eficiencias dependen del tipo de especies que conforman la vegetación, su ancho y las condiciones hidrodinámicas predominantes en la franja (por ejemplo, tiempo de residencia), entre otros. Por ello, para obtener un valor conservador del abatimiento por vegetación ripariana, las eficiencias en Tabla 6 fueron ajustadas por la escorrentía $F_{escorrentia}$ y la cobertura del buffer C_{buffer} como se expresa en la Ecuación 9.

Tabla 6. Eficiencias de abatimiento consideradas en vegetación ripariana.

Parámetro	Eficiencia
N-NH ₄	60%
N-NO ₃	60%
P-PO ₄	50%
Nitrógeno Total	45%
Fósforo Total	25%

Fuente: Elaboración propia en base a Salas *et al.* (2007).

$$\varepsilon_{Corregida\ i} = \varepsilon_i \cdot F_{escorrentia} \cdot C_{buffer} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde,

$\varepsilon_{Corregida\ i}$: Eficiencia corregida para el parámetro i para franja ripariana.
 ε_i : Eficiencia de abatimiento del parámetro i para franja ripariana.
 $F_{escorrentia}$: Fracción de escorrentía que atraviesa el *buffer* (50%).
 C_{buffer} : Cobertura vegetal promedio factible de reforestar del *buffer* (70 %).

El factor de $F_{escorrentia}$ representa que aproximadamente el 50% de la escorrentía entraría al río a través de una zona de vegetación ripariana, mientras que el 50% restante escurrirá por zonas diferentes al área forestada con el *buffer*, ingresando al cuerpo de agua por flujos menores e

intermitentes (Parkyn *et al.*,(2005)). El ancho de la franja ripariana considerado fue de 30 m. La cobertura vegetal de dicha franja C_{buffer} se incluyó para modelar el hecho de que no toda la ribera puede ser reforestada. Esto se realizó ajustando por el cociente entre el número de hectáreas posibles de reforestar en la franja ripariana respecto del área total de la franja por área de vigilancia. Estas coberturas potenciales de ser reforestadas fueron estimadas por del Departamento de Ecosistemas Acuáticos a partir de información de CONAF (2020) y se presentan en la Tabla 28 Anexo 5.8

2.3.2 Análisis de factibilidad

El análisis de factibilidad busca determinar las superaciones a la normativa que son posibles de evaluar considerando la información disponible para la simulación de la concentración y la reducción de emisiones. Además, este análisis determina las combinaciones parámetro-área de vigilancia no factibles de evaluar.

Para realizar esta evaluación, se estima el cambio de concentración teórico máximo que se puede obtener al aplicar tecnologías o medidas de abatimiento en las fuentes emisoras, que se representa en la Ecuación 10.

$$\Delta_{concentracion_{i,k}} = C_{base_{i,k}} - C_{Natural_{i,k}} - \sum_{j=1}^N W_{FE_{i,j}} \cdot (1 - E_{m\acute{a}xima_{i,m}}) \cdot FEC_{i,j,k} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde,

- $\Delta_{concentracion_{i,k}}$: Delta de concentración máximo que es factible alcanzar de la concentración del parámetro i en el área de vigilancia k (mg/L, Coliformes Fecales NMP/100ml o $\mu\text{g/L}$ para clorofila a).
- $E_{m\acute{a}xima_{i,m}}$: Eficiencia de abatimiento máxima (%) para el parámetro i y, de todas las tecnologías m que abaten dicho parámetro.

Por consiguiente, $\Delta_{concentracion_{i,k}}$ se contrasta con la reducción necesaria, representada por Ecuación 11 para alcanzar el nivel normativo.

$$R_{exigida_{i,k}} = I_{calidad_{actual_{i,k}}} - NSCA_{i,k} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde,

- $R_{exigida_{i,k}}$: Reducción exigida por parámetro i para el área de vigilancia k (mg/L o Coliformes Fecales NMP/100ml).
- $I_{calidad_{actual_{i,k}}}$: Indicador de calidad actual para los pares de parámetro i - área de vigilancia k (mg/L, Coliformes Fecales NMP/100ml o $\mu\text{g/L}$ para clorofila a).
- $NSCA_{i,k}$: Parámetro i -área de vigilancia k normados (mg/L, Coliformes Fecales

NMP/100ml o $\mu\text{g/L}$ para clorofila a).

A partir de la evaluación hecha previamente, las superaciones se clasifican en las categorías de cumplimiento señaladas a continuación:

- a) Cumplimiento de la norma. Si las concentraciones modeladas no superan la norma, ésta se cumple.
- b) Superación factible de evaluar según información disponible. Las concentraciones modeladas superan la norma y se cuenta con medidas de abatimiento y aportes de emisiones que se pueden reducir. Se evalúan los costos mediante un problema de optimización (ver sección 2.4.1).
- c) Superación no evaluable. Corresponden a superaciones no evaluables según información disponible. Las concentraciones ambientales modeladas a partir de la línea base superan la norma y las medidas de abatimiento evaluadas son insuficientes para alcanzar los límites establecidos por la norma. También se consideran superaciones no evaluables por ausencia de información respecto a emisiones antrópicas identificadas. Estas superaciones no se evalúan porque actualmente no se cuenta con información cuantitativa de línea base sobre fuentes antrópicas, puntuales o difusas, que aporten estas emisiones.

En esta categoría también se clasifican los parámetros respuesta (*Oxígeno Disuelto, Conductividad, Clorofila y pH*). Estos son aquellos que no pueden ser abatidos directamente a través del uso de medidas y/o tecnologías de abatimiento, ya que se observan en el cuerpo de agua. Sin embargo, podrían revertirse si se reducen otros afines, como los nutrientes, los metales, las sales u otros. Un ejemplo de parámetro respuesta es la concentración de *Oxígeno Disuelto*, la cual depende no solo de la carga de contaminantes orgánicos existentes en el río, sino también de parámetros hidrodinámicos, como su turbulencia.

2.4 Costos

Los costos asociados a la implementación de la NSCA corresponden a costos de fiscalización y monitoreo para el Estado. Además, se evalúan aquellos costos de abatimiento de un eventual Plan de Descontaminación por la superación de los límites de la NSCA. Esta sección presenta la metodología para la evaluación de esos costos que recaerían sobre los regulados y el Estado. No se consideran costos para la población, porque esta no sería directamente afectada en términos de los costos antes mencionados.

2.4.1 Costos de abatimiento

La evaluación de costos asociados a un eventual Plan de Descontaminación se conceptualiza como un problema de minimización de costos, como se expresa en la Ecuación 12. La concentración modelada (Ecuación 7), corresponde a la concentración cuando se reducen las emisiones de las fuentes en la proporción indicada por eficiencia equivalente de reducción de las emisiones (Ecuación 8), calculada en función de la variable de decisión del problema de optimización a evaluar ($x_{j,m}$), como se observa en la Ecuación 12.

$$\text{Min Costo}_{Total} = \sum_{j=1}^N \sum_{m=1}^M \text{Costo}_{j,m}(Z_j) \cdot x_{j,m}$$

s. a.:

$$C_{modelada_{i,k}} < C_{NSCA_{i,k}} \cdot y_{i,k}$$

$$0 \leq x_{j,m} \leq 1$$

Ecuación 12

Donde,

$Costo_{Total}$: Costo total de cumplimiento de las normas (US\$ anuales).

$Costo_{j,m}(Z_j)$: Costo (US\$ anuales) de la tecnología m para la fuente emisora j que tiene un caudal o un área Z_j (m³/h ó ha).

$x_{j,m}$: Proporción (%) del costo por fuente j para cada tecnología m .

$C_{modelada_{i,k}}$: Concentración modelada del río, considerando abatimiento, del parámetro i en el área de vigilancia k (mg/L o Coliformes Fecales NMP/100ml).

$C_{NSCA_{i,k}}$: Concentración exigida en la NSCA del contaminante i en el área de vigilancia k .

$y_{i,k}$: Variable binaria (1 ó 0) que restringe las concentraciones del parámetro i a modelar en el área de vigilancia k .

La variable $y_{i,k}$ tiene por objetivo hacer que sea factible encontrar una solución al problema de optimización. Esta se logra simulando el cambio en concentración teórico máximo que se puede lograr en base a la información disponible (ver sección 2.3).

El costo de abatimiento para cada fuente puntual y tecnología ($Costo_{j,m}$), en Ecuación 13, se calcula anualizando el costo de inversión según la vida útil de cada tecnología y sumándolo al costo de operación y mantenimiento. Para esto se utilizan funciones de costo de inversión y operación-mantenimiento que consideran el caudal como variable independiente y tienen una forma potencial. Los parámetros que componen las curvas de costo (a_m y b_m) se detallan en el Anexo 5.7.2.

$$\text{Costo}_{j,m} = a_m \cdot Q_j^{b_m}$$

Ecuación 13

Donde,

$Costo_{j,m}(Q_j)$: Costo (US\$ anuales) de la tecnología m para la fuente emisora j que tiene un caudal Q_j (m³/h).

Como se mencionó, se considera la vegetación ripariana como medida de abatimiento para fuentes difusas. Los costos de inversión considerados son de US\$ 3.272 por hectárea y los costos de operación y mantenimiento son de US\$ 1.800 por hectárea al año (MMA, 2020c). Estos fueron anualizados considerando una vida útil de 15 años.

Por otra parte, y con el objetivo de distinguir entre los costos de abatimiento por incumplimientos que son atribuibles al instrumento evaluado en este AGIES, y los costos que son imputables a otros instrumentos de gestión ambiental, se evaluó el cumplimiento de los límites de emisión de otros

instrumentos regulatorios. En específico, se consideraron las siguientes normativas de línea base: D.S. N°90/2000 y Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) de las fuentes puntuales de la cuenca.

2.4.2 Costos de monitoreo y fiscalización

Los costos de monitoreo comprenden el costo del muestreo y el de análisis de laboratorio de los parámetros regulados. Los costos de monitoreo son atribuidos a las instituciones del Estado y son estimados como expresa la Ecuación 14.

$$C_{Muestreo} = \sum_{i,k,l} \Delta f \cdot \left(\left(C_{Peaje} + C_{Comb} \cdot \frac{d}{r} + C_{Viatico} \cdot N_d \cdot N_p \right) + C_{lab\ i} * AV_{k,i} \right) \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde,

$C_{Muestreo}$:	Costo de muestreo (CLP/año).
Δf :	Aumento de frecuencia (cantidad por año) de monitoreo de la NSCA respecto de frecuencia de monitoreo actual realizado por DGA y MMA (n=2).
C_{Peaje} :	Costo de peajes (CLP).
$C_{lab\ i}$:	Costo de análisis de laboratorio para el parámetro i .
C_{Comb} :	Precio del diésel (CLP/L).
$\frac{d}{r}$:	Combustible consumido (l) al recorrer la distancia d (km) a los puntos de control de la NSCA (l), considerando un rendimiento r (km/L).
$C_{Viatico}$:	Valor del viático por persona (CLP/día/persona).
N_d :	Número de días considerados para realizar el muestreo.
N_p :	Número de personas requeridas para realizar el muestreo.
AV:	Áreas de vigilancia k para el parámetro i .

El aumento en frecuencia considerado en esta evaluación es de dos monitoreos, en base a la diferencia entre los cuatro monitoreos anuales propuestos en el Proyecto Definitivo y el supuesto de dos monitoreos anuales realizados en la actualidad. En el Anexo 5.9 (Tabla 29) se detallan los supuestos considerados para los costos de monitoreo de los distintos servicios involucrados en el muestreo (DGA y MMA).

El costo de análisis de laboratorio se estima en base a los análisis adicionales, tanto en frecuencia como en cantidad de parámetros, a los actualmente realizados por la DGA. En Anexo 5.9 Tabla 30 se entregan antecedentes de los costos unitarios de muestreo por parámetro y en la Tabla 31 identifica y detalla las áreas de vigilancia que cuentan con estación de monitoreo.

Los costos de fiscalización se calculan según la periodicidad de cada actividad de fiscalización (ver Anexo 5.9). Los costos de fiscalización consideran las horas-persona destinadas y su valor por hora para las Instituciones involucradas. La SMA cumple el rol fiscalizador principal; mientras que la DGA y el MMA apoyan a esta tarea, por ejemplo, elaborando Reportes Técnicos de Monitoreo e

Informes de Calidad y colaborando en el establecimiento del Programa de Medición y Control de la Calidad Ambiental (PMCCA) entre otros, según se detalla en Tabla 32 en anexo 5.9.

2.5 Beneficios

2.5.1 Contexto

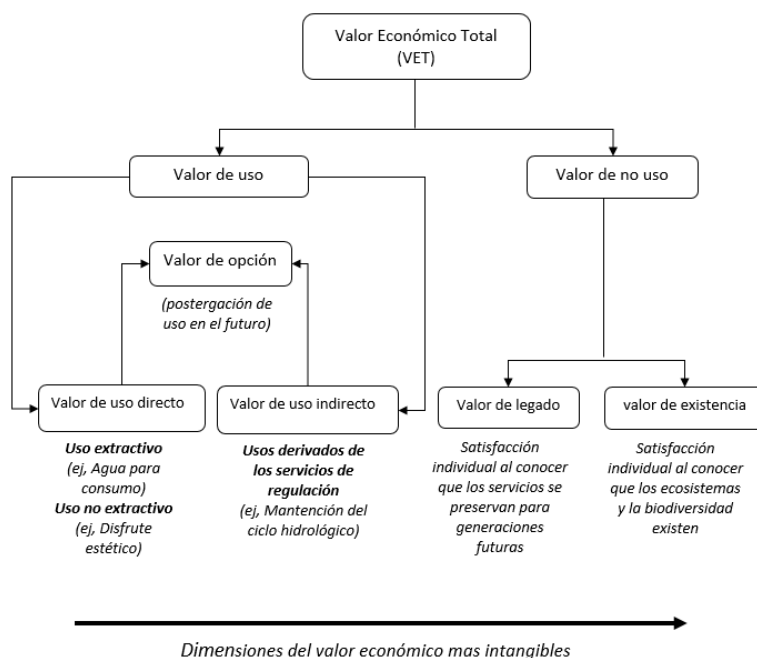
La implementación de un eventual Plan de Descontaminación Ambiental en cuerpos de agua superficiales, desencadenado por la superación de los límites establecidos en la NSCA, genera beneficios ambientales, sociales y económicos. Estos beneficios se obtienen porque la NSCA busca mantener o mejorar la calidad de las aguas y así conservar o preservar los ecosistemas acuáticos y sus servicios ecosistémicos (MMA, 2020b).

En economía ambiental se han desarrollado distintas metodologías para estimar el valor monetario asociado a estos beneficios, utilizando distintas técnicas de valoración ambiental que permiten la realización de un análisis de costo-beneficio. Sin embargo, dichas técnicas son por defecto antropocéntricas, basándose en cómo el ser humano valora el medio ambiente ya sea a través de preferencias reveladas o declaradas¹⁴ (Wegner & Pascual, 2011). Por ello, el beneficio monetizado vinculado a la protección de especies y ecosistemas corresponde a una aproximación del valor que la sociedad otorga a determinados elementos del ecosistema.

Considerando lo anterior y con el objetivo de evaluar el beneficio para la sociedad de la NSCA, se deben identificar todas las dimensiones en las que el ser humano puede beneficiarse de las especies y ecosistemas que están presentes en la cuenca, de tal forma de conocer el Valor Económico Total (VET) provisto por ellos. Dado que la estimación del VET implica estimar valores de uso y no-uso, de los cuales los valores de no-uso son difícilmente traducibles a un valor monetario, y que algunos economistas consideran estos valores como inconmensurables (Martín-López et al., 2014; Martínez Alier, 2002; Parks & Gowdy, 2013), la estimación del VET posiblemente subestima los beneficios asociados a una política medioambiental. En la Figura 3 se muestran las tipologías de valor que conforman el VET.

¹⁴ Preferencias reveladas: conjunto de metodologías de valoración económica que estiman el valor económico de bienes o servicios mediante la observación y cuantificación de las preferencias de los consumidores en contextos sustitutos a una transacción real. Preferencias declaradas: conjunto de metodologías de valoración económica que estima el valor de bienes y servicios mediante las declaraciones de preferencias por parte los consumidores, planteadas en situaciones hipotéticas plausibles (Hicks, 2002).

Figura 3. Tipologías de valor en el Valor Económico Total de los ecosistemas



Fuente: Adaptado de Martín-López, González y Vilarity (2012).

La manera en que los beneficios económicos han sido representados para operacionalizarlos es mediante la conceptualización de Servicios Ecosistémicos (Gómez-Baggethun *et al.*, 2010). Estos corresponden al beneficio directo o indirecto que el ser humano obtiene de los ecosistemas (MEA, 2005), sus estructuras y/o funciones.

Los SSEE, el VET y la calidad del agua están estrechamente relacionados. Esto se debe a que la calidad ambiental subyace y sostiene la estructura y función de los ecosistemas, que a su vez, proporcionan una contribución al bienestar multidimensional de los seres humanos (Díaz *et al.*, 2015) a través de los SSEE. A causa de esta relación, se asume que mejoras en la calidad del agua influirán positivamente en la provisión de SSEE y con ello se esperan aumentos en el VET. Sin embargo, establecer relaciones que permitan cuantificar claramente diferencias en la provisión del servicio asociado a cambios en la concentración de un contaminante son escasas y sitio-específicas. Esto debido a que las relaciones cuantitativas entre biodiversidad, los componentes de los ecosistemas, sus procesos y servicios no están claramente establecidas a la fecha (de Groot *et al.*, 2010)¹⁵.

Por lo tanto, la evaluación de beneficios asociados a la mantención o mejora en calidad de agua, en el AGIES, se basa en:

- i) La identificación de los SSEE presentes en la cuenca del río Aconcagua.
- ii) La obtención de la disposición de la sociedad por mejorar la calidad del agua, mediante la Disposición a Pagar (DAP) social.

¹⁵ Más aún, los ecosistemas presentan comportamientos no lineales en sus variables respuesta; propiedades emergentes de los sistemas que no pueden ser consideraras *a priori*; y puntos de quiebre donde la resiliencia de los ecosistemas se interrumpe y ocurren cambios de estado (“*phase-shifts*”; (Wegner & Pascual, 2011) que no pueden ser relacionados de manera sencilla a cambios en concentraciones de un contaminante.

2.5.2 Identificación de SSEE presentes en la cuenca del río Aconcagua

Para la identificación de SSEE se utiliza el estudio de Cienciamiental (2018). Este estudio identifica y clasifica los SS.EE en todo el territorio nacional, incluyendo la cuenca del río Aconcagua. Este AGIES representa una revisión de la identificación y clasificación de SSEE realizada en el contexto de la evaluación del Anteproyecto de NSCA del río Aconcagua.

Para sus evaluaciones, el DEA utiliza la clasificación “*Common International Classification of Ecosystem Services*” (CICES; (Haines-Young, R., Potschin, 2018; Haines-Young & Potschin, 2012). Dicha clasificación, en su versión 5.1 agrupa a los SSEE en tres grandes secciones: provisión, regulación y cultural.

2.5.3 Valoración de beneficios asociados a mejora en calidad del agua

La estimación de beneficios económicos derivados de la DAP por cambios en la calidad del agua relaciona la cantidad monetaria dispuesta a pagar por hogar y la cantidad de hogares beneficiados por la regulación, como establece la Ecuación 15.

$$\text{Beneficio}_{DAP} = DAP_{\text{calidad}} \cdot \text{Hogares Aconcagua} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde,

Beneficio_{DAP} : Beneficio cuantificado por DAP para hogares en la cuenca del río Aconcagua (CLP ó USD/hogar/año).
 DAP_{calidad} : Valor de DAP (CLP ó USD/hogar/año).
 Hogares Aconcagua : Número total de hogares en la cuenca del río Aconcagua.

La DAP_{calidad} considerada en este AGIES se estimó calculando el percentil 50 de los datos DAP por mejoras en calidad del agua, provenientes estudios nacionales e internacionales que se detallan a continuación. De estos, se excluyó un dato de DAP por evaluarse como dato atípicamente alto según método de Tukey (Dawson, 2011).

El estudio nacional corresponde al realizado por Huenchuleo & De Kartzow (2018). En este, se efectuó un Experimento de Elección (EE) a agricultores de la cuenca del río Aconcagua en el año 2014, donde se consideraron 4 atributos ambientales más el atributo de pago (para calcular las DAP marginales por los cambios en los atributos y sus respectivos niveles). Esto se detalla en la Tabla 7.

Tabla 7. Atributos y niveles del Experimento de Elección aplicado por (Huenchuleo & De Kartzow, 2018).

Atributo	Definición	Niveles
(1) Flora y fauna	Condiciones de la flora y fauna del río	Mala (sq); regular; buena
(2) Calidad del agua	Protección de la calidad del agua	Regular (sq); buena; muy buena

(3) Disponibilidad de agua	Disponibilidad de agua para riego	Baja (sq); media; alta
(4) Almacenaje de agua	Capacidad de almacenaje de agua en la cuenca	Baja (sq); media; alta
(5) Pago	Cargo mensual a la cuenta de la luz durante 10 años (CLP\$)	0 (sq); 1 000; 2 500; 4 000; 5 500
sq: situación actual (<i>status quo</i>). CLP: pesos chilenos (US\$ 1 = CLP 607, Banco Central de Chile, diciembre de 2014).		

Fuente: Huenchuleo & De Kartzow (2018).

El presente AGIES solo considera el atributo asociado a la mejora en Calidad del Agua, dado que es el atributo que está más relacionado con el instrumento regulatorio evaluado en este AGIES. El valor de DAP por mejoras en calidad de agua presentó un coeficiente altamente significativo $p < 0,001$ para todos los modelos de regresión ajustados (Huenchuleo & De Kartzow, 2018), lo cual es un indicador de la robustez estadística del estimado, considerando un $n=105$. El valor original de DAP reportado en Huenchuleo & De Kartzow (2018) es de 3,24 USD/mes-hogar/año. Dicho valor fue convertido a CLP según la misma tasa de cambio reportada por los autores y ajustada por inflación desde el año de publicación del estudio para obtener un valor final al presente de 25.440 CLP/hogar/año.

Además, con el objetivo de tener un valor de DAP más robusto, se consideran estudios internacionales. Los valores unitarios de DAP fueron obtenidos de 3 meta análisis (Johnston *et al.*, 2005 y 2017 y Van Houtven *et al.* 2007) que, en conjunto, contienen valores de DAP por cambios en calidad de agua recopilados de 65 estudios. De estos, se seleccionaron únicamente los realizados en cuerpos de agua fluviales, dadas las características de la cuenca del río Aconcagua. Así, se obtienen 26 valores unitarios de DAP. Éstos fueron ajustados por Paridad de Poder Adquisitivo (PPA)¹⁶ e inflación para ser transferirlos a la realidad nacional según los lineamientos contenidos en la guía metodológica para la transferencia de beneficios (MMA, 2017b). La inflación para el período 2000-2020 fue obtenida del Banco Central ¹⁷, observándose un IPC promedio de 3,5%. Los datos de PPA fueron obtenidos del Banco Mundial¹⁸ y para el valor del dólar americano (US\$) se consideró el valor promedio para el año 2020 (1US\$=792,22 CLP).

Para estimar la población beneficiada por la regulación, se consideran los datos de proyecciones del Instituto Nacional de Estadísticas al año 2020 (INE, 2017a), asumiendo que toda la población de las comunas de la cuenca del río Aconcagua¹⁹ es beneficiada por la normativa. El número de hogares fue obtenido como el cociente entre el número de habitantes y un factor de conversión de 3,1 personas por hogar (INE, 2017b).

¹⁶ El PPA corresponde a un indicador económico empleado para comparar el nivel de vida entre países. El PPA evalúa las monedas de distintos países por medio de un conjunto de bienes y servicios (canasta) y considera que dos monedas están balanceadas cuando la canasta tiene el mismo precio en todos los países. La PPA se cumplirá solo para canastas de bienes y servicios comparables e idénticos transables en el mercado (Iribarren, 2006).

¹⁷ <https://si3.bcentral.cl/siete/secure/cuadros/arboles.aspx>

¹⁸ <https://data.worldbank.org/indicator/PA.NUS.PPP>

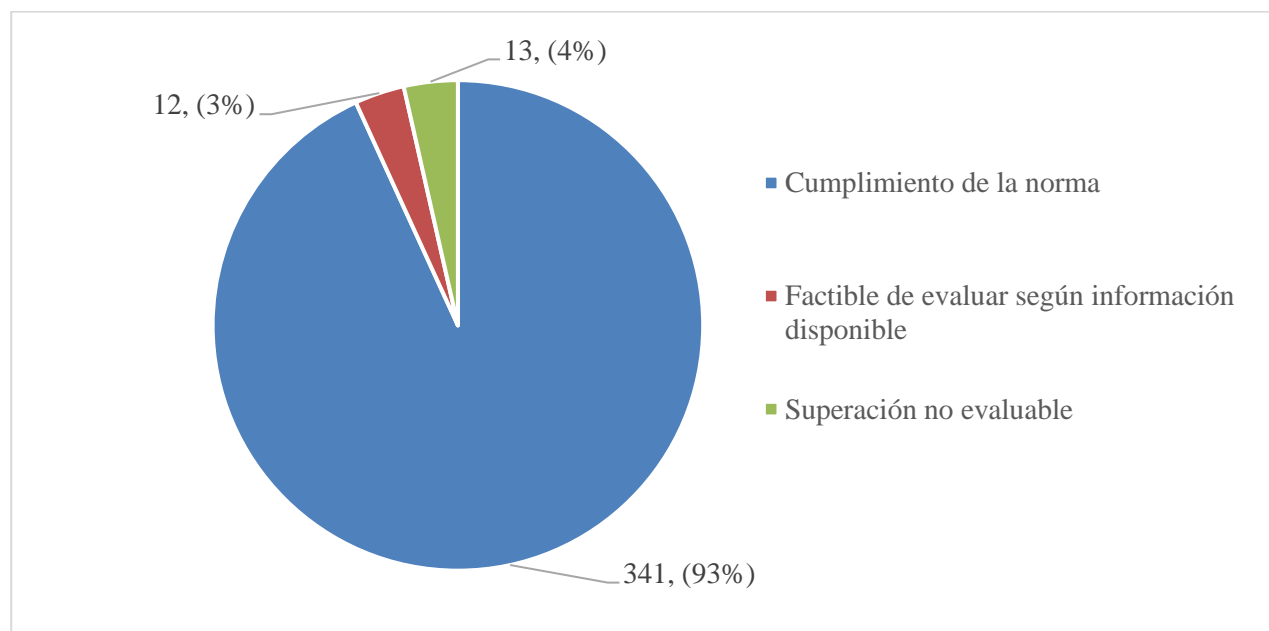
¹⁹ La DAP que pudiese tener la población que se localiza más distante de lo que se considera alcance territorial de la NSCA, no es cuantificada para la evaluación de beneficios.

3. Resultados

3.1 Evaluación de cumplimiento

La **Figura 4** muestra el resultado de la evaluación de cumplimiento en base a las categorías descritas en sección 2.3.2. Del total de combinaciones parámetro-área de vigilancia reguladas (366), 341 combinaciones estarían cumpliendo con la norma, mientras que 25 superarían los límites regulatorios. De estas últimas, 12 son factibles de evaluar en base a la información disponible (ver **Tabla 8**).

Figura 4. Totalidad de combinaciones normativas según categorías de cumplimiento.



Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 8** se observan, marcadas con un el número uno, las 12 combinaciones parámetro-área de vigilancia evaluadas, distribuidas en 6 AV de la cuenca. La mayoría corresponden a superaciones de *cloruro* (3) y *DBO₅* (3).

Tabla 8. Número de excedencias factibles de evaluar, según parámetro y área de vigilancia.

Parámetro	Área de vigilancia						Total
	BL-1	AC-1	AC-2	LO-1	LI-1	AC-5	
Aluminio Total		1					1
Cloruro	1		1	1			3
Coliformes Fecales/100ml			1				1
DBO ₅	1			1	1		3
Manganeso Total		1					1
Sulfato						1	1
SST			1				1
Zinc Total		1					1
Total	2	3	3	2	1	1	12

Fuente: Elaboración propia.

Las 13 superaciones sin factibilidad de evaluar, que no se incluyen en los costos, se distribuyen en 9 áreas de vigilancia de la cuenca, tal como muestra la Tabla 9. De este total, 9 corresponden a parámetros respuesta (7 de *conductividad eléctrica*, 1 de *oxígeno disuelto* y 1 de *clorofila "a"*). Estos no tienen asociada una medida específica de abatimiento directa en la fuente, sino que son respuesta de la interacción de diversos parámetros en el cuerpo de agua, como los nutrientes, metales, entre otros. Para estos casos, se asume que una vez cumpliendo el resto los límites normativos, éstas también lo alcanzarán. El resto de las superaciones (4) corresponden a nutrientes, donde no se cuenta con información suficiente para evaluar. Sin embargo, esta información podrá ser incluida en la evaluación de un eventual Plan de Descontaminación al igual que la evaluación de otras medidas de abatimiento o reducción de emisiones de fuentes difusas (e.g. prácticas operacionales).

Tabla 9. Superaciones no evaluadas, según parámetros y área de vigilancia.

Parámetro	BL-1	PU-2	CA-1	LO-1	AC-3	LIT-1	AC-4	LI-1	AC-5	Total
Cond. Eléctrica	1		1	1	1	1	1	1		7
N-NO ₃			1	1		1				3
Oxígeno Disuelto									1	1
P-PO ₄		1								1
Clorofila a									1	1
Total	1	1	2	2	1	2	1	1	2	13

Fuente: Elaboración propia.

Al respecto de las Tablas

Tabla 8 y Tabla 9, con 4 superaciones, destaca el área de vigilancia LO-1, la cual corresponde a un área de cabecera²⁰, y por lo tanto la calidad de agua responde a las presiones antrópicas ocurridas exclusivamente en esa área de vigilancia. Con 3 superaciones también destacan BL-1, AC-1, AC-2 y AC-5. AC-1 drena a AC-2 y recibe aportes de áreas de vigilancia aguas arriba, por lo cual la calidad en estas áreas de vigilancia depende de otras como JU-1; BL-1 y CO-1; AC-5, por ser la última área de vigilancia, recibe las presiones antrópicas de toda la cuenca. Además, se identifican 2 superaciones tanto en CA-1, LIT-1 y LI-1, todas áreas de vigilancia de cabecera por lo que dichas superaciones se relacionan a las actividades antrópicas propias de dichas áreas.

3.2 Reducción de emisiones

Como resultado de la evaluación del cambio de concentraciones requeridas para el cumplimiento de la NSCA, se obtiene la reducción de emisiones.

La Tabla 10 muestra los resultados de la evaluación, esto es: carga de línea base (más detalle en Anexo 5.5), carga final debido a la reducción de emisiones para cumplir la NSCA a través de un potencial Plan de Descontaminación (Con NSCA) y la reducción necesaria, que es resultado de la resta entre la línea base y la situación con NSCA.

Tabla 10. Línea de base y reducción de emisiones requerida por la NSCA.

Parámetro	Base (kg/día)	Con NSCA (kg/día)	Delta de reducción (kg/día)	Porcentaje reducción
Cloruro	22.296,0	16.833,1	5.465,1	25%
Sulfato	90.466,8	74.056,6	16.410,4	18%
Manganeso Total	73,1	59,9	13,3	18%
Aluminio Total	163,1	134,8	28,3	17%
Zinc Total	16,3	14,4	1,9	11%
DBO5	5.117,3	4.580,8	536,6	10%
SST	4.146,7	3.767,7	379,0	9%
Coliformes Fecales/100ml (*)	774.186.571,5	763.916.571,5	10.268.215,7	1%

Fuente: Elaboración propia. (*) unidad: NMP10⁶. Sólo se muestran valores mayores o iguales al 1% de reducción porcentual.

Se puede observar en Tabla 10 que los parámetros con mayor reducción necesaria en términos porcentuales debido a la reducción de emisiones para cumplir la NSCA son *cloruro* (25%), *sulfato total* (18%) y *manganeso total* (18%).

La Tabla 11, muestra los resultados de la evaluación asociados a los contaminantes coabatidos. Corresponden a parámetros que se ven reducidos indirectamente por la aplicación de medidas de abatimiento en un eventual Plan de Descontaminación. Estos contaminantes no se reducirían por

²⁰ Área que no tiene aportes de flujos hídricos provenientes de otras áreas de vigilancia aguas arriba.

requerimiento directo de la NSCA, sino por el abatimiento indirecto de otros contaminantes que sí lo requiriesen.

Tabla 11. Línea base y reducción de emisiones de parámetros co-abatidos;

Parámetro	Base (kg/día)	Con NSCA (kg/día)	Delta de reducción (kg/día)	Porcentaje reducción
Hierro Total	120,8	89,7	31,2	26%
Cobre Total	94,8	82,8	11,9	13%
Niquel Total	8,4	7,5	0,9	11%
Hierro Disuelto	6,3	5,6	0,7	11%
DQO	452,6	420,9	31,7	7%
Arsénico Total	1,1	1,0	0,1	6%
Molibdeno Total	17,1	16,5	0,7	4%

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Costos

En esta sección se presentan los resultados de costos de monitoreo y fiscalización asociados a la implementación de la NSCA, correspondientes al Estado, y de costos de abatimiento asociados al incumplimiento de los límites de la NSCA que gatillarían un eventual Plan Descontaminación.

3.3.1 Costos de Monitoreo y Fiscalización

Los costos de monitoreo ascienden aproximadamente a US\$ 6.691 anuales y recaen sobre la DGA y MMA. Estos se detallan en la Tabla 12.

Tabla 12. Desglose de actualización de costos de monitoreo para nuevos parámetros.

Concepto	Costo Anualizado (USD/año)
Muestreo (logística)	1.288
Análisis de laboratorio	5.404
TOTAL	6.691

Fuente: Elaboración propia. Nota: Tipo de cambio de referencia: \$792,22 (CLP/US\$).

Los costos de fiscalización ascienden a US\$18.045 anuales y recaen sobre los distintos Servicios Públicos involucrados, detallados en la Tabla 13. La mayor parte de los costos serían para la SMA (52,8%), luego para la DGA (32,2%) y, en menor medida para el MMA (15%).

Tabla 13. Costos de monitoreo y fiscalización por Servicio Público.

Documento o actividad	Servicio público			
	MMA (USD/año)	SMA (USD/año)	DGA (USD/año)	Totales (USD/año)
Elaborar PMCCA²¹	809,0	404,5	0,0	1.213,5
Elaborar RTM	0,0	0,0	5.806,9	5.806,9
Elaborar ITC	0,0	7.109,3	0,0	7.109,3
Elaborar IC	1.895,8	0,0	0,0	1.895,8
Fiscalizar	0,0	2.019,8	0,0	2.019,8
Totales	2.704,8	9.533,6	5.806,9	18.045,3
Porcentaje del total	15%	52,8%	32,2%	100%

Fuente: Elaboración propia. Nota: Tipo de cambio de referencia: \$792,22 (CLP).

En total, los costos asociados al monitoreo y fiscalización ascienden a US\$ 24.737 anuales.

3.3.2 Costos de abatimiento

Los costos anuales de abatimiento asociados a un eventual Plan de Descontaminación se estimaron en US\$ 1,2 millones anuales. La Tabla 14 muestra la desagregación de los costos según rubro, donde se observa que el rubro que debería invertir mayor cantidad de recursos es el industrial (51,14%), seguido de los rubros minería (17,80%), sanitarias urbanas (17,6%) y alimento (9,13%).

Tabla 14. Costos de abatimiento estimados por rubro.

Rubro o tipo fuente emisora	USD/año	Porcentual (del total)
Industrial	662.321,5	55,14%
Minería	213.774,1	17,80%
Sanitarias urbanas (*)	210.948,9	17,56%
Alimento	109.600,1	9,13%
Servicios Sanitarios Rurales (**)	3.909,1	0,33%
Agricultura	530,9	0,04%
Total	1.201.084,6	100.00%

Fuente: Elaboración propia. (*) Corresponde a PTA urbanas, (**) Corresponden a ARSSS y PTAS rurales.

Finalmente, la Tabla 15 muestra un resumen de todos los costos estimados, donde, considerando la

²¹ Programa de Medición y Control de la Calidad Ambiental.

armonización y complementariedad entre la NSCA y su eventual Plan de Descontaminación, se obtienen costos de US\$ 1,23 millones anuales.

Tabla 15. Resumen de costos asociados a la NSCA y un eventual Plan de Descontaminación Ambiental.

Tipo de instrumento	Tipo de costo	Monto USD/D/año
NSCA	Monitoreo	\$6.691,7
	Fiscalización	\$18.045,3
Eventual Plan de Descontaminación	Abatimiento	\$1.201.084,6
Costos Total		\$1.225.821,6

Fuente: Elaboración propia.

3.4 Beneficios

3.4.1 Identificación de SSEE presentes en la cuenca del río Aconcagua

Haines-Young & Potschin (2012) describen 48 clases de SSEE, de los cuales se identificaron 18 con alguna relación con la cuenca, por su identificación por medio de *proxys*²². La Tabla 16 presenta los SSEE identificados en la cuenca, según las categorías de clasificación (Detalle de SSEE) propuestas por Haines-Young & Potschin (2012).

Tabla 16. Listado de servicios identificados en la cuenca.

Sección CICES	Detalle de SSEE
Provisión	Cultivos
	Crianza de animales y sus productos
	Plantas silvestres, algas y sus productos
	Agua superficial para consumo
	Material genético de toda la biota
	Agua superficial para no-consumo
	Agua subterránea para no-consumo
Regulación	Remediación biológica por microorganismos, algas, plantas y animales
	Filtración/ secuestro/almacenamiento acumulación por microorganismos, algas, plantas y animales
	Filtración/ secuestro/almacenamiento acumulación por ecosistemas
	Polinización y dispersión de semillas
	Condiciones químicas de agua dulce
	Regulación del clima global a través de concentraciones de gases de efecto invernadero
Cultural	Experiencias del uso de plantas, animales y paisajes
	Uso físico del paisaje
	Herencia cultural
	Existencia
	Legado

Fuente: Elaboración propia a partir de (Cienciambiental (2018) y Haines-Young & Potschin (2012).

3.4.2 Valoración de beneficios asociados a mejora en calidad del agua

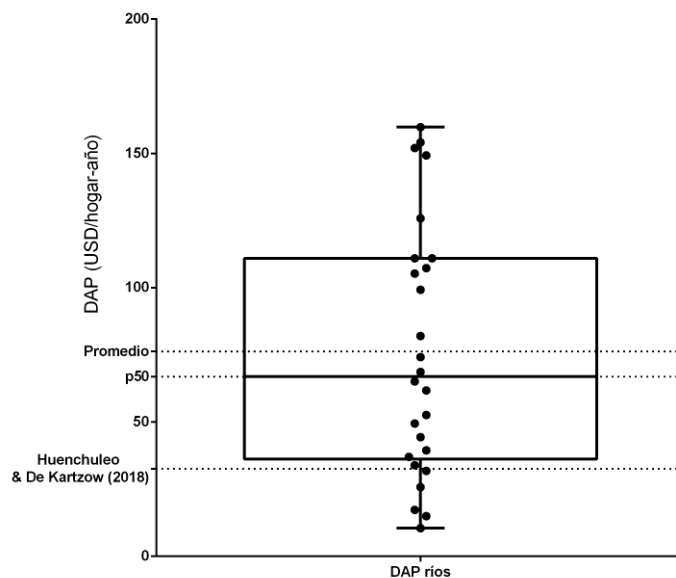
Esta sección presenta los resultados de la disposición social a pagar por una mejora en la calidad de agua, la cual se asume que tiene un impacto sobre los servicios de provisión, regulación y culturales identificados en la cuenca.

Los valores de DAP (USD/hogar/año) provenientes de las referencias nacionales e internacionales se muestran en el *box-plot* de la Figura 5. El percentil 50 de DAP de los estudios considerados estima

²² Una variable que se usa en lugar de la variable de interés, cuando esa variable de interés no se puede medir directamente (Black *et al.*, 2009).

una DAP de 65,12 USD/hogar/año.

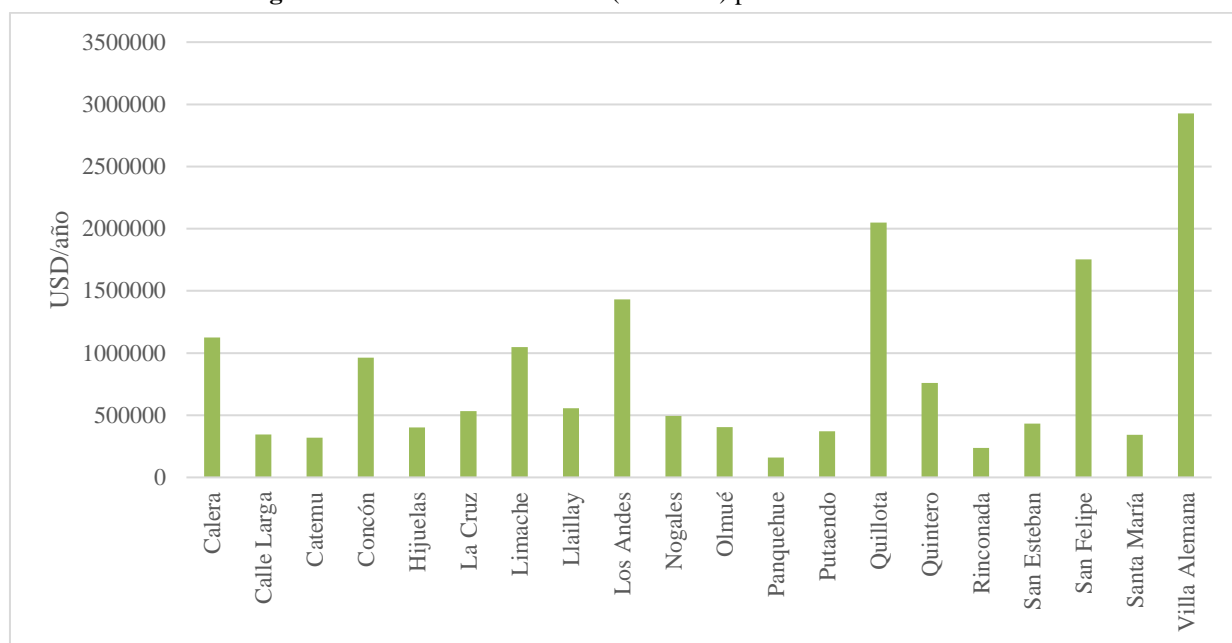
Figura 5. Valores de disposición a pago por mejoras en calidad del agua en ríos. Cada punto representa un valor de DAP (USD/Hogar/año).



Fuente: Elaboración propia en base a Huenchuleo & De Kartzow, 2018; Johnston *et al*, 2017, 2005; Van Houtven *et al*, 2007).

El beneficio social agregado considerando el valor de DAP (percentil 50), una vez que se agrega por la población de las comunas de la cuenca (255.797 hogares, ver Anexo 5.6, Tabla 24), asciende a US\$ 16,66 millones por año. Estos beneficios se detallan por comuna de la cuenca de Aconcagua en la Figura 6. Se puede observar que las comunas que tendrían un mayor beneficio son Villa Alemana, Quillota, San Felipe y Los Andes.

Figura 6. Beneficios económicos (USD/año) por comuna de la cuenca.



Fuente: Elaboración propia

Es importante destacar que esta estimación de beneficios considera un estudio local realizado en la cuenca del río Aconcagua (Huenchuleo & De Kartzow, 2018). El objetivo de dicho estudio fue realizar valoración económica para orientar políticas públicas ambientales como una NSCA, además de investigar cómo influyen las variables socio-demográficas y actitudinales en la valoración de bienes y servicios ambientales²³, por lo cual se considera relevante como antecedente. El estudio determinó que variables que influyen corresponden a la restricción presupuestaria o disponibilidad de información. Estos antecedentes pueden ayudar a clarificar la conducta ambiental de entrevistados locales y mejorar la implementación de políticas en la cuenca. Además, en este estudio se menciona la necesidad de vincular esfuerzos para proteger la calidad del agua con inversiones en tratamiento de aguas y/o mejoras asociadas a la protección de riveras con vegetación ripariana, aproximaciones que han sido consideradas en el presente AGIES.

3.5 Comentarios finales

El Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) aplica un análisis costo-beneficio de los instrumentos de gestión ambiental con el objeto de apoyar a los tomadores de decisiones en la generación de medidas de política ambiental que sean más eficientes y eficaces.

A partir de las observaciones surgidas en la participación ciudadana, proceso de diseño del Proyecto Definitivo y actualización de antecedentes disponibles para la evaluación, se concluye lo siguiente:

- Los parámetros con mayores cargas en la cuenca son *sulfatos*, *cloruros*, *DBO₅*, *nitrógeno total Kjeldahl*, y *Sólidos Suspendidos Totales (SST)*. La NSCA es consistente en restringir las emisiones de estos parámetros, ya que las mayores reducciones de cargas serían de

²³ Para ello, se entrevistó a agricultores de las comunas de Quillota y La Cruz (Programa de Desarrollo Local, PRODESAL) del Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP).

cloruros y sulfatos.

- Los costos totales valorizados, asociados a la implementación de las normas y a un eventual Plan de Descontaminación, ascienden a US\$ 1,23 millones anuales.
- Los beneficios valorizados se estiman en US\$ 16,66 millones anuales. Este valor solo constituye una parte del Valor Económico Total que los servicios ecosistémicos presentes en la cuenca proveen y que la NSCA estaría protegiendo, dado que no todos ellos son cuantificables en métricas monetarias (Wegner & Pascual, 2011).

En base a los indicadores económicos y considerando la complementariedad entre la NSCA y su eventual plan, se concluye que la NSCA es socialmente rentable.

4. Ficha del AGIES

ÍTEM	GLOSA	DESCRIPCIÓN
Identificación	Nombre AGIES	Actualización de costos y beneficios para el Proyecto Definitivo de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental de la cuenca del río Aconcagua.
	Nombre instrumento normativo que da origen al AGIES	Proyecto Definitivo de las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Aconcagua
	Tipo de regulación	Norma Secundaria de Calidad Ambiental (NSCA)
	Fecha de término de AGIES	06 de agosto de 2021
	Alcance geográfico	Cuenca del río Aconcagua
	Instrumento nuevo o revisión	Nuevo
	Área de aplicación	Ecosistemas Acuáticos
Metodología (Más detalle en sección 2)	Metodología	Análisis Costo-Beneficio
	Normativas consideradas de línea base	Norma de Emisión D.S. N°90/2000 Resoluciones de Calificación Ambiental
	Nivel de evaluación de costos	Costos para el Estado: monitoreo y fiscalización Costos para los titulares: costos de abatimiento.
	Nivel de evaluación de beneficios	Beneficios para la población (disposición a pagar por cambios en calidad de agua)
	Valor Dólar	Promedio móvil entre enero 2020 a diciembre 2020 US\$ = 792,22 CLP
	Valor UF	Valor 15 de enero del 2021 UF = 29.078,74 CLP
	Tasa de descuento	6%
Resultados	Costos estimados	Costo para el Estado US\$ 24.737 anuales Costo para los titulares: US\$ 1,2 millones anuales
	Beneficios estimados	Beneficio por Disposición A Pagar: US\$ 16,66 millones anuales

5. Anexos

5.1 Aspectos de la evaluación económica

Tabla 17. Datos de calidad actual y natural para Anteproyecto y Proyecto Definitivo.

Aspecto	Anteproyecto	Proyecto Definitivo
Calidad Actual	<ul style="list-style-type: none"> Percentil 85 y mediana para parámetros y nutrientes, respectivamente, considerando datos medidos entre 1980 y 2015. 	<ul style="list-style-type: none"> Percentil 85 de los datos de cada estación del periodo 2008-2018, con la excepción del <i>Oxígeno Disuelto</i> (OD), para el cual se utilizó el percentil 15, el <i>pH</i>, para el cual se utilizó tanto el percentil 15 como el 85, el P-PO₄, <i>fósforo total</i>, N-NO₃ y <i>nitrógeno total</i>. <p>Detallado en anexo 5.3.</p>
Calidad Natural	<ul style="list-style-type: none"> Información no disponible para la evaluación 	<ul style="list-style-type: none"> Percentil 5 de los datos de cada estación del periodo 1980-2018, con la excepción del OD, para el cual se utilizó el percentil 95, y el <i>pH</i>, para el cual se utilizó el percentil 50. <p>Detalle de Calidad Natural en anexo 5.4, Tabla 20.</p>

Fuente: Elaboración propia.

5.2 Límites de concentración permitida del Proyecto Definitivo de NSCA de Aconcagua

Tabla 18. Niveles de concentración del Proyecto Definitivo para cada parámetro y área de vigilancia.

Parámetro	Unidades	JU-1	BL-1	CO-1	AC-1	PO-1	AC-2	PU-1	PU-2	QUI-1	CA-1	LO-1	AC-3	LIT-1	AC-4	LI-1	AC-5
Aluminio Total	mg/l	8,15	2,1	8,15	8,15	8,15	8,15	8,15	0,8	14,2	0,8	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	
Arsénico Total	mg/l	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,02	0,013	0,013	0,002	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Aceite y Grasas	mg/l		10	10	10		10								10		10
Coliformes Fecales	NMP/100ml		240	240	240		1320								240		1320
Cond. Eléctrica	µS/cm	985	750	635	750	635	635	635	284	635	635	635	635	635	635	635	
Cloruro	mg/l	30	66	49	66	11	30	30	11	49	30	30	30	49	49	49	
Cromo Total	mg/l	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,036	0,05	0,05	0,05	0,05	0,036	0,05	0,05	
Cobre Total	mg/l	0,07	0,48	0,3	0,48	0,07	0,48	0,3	0,07	0,48	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
DBO₅	mg/l	4	8	4	4	4	4	4	4	4	4	6	4	4	4	6	4
DQO	mg/l	8	21	8	21	8	21	21	8	21	8	21	8	21	21	21	
Hierro Total	mg/l	7,95	2,12	13,77	7,95	13,77	7,95	7,95	7,95	13,77	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	7,95
Hierro Disuelto	mg/l	0,204	0,054	0,354	0,204	0,354	0,204	0,204	0,204	0,354	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,204
Mercurio Total	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	
Manganeso Total	mg/l	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	0,48	0,48	
Molibdeno Total	mg/l	0,05	0,13	0,05	0,13	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,13
Níquel Total	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

Parámetro	Unidades	JU-1	BL-1	CO-1	AC-1	PO-1	AC-2	PU-1	PU-2	QUI-1	CA-1	LO-1	AC-3	LIT-1	AC-4	LI-1	AC-5
N-NO₃	mg/l	0,8	2	2	2	2	2	2	2	2	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	2	
Nitrógeno Total	mg/l																3,4
Oxígeno Disuelto	mg/l	5,3	5,3	7,1	7,1	5,3	5,3	5,3	5,3	7,1	7,1	5,3	7,1	7,1	7,1	5,3	7,1
Plomo Total	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 máximo	Unidad de pH	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
pH mínimo	Unidad de pH	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	0,89	0,09	
Fósforo Total	mg/l		0,9	0,9	0,9		0,9								0,9		0,9
Sulfato	mg/l	413	257	257	257	257	257	100	100	257	257	257	257	257	257	257	257
SST	mg/l		32	388	388		388								32		
Zinc Total	mg/l	0,08	0,08	0,137	0,08	0,02	0,08	0,08	0,02	0,08	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	
Clorofila a	µg/l																20

Fuente: Elaboración propia basado en Proyecto Definitivo. Nota: Valor de celda vacía: No normado.

DBO₅=demanda bioquímica de oxígeno en 5 días; DQO=demanda química de oxígeno; N-NH₄=Nitrógeno de amonio; N-NO₃=nitrógeno de nitrato; P-PO₄=fósforo de fosfato; SST=sólidos suspendidos totales.

5.3 Línea base de calidad de agua (“situación actual”)

Tabla 19. Línea base de calidad del agua actual considerada en actualización de AGIES del Proyecto Definitivo.

Parámetro	Unidades	JU-1	BL-1	CO-1	AC-1	PO-1	AC-2	PU-1	PU-2	QU-1	CA-1	LO-1	AC-3	LIT-1	AC-4	LI-1	AC-5
Aluminio Total	mg/l	5,8	0,8	5,6	9,5	8	6,5	4,8	0,5	11	0,5	1,8	0,7	0,8	1,3	0,6	
Arsénico Total	mg/l	0,008	0,011	0,012	0,01	0,012	0,009	0,01	0,009	0,01	0,001	0,005	0,005	0,004	0,004	0,002	0,004
Aceite y Grasas	mg/l		5	10	10		10								10		10
Coliformes Fecales	NMP/100ml		240	230	220		1600								240		540
Cond. Eléctrica	μS/cm	931	844	571	612	397	597	346	273	572	671	882	705	861	871	897	
Cloruro	mg/l	24,6	102,2	48,6	36,3	4,2	36,5	8,7	5	39,6	17,8	33,2	23,9	39,7	48,4	39,6	
Cromo Total	mg/l	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,05	0,05	
Cobre Total	mg/l	0,03	0,24	0,14	0,45	0,03	0,44	0,12	0,03	0,35	0,02	0,05	0,06	0,06	0,04	0,02	0,06
DBO ₅	mg/l	2	13	2	2	2	3	3	2	2	2	14	2	2	2	10	3
DQO	mg/l	5	21	5	15	3	13	12	4	15	7	15	7	14	15	10	
Hierro Total	mg/l	5,48	1,08	8,11	6,45	8,56	6,86	4,94	2,19	9,18	0,31	1,99	1,47	1,05	1,57	0,64	2,26
Hierro Disuelto	mg/l	0,14	0,03	0,21	0,17	0,22	0,18	0,13	0,06	0,24	0,01	0,05	0,04	0,03	0,04	0,02	0,06
Mercurio Total	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	
Manganeso Total	mg/l	0,29	0,16	0,35	0,57	0,35	0,46	0,39	0,12	0,48	0,04	0,16	0,13	0,43	0,19	0,18	
Molibdeno Total	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	0,1
Níquel Total	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-NH ₄	mg/l																0,06
N-NO ₃	mg/l	0,66	1,52	0,91	0,9	1,52	1,52	0,93	1,56	1,75	5,3	5,08	3,6	4,9	3,06	1,72	
Nitrógeno Total	mg/l																1,67
Oxígeno Disuelto	mg/l	6,8	6,8	7,7	8	6,9	6,8	6,9	6,5	7,4	7,2	5,6	8,2	7,3	8,4	6,5	3,5
Plomo Total	mg/l	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,05	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	

Parámetro	Unidades	JU-1	BL-1	CO-1	AC-1	PO-1	AC-2	PU-1	PU-2	QU-1	CA-1	LO-1	AC-3	LIT-1	AC-4	LI-1	AC-5
pH máximo	Unidad de pH	8,7	8,2	8,4	8,6	8,6	8,8	8,4	8,6	8,3	8,1	8	8,8	8,5	8,6	8,4	8,5
pH mínimo	Unidad de pH	7,1	7,3	7,3	7,4	7,5	7,1	7,2	6,6	7,4	7,4	7,1	7,7	7,3	7,6	7,3	7,8
P-PO₄	mg/l	0,52	0,53	0,52	0,52	0,52	0,55	0,52	2,06	0,70	0,62	0,71	0,56	0,76	0,72	0,07	
Fósforo Total	mg/l		0,34	0,53	0,53		0,77								0,38		0,45
Sulfato	mg/l	413	234	160	179	118	185	100	80	177	133	201	168	190	244	247	351
SST	mg/l		29	318	335		414								31		
Zinc Total	mg/l	0,03	0,02	0,1	0,09	0,02	0,06	0,05	0,02	0,07	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	
Clorofila a	µg/l																22,8

Fuente: Elaboración propia, según Informe Técnico del Departamento de Ecosistemas Acuáticos (MMA, 2020a).

Nota: celdas vacías: No normado

DBO₅=demanda bioquímica de oxígeno en 5 días; DQO=demanda química de oxígeno; N-NH₄=Nitrógeno de amonio; N-NO₃=nitrógeno de nitrato; P-PO₄=fósforo de fosfato; SST=sólidos suspendidos totales.

5.4 Nivel de calidad natural del agua

Tabla 20. Valores de calidad natural según parámetro y área de vigilancia usados en Proyecto Definitivo de la cuenca del río Aconcagua.

Parámetro	Unidades	JU-1	BL-1	CO-1	AC-1	PO-1	AC-2	PU-1	PU-2	QU-1	CA-1	LO-1	AC-3	LIT-1	AC-4	LI-1	AC-5
Aluminio Total	mg/l	0,1	0,3	0,3	0,6	0,2	0,3	0,1	0,1	0,3	0,2	0,3	0,1	0,1	0,3	0,2	
Arsénico Total	mg/l	0,003	0,001	0,002	0,004	0,001	0,001	0,004	0,004	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Aceite y Grasas	mg/l		5	5	5		5								5		5
Coliformes Fecales	NMP/100 ml		2	2	2		2								2		2
Cond. Eléctrica	µS/cm	441	230	169	240	183	214	134	140	173	464	545	360	434	392	478	
Cloruro	mg/l	6,1	7,8	7,3	6,2	1,4	6,7	2,4	1,4	5,3	10,6	16,3	9,2	12,8	11,5	14,5	
Cromo Total	mg/l	0,009	0,009	0,009	0,009	0,008	0,009	0,009	0,01	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	
Cobre Total	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,028	0,01	0,02	0,01	0,001	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,005
DBO₅	mg/l	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
DQO	mg/l	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	3	1	3	
Hierro Total	mg/l	0,06	0,09	0,05	0,81	0,05	0,1	0,19	0,06	0,13	0,07	0,28	0,09	0,07	0,07	0,09	0,002
Hierro Disuelto	mg/l	0,002	0,002	0,001	0,021	0,001	0,003	0,005	0,002	0,003	0,002	0,007	0,002	0,002	0,002	0,002	0,0001
Mercurio Total	mg/l	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	
Manganeso Total	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,09	0,01	0,03	0,01	0,001	0,03	0,01	0,04	0,01	0,03	0,02	0,02	
Molibdeno Total	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,005
Níquel Total	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,003	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
N-NH₄	mg/l																0,01

Parámetro	Unidades	JU-1	BL-1	CO-1	AC-1	PO-1	AC-2	PU-1	PU-2	QU-1	CA-1	LO-1	AC-3	LIT-1	AC-4	LI-1	AC-5
N-NO ₃	mg/l	0,02	0,1	0,01	0,1	0,2	0,2	0,03	0,1	0,1	0,2	1	0,6	0,3	0,1	0,1	
Nitrógeno Total	mg/l																0,5
Oxígeno Disuelto	mg/l	11,2	10,7	11,5	12,3	11,2	12,2	11,4	12,7	11,8	11,6	9,6	12,4	10,8	13,7	12,8	13,5
Plomo Total	Unidad de pH	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
pH	Unidad de pH	8,1	8	8	7,9	8,2	7,9	8,2	8,1	7,9	7,8	7,8	8,3	7,8	8,2	7,8	8,3
P-PO ₄	mg/l	0,003	0,003	0,003	0,002	0,003	0,005	0,003	0,003	0,005	0,026	0,036	0,005	0,018	0,01	0,022	
Fósforo Total	mg/l		0,2	0,2	0,2		0,2								0,2		0,2
Sulfato	mg/l	133	53	18	57	15	41	15	9	32	77	95	56	88	60	73	116
SST	mg/l		5	5	5		5								5		
Zinc Total	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
Clorofila a	µg/l																0,5

Fuente: Elaboración propia según Informe Técnico del Departamento de Ecosistemas Acuáticos (MMA, 2020a).

Nota: DBO₅=demanda bioquímica de oxígeno en 5 días; DQO=demanda química de oxígeno; N-NH₄=Nitrógeno de amonio; N-NO₃=nitrógeno de nitrato; P-PO₄=fósforo de fosfato; SST=sólidos suspendidos totales.

5.5 Línea base de emisiones

Las cargas anuales por parámetro se detallan en la Tabla 21, según tipo de fuente (Puntual o Difusa). Se observa que las emisiones son mayoritariamente de *coliformes fecales*, *sulfato*, *cloruro*, *DBO₅* y *nitrógeno total*. Los parámetros *nitrógeno total*, *nitrógeno de nitrato* (N-NO₃), *fósforo de fosfato* (P-PO₄), *aluminio total*, *cobre total*, *manganeso total*, *molibdeno total*, *zinc total*, *níquel total*, *cromo total*, *plomo total*, *arsénico total* y *mercurio total* tienen mayor aporte difuso que puntual. Además, se destaca que el nutriente nitrato solo se identifica como proveniente de fuentes difusas, estimado mediante factores de exportación²⁴.

Tabla 21. Carga de parámetros por tipo de fuente (kg/día).

Parámetro	Fuentes Difusas	Fuentes Puntuales	Total
Coliformes Fecales (*)	0	774.132.422	774.132.422
Sulfato Total	32.817	57.648	90.465
Cloruro Total	6.919	15.378,3	22.297,2
DBO ₅	0	5.117,5	5.117,5
Nitrógeno Total (**)	4.684	387,0	5.071
SST	0	4.146,7	4.146,7
Aceite y Grasas	0	3.389,8	3.389,8
N-NO ₃	2.341,5	0	2.341,5
Oxígeno disuelto	1.613,3	0	1.613,3
Fósforo Total	570,7	590,1	1.160,8
DQO	452,6	0	452,6

²⁴ Las fuentes puntuales catastradas no informan nitrato y fosfato ya que este no se exige su reporte y cumplimiento en norma de emisión a aguas superficiales D.S. N°90/2000, sin embargo, este hecho no significa que no se estén emitiendo.

Parámetro	Fuentes Difusas	Fuentes Puntuales	Total
P-PO ₄	190,5	0	190,5
Aluminio Total	148,4	14,7	163,1
Hierro Total	120,8	0,00	120,8
Cobre Total	88,5	6,3	94,8
Manganeso Total	61,0	12,2	73,14
Molibdeno Total	11,3	5,8	17,1
Zinc Total	12,5	3,7	16,3
Níquel Total	6,8	1,6	8,4
Cromo Total	6,8	0,2	7,0
Hierro Disuelto	0	6,3	6,3
Plomo Total	4,6	1,1	5,7
Arsénico Total	0,7	0,4	1,1
Mercurio Total	0,2	0,04	0,3

Fuente: Elaboración propia. (*) NMP 10⁶ (**) Kjeldahl. Se excluye pH y Cond. Eléctrica.

En la Tabla 21 se observa que el sulfato descargado en la cuenca se aproxima a 20.662 ton/año y las descargas de cloruro son aproximadamente 5.178 ton/año., emisiones que suelen ser mucho mayores a metales y nutrientes.

La

Tabla **22** detalla las emisiones desagregadas por parámetro y rubro. Se indican los rubros asociados a las fuentes puntuales que operan en la cuenca del río Aconcagua y que fueron consideradas en el análisis debido a que resultó posible caracterizar sus emisiones, ya sea de primera fuente (reporte de emisión de cada fuente según lo informado por D.S. N°90/2000) o utilizando información secundaria (caracterización de emisiones en base al D.S. N°90/2000). Además, se detallan las emisiones difusas por contaminante.

Tabla 22. Cargas por parámetro, rubro fuente puntual y tipo de fuente difusa (kg/día).

Parámetro	Rubro o tipo de fuente emisora								Total
	Agricultura	Alimento	Difusas relacionadas al uso de suelo	Industrial	Minería	Servicios Sanitarios Rurales		Sanitarias urbanas (***)	
						PTAS rural	ARSSS		
Aluminio Total	0,0	1,2	0,0	145,5	16,4	0,0	0,0	0,0	163,1
Arsénico Total	0,0	0,0	0,0	0,8	0,3	0,0	0,0	0,0	1,1
Aceite y Grasas	0,0	181,0	0,0	299,5	339,7	246,1	218,3	2105,2	3389,8
Cloruro	0,2	2961,5	0,0	10385,6	4739,4	0,0	0,0	4210,4	22297,2
Coliformes Fecales (*)	7,5E-01	2,4E+03	0,0	6797,1	5667,4	4,1E+08	3,6E+08	3,1E+04	7,7E+08
Cromo Total	0,0	0,0	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0
Cobre Total	0,0	0,1	0,0	89,0	3,2	0,0	0,0	2,4	94,8
DBO₅	0,1	85,8	0,0	370,2	425,2	1025,6	909,6	2300,9	5117,5
DQO	0,0	0,0	0,0	452,6	0,0	0,0	0,0	0,0	452,6
Hierro Total	0,0	0,0	0,0	120,8	0,0	0,0	0,0	0,0	120,8
Hierro Disuelto	0,0	2,1	0,0	0,7	3,5	0,0	0,0	0,0	6,3

Parámetro	Rubro o tipo de fuente emisora								
	Agricultura	Alimento	Difusas relacionadas al uso de suelo	Industrial	Minería	Servicios Sanitarios Rurales		Sanitarias urbanas (***)	Total
						PTAS rural	ARSSS		
Mercurio Total	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Manganeso Total	0,0	0,1	0,0	65,2	7,8	0,0	0,0	0,0	73,1
Molibdeno Total	0,0	0,1	0,0	11,7	5,4	0,0	0,0	0,0	17,1
Nitrógeno Total (**)	0,0	0,0	4684,4	0,0	0,0	205,1	181,9	0,0	5071,4
Níquel Total	0,0	0,3	0,0	7,4	0,7	0,0	0,0	0,0	8,4
N-NO₃	0,0	0,0	2341,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2341,5
Oxígeno Disuelto	0,0	0,0	0,0	1613,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1613,3
Fósforo Total	0,0	17,8	570,7	18,1	22,3	41,0	36,4	454,5	1160,8
Plomo Total	0,0	0,1	0,0	4,9	0,6	0,0	0,0	0,0	5,7
P-PO₄	0,0	0,0	182,8	7,7	0,0	0,0	0,0	0,0	190,5
Sulfato	0,9	1922,9	0,0	46941,3	24243,2	0,0	0,0	17356,7	90465,0
SST	0,1	128,6	0,0	720,1	137,9	902,5	800,5	1457,0	4146,7
Zinc Total	0,0	0,3	0,0	14,2	1,7	0,0	0,0	0,0	16,3

Fuente: Elaboración propia. (*) NMP 10⁶ (**) Kjeldahl. (***) PTAS urbana. Se excluye pH y Cond. Eléctrica.

Tabla 23 detalla la superficie considerada para la estimación de emisiones con factores de exportación.

Tabla 23. Superficie (ha) según uso de suelo y área de vigilancia.

Uso de Suelo	JU-1	BL-1	CO-1	AC-1	PO-1	AC-2	PU-1	PU-2	QU-1	CA-1	LO-1	AC-3	LIT-1	AC-4	LI-1	AC-5	Total
Agrícola		19	67	938	11.038	6.932		6.936	9.318	4.508	6.043	9.455	7.279	25.583	7.105	96	95.316
Bosque	10	590	3.508	7.434	8.053	656	1.594	18.939	6.103	14.680	13.545	5.241	20.314	29.732	28.257	820	159.476
Cuerpo de agua	413	802	1.126	1.235	146	11	1.613	768	754	3	6	4	57	55	459	78	7.530
Pradera	4.303	4.054	22.208	20.412	26.548	3.698	10.332	24.352	24.132	11.631	12.498	4.599	11.812	14.785	15.830	474	211.667
Urbano		1.762		172	2.086	1.372		759	970	473	747	460	1.982	3.225	3.808	1.439	19.255
Total	4.726	7.227	26.909	30.191	47.871	12.669	13.539	51.755	41.277	31.295	32.838	19.759	41.443	73.379	55.459	2.908	493.245

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por el Informe Técnico del Departamento de Ecosistemas Acuáticos (MMA, 2020a).

5.6 Beneficios

5.6.1 Cuantificación de beneficiarios de la cuenca del río Aconcagua

Tabla 24. Cantidad de personas y hogares en comunas de la cuenca del río Aconcagua.

Comuna	Número personas	Número de hogares
Calera	53.591	17.287
Calle Larga	16.482	5.317
Catemu	15.213	4.907
Concón	45.889	14.803
Hijuelas	19.099	6.161
La Cruz	25.321	8.168
Limache	49.931	16.107
Llaillay	26.533	8.559
Los Andes	68.093	21.965
Nogales	23.490	7.577
Olmué	19.266	6.215
Panquehue	7.633	2.462
Putendo	17.645	5.692
Quillota	97.572	31.475
Quintero	36.135	11.656
Rinconada	11.263	3.633
San Esteban	20.643	6.659
San Felipe	83.494	26.934
Santa María	16.367	5.280
Villa Alemana	139.310	44.939
Total	792.970	255.797

Fuente: Elaboración propia en base a (INE, 2017b).

5.7 Medidas de abatimiento

A continuación, se presenta el listado completo de las tecnologías de abatimiento consideradas en esta actualización de costos y beneficios con motivo del Proyecto Definitivo de la NSCA de Aconcagua, según los antecedentes aportados por las consultorías de Fundación Chile (2010), AMPHOS 21 (2014) y ECOTEC Ingeniería (2017).

Tabla 25. Tecnologías de abatimiento para fuentes puntuales consideradas en la presente evaluación.

Nombre tecnología	Código tecnología
Etapa 4 Bardenpho	4_Bard
EBPR	BioAOSinTanqAd
Biometanización	BioBiomet
BRI	BioBri
Filtros Biológicos Horizontales	BioFilHor
Filtros Biológicos Verticales	BioFilVer
Lagunas de oxidación	BioLag
Lodos Activados	BioLod
Lodos Activados + complemento Nt	BioLodComp
Reactor Anaeróbico	BioReAnCL
Reactor Anaeróbico	BioReAnF7
Reactores Biológicos Secuenciales (SBR)	BioReBio
Wetlands	BioWet
BLUE PRO - Precipitación química	BlueProFisPre
Desinfección UV	DesUV
Electrocoagulación	Electrocoag
Adsorción con Carbón Activado	FisAdsCind
Adsorción con diferentes materiales	FisAdsDAA
Arrastre por Aire (Air Stripping)	FisArr
Bekosplit	FisBek
Clarificación	FisCla
Coalescencia	FisCoas
Declaración	FisDecSO2
Destilación	FisDes
Electrodialisis	FisEled
Electrooxidación	FisElex
Extracción por Solvente	FisExt
Filtros AMIAD	FisFil2
Flotación por Aire Disuelto (DAF)	FisFlo
Intercambio Iónico	FisInt
Nanofiltración	FisNan
Osmosis Inversa	FisOsm
Oxidación con Agua Supercrítica	FisOxiAg

Nombre tecnología	Código tecnología
Oxidación con Aire Húmedo	FisOxiAire
Oxidación Avanzada Catalítica (POAs)	FisOxiAO
Precipitación Química	FisPre
Cribado	FisPreC
Filtración	FisPreFil
Pre filtración	FisPreR
Pre filtración	FisPreTR
Separadores por Gravedad y Sedimentación	FisSepA
Separadores por Gravedad y Sedimentación	FisSepN
Skimmer	FisSki
Ultrafiltración	FisUlt
BRM	MemBrm
Modificación a Ludzack Ettinger (MLE)	MLE
MLE + Filtración	MLEFilt
Ozonización	Ozon
Coagulación -Floculación	QuimCoFloc
Neutralización	QuimNe
Rotación biológica de Contacto	RBC
Intercambiador de Calor	TraInt
Torres de Enfriamiento	TraTor
Zanjas de Oxidación + complemento Nt	ZanOxComp

Fuente: Elaboración propia en base a Fundación Chile (2010), AMPHOS 21 (2014) y ECOTEC Ingeniería (2017).

5.7.1 Eficiencias abatimiento tecnologías para fuentes emisoras puntuales

Tabla 26. Eficiencia de abatimiento de las tecnologías.

Código tecnología	Contaminante abatido	Eficiencia de remoción (%)
BioAOSinTanqAd	Fósforo Total	90
BioBiomet	DQO	94
BioBri	Aceite y Grasas	79
	DBO ₅	98
	DQO	55
	SST	95
BioFilHor	Aceite y Grasas	61
	Coliformes Fecales	90
	DBO ₅	90
	DQO	93
	N-NO ₃	70
	Fósforo Total	78
	SST	94
BioFilVer	Aceite y Grasas	61
	Coliformes Fecales	90
	DBO ₅	90
	DQO	93
	N-NO ₃	70
	Fósforo Total	78
	SST	94
BioLag	Aceite y Grasas	76
	DBO ₅	82
	Fósforo Total	77
BioLod	DBO ₅	85
	DQO	88
	P-PO ₄	18
	Fósforo Total	18
	SST	90
BioLodComp	Fósforo Total	80
BioReAnCL	Aceite y Grasas	85

Código tecnología	Contaminante abatido	Eficiencia de remoción (%)
	Coliformes Fecales	88
	DQO	80
	SST	90
BioReAnF7	DBO ₅	73
	DQO	72
	Fósforo Total	35
	Sulfato	73
	SST	69
BioReBio	Aceite y Grasas	59
	DBO ₅	90
	DQO	85
	Fósforo Total	92
	SST	90
BioWet	DBO ₅	90
	DQO	90
	Fósforo Total	90
	SST	90
BlueProFisPre	Fósforo Total	90
DesUV	Coliformes Fecales	99
Electrocoag	Aluminio Total	99
	Arsénico Total	97
	Aceite y Grasas	95
	Cobre Total	99
	DBO ₅	98
	DQO	90
	Hierro Total	99
	Hierro Disuelto	99
	Manganeso Total	84
	Molibdeno Total	85
	Níquel Total	99
	N-NO ₃	99
	Fósforo Total	70
SST	99	

Código tecnología	Contaminante abatido	Eficiencia de remoción (%)
	Zinc Total	99
FisAdsCind	DBO ₅	97
FisAdsDAA	Arsénico Total	90
	DBO ₅	90
	Mercurio Total	90
	Plomo Total	90
	SST	90
FisAl	Fósforo Total	90
FisBek	Aceite y Grasas	90
	SST	75
FisCoas	Aceite y Grasas	97
FisEled	Arsénico Total	80
	N-NO ₃	90
	P-PO ₄	90
	Sulfato	90
	SST	90
FisFil2	SST	90
FisFlo	DBO ₅	95
	Hierro Total	85
	Hierro Disuelto	85
	Manganeso Total	85
	SST	98
FisInt	Aluminio Total	97
	Cloruro	98
	Manganeso Total	98
	N-NO ₃	98
	P-PO ₄	98
	Sulfato	95
FisNan	Arsénico Total	90
	Hierro Total	95
	Hierro Disuelto	95
	N-NO ₃	95
FisOsm	Coliformes Fecales	99
	DBO ₅	100

Código tecnología	Contaminante abatido	Eficiencia de remoción (%)
	Mercurio Total	99
	N-NO ₃	100
	SST	99
FisOxiAO	Aceite y Grasas	90
	DBO ₅	95
FisPre	Arsénico Total	70
	Aceite y Grasas	90
	Coliformes Fecales	60
	Cromo Total	72
	Cobre Total	73
	DBO ₅	83
	DQO	67
	Hierro Total	51
	Hierro Disuelto	51
	Mercurio Total	21
	Manganeso Total	90
	Plomo Total	69
	P-PO ₄	93
	Fósforo Total	84
	SST	78
Zinc Total	70	
FisPreC	DBO ₅	95
	Hierro Total	85
	Hierro Disuelto	85
	Manganeso Total	85
	SST	98
FisPreFil	DBO ₅	95
	Hierro Total	85
	Hierro Disuelto	85
	Manganeso Total	85
	SST	98
FisPreR	DBO ₅	95
	Hierro Total	85
	Hierro Disuelto	85

Código tecnología	Contaminante abatido	Eficiencia de remoción (%)
	Manganeso Total	85
	SST	98
FisPreTR	DBO ₅	95
	Hierro Total	85
	Hierro Disuelto	85
	Manganeso Total	85
	SST	98
FisSepA	SST	70
FisSepN	DBO ₅	95
	Hierro Total	85
	Hierro Disuelto	85
	Manganeso Total	85
	SST	98
FisSki	Aceite y Grasas	98
FisUlt	Coliformes Fecales	55
	DQO	85
	SST	88
MemBrm	Aceite y Grasas	69
	DBO ₅	98
Ozon	Coliformes Fecales	90
QuimCoFloc	Arsénico Total	99
	Coliformes Fecales	90
	DBO ₅	100
	DQO	75
	Mercurio Total	99
	Fósforo Total	90
	SST	100
QuimNe	DBO ₅	50
	Fósforo Total	75
	SST	78

Fuente: Elaboración propia en base a AMPHOS 21 (2014); ECOTEC (2017) y Fundación Chile (2010).

5.7.2 Curvas de costos de abatimiento

Tabla 27. Antecedentes de las curvas de costos de Inversión y Operación & Mantenimiento.

Código tecnología	Tipo de costo	Unidad Caudal	Unidad función	a	b
FisAdsDAA	Inversión	m3/d	US	2.108	0,6
	Operación y Mantenición	m3/d	USD/m3	4	-0,424
FisAdsCind	Inversión	m3/h	USD/m3/h	21.935	-0,4
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	5.484	-0,4
FisArr	Inversión	m3/h	USD	5.600	0,6
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/m3	3	-0,69
FisBek	Inversión	L/h	USD	7.870	0,4117
	Operación y Mantenición	L/h	USD/m3	59	-0,763
BioBiomet	Inversión	m3/h	USD/m3/h	264.072	-0,26
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	14.048	-0,4
BlueProFisPre	Inversión	m3/h	USD/m3/h	1.631	-0,072
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	233	-0,044
BioBri	Inversión	m3/h	USD/m3/h	210.456	-0,349
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	18.941	-0,349
MemBrm	Inversión	m3/h	USD/m3/h	276.547	-0,355
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	5.883	-0,143
FisCla	Inversión	m3/h	USD/m3/h	18	-0,5516
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	14.969.088	-1
QuimCoFloc	Inversión	m3/h	USD/m3/h	42.918	-0,671
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	3.819	-0,703
FisCoas	Inversión	L/s	USD	5.471	0,4
	Operación y Mantenición	L/s	USD/m3	0	-0,611
FisPreC	Inversión	m3/h	USD/m3/h	1.422	-0,4
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	89	-0,4
FisDecSO2	Operación y Mantenición	m3/d	USD/m3	0	-0,12

Código tecnología	Tipo de costo	Unidad Caudal	Unidad función	a	b
FisPreR	Inversión	m3/h	USD/m3/h	421	-0,4
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	43	-0,4
DesUV	Inversión	L/s	USD	11.208	0,5351
	Operación y Mantenición	L/s	USD/m3	9	-0,987
FisDes	Inversión	m3/d	USD	30.153	0,4
	Operación y Mantenición	m3/d	USD/m3	12	-0,4256
BioAOSinTanqAd	Inversión	m3/d	USD	237	0,6426
	Operación y Mantenición	m3/d	USD/m3	0	-0,265
BioReAnCL	Inversión	m3/h	USD/m3/h	38.076	-0,4
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	5.984	-0,4
Electrocoag	Inversión	m3/h	USD/m3/h	18.198	-0,4
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	178	-0,091
FisInt	Inversión	m3/h	USD/m3/h	77.675	-0,4
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	3.494	-0,4
FisEled	Inversión	m3/h	USD/m3/h	192.810	-0,455
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	150.468	-0,374
FisElex	Inversión	m3/d	USD	11.357	0,6
	Operación y Mantenición	m3/d	USD/m3	5	-0,214
4_Bard	Inversión	m3/h	USD/m3/h	461.362	-0,67
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	66.660	-0,712
FisExt	Inversión	m3/mes	USD	31.451	0,6
FisPreFil	Inversión	m3/h	USD/m3/h	15.602	-0,309
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	2.340	-0,309
FisFil2	Inversión	m3/h	USD	16.583	0,3
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/m3	0	-0,135
BioFilHor	Inversión	m3/h	USD/m3/h	23.351	-0,237
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	2.738	-0,4

Código tecnología	Tipo de costo	Unidad Caudal	Unidad función	a	b
BioFilVer	Inversión	m3/h	USD/m3/h	401.161	-0,405
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	38.631	-0,486
FisFlo	Inversión	m3/h	USD/m3/h	52.941	-0,508
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	4.630	-0,451
TraInt	Inversión	m3/h	USD/m3/h	834	-0,3
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	1.699	-0,28
BioLag	Inversión	m3/h	USD/m3/h	675.119	-0,4
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	391	0,1292
BioLod	Inversión	m3/h	USD/m3/h	91.820	-0,167
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	211.462	-0,476
BioLodComp	Inversión	m3/h	USD	51.963	0,5919
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año	4.997	0,5937
MLEFilt	Inversión	m3/h	USD/m3/h	442.955	-0,6449
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	48.152	-0,659
MLE	Inversión	m3/h	USD/m3/h	375.194	-0,623
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	39.815	-0,631
FisNan	Inversión	m3/h	USD/m3/h	53.599	-0,275
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	11.001	-0,324
QuimNe	Inversión	m3/h	USD/m3/h	11.202	-0,377
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	313	-0,036
FisAl	Inversión	m3/d	USD	94.193	0,1356
	Operación y Mantenición	m3/d	USD/m3	0	-0,16
FisOxiAg	Inversión	m3/d	USD	25.238	0,6
	Operación y Mantenición	m3/d	USD/m3	3	-0,131
FisOxiAire	Inversión	m3/d	USD	18.929	0,6
	Operación y Mantenición	m3/d	USD/m3	2	-0,131
Ozon	Inversión	m3/h	USD/m3/h	19.534	-0,4

Código tecnología	Tipo de costo	Unidad Caudal	Unidad función	a	b
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	819	-0,266
FisOxiAO	Inversión	m3/d	USD	22.714	0,6
	Operación y Mantenición	m3/d	USD/m3	2	-0,131
FisPre	Inversión	m3/h	USD/m3/h	19.394	-0,537
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	1.506	-0,539
RBC	Inversión	m3/h	USD/m3/h	403.122	-0,533
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	28.495	-0,528
BioReBio	Inversión	m3/h	USD/m3/h	302.390	-0,45
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	24.479	-0,514
FisSepN	Inversión	m3/h	USD/m3/h	8.461	-0,582
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	1.269	-0,582
FisSepA	Inversión	m3/h	USD	14.078	0,6
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/m3	0	-0,45
FisSki	Inversión	L/h	USD	2.593	0,1714
	Operación y Mantenición	L/h	USD/m3	11	-0,558
FisPreTR	Inversión	m3/h	USD/m3/h	436	-0,4
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	43	-0,4
TraTor	Inversión	m3/h	USD/m3/h	0	-0,1
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	4.313	-0,321
BioReAnF7	Inversión	m3/h	USD/m3/h	12.875	-0,234
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	3.282	-0,042
FisUlt	Inversión	m3/h	USD/m3/h	28.627	-0,221
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	7.599	-0,229
BioWet	Inversión	m3/d	USD	8.124	0,7281
	Operación y Mantenición	m3/d	USD/m3	0	-0,546
ZanOxComp	Inversión	m3/h	USD	32.292	0,6162
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año	3.150	0,6565

Fuente: Elaboración propia en base a AMPHOS 21 (2014); ECOTEC (2017) y Fundación Chile (2010).

5.8 Cobertura vegetación ripariana

Tabla 28. Porcentaje de cobertura de vegetación ripariana reforestable por área de vigilancia.

Área de vigilancia	% de cobertura reforestable
JU-1	99,45%
BL-1	76,01%
CO-1	86,01%
AC-1	71,37%
PO-1	65,20%
AC-2	74,85%
PU-1	74,75%
PU-2	67,22%
QU-1	67,47%
CA-1	80,88%
LO-1	65,24%
AC-3	48,81%
LIT-1	65,40%
AC-4	73,99%
LI-1	62,80%
AC-5	32,17%
Promedio	69,48%

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por el Departamento de Ecosistemas Acuáticos.

5.9 Supuestos para estimación de costos de monitoreo y fiscalización

Tabla 29. Valores considerados al año 2020 para una campaña de muestreo.

Ítem	Valor	Unidad
Distancia total a recorrer por la DGA	800	km
Distancia total a recorrer por el MMA	400	km
Rendimiento vehículo	10	km/L
Precio combustible diésel	500	CLP/L
Peajes a costear por DGA	30.000	CLP
Peajes a costear por MMA	10.000	CLP
Profesionales	2	profesionales
Viáticos	17.000	CLP/d/profesional
Número de días (Nd) por DGA	3	d
Número de días (Nd) por MMA	1	d

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30. Costos promedio por parámetro de análisis de laboratorio según contaminante considerados al año 2020.

Parámetro	Costo (UF)
Aluminio Total	0,221
Arsénico Total	0,245
Aceite y Grasas	0,335
Coliformes Fecales	0,282
Cond. Eléctrica	0,067
Cloruro	0,158
Cromo Total	0,137
Cobre Total	0,182
DBO₅	0,350
DQO	0,302
Hierro Total	0,199
Hierro Disuelto	0,161
Mercurio Total	0,246
Manganeso Total	0,133
Molibdeno Total	0,190
Níquel Total	0,140

Parámetro	Costo (UF)
N-NH ₄	0,207
N-NO ₃	0,360
Nitrógeno Total	0,358
Oxígeno Disuelto	0,025
Plomo Total	0,140
pH	0,025
P-PO₄	0,536
Fósforo Total	0,198
Sulfato	0,167
SST	0,147
Zinc Total	0,187
Clorofila a	3,338

Fuente: Elaboración propia a partir de cotizaciones señaladas en texto, Valor UF: \$ 29.078,74
Tipo de Cambio: \$792,22 CLP

La Tabla 31, identifica las áreas de vigilancia indicando si cuentan o no con estación de calidad de aguas de la DGA o MMA (puntos de control del PD NSCA-Aconcagua) para realizar el monitoreo de los parámetros requeridos. No se considerará como una estación de monitoreo nueva cuando una estación existente se traslade y reubique en el punto de monitoreo requerido por la NSCA.

Tabla 31. Estaciones de monitoreo de calidad de aguas para estimar los costos de monitoreo de acuerdo a la ubicación de los puntos de control del PD NSCA-Aconcagua.

Área de Vigilancia	Institución	Nombre estación
JU-1	DGA	Río Juncal en Juncal
BL-1	DGA	Río Blanco en Bocatoma Central Hidroeléctrica
CO-1	DGA	Río Colorado en Bocatoma Central Hidroeléctrica
AC-1	DGA	Río Blanco en Chacabuquito
PO-1	DGA	Estero Pocuro en el Sifón
AC-2	DGA	Río Aconcagua en San Felipe
PU-1	DGA	Río Putaendo en el Resguardo de Los Patos
PU-2	DGA	Río Putaendo en el Baden
QU-1	DGA	Estero Quilpué o Río San Francisco
CA-1	DGA	Estero Catemu en Catemu
LO-1	DGA	Estero Las Vegas en Desembocadura
AC-3	DGA	Río Aconcagua en Romeral
LIT-1	DGA	Estero El Litre antes Río Aconcagua

AC-4	DGA	Río Aconcagua en puente Colmo
LI-1	DGA	Estero Limache entrada Embalse Los Aromos
AC-5	MMA	Río Aconcagua en desembocadura (Pte, Concón), Estuario

Fuente: Elaboración propia. Estación de monitoreo actual presente en el área de vigilancia, se asume la posibilidad de que se traslade a la ubicación del control de las normas, y esto implica que mantendrá el monitoreo de los mismos parámetros, lo anterior solo tiene efectos para la estimación de costos de monitoreo del Proyecto Definitivo y no para dar cuenta del estado de calidad de aguas representativo de dicha área de vigilancia.

Tabla 32. Valores considerados en fiscalización por servicio público.

Concepto	Servicio	Valor Hp (CLP/h)	Nº horas (h)	Frecuencia
Elaboración PMCCA	SMA	25.000	100	1 vez
Elaboración PMCCA	MMA	20.000	250	1 vez
Elaboración Reporte Técnico de Monitoreo (RTM)	DGA	23.000	50	4 veces/año
Elaboración Informe Técnico de Cumplimiento (ITC) de la NSCA	SMA	25.000	300	1 vez/año (a partir del 3º año)
Fiscalizar actividades de monitoreo	SMA	25.000	16	4 veces/año
Elaboración Informe de calidad de la NSCA	MMA	20.000	100	1 vez/año (a partir 3º año)

Fuente: Elaboración propia en base a información por comunicaciones personales con funcionarios encargados y sitios web de transparencia institucional.

5.10 Parámetros de análisis y uso de softwares

Las etapas de análisis descritas anteriormente se implementaron en el programa Analytica 64-bit Optimizer 5.2, optimizador KNITRO.

Las tasas de cambio y descuento utilizadas en el presente informe se presentan en la Tabla 33.

Tabla 33. Parámetros de análisis.

Parámetro	Valor	Nota
UF	29.078,74	Fuente: Banco Central al 15 de enero de 2021
Dólar (US\$)	792,22 CLP	Banco Central. Tipo de cambio estimado mensual para el periodo entre enero 2020 a diciembre 2020.
Tasa social de descuento	6%	MIDESO (2018)

Fuente: Elaboración propia.

6. Bibliografía

- AMPHOS 21, 2014. Generación de información base para la evaluación de normas de calidad ambiental y emisión: revisión y actualización sobre tecnologías y costos de abatimiento de contaminantes en residuos líquidos, Preparado para el Ministerio del Medio Ambiente. Elaborado por AMPHOS21 para el Ministerio del Medio Ambiente de Chile., Santiago.
- Black, J.; Hashimzade, N., and Myles, G., 2009. A Dictionary of Economics. Oxford University Press.
- Cárdenas, P., 2007. Cambios en la exportación y retención de nitrógeno y fósforo causado por la conversión de bosque nativo a plantaciones forestales en microcuencas de la cordillera de la costa en el sur de Chile. Esc. Ciencias, Fac. Ciencias. Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- CENMA, 2019. Revisión y edición técnica de capítulos AGIES de Instrumentos de Gestión Ambiental de Calidad del Agua. Anexo 1: Valores Recomendados para la estimación de Aporte de las Fuentes Difusas., 2019.
- Cienciambiental, 2018. Identificación de ecosistemas continentales y los servicios ecosistémicos que estos proveen. https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/325999626_Identificacion_de_ecosistemas_continentales_y_los_servicios_ecosistemicos_que_estos_proveen
- Cienciambiental, 2014. Recopilación y Sistematización de Información Relativa a Estudios de Evaluación, Mapeo y Valorización de Servicios Ecosistémicos en Chile 1, 55. <https://doi.org/http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/26106>
- Collins, A.L., Hughes, G., Zhang, Y., Whitehead, J., 2009. Mitigating diffuse water pollution from agriculture: Riparian buffer strip performance with width. CAB Rev. Perspect. Agric. Vet. Sci. Nutr. Nat. Resour. 4. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20094039>
- CONAF, 2020. Catastros de uso de suelo y vegetación [WWW Document]. URL <http://www.ide.cl/index.php/flora-y-fauna/item/1513-catastros-de-uso-de-suelo-y-vegetacion>
- Dawson, R., 2011. How significant is a boxplot outlier? J. Stat. Educ. 19. <https://doi.org/10.1080/10691898.2011.11889610>
- de Groot, R.S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., Willemen, L., R.S., D.G., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., Willemen, L., 2010. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. Ecol. Complex. 7, 260–272. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.10.006>
- Díaz, S., Demissew, S., Joly, C., Lonsdale, W.M., Larigauderie, A., 2015. A Rosetta Stone for Nature's Benefits to People. PLoS Biol. 13, 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002040>
- Dodd, R; McCarthy, M., 1992. Watershed Planning in the Albemarle-Pamlico estuarine system. ECOTEC, 2017. Inventario de tecnologías de tratamiento de residuos industriales líquidos y actualización de costos de tecnologías de tratamiento, Informe Final. Preparado para el Ministerio del Medio Ambiente, Santiago.
- Fundación Chile, 2010. Consultoría de apoyo a los procesos de normas ambientales en sistemas hídricos: estimación de costos de abatimiento de contaminantes en residuos líquidos. Elabor. para la Com. Nac. del Medio Ambient.
- Gómez-Baggethun, E., de Groot, R., Lomas, P.L., Montes, C., 2010. The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes. Ecol. Econ. 69, 1209–1218. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.007>

- Haines-Young, R., Potschin, M., 2012. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4.
- Haines-Young, R., Potschin, M., 2018. CICES V5. 1. Guidance on the Application of the Revised Structure, Fabis Consulting.
- Hernández-Sancho, F., Molinos-Senante, M., Sala-Garrido, R., 2010. Economic valuation of environmental benefits from wastewater treatment processes: An empirical approach for Spain. *Sci. Total Environ.* 408, 953–957. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.10.028>
- Hicks, R., 2002. A Comparison of Stated and Revealed Preference Methods for Fisheries Management. Department of Coastal and Ocean Policy. Virginia Institute of Marine Science The College of William and Mary.
- Huenchuleo, C., De Kartzow, A., 2018. Economic valuation of ecosystem services in the Aconcagua River watershed of Chile. *Tecnol. y Ciencias del Agua* 9, 58–84. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-02-03>
- Huenchuleo, C.A., Barkmann, J., Marggraf, R., 2016. Attitudinal determinants of willingness - to-pay for river ecosystem improvements in central Chile: A choice experiment. *Cienc. e Investig. Agrar.* 43, 125–137. <https://doi.org/10.4067/s0718-16202016000100011>
- INE, 2017a. Comunas: Población estimada al 30 de junio por sexo y edad simple 2002-2020. Base de datos.
- INE, 2017b. SÍNTESIS DE RESULTADOS CENSO 2017.
- Iribarren, A., 2006. Paridad de Poder de compra: una revisión de la literatura empírica.
- Johnston, R.J., Besedin, E.Y., Iovanna, R., Miller, C.J., Wardwell, R.F., Ranson, M.H., 2005. Systematic Variation in Willingness to Pay for Aquatic Resource Improvements and Implications for Benefit Transfer: A Meta - Analysis. *Can. J. Agric. Econ. / Rev. Can. D' Agroéconomie* 53, 221–248. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7976.2005.04018.x>
- Johnston, R.J., Besedin, E.Y., Stapler, R., 2017. Enhanced Geospatial Validity for Meta-analysis and Environmental Benefit Transfer: An Application to Water Quality Improvements. *Environ. Resour. Econ.* 68, 343–375. <https://doi.org/10.1007/s10640-016-0021-7>
- Kluesener, J.W., Lee, G.F., 1974. Nutrient loading from a separate storm sewer in Madison, Wisconsin. *J. Water Pollut. Control Fed.* 46, 920–936.
- León-Muñoz, J., Echeverría, C., Marcé, R., Riss, W., Sherman, B., Iriarte, J.L., 2013. The combined impact of land use change and aquaculture on sediment and water quality in oligotrophic Lake Rupanco (North Patagonia, Chile, 40.8°S). *J. Environ. Manage.* 128, 283–291. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.05.008>
- Lin, J., 2004. Export Coefficient and Event Meant Concentration.
- Martín-López, B., Gómez-Baggethun, E., Garcia-Lorene., M., Montes, C., 2014. Trade-offs across value-domains in ecosystem services assessment. *Ecol. Indic.* 37, 220–228. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.03.003>
- Martín-López, B., González, J., Vilardy, S., 2012. Ciencias de la Guía Docente Guía Docente. <https://doi.org/10.1016/j.ajhg.2011.11.018>
- Martínez Alier, J., 2002. El ecologismo de los pobres: conflictos ambientales y lenguajes de valoración, Quinta Edi. ed. Espiritrompa.
- MEA, 2005. Millenium Ecosystem Assessment: ecosystems and human well- being. Washington, D.C.
- MIDESO, 2018. Precios Sociales 2018.
- MINSEGPRES, 2000. D.S. 90/2000.Norma De Emision Para La Regulacion De Contaminantes Asociados a Las Descargas De Residuos Liquidos a Aguas Marinas Y Continentales Superficiales. Ministerio Secretaria General de la Presidencia.

- MMA, 2020a. Informe técnico de 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.
- MMA, 2020b. Proyecto Definitivo de Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Aconcagua.
- MMA, 2020c. Contribución determinada a nivel nacional (NDC) de Chile.
- MMA, 2017a. Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) del Anteproyecto de Norma Secundaria para el río Aconcagua.
- MMA, 2017b. Guía metodológica para la transferencia de beneficios.
- Oyarzún, C.E., Campos, H., Huber, A., 1997. Exportación de nutrientes en microcuencas con distinto uso del suelo en el sur de Chile (Lago Rupanco, X Región). *Rev. Chil. Hist. Nat.* 70, 507–519.
- Parks, S., Gowdy, J., 2013. What have economists learned about valuing nature? A review essay. *Ecosyst. Serv.* 3. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.12.002>
- Parkyn, S.M., Davies-Colley, R.J., Cooper, A.B., Stroud, M.J., 2005. Predictions of stream nutrient and sediment yield changes following restoration of forested riparian buffers. *Ecol. Eng.* 24, 551–558.
- Reckhow, K., Beaulac, M., Simpson, J., 1980. Modeling Phosphorus Loading and Lake Response Under Uncertainty: A Manual and Compilation of Export Coefficients. Washington, DC.
- Rioseco Vallejos, G., Mardones Poblete, C., Jiménez del Río, J., 2015. Efecto directo e indirecto de la dispersión de las emisiones industriales sobre la regulación ambiental. *Rev. análisis económico* 30, 79–96. <https://doi.org/10.4067/s0718-88702015000200004>
- Salas, J., Pidre, J., Sánchez, L., 2007. Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales, in: CENTA (Ed.), *Humedales Artificiales*. Sevilla, España.
- Saz Salazar, S. del, García Menéndez, L., 2002. Disposición a pagar versus disposición a ser compensado por mejoras medioambientales:: evidencia empírica. IX encuentro Econ. pública, hacienda y medio Ambient. 7 y 8 febrero 2002, 2002.
- US EPA, 2008. Handbook for Developing Watershed Plans to Restore and Protect Our Waters. EPA.
- Van Houtven, G., Powers, J., Pattanayak, S.K., 2007. Valuing water quality improvements in the United States using meta-analysis: Is the glass half-full or half-empty for national policy analysis? *Resour. Energy Econ.* 29, 206–228. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2007.01.002>
- Wegner, G., Pascual, U., 2011. Cost-benefit analysis in the context of ecosystem services for human well-being: A multidisciplinary critique. *Glob. Environ. Chang.* 21, 492–504. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.12.008>
- White, M., Harmel, D., Yen, H., Arnold, J., Gambone, M., Haney, R., 2015. Development of Sediment and Nutrient Export Coefficients for U.S. Ecoregions. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 51, 758–775. <https://doi.org/10.1111/jawr.12270>