



DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

ANÁLISIS GENERAL DE IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DEL ANTEPROYECTO DE LA NORMA SECUNDARIA DE CALIDAD AMBIENTAL DE LA CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA

Abril, 2017

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 descontaminación y prevención 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 Ministerio de Medio Ambiente), se requiere de un Análisis de Impacto Económico y Social (AGIES) de las propuestas normativas que sirva como apoyo a la participación ciudadana (PAC) y a la toma de decisiones enfocada principalmente en el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad (CMS), tarea que recae en el Departamento de Economía Ambiental del Ministerio del Medio Ambiente.

El proceso de elaboración de una norma o un plan 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, para 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 (PAC), el Consejo Consultivo y el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad, no obstante, no debe ser considerado como el único o definitivo instrumento de evaluación, correspondiendo a uno de los múltiples antecedentes para la toma de decisión, como también lo son los antecedentes geográficos y demográficos, datos históricos, situación política y la más relevante es la percepción pública respecto a la Norma a implementar.

El presente documento corresponde a una evaluación de Costos y Beneficios para el Anteproyecto A-AP (en rojo, Figura 1), en el cual se actualizará la estimación de los beneficios cuantificables y los costos identificados según la información disponible por el MMA a la fecha de evaluación.

Figura 0-1: Etapa Actual del AGIES



Fuente: Elaboración propia

Este análisis evalúa la implementación de una Norma Secundaria de Calidad Ambiental (NSCA) y en él se estiman los beneficios potenciales a través de la valoración de servicios ecosistémicos, así como también estima los costos identificados para el monitoreo de la calidad del agua de la cuenca. Esta información es sustancial para el proceso de participación ciudadana, en donde la población debe hacer sus observaciones sobre la NSCA con el máximo de información posible.

Resumen

El presente documento muestra los resultados del Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) para el anteproyecto de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental (NSCA) de aguas superficiales continentales de la cuenca del río Aconcagua.

La cuenca del río Aconcagua se ubica geográficamente en la región de Valparaíso (V región) es la última cuenca al sur de los valles transversales semi-áridos de la zona central del país. Esta cuenca posee una extensión de 7340 km² y todos sus afluentes tienen una dirección Este a Oeste (cordillera a mar), sus principales cauces están conformados por los ríos Blanco, Colorado, Juncal, Putaendo y el río Aconcagua.

El Anteproyecto NSCA de la cuenca del río Aconcagua está conformado por 16 áreas de vigilancia y regula un total de 27 parámetros físico-químicos, esto genera un total de 375 límites regulatorios¹ para toda la cuenca.

Los beneficios identificados están ligados al mantenimiento y potenciales mejoras que la NSCA genera sobre los ecosistemas y los servicios ecosistémicos que actualmente provee la cuenca. Con el propósito de ilustrar una aproximación a la valorización potencial de estos beneficios, se presentan tres análisis independientes:

- i. Valoración de Beneficios a través de estudios nacionales [31.23-571.46 MM USD]
- ii. Valoración a través de disposición a pagar por implementación y/o mejoras en instrumentos de gestión ambiental relacionados con calidad del agua [0.7 MM USD]

Los costos considerados, en la implementación de la NSCA, ascienden a 4790 dólares al año y corresponden a costos de monitoreo, desglosándose en costos para el análisis en laboratorio de los parámetros y el costo de hacer una campaña en terreno de monitoreo adicional a la que actualmente está realizando la Dirección General de Aguas.

En forma excepcional a los costos y beneficios establecidos por la norma, se presentan los costos y beneficios por concepto de la implementación de un posible Plan de Prevención y/o Descontaminación si son superados los límites regulatorios que pretende establecer la NSCA. Si bien es una aproximación, permite evaluar órdenes de magnitud de posibles efectos por incumplimiento de esta normativa ambiental. En este sentido se consideró la evaluación de una posible medida a establecer en un PDA la aplicación de tecnologías de abatimiento en fuentes puntuales que descargan directamente en los cauces naturales superficiales (ríos, esteros, arroyos, lagos, lagunas) y teniendo en consideración datos actuales de calidad del agua. Estos costos han sido estimados entre 30.1 a 85.9 [MM USD]. Y los beneficios adicionales a los ya cuantificados corresponden a 5.8 [MM USD] por concepto de mejoras en productividad agrícola por reducción de parámetros como Fosforo, Nitrógeno y DBO5.

¹ Un límite regulatorio corresponde a la regulación de un parámetro en un área de vigilancia. Esto quiere decir que un mismo parámetro tendrá diferentes estándares para diferentes áreas de vigilancia.

Índice

RESUMEN	3
1. ANTECEDENTES GENERALES	5
1.1 PRESIONES SOBRE EL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA	6
2. METODOLOGÍA GENERAL	11
2.1 ANÁLISIS DE BENEFICIOS (SERVICIOS ECOSISTÉMICOS).....	13
2.1 ANÁLISIS DE COSTOS (MONITOREO).....	17
3. RESULTADOS	19
3.1 ANÁLISIS DE BENEFICIOS (SERVICIOS ECOSISTÉMICOS).....	19
3.2 ANÁLISIS DE COSTOS (MONITOREO)	25
4. ESCENARIO DE INCUMPLIMIENTO NORMATIVO: SIMULACIÓN DE IMPLEMENTACIÓN DE UN POSIBLE PLAN DE DESCONTAMINACIÓN AMBIENTAL (PDA) .	26
5. ANEXOS	30
5.1 METODOLOGÍAS.....	30
5.2 ANTEPROYECTO DE NSCA EVALUADO.....	39
5.3 RESULTADOS ADICIONALES	41
6. BIBLIOGRAFÍA	42

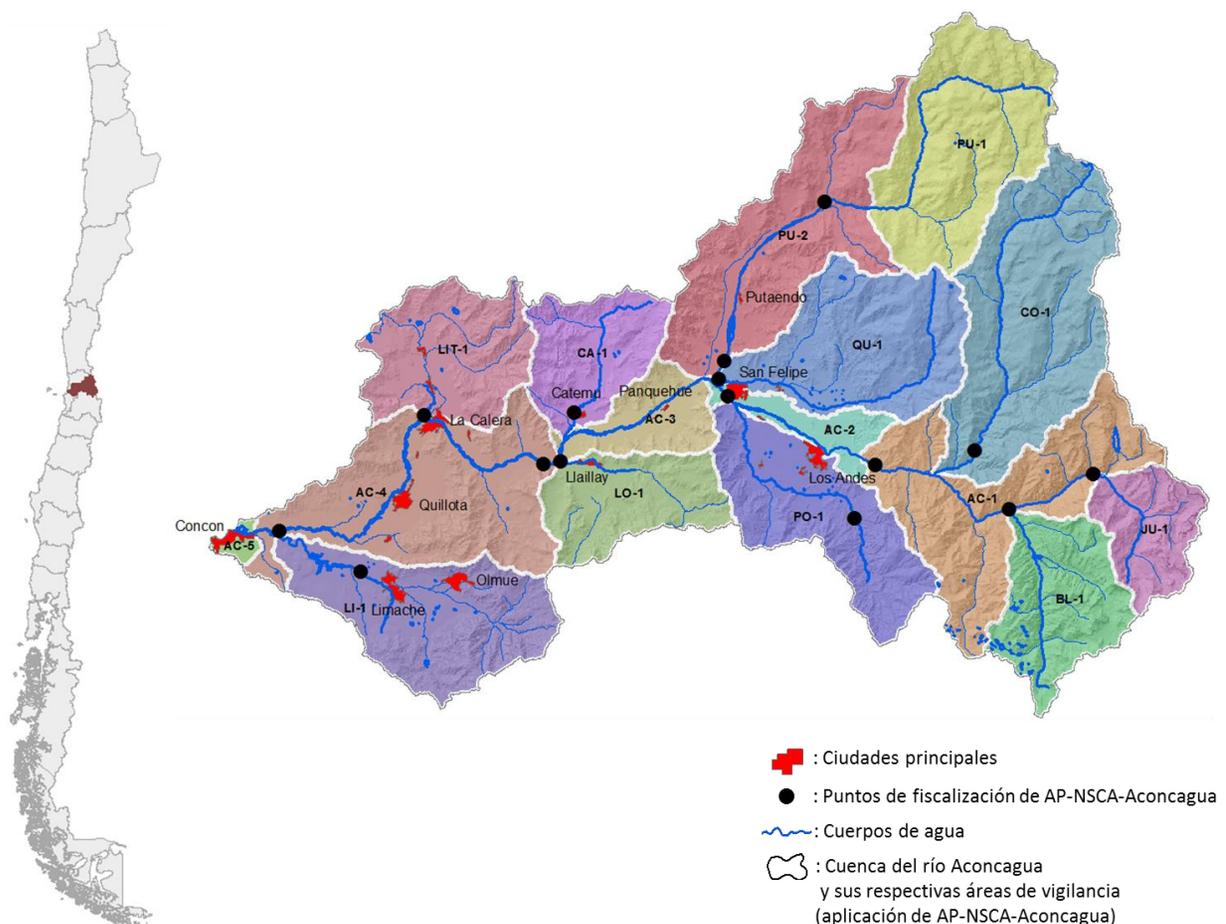
1. Antecedentes Generales

La cuenca del río Aconcagua se ubica en la zona central de Chile, administrativamente se encuentra completamente contenida en la región de Valparaíso (Figura 1-1). Por el norte limita con la cuenca del río Ligua y por el sur con la cuenca del río Maipo.

Abarca una superficie de alrededor de 7.160 km² desde su origen en la cordillera de Los Andes hasta su desembocadura en el mar. Entre los cauces principales que conforman esta cuenca, además del río homónimo están considerados los ríos: Juncal, Blanco, Colorado, Putaendo, y los esteros: Pocuro y Limache.

El Anteproyecto de NSCA tendrá aplicación en 16 áreas de vigilancias (Figura 1-1). Estas áreas de vigilancia han sido establecidas según los afluentes más importantes de la cuenca y cada una define características químicas, biológicas, ambientales, sociales y económicas que las definen.

Figura 1-1. Ubicación geográfica y delimitación de las Áreas de Vigilancia del AP- NSCA-Aconcagua.



Fuente: Elaboración propia.

1.1 Presiones sobre el recurso hídrico en la cuenca

El recurso hídrico en la cuenca del río Aconcagua comparte sus usos entre diversas actividades² (uso agropecuario, agua para minería, generación hidroeléctrica, uso industrial, consumo humano, entre las más relevantes). Estas actividades se desarrollan principalmente desde la depresión intermedia (valle central) hasta la desembocadura, generando una presión (bocatomas de extracción de agua para diversos usos, especialmente el agrícola, descargas de RILes³ y/o efluentes de diversas industrias o actividades económicas) sobre los recursos hídricos y ecosistemas acuáticos.

Las principales actividades económicas ligadas al uso del recurso hídrico desarrolladas en la cuenca poseen características específicas que deben ser analizadas para comprender el efecto de estas sobre las condiciones ambientales de la cuenca, a continuación se describirán estas actividades económicas, su contexto e implicancias.

La actividad agrícola se extiende alrededor de los principales ríos y esteros, abarcando una superficie de aproximadamente 95.300 hectáreas que corresponden a 13% de la superficie total de la cuenca. Los cultivos predominantes corresponden a frutales, forrajeras, hortalizas y cereales. Su aporte al PIB regional es de 564 mil millones de pesos (correspondiente al 4% del PIB regional y 0,4 % del PIB nacional para el año 2015)⁴. En relación a los principales impactos que la actividad genera sobre los recursos hídricos y ecosistemas, por una parte está la extracción de agua de los cauces naturales para el desarrollo de la actividad (canalización u otras infraestructuras de riego), y por otra, están los aportes de nutrientes y agroquímicos que escurren hacia los cuerpos de agua superficiales o infiltran hacia las aguas subterráneas, siendo este sector un importante agente de contaminación difusa.

La actividad minera se desarrolla intensamente y trasciende a la gran minería del cobre, aportando al PIB regional 546 mil millones de pesos (8% del PIB regional y 0,9% del PIB nacional del año 2015)⁴. En la cuenca se identifica la existencia de más de 155 minas subterráneas y a tajo abierto (en distintos estados de operación), 26 embalses y tranques de relaves (en su mayoría abandonados), 26 depósitos de recursos minerales metálicos (en estado activo principalmente), entre otros. Respecto a los impactos que la actividad genera sobre los recursos hídricos, por una parte se encuentran las descargas reguladas por normas de emisión, sin embargo también existe un potencial efecto de aportes difusos gatillados por el efecto de lluvias y deshielos que arrastran sustancias contaminantes desde las faenas u obras mineras activas o abandonadas.

Las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) corresponden a uno de los sectores que ejerce presión sobre el sistema, esto debido a que los asentamientos poblados se extienden prácticamente en toda la cuenca (salvo dos excepciones, JU-1 y PU-1) y los

² Las actividades económicas más importantes de la región según su aporte al PIB regional son: la minería, industria manufacturera, el sector silvoagropecuario y la construcción.

³ Residuos Industriales Líquidos

⁴ Banco Central. Cuentas Nacionales 2013-2015. Precios corrientes referenciados al 2013.

principales centros poblados corresponden a las ciudades de Quillota, Los Andes, San Felipe, La Calera (sobre 50.000 habitantes). La distribución de la población es mayoritariamente rural (86%). La presión domiciliaria queda representada por las descargas a estas PTAS tanto urbanas como rurales. Estas PTAS son administradas por empresas de servicios sanitarios (en el caso de las primeras), y municipalidades, organizaciones sociales (comité o cooperativa de agua potable rural), en caso de las segundas.

Es importante tener presente que las presiones ocurridas en una determinada área de vigilancia tendrá efectos en las áreas de vigilancia ubicada aguas abajo de ésta (principio de conservación de masas).

Si bien las presiones se concentran en el valle central y desembocadura, se ha propuesto una agrupación de áreas de vigilancia según sus características geográficas con la finalidad de describir características comunes respecto a las presiones antrópicas. Según esto, el ordenamiento queda configurado en:

- Zona montaña: BL-1, JU-1, CO-1, PU-1, AC-1.
- Zona valle central: AC-2, AC-3, PO-1, LO-1, QU-1, PU-2, CA-1
- Zona cordillera de la costa y desembocadura: LIT-1, LI-1, AC-4, AC-5

En la Tabla 1-1 se exponen las principales presiones de cada Zona, pudiendo comentarse que:

- Las áreas de vigilancia de la zona cordillerana tienen en términos globales una baja presión antrópica, sin embargo por sus características geográficas y geológicas las presiones están vinculadas a la explotación de recursos naturales (minería y generación de electricidad), existe una baja cantidad de asentamientos humanos (tanto en cantidad como en población) y no presenta desarrollo de agricultura. Entre las áreas de vigilancia que la componen, BL-1 y AC-1 se atribuyen la mayor cantidad de presiones (ver Figura 1-2).
- Las áreas de vigilancia de la zona del valle central y de la zona de cordillera de la costa y desembocadura son las que están expuestas a la mayor cantidad y variedad de presiones. En ambas zonas el desarrollo agrícola ocupa una importante superficie, esto significa la presión por requerimientos de agua para regadío y para dilución de contaminantes (Riles provenientes de la agroindustria), adicionalmente existe un alto aporte de nutrientes por aplicación de fertilizantes los cuales a través de escorrentía o por riego afectan la calidad de las aguas.

Al comparar las principales descargas resultan ser similares en magnitud de caudal descargado, sin embargo proceden de actividades diferentes, en la zona de valle central proviene principalmente de la agroindustria, mientras que en la zona de cordillera de la costa y desembocadura es por generación de electricidad. La actividad minera (extracción y procesamiento) se desarrolla en ambas zonas y se encuentra distribuida heterogéneamente en las áreas de vigilancia, concentrando en CA-1 y PU-2 más de la mitad de faenas y obras relacionadas a la actividad.

En ámbito demográfico, la población mayoritariamente se asienta en estas zonas, estableciéndose en ciudades o centros poblados de relevancia. Tan solo el área de vigilancia AC-4 concentra el 32 [%] de la población de la cuenca (191.525 habitantes) siendo sus principales ciudades Quillota y La Calera.

- Es posible aislar ciertas áreas de vigilancia que destacan ya sea por el alto o bajo nivel de presión. En términos generales, se identifica que las áreas AC-4, AC-5, CA-1 están asociadas a diversas presiones (demografía, extracción de agua superficial, descarga de RILes o efluentes, actividades económicas), y en la mayoría de los casos sobresalen porque acaparan considerablemente varias de estas presiones respecto a las otras áreas de vigilancia, motivo por el cual, podría esperarse que la calidad de aguas tuviera niveles más deteriorados, y por consecuencia, estén vinculadas a incumplimientos de los límites que se proponen normar con este AP-NSCA-Aconcagua. Mientras que por el contrario, áreas de vigilancia como JU-1, CO-1, PU-1 y AC-1 son áreas con baja presión antrópica (excepto AC-1 en minería) en donde podría esperarse que la calidad del agua esté condicionada por las características naturales de la cuenca.

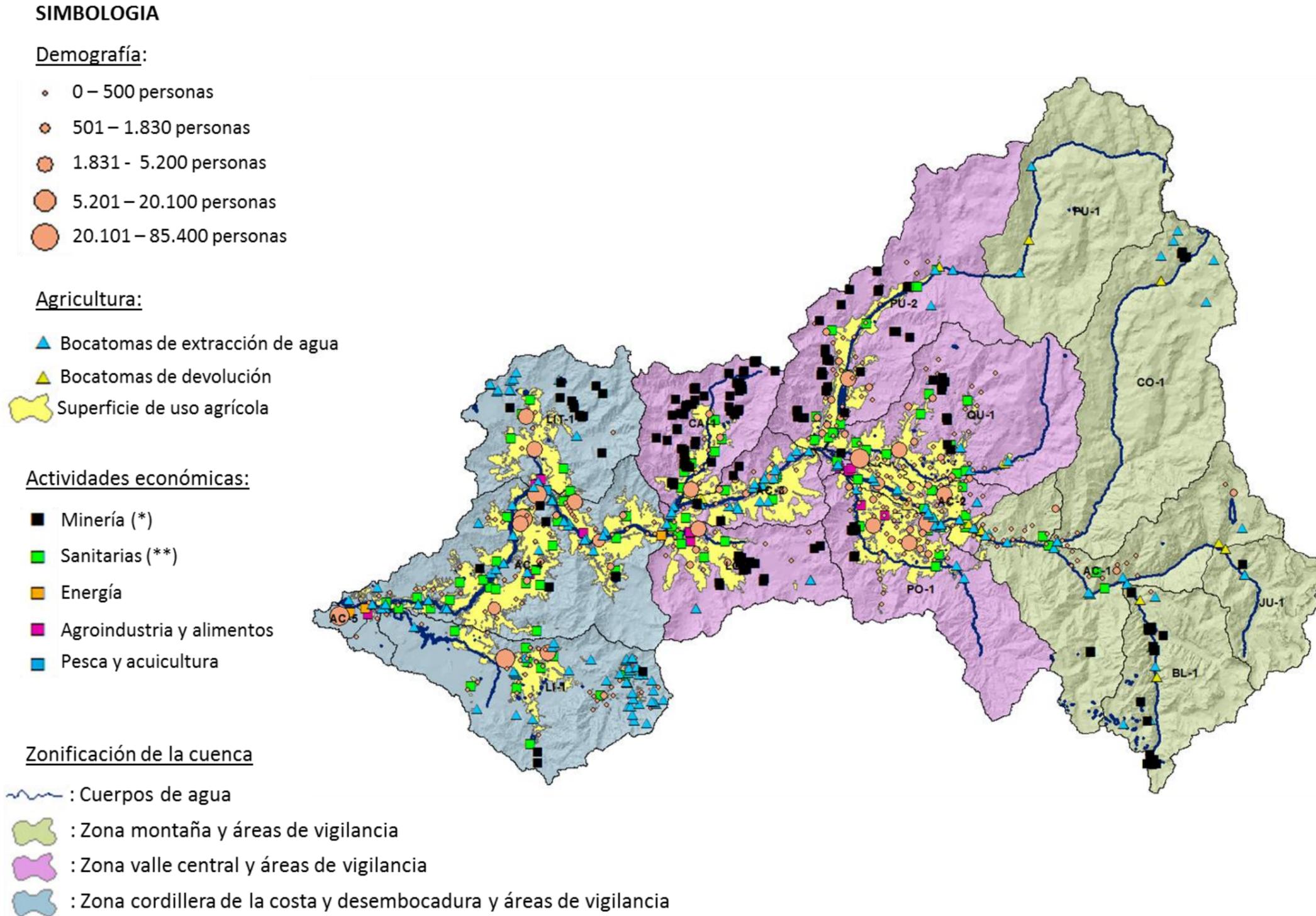
Tabla 1-1. Resumen de presiones.

Presiones	Zona montaña	Zona valle central	Zona cordillera de la costa y desembocadura
Demografía (*)	Presenta baja densidad poblacional (máximo del orden 0,1 Hab/Há), la mayoría de las localidades se ubican en área AC-1 (5.322 habitantes correspondiente al 90% de la zona de montaña). Se observa también, áreas sin presencia de asentamientos poblados (PU-1, JU-1).	Comprende densidades de población que van desde 0,3 hab/ha hasta 1,8 hab/ha (PU-2 y PO-1, respectivamente). En total esta zona presenta una población cercana a 260.000 habitantes, correspondientes al 44 % del total de toda la cuenca. Destacan importantes núcleos como Los Andes, San Felipe, Llaillay y San Esteban.	Esta zona presenta la mayor concentración de población, estimándose cercana a 330.000 habitantes (55 % del total de la cuenca), encontrándose mayoritariamente en AC-4. Su densidad poblacional va desde 0,5 a 17 hab/ha (LIT-1 y AC-5, respectivamente). Destacan centros poblados como Quillota, La Calera, Concón y Limache.
Extracción de agua superficial (**)	La extracción de derechos de aprovechamiento de agua ocurre en todas las áreas de vigilancia que conforman esta zona (desde 770 L/s hasta 64.140 L/s) y corresponden al 33% del total que se extrae en la cuenca. La mayor extracción ocurre en AC-1. De los usos informados destacan el riego y generación hidroeléctrica.	En esta zona ocurren las menores extracciones de agua (27% del total de la cuenca), sin embargo los más altos volúmenes ocurren en el transecto del río Aconcagua (AC-2 y principalmente en AC-3). Los principales usos informados corresponden a la generación hidroeléctrica y al uso industrial. El área de vigilancia CA-1 no existiría extracción de agua superficial.	En esta zona ocurre la mayor extracción de agua superficial, correspondiente al 40% del total que se extrae en la cuenca, sin embargo la extracción ocurre prácticamente en el área de vigilancia AC-4 (38% del total de la cuenca) siendo su principal uso el de riego.
Descarga de RILes (***) o efluentes	Se identifica que en esta zona solamente ocurren descargas directas a los ríos en las áreas BL-1 y AC-1. Sin embargo el alto volumen de descarga sitúa a esta zona como la principal receptora de la cuenca (73% del total) asociada al rubro de la actividad minera.	Se observa descarga tanto a ríos como a canales, predominando sobre los primeros (13% del total de descargas de la cuenca). A nivel de conglomerado se observa que el área de vigilancia receptora de la mayoría del caudal descargado corresponde a AC-2. Las descargas provienen principalmente al sector de Agroindustria y alimentos.	Similar a lo descrito en la zona anterior, presenta descargas tanto en ríos o esteros como en canales, siendo predominante en los primeros. Destaca el alto nivel de descarga que se presenta en AC-4 respecto a las otras áreas de esta zona. El caudal descargado proviene de actividades relacionadas con la generación de electricidad y agroindustria.
Actividades económicas	En esta zona las actividades están fuertemente relacionadas con la minería y extracción de cobre, identificadas en BL-1, CO-1 y JU-1, y con la generación de hidroelectricidad (AC-1 y JU-1).	Esta zona presenta una variada gama de actividades relacionadas con la agroindustria, agricultura e industria de alimentos, generación de hidroelectricidad, y en menor medida con la industria sanitaria. Concentra la mayor diversidad de actividades relacionadas con la minería, destacando la cantidad de minas (subterráneas y superficiales), tranques de relave y depósitos de recursos minerales metálicos, desarrollados especialmente en CA-1. La actividad agrícola tiene un gran desarrollo en esta zona, con un 51% de la superficie de suelo agrícola de la cuenca. Destaca el nivel de superficie ocupado en las áreas AC-2 y AC-3	Esta zona presenta actividades relacionadas con la agricultura, generación de electricidad, industria de pesca y acuicultura, empresas sanitarias, en menor medida con la agroindustria, industria de alimentos y minería. La superficie agrícola presente en esta zona corresponde al 42% del total de superficie de la cuenca.

Fuente: Elaboración propia

Nota: (*) Datos Censo 2002 proyectado al año 2017. (**) Dirección General de Aguas (DGA), 2016. Derechos de aprovechamiento de aguas registrados en DGA. Disponible en URL http://www.dga.cl/productosyservicios/derechos_historicos/Paginas/default.aspx. (***) Descarga de las fuentes reguladas por el DS N° 90 tanto a cuerpos de agua natural como a canales

Figura 1-2. Principales presiones identificadas



Fuente: Elaboración propia.

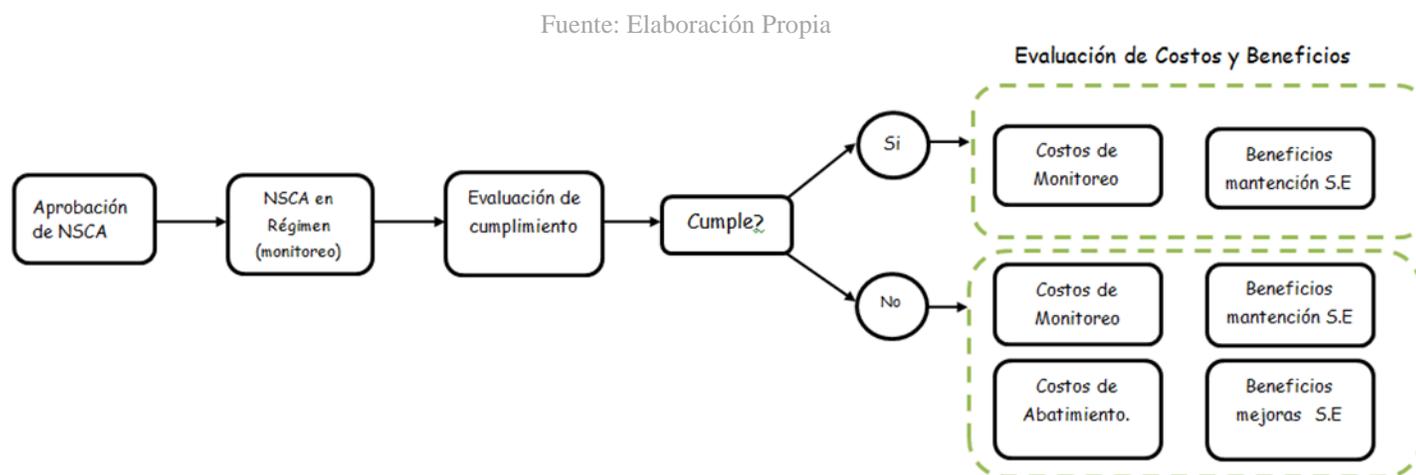
2. Metodología general

La conceptualización metodológica de la evaluación de impacto regulatorio para Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA) considera, para la evaluación de costos y beneficios, dos posibles tipos de evaluación, las que se conceptualizan en la Figura 2-1. Su aplicación depende específicamente del cumplimiento o incumplimiento de los límites establecidos en la NSCA.

La aprobación de una NSCA implica, en lo inmediato, el inicio de un Programa de Medición y Control de Calidad Ambiental del Agua (PMC) mediante el cual se monitorea y evalúa los valores de los parámetros normados según la frecuencia señalada en la misma. El PMC, a su vez, sirve como un instrumento para determinar el cumplimiento de la NSCA. Sólo después de un período de monitoreo –establecido en la norma- y de comprobarse un incumplimiento, se puede gatillar el establecimiento de un Plan de Descontaminación Ambiental (PDA).

En consecuencia, el AGIES considera dos tipos de evaluación, la primera (i) estima costos relacionados a la entrada en vigencia de la NSCA y la obligación para el Estado de monitorear y fiscalizar el comportamiento de los parámetros que ésta establece, y los beneficios relacionados con la mantención de los servicios ecosistémicos. Vale decir, si el monitoreo y evaluación de las concentraciones de cada parámetro, a través del PMC, verifican un cumplimiento de los límites normativos, se considerará, para efectos del AGIES, los costos y beneficios de las acciones de monitoreo que determina la NSCA.

Figura 2-1: Conceptualización general de evaluación de costos y beneficios de una NSCA (Evaluación de Costos y Beneficios, Figura 2-2).



Sin embargo, si existe la posibilidad de incumplimiento en forma inmediata o potencial, se considera una segunda evaluación (ii), ésta considera la situación cuando el PMC determina que existe uno o más incumplimientos, lo que genera obligaciones para los agentes

económicos (regulados). En este segundo escenario, el AGIES evalúa, además de los beneficios y costos de monitoreo inherentes a la NSCA, aquellos beneficios y costos relacionados al abatimiento requerido para lograr el cumplimiento normativo, y los consecuentes beneficios ecosistémicos.

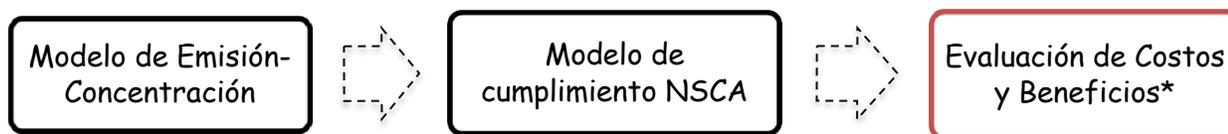
De esta manera, la evaluación de impacto económico y social de la implementación de una norma de calidad supone, inicialmente, los costos de monitoreo requeridos por la implementación de la norma y los beneficios presumibles por la mantención de las condiciones que propician la prestación de los servicios ecosistémicos (S.E) identificables en la cuenca y, posteriormente, un escenario estimado de costos en que potencialmente podrían incurrir los agentes económicos para lograr el cumplimiento normativo requerido por los límites de la NSCA, así como los beneficios correspondientes a mejoras en la calidad de los ecosistemas y por ende en los servicios (S.E) que estos proveen.

En este último caso es importante destacar que el PDA no se gatilla inmediatamente, esto puede ocurrir dos o tres años después de la aprobación de la norma, dependiendo del período de tiempo establecido en la NSCA para el monitoreo.

Es importante precisar que estos costos de abatimiento y los beneficios por mejoras de los S.E solo son una aproximación a los posibles costos que pudieran generarse a futuro, ya que, existen complicaciones metodológicas para evaluar hoy una situación futura, estas complicaciones metodológicas pueden determinarse por:

- Falta de información respecto a las concentraciones de línea base (proyectada) de la cuenca, así como de las concentraciones de background (concentración natural).
- Falta de información respecto a los niveles de concentración futuros de la cuenca.
- Falta de información sobre los regulados (medidas de abatimiento existentes, medidas de abatimiento futuras, parámetros que deberán abatir).
- Falta de certeza respecto a las posibles medidas a implementar en caso de incumplimientos (para el caso de un PPDA/PDA las medidas asociadas a él).

- Figura 2-2. Metodología base para análisis de impacto regulatorio



*Detalle del modelo de costos y beneficios en Figura 2-1

Fuente: Elaboración propia

Otro aspecto metodológico importante a destacar se refiere a la relación entre emisión y concentración y los potenciales costos y beneficios. Para poder evaluar los costos de abatimiento requeridos, cuando existe un incumplimiento de la NSCA, es necesario conocer los efectos en la calidad del agua atribuibles a la emisión/concentración

identificados en la cuenca, como también, la evaluación de cumplimiento de la NSCA una vez ésta entre en régimen⁵. La Figura 2-2 presenta las relaciones entre las etapas consideradas en la metodología.⁶

El presente documento se centra en reportar el análisis del Modelo de Costos y Beneficios, utilizando como insumo la información y resultados del Modelo de Emisión-Concentración y del Modelo de Cumplimiento de la NSCA; para mayor detalle del desarrollo metodológico requerido para estas dos etapas previas al Modelo de Costos y Beneficios, revisar el capítulo 5.1 Metodologías (5.1.2).

A continuación se describen los análisis y metodologías empleadas en este documento para el cálculo de Beneficios y Costos derivados de la implementación del Anteproyecto de NSCA para la cuenca del Aconcagua, al iniciarse un Programa de Medición y Control de Calidad Ambiental del Agua (evaluación tipo (i)).

2.1 Análisis de beneficios (Servicios Ecosistémicos)

Los beneficios asociados a la implementación de la NSCA tienen relación con la presunción de que los límites normativos impuestos en la norma permitirán a lo menos mantener los servicios ecosistémicos presentes en la cuenca.

La evaluación de beneficios considera por tanto, cuatro elementos: (i) la identificación de los S.E presentes en la cuenca y que tienen relación con la NSCA y los parámetros normados en ella; (ii) la valoración económica del bienestar (beneficios) por la protección de estos servicios a través de estudios nacionales y (iii) la valoración a través de la disposición a pagar por la implementación y/o mejoras de instrumentos de gestión ambiental.

A continuación se detalla cada uno de los elementos mencionados anteriormente:

i. Identificación de servicios ecosistémicos relacionados con la NSCA.

Las NSCA tienen por objetivo proteger los recursos naturales (en este caso la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos) involucrados en el territorio en donde aplica la norma. Esta característica hace que, la valoración del beneficio que genera dicha protección se dificulte debido, a que no siempre se tiene un mercado directo asociado a las múltiples interacciones que se desprenden del recurso natural (agua) y que, presumimos, se beneficiarán con la implementación de la norma. Por tal motivo, el análisis que se realiza para este tipo de normas, se apoya en el enfoque de servicios ecosistémicos (S.E), el cual

⁵ Ver artículos 7 y 9 del “ANTEPROYECTO DE NORMAS SECUNDARIAS DE CALIDAD AMBIENTAL PARA LA PROTECCIÓN DE LAS AGUAS CONTINENTALES SUPERFICIALES DE LA CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA”

⁶ Las etapas metodológicas fueron montadas y articuladas en un modelo desarrollado por el Departamento de Economía Ambiental. Se utilizó el programa computacional Analytica 64-bit Optimizer 4.4.4.5. El procesamiento de datos espaciales y generación de cartografía fue realizado con el programa computacional de Sistema de Información Geográfica (SIG), ArcGis 10.0.

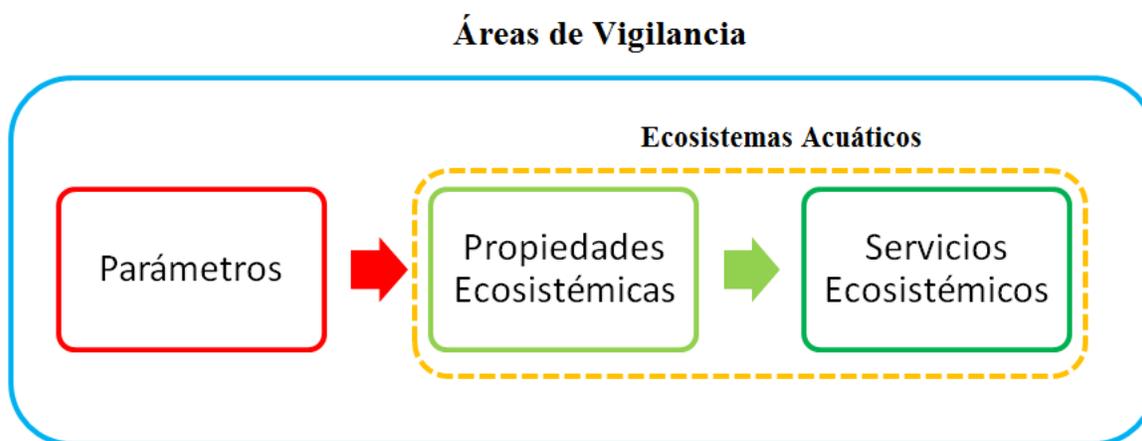
intenta evidenciar el valor e importancia de proteger o conservar el medio ambiente, o la preservación de la naturaleza, mediante la valoración de la contribución directa o indirecta de los ecosistemas al bienestar humano.

Las condiciones ambientales que permiten que se provean ciertos S.E están dadas por el uso que las personas realizan sobre el territorio (en este caso sobre el uso relacionado a la calidad del agua) sea este un uso económico, de supervivencia, espiritual, estético, religioso o de otro tipo. A partir del enfoque de S.E, se identifican los efectos para la sociedad de implementar la NSCA la cual contempla mejorar o mantener la calidad de agua actual de la cuenca.

Para la evaluación de los servicios ecosistémicos se utilizó como referencia la clasificación propuesta por Haines-Young and Potschin (2012) adaptada a nuestra realidad país por el Centro Nacional del Medio Ambiente (2016). Dicha adaptación consistió en generar distintas matrices que se van encadenando entre sí para finalmente establecer vínculos entre parámetros a normar según NSCA y los S.E provistos en cada área de vigilancia. Para identificar los S.E presentes en la cuenca se utilizó criterio experto y diversas fuentes de información.

La Figura 2-3 esquematiza la relación matricial realizada, donde los parámetros poseen una interacción con las propiedades ecosistémicas⁷, y a su vez las propiedades ecosistémicas poseen una interacción con los S.E, por lo que es posible generar una relación parámetro-S.E. Debe enfatizarse que los parámetros corresponden a los propuestos por el NSCA según área de vigilancia y los S.E corresponden a los relacionados con calidad del agua que se producen en cada área de vigilancia.

Figura 2-3. Estructura de relaciones para asimilar parámetros y servicios ecosistémicos para las áreas de vigilancia de la cuenca.



Fuente: Elaboración propia.

⁷ las propiedades Ecosistémicas también denominada funciones ecosistémicas son todos los procesos biológicos, geoquímico y físicos que tienen lugar en un ecosistema y que producen un servicio ecosistémico (Servicio de soporte o intermedio según; Haines-Young and Potschin (2012))

De las relaciones anteriormente descritas se obtiene una matriz que especifica el número de parámetros relacionados a cada servicio ecosistémico en cada área de vigilancia para todos aquellos servicios que; i) poseen una relación con algún parámetro normado y ii) para todos aquellos servicios que se encuentran en la cuenca.

La construcción de esta matriz considera la existencia de un universo de 28 parámetros normados, 24 servicios ecosistémicos presentes en la cuenca y 16 áreas de vigilancia.

Esta matriz permitirá conocer los servicios que se verán afectados(positivamente) por la aplicación de la NSCA y además permitirá dimensionar el número de parámetros que lo afectarán, valor que servirá para deducir la sensibilidad de la implementación de la NSCA (a mayor número de parámetros, se asume que existirá una mayor sensibilidad al cambio).

De esta descripción se procederá a calcular el beneficio económico por concepto de valoración de los S.E identificados, utilizando información del estudio (Cienciambiental 2014)⁸ el cuál identifica valores económicos(o rangos de estos) para estudios nacionales aplicables a la cuenca del río Aconcagua.

ii. Valoración a través de estudios nacionales.

La aproximación a la valoración económica de S.E utilizando estudios nacionales se realiza con el objetivo de identificar valores económicos de referencia para cuantificar el aporte que los S.E generan a la sociedad. Si consideramos que, la definición de S.E corresponde a “la contribución directa e indirecta de los ecosistemas al bienestar humano” (MMA 2014) podremos lograr generar una relación el valor económico o el beneficio que la sociedad obtiene de los ecosistemas y los beneficios derivados de la implementación de la NSCA (la mantención de los S.E).

Por consiguiente para el cálculo de los beneficios derivados de la implementación de la NSCA se utilizará información referida a estudios de valoración económica realizados en el país, que pueden ser aplicados en la cuenca del río Aconcagua.

Se asume que estos estudios a nivel nacional pueden ser utilizados ya que son representativos en cuanto a las similitudes sociales, económicas y a la percepción de los S.E de las personas, razón por la cual, se ha decidido utilizarlos en la aplicación de la NSCA en esta cuenca. Los estudios utilizados han sido seleccionados siguiendo los siguientes criterios: i) el estudio es realizado en el país, ii) el estudio posea alguna relación con los S.E descritos iii) el estudio posea características replicables en la cuenca del río Aconcagua iv) los valores presentados permita identificar algún beneficio por la aplicación de la NSCA. Adicionalmente se consideró un solo valor cuando el estudio identificaba efectos sobre uno o más servicio (mismo valor para diferentes S.E).

⁸ <http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2014/10/BD-Estudios-SSEE-Nacional.xlsx>

Utilizando la metodología propuesta en la sección 2.1 se calculara el valor económico para los S.E identificados. Para esto se utilizará información del estudio (Cienciambiental 2014) el cuál identifica valores económicos(o rangos de estos) para estudios a nivel nacional.

La metodología establece que en primer lugar se identifican todos los estudios que describen una relación con todos los S.E identificados, esto permitirá generar un listado de servicios posibles a valorar.

Una vez identificados los distintos estudios, se evalúa el tipo de valoración realizado (valoración contingente, transferencia de beneficios, etc) evitando dentro de lo posible transferencias de beneficios. Además se identificara la unidad funcional de ese valor (por ejemplo CLP/persona, CLP/Hectárea, USD/ mes, etc.).

Los valores obtenidos para cada servicio, (valor medio o un rango de valores -valor mínimo y valor máximo declarado por el estudio-) son actualizados por IPC⁹ para el caso de la moneda nacional. Para el caso de moneda internacional, se realizará el cambio a pesos Chilenos según el valor promedio anual del año del estudio de la moneda internacional, y posteriormente ese valor será actualizado según el IPC a la fecha (Abril de 2017).

Finalmente los valores actualizados serán estandarizados a una única unidad funcional (CLP o USD) para un año, con la finalidad de hacer comparables los valores entre S.E.

Es importante señalar que estos valores deben ser utilizados como una referencia y son presentados en este AGIES como un valor guía para identificar la importancia de la aplicación de la NSCA.

iii. Valoración a través de disposición a pagar por implementación y/o mejoras en instrumentos de gestión ambiental.

Utilizando el estudio de Huenchuleo, Barkmann et al. (2016), el cual realiza un análisis de diversas disposiciones a pagar (DAP) por la existencia o actualización de un instrumento de gestión ambiental que permita proteger la calidad de las aguas en cuencas del país. Es que se calcula un beneficio por la aplicación de la NSCA

Para la realización de este análisis se consideraron los resultados del estudio en cuestión para las cuencas del río Mataquito y del río Itata, ya que, estas cuencas la que presenta mayores similitudes con la cuenca del río Aconcagua, tanto en el bien, el cambio, la localización, población afecta entre, otros.

El cálculo de la transferencia de beneficios considero una transferencia de beneficios calculada según la metodología establecida por GreenLabUC (2016). Estos valores fueron estandarizados según la población de la cuenca (número de hogares), actualizados a los valores al IPC al año 2017 y transformados de los valores en CLP a dólares a modo de estandarizar y hacer comparables los resultados del presente documento.

⁹ <http://encina.ine.cl/CALCULADORA/>

2.1 Análisis de Costos (Monitoreo).

Los costos asociados a la NSCA bajo la evaluación tipo (*i*), corresponden a los relacionados con las actividades de monitoreo, estos costos recaen sobre el Estado y consideran:

- El monitoreo de parámetros que actualmente no se monitorean¹⁰
- El aumento en la frecuencia de monitoreo¹¹.

No se consideró la habilitación de punto de control en área de vigilancia AC-5 debido la accesibilidad que se tiene en dicha área al río (puentes, caminos) sin requerir obras de infraestructura adicionales para la instalación o habilitación del punto de monitoreo.

Para cuantificar los costos que el Estado debiera incurrir en forma adicional a los que actualmente incurre, en relación al costo de monitorear parámetros que actualmente la Dirección General de Aguas (DGA) no analiza, se considera un valor promedio referencial del análisis en laboratorio¹². Esto corresponde a un costo unitario por parámetro, por lo tanto para obtener el valor anual debe multiplicarse por todas las áreas de vigilancia en que se debe controlar dichos parámetros y por los tres monitoreos anuales requeridos.

$$CParamAdic_i = 3 \cdot \sum_{i=1}^{i=n} CostoLab_i \cdot AV_i$$

Ecuación 2-1

Dónde:

CParamAdic_i: Costo anual del análisis del parámetro adicional “*i*” [UF/año]

CostoLab_i: Costo del análisis de laboratorio del parámetro “*i*” [UF]

AV_i: Número de áreas de vigilancia en donde se debe monitorear el parámetro “*i*”

Se realizan las transformaciones de costos de UF a peso chileno y luego se convierte a dólar, según el tipo de cambio¹³.

Respecto al costo que implica aumentar la frecuencia de monitoreo, éste se desglosa en el costo del análisis de laboratorio de los parámetros que se monitorean regularmente (Ecuación 2-2) y el costo de la logística de la campaña en terreno (transporte y viáticos).

$$CMonitoreo_z = \sum_{z=1}^{z=n} CostoLab_z \cdot AV_z$$

Ecuación 2-2

Dónde:

CMonitoreo_z: Costo anual del análisis del parámetro “*z*” que se monitorea en la actualidad [UF/año]

CostoLab_z: Costo del análisis de laboratorio del parámetro “*z*” [UF]

AV_z: Número de áreas de vigilancia en donde se debe monitorear el parámetro “*z*”

¹⁰ Aceites y grasas, coliformes fecales, demanda biológica de oxígeno, mercurio, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, fósforo, sólidos suspendidos totales

¹¹ En los años 2013-2015 la Dirección General de Aguas monitoreo en promedio dos veces en el año en las estaciones control de la norma y el AP-NSCA-Aconcagua propone 3 monitoreos al año

¹² Cotizaciones de los laboratorios Hidrolab y SGS, solicitadas en septiembre de 2015 y cotización del análisis de RILes proporcionados por la Superintendencia de Servicios Sanitarios de febrero de 2016. Valores en UF

¹³ Valor UF = \$26.593CLP (9 de abril de 2017) y Valor USD=\$656 CLP (10 de abril de 2017)

El costo de realizar una campaña adicional de terreno considera los siguientes supuestos y los relaciona entre sí según la Ecuación 2-3:

Tabla 2-1. Supuestos considerados en la planificación de la actividad de Monitoreo.

Concepto	Valor	Unidad
Distancia total a recorrer	680	km
Rendimiento vehículo	10	km/L
Combustible (Diésel)	500	\$CLP/L
Peajes	10.000	\$CLP
Duración	2	días
Trabajadores	2	Personas
Viáticos	15.000	\$CLP/día por persona

Fuente: Elaboración propia.

$$C_{Logística} = \frac{dist}{rend} \cdot comb + peaje + 4 \cdot viático$$

Ecuación 2-3

Dónde:

- CLogística*: Costo anual de la logística del terreno adicional, expresado en [\$CLP/año]
dist: Distancia total a recorrer para acceder a todos los puntos de control, expresada en [km]
rend: Rendimiento de combustible del vehículo, expresado en [km/L]
comb: Valor del combustible (Diésel), expresado en [\$CLP/L]
peaje: Costo estimado de los peajes [\$CLP]
viático: Viático diario sin alojamiento estimado por persona.

Se realizan la conversión de peso chileno a dólar según tasa de cambio.

3. Resultados

En la siguiente sección, se presentan los resultados obtenidos para la evaluación tipo (i) de las metodologías anteriormente descritas para la cuenca del río Aconcagua.

3.1 Análisis de beneficios (Servicios Ecosistémicos)

Se presenta un análisis de los beneficios identificados y cuantificados para la NSCA del río Aconcagua, estos valores son representativos para la cuenca, sin embargo corresponden a una aproximación de los posibles beneficios reales de implementación y no corresponden al Valor Económico Total (VET) que pudiese generar la implementación de la NSCA, sino que, debe ser considerado como una aproximación de valores que pueden encontrarse según estudios realizados a la fecha.

3.1.1 Análisis de beneficios

i. Identificación de servicios ecosistémicos según parámetros a regular.

Considerando la metodología señalada en el capítulo 2.1, la Tabla 3-1 presenta los S.E identificados y valorizados para la cuenca del río Aconcagua.

Tabla 3-1: Listado de servicios totales, servicios identificados en la cuenca y servicios valorizados económicamente

	Universo de S.E (CICES)	S.E Identificados	S.E Valorizados
Provisión	Cultivos	√	
	Crianza de animales y sus productos	√	√
	Plantas silvestres, algas y sus productos	√	
	Animales silvestres y sus productos		
	Plantas y algas de acuicultura in-situ		
	Animales de acuicultura in-situ		
	Agua superficial para consumo	√	√
	Agua subterránea para consumo		
	Fibras y otros materiales de plantas, algas y animales para uso directo o en procesos.		
	Materiales de plantas, algas y animales para uso agrícola		
	Material genético de toda la biota	√	√
	Agua superficial para no-consumo	√	√
	Agua subterránea para no-consumo	√	
	Recursos basados en plantas		
Recursos basados en animales			
Energía basada en animales			
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	√	
	Dilución de la atmosfera, agua fresca y ecosistemas marinos		
	Control de olores/ruidos/impacto visual		
	Estabilización de mazas y control de la erosión		
	Atenuación y amortiguación de remoción en masa		
	Mantenimiento del ciclo hidrológico y de caudales		
	Protección contra inundaciones		
	Protección contra tormentas		
	Transpiración y ventilación		
	Polinización y dispersión de semillas	√	√
	Mantenimiento ex situ de poblaciones y hábitats		
	Control de pestes		
	Control de enfermedades		
	Procesos del clima		
	Procesos de descomposición y fijación		
Condiciones químicas de agua dulce	√	√	
Condiciones químicas de agua salada			
Regulación del clima global a través de concentraciones de gases de efecto invernadero	√		
Regulación del clima regional y local			
Cultural	Experiencias del uso de plantas, animales y paisajes.	√	√
	Uso físico del paisaje	√	√
	Interés científico		
	Educación		
	Herencia cultural	√	√
	Entretenimiento		
	Estético		
	Simbólico		
Sacro/religioso			
Existencia	√	√	
Legado	√		

Fuente: elaboración propia a partir de Haines-Young and Potschin (2012)

De las 48 clases de SE descritos por Haines-Young and Potschin (2012), solo 18 poseen alguna relación con los parámetros normados y han sido identificadas (ha sido posible identificar a través de proxys su presencia en la cuenca) en la cuenca. Uno de los puntos a favor de este análisis es que se han identificado servicios de provisión, regulación y culturales lo que permite tener un análisis homogéneo en relación a diversos tipos de beneficios económicos de la cuenca.

ii. Valoración de Beneficios a través de estudios nacionales.

De los 18 S.E identificados en la cuenca y que poseen una relación con los parámetros de la NSCA fue posible determinar que solo 11 presentan algún tipo de estudio (1 o más estudios) de valoración económica realizado en el país.

La Tabla 3-2 presenta los estudios utilizados para determinar los valores a analizar, y se debe tener como consideración que; i) cuando un S.E considera más de 1 estudio todos los valores descritos en esos estudios están considerados dentro del rango, esto quiere decir, que se realiza la elección del valor menor y mayor entre todos los estudios, ii) la elección del estudio para calcular el o los valores se realizó en base a la disponibilidad de información para generar un valor comparable entre estudios y S.E(en este caso CLP para un año) y iii) se priorizaron estudios de valoración contingente o cálculo de precios de mercados o valores sustitutos, las transferencias de beneficios fueron desestimadas por ya generar un valor alejado de la realidad (económicamente poco confiable).

Para el detalle de unidades se utilizó la siguiente información(proxys):

- Cabezas de Ganado = Valor obtenido del Censo Agropecuario para cabezas de ganado para ovejas, de las comunas que conforman la cuenca.
- Persona que visita la reserva = promedio de visitas período 2014-2015-2016 a la reserva Peñuelas, Región de Valparaíso.
- Hogares y familias = número de personas por hogar (promedio nacional) / N° de personas en las comunas de la cuenca.
- Personas= N° personas en las comunas de la cuenca, Proyecciones del Censo 2017.
- Hectáreas = Hectáreas de la cuenca.

Tabla 3-2: Identificación de estudios de valoración para los S:E descritos en la cuenca.

Sección	Servicios Ecosistémicos Clase	N° Estudios Analizados	Valor			Detalle unidad	Nombre del estudio	Autores	Año
			Rango inferior	Valor Medio	Rango Superior				
Provisión	Crianza de animales y sus productos	1		60		USD/Cabeza de ganado (ovejas)	Valoración económica de 4 humedales altoandinos de la I región (Huasco, Coposa, Caya y Lirima)	Morales P, Scott S, Fernández F, González P, Vivanco E, Soto M, Arias J	2011
Provisión	Agua superficial para consumo	10	4,113*		6,541**	CLP/Visita.	*Valuing biodiversity attributes and water supply using choice experiments: a case study of La Campana Peñuelas Biosphere Reserve, Chile *Using choice experiments to understand public demand for the conservation of nature: a case study in a protected area of Chile	*Cerde C **Cerde C, Ponce A, Zappi M	*2013 **2013
Provisión	Agua superficial para no-consumo	3	5,312		7,567	CLP/mes/hogar	Gobernanza ambiental como una estrategia sustentable local para cuencas hidrográficas de América Latina: caso de estudio la cuenca de Aysén	Delgado LE	2010
Provisión	Condiciones químicas de agua dulce	1		13		USD/persona	Willingness to pay for and property rights beliefs on river water quality improvements in Central Chile – an application of the Choice Experiment method	Huenchuleo C	2011
Provisión	Filtración/ secuestro/almacenamiento acumulación por microorganismos, algas, plantas y animales.	1	2,271		3,116	CLP/persona	Estimación del valor económico que los visitantes le otorgan a los servicios ambientales entregados por la Reserva Nacional Río de los Cipreses, sexta Región	Muñoz C	2010
Provisión	Polinización y dispersión de semillas	2		5.5		USD Persona/mes	Assessing the benefits and costs of dryland forest restoration in central Chile	Schiappacasse I, Nahuelhual L, Vásquez F, Echeverría C	2012
Regulación	Material genético de toda la biota	1		112		USD/Hectárea	Valoración económica de 4 humedales altoandinos de la I región (Huasco, Coposa, Caya y Lirima)	Morales P, Scott S, Fernández F, González P, Vivanco E, Soto M, Arias J	2011
Cultural	Existencia	8	5,337		30,000	*CLP persona	*Valuing biodiversity attributes and water supply using choice experiments: a case study of La Campana Peñuelas Biosphere Reserve, Chile **Valuing biological diversity in Navarino Island, Cape Horn Archipelago, Chile – a choice experiment approach	Cerde C Cerde C	2013 2006
Cultural	Experiencias del uso de plantas, animales y paisajes.	11	2,049**		5,394**	CLP/ visita	*Estimating the economic value of landscape losses due to flooding by hydropower plants in the Chilean Patagonia **Preferencias de visitantes por medidas de protección de servicios ambientales proporcionados por la Reserva Nacional Lago Peñuelas, región de Valparaíso, Chile	Ponce RD, Vásquez F, Stehr A, Debels P, Orihuela C Ponce A	*2011 **2012
Cultural	Herencia cultural	3	2,813*		50.5**	*CLP/persona **USD/persona	*Valuing cultural ecosystem services: Agricultural heritage in Chiloé island, southern Chile **Valoración económica de los servicios ecosistémicos culturales recreativos y etno-culturales del sistema de humedales altoandino o laguna roja (comuna de camarones, Chile): protegiendo un ecosistema sagrado a través del turismo sustentable.	Barrena J, Nahuelhual L, Báez A, Schiappacasse I, Cerde C Joignant N	*2014 *2014
Cultural	Uso físico del paisaje	8	2,063*		12,683**	CLP/Visita	*Beneficios de la recreación al interior de la Reserva Nacional lago Peñuelas *El servicio ecosistémico de información del sector Alto Maipo cuenca del río Maipo: análisis de los posibles efectos del proyecto hidroeléctrico Alto Maipo	*Cerde C **Martínez X	*2003 **2013

Fuente : Elaboración propia en base a (Cienciambiental 2014)

Finalmente la tabla Tabla 3-3, Presenta los valores totales en millones de Dólares (MM USD) para un año, como representación del beneficio económico por la implementación de la NSCA en la cuenca a través de la protección y aseguramiento de la calidad de los ecosistemas y los servicios que estos proveen, desde una valoración con consideraciones socioeconómicas nacionales.

Es necesario recalcar que estos valores se presentan **como una referencia del valor de que la sociedad le da a los S.E y son presentados en este AGIES como un valor guía para identificar los posibles beneficios sociales derivados de la aplicación de la NSCA.**

Tabla 3-3: Transferencia de Beneficios estudios nacionales de S.E identificados en la cuenca del río Aconcagua.

Servicios Ecosistémicos		Valor (MM USD) ¹⁴		
Sección	Clase	Rango Mínimo	Valor Medio	Rango Máximo
Provisión	Crianza de animales y sus productos		0.19	
Provisión	Agua superficial para consumo	0.29		0.49
Provisión	Agua superficial para no-consumo	2.63		36.96
Provisión	Condiciones químicas de agua dulce		8.69	
Provisión	Filtración/ secuestro/almacenamiento acumulación por microorganismos, algas, plantas y animales.	3.27		4.47
Provisión	Polinización y dispersión de semillas		0.14	
Regulación	Material genético de toda la biota		7.76	
Cultural	Existencia	7.53		497.26
Cultural	Experiencias del uso de plantas, animales y paisajes.	0.16		0.39
Cultural	Herencia cultural	0.36		36.00
Cultural	Uso físico del paisaje	0.21		0.89

Fuente: Elaboración propia en base a (Cienciambiental 2014)

Por consiguiente se desprende que la NSCA pudiera poseer un alto beneficio económico por su implementación si se consideran disposiciones a pagar (en su mayoría) por conservación de la biodiversidad, los ecosistemas y los servicios que estos proveen (S.E).

iii. Valoración a través de disposición a pagar por implementación y/o mejoras en instrumentos de gestión ambiental

¹⁴Valor USD=\$656 CLP (10 de abril de 2017)

La Tabla 3-4, presenta los valores del estudio analizado para la transferencia de beneficios y los valores ajustados por IPC¹⁵ año 2017.

Tabla 3-4. Precios DAP por relacionados con calidad de agua en distintas cuencas de la zona central de Chile¹⁶

Cuenca	Valor año 2009 [\$CLP/hogar]	Valor año 2017 [\$CLP/hogar]
Mataquito	2.431	3.083
Itata	3.538	4.486

Fuente: Elaboración propia basado en Huenchuleo, Barkmann et al. (2016).

Debido a una mayor similitud tanto ambiental como social y por presentar un valor más conservador se utiliza para la transferencia el valor año para la cuenca del río Mataquito. A continuación se presenta el valor de la población proyectada y el ingreso total por hogar por región para el cálculo del valor para la cuenca del río Aconcagua.

Tabla 3-5. Comparación indicadores de las cuencas Mataquito, Itata, Aconcagua

Elemento de comparación	Mataquito	Aconcagua
Población proyectada para el 2017 [N° habitantes]	233.178	595.818
Ingreso total hogar por región [\$CLP/mes]	Promedio: 785.768 P50: 590.000	Promedio: 977.685 P50: 750.000

Fuente: Elaboración propia. Nota: P50: Percentil 50.

Finalmente el beneficio estimado por la transferencia de beneficios por la implementación de una NSCA en la cuenca del río Aconcagua es de 0.7 [MM USD].

¹⁵ Índice de Precios al Consumidor

¹⁶ De momentos no se realiza ningún ajuste considerando que son cuencas del mismo país.

3.2 Análisis de costos (Monitoreo)

Los costos de monitoreo recaen sobre el Estado debido a la implementación del NSCA Aconcagua, estos asciende a la suma de estimada de 4.790 [USD/año], de acuerdo al desglose indicado en la Tabla 3-6. Los mayores costos ocurren por concepto de análisis de muestras (parámetros) en laboratorio.

Tabla 3-6. Costos de Monitoreo [USD/año] AP-NSCA-Aconcagua

Parámetros que se deben controlar	Aumento en frecuencia		Total
	Laboratorio	Logística	
2.530	2.100	160	4.790

Fuente: Elaboración propia

4. Escenario de incumplimiento normativo: Simulación de implementación de un posible Plan de Descontaminación Ambiental (PDA)

A continuación, se presenta un análisis complementario que asume la condición presentada en la evaluación tipo (ii) descrita en la Figura 2-1, la cual considera la activación de un PPDA/PDA si es que en un futuro se constatará el incumplimiento de los límites normativos establecidos.

Este tipo de análisis, sin embargo, corresponden a la evaluación de un instrumento de gestión ambiental diferente a la NSCA, lo cual requerirá en su momento, una evaluación detallada de los costos y beneficios inherentes a este nuevo instrumento.

Antes de exponer los resultados derivados de este ejercicio, es necesario recalcar que para que exista una declaración de Zona Saturada o Latente, que determina la condición necesaria para el desarrollo de un PPDA o PDA, se requiere de un procedimiento de validación de la información derivado del Programa de Medición y Control de Calidad Ambiental de Agua que establece la NSCA.¹⁷

En consecuencia, este ejercicio busca identificar los posibles costos y beneficios derivados de un eventual PDA evaluando, como principal acción, la implementación de medidas directas para el abatimiento (reducción de aporte contaminante) de fuentes puntuales.

A continuación se detallan los resultados derivados de los análisis considerando posibles incumplimientos, costos de abatimiento asociados, y posibles beneficios adicionales a los generados por la NSCA propuesta.

i. Simulación del cumplimiento normativo

Se logró determinar el nivel de calidad actual para la combinación de 341 parámetros-área de vigilancia, esto corresponde al 91[%] de los límites que se proponen regular en la NSCA.

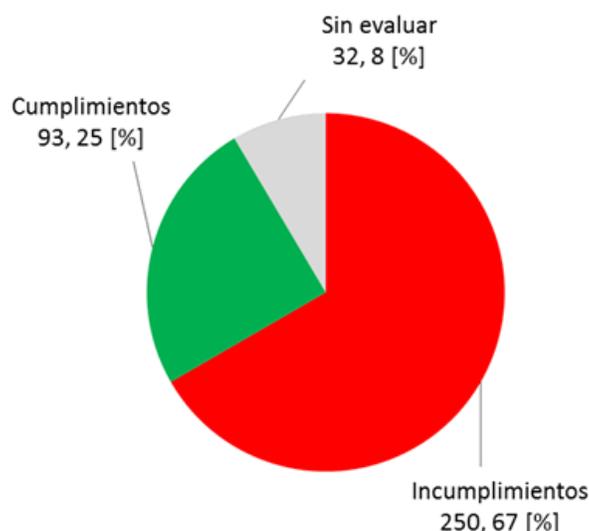
De acuerdo al análisis de probabilidades puede señalarse que, existe una alta probabilidad de incumplimiento de los parámetros cloruro y cromo (probabilidad promedio de 0,8), una probabilidad media de incumplimiento de los parámetros arsénico, cobre, fósforo de ortofosfato y zinc (probabilidad promedio de 0,6 para arsénico, y 0,5 para los restantes), y una baja probabilidad promedio de incumplimiento igual o menor a 0,2 para los parámetros hierro, manganeso, molibdeno, nitrógeno amoniacal, plomo y pH.

El análisis de cumplimiento normativo, arroja como resultado un alto nivel de incumplimiento (67% de los límites regulatorios propuestos). Se identifican parámetros que

¹⁷ En este caso se establece un incumplimiento para el análisis de los datos de tres años consecutivos, o el incumplimiento en uno o más parámetros para dos mediciones consecutivas, si se da algunos de estos casos, se podrá establecer la condición de zona saturada o latente y la implementación futura de un PPDA o PDA.

presentarían incumplimiento en todas las áreas de vigilancia donde se regulan, tal es el caso de cobre, demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto, fósforo de fosfato y zinc (Tabla 4-1).

Tabla 4-1. Porcentaje de cumplimiento del Anteproyecto NSCA Aconcagua



Fuente: Elaboración propia.

i. Simulación de beneficios a través de la transferencia de beneficios de estudios internacionales, con precios sombra

Existe una disposición a pagar implícita por evitar un daño ambiental asociado a los contaminantes como fósforo, nitrógeno y a la demanda biológica de oxígeno (DBO5). De acuerdo a la reducción de la carga contaminante esperada para los parámetros nitrógeno total (N), fósforo total (P) y demanda biológica de oxígeno (DBO5) descritos en la Tabla 5-4, se obtiene como resultado que los beneficios serían del orden de los 5,8 [MM USD] por año. Sin embargo, para un óptimo desempeño esperado del NSCA se requiere un mayor volumen de reducción de cargas, por lo tanto los beneficios que se generarían son muy superiores a los cuantificados.

Tabla 4-2. Estimación de beneficios ambientales derivados de la reducción de emisiones

Parámetro	Precio sombra ajustado a Chile [USD/kg]	Cantidad reducida [kg/año]	Beneficio [MM USD]
Nitrógeno	17,78	208,6	0,003
Fósforo	33,65	171.200	5,76
DBO5	0,04	883.691	0,03

Total	5,8
-------	------------

Fuente: elaboración propia

ii. Simulación de costos de un PDA (Costos de abatimiento).

En secciones anteriores se ha hecho hincapié en señalar que el AGIES, si bien realiza una estimación de costos de abatimiento para revertir excedencias, simulando los costos de abatimiento para fuentes contaminantes como posible medida a implementar en un PDA. Estos valores son referenciales y buscan identificar por sector económico posibles impactos por incumplimientos.

Los costos de abatimiento fueron estimados solo para las fuentes puntuales que descargan directamente en cuerpos de agua naturales, se presenta un rango estimado de costos entre 31 a 86 millones de dólares [USD/año] que se reparten en los siguientes rubros, según se detalla en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3. Costos de abatimiento [MM USD].

Rubro	Rango mínimo	Rango máximo
Agroindustria y alimentos	2,8	7,6
Generadores de electricidad	0,1	0,1
Minería	8,9	24,6
Sanitarias	19,4	53,6
Total	31,2	85,9

Fuente: Elaboración propia. Tasa de descuento 6% evaluado a años según vida útil de tecnologías.

La Tabla 4-4 presenta costos de abatimiento según parámetro en USD por tonelada abatida. Estos rangos de costos se obtienen de aplicar las ecuaciones de costos documentadas en los estudios ECOTEC Ingeniería (2017), AMPHOS 21 (2014) y Fundación Chile (2010), utilizando como parámetro de entrada el caudal y emisiones de las fuentes puntuales presentes en la cuenca.

A continuación se presenta el detalle de la estimación de los costos medios de abatimiento según parámetro (Tabla 4-4), observándose que los parámetros más económicos de abatir serían los cloruros y sulfatos, mientras que entre los más costosos destacan mercurio y arsénico.

Tabla 4-4. Costo de abatimiento desglosado por parámetro [USD/kg].

Parámetros	Rango mínimo	Rango máximo
Aluminio	15	52
Arsénico	750	8,359

Parámetros	Rango mínimo	Rango máximo
Aceites y Grasas	6	20
Cloruro	1	3
Cobre	16	221
DBO5	7	21
DQO	4	8
Hierro	5	9
Mercurio	27,831	57,782
Manganeso	29	151
Molibdeno	285	709
Níquel	48	149
Fósforo	18	78
Plomo	133	550
Sulfatos	1	1
Sólidos suspendidos totales	4	10
Zinc	28	93

Fuente: Elaboración propia.

Los costos resultantes se explican por la carga de contaminantes aportada por las fuentes puntuales que descargan en ríos, siendo las más relevantes sulfatos (23,050 [ton/año]), cloruros 10,558 ([ton/año]), DBO5 (5,075 [ton/año]) y sólidos suspendidos totales (4,413 [ton/año]).

5. Anexos

5.1 Metodologías

5.1.1 Metodología para la simulación del cumplimiento normativo

5.1.2 Metodología para el modelo de emisión-concentración

El modelo emisión-concentración busca relacionar el aporte de cargas que ingresan al sistema acuático (emisiones) y la afectación que ésta produce sobre la calidad de agua (concentración de los parámetros) en el punto de control. Para obtener dicha relación debe despejarse el Factor de Emisión Concentración (FEC), de la Ecuación 5-1.

$$Conc_{j,k} = FEC_{j,k} \cdot \sum (Wfe_{i,j,k} + Wfe_{i,j,k-n})$$

Ecuación 5-1

Dónde:

Conc = Nivel de “calidad actual” de agua (concentración) del parámetro *j*, medida en el punto de control correspondiente al área de vigilancia *k*. Unidad expresada en [mg/L] o [NMP/ 100 mL].

FEC = Factor de emisión concentración común del parámetro emitido *j* para área de vigilancia *k*.

Wfe = Carga emitida por la fuente emisora *i*, que descarga el parámetro *j*, y que se encuentra ubicada en el área de vigilancia *k*, asimismo, debe considerarse los aportes de las fuentes emisoras ubicadas en áreas de vigilancias aguas arriba (*k-n*) del área de vigilancia *k*.

Para efectos de este AGIES, las fuentes emisoras pueden ser clasificadas según mecanismo de evacuar su efluentes pudiendo ser puntuales si es que tienen un ducto de descarga a un cuerpo de agua superficial (río, lago, canal) bien definido y estén reguladas según Norma de emisión de residuos industriales líquidos (D.S. N° 90)¹⁸¹⁹, o difusas si es que no tienen ducto de descarga y riegan sus efluentes o bien tienen ducto de descarga pero no están sujetas a la regulación de emisión de residuos industriales líquidos (D.S. N° 90), o actividades que producto del riego o escorrentía superficial generen aportes contaminantes que escurran hacia cuerpos de agua. El ámbito puntual es concreto y acotado, pudiéndose estimar los aportes de cargas según las descargas informadas por los titulares o utilizando algún supuesto de caracterización. Sin embargo, las fuentes difusas, son diversas (actividades económicas, características naturales de la cuenca, depositación atmosférica) y atribuir qué carga contaminante corresponde a qué sector resulta imposible de precisar a excepción de la caracterización de aportes agrícolas realizada por el Centro Nacional del Medio Ambiente (2015). Por lo tanto, la metodología empleada para estimar el aporte de

¹⁸ D.S. N° 90, de 2000, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República, Establece norma de emisión de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.

¹⁹ Para efectos de este AGIES, las fuentes puntuales que descarguen a canales serán consideradas como fuentes difusas bajo el supuesto de que los canales vierten a cuerpos de agua superficiales.

las fuentes difusas se obtiene despejando la Ecuación 5-2, dado que los aportes de carga²⁰ de fuentes puntuales y la carga del río (basado en la concentración de la “calidad actual”

$$WRío_{i,l} = WFP_{i,j} + WFD_{i,j} + WRío_{i,l-1}$$

Ecuación 5-2

Dónde:

WRío: Carga en el río del parámetro “i” en el área de vigilancia “l”, expresado en [kg/d] o [NMP/d].

WFP: Carga del parámetro “i” en el área de vigilancia “l” de las fuentes puntuales que emiten directamente a un cuerpo de agua natural, expresado en [kg/d] o [NMP/d].

WFD: Carga del parámetro “i” en el área de vigilancia “l” de las fuentes difusas, expresado en [kg/d] o [NMP/d].

WRío: Carga del parámetro “i” en área(s) de vigilancia(s) aguas arriba “l-1” del área de vigilancia en evaluación “l”, expresado en [kg/d] o [NMP/d].

Se consideró los datos de emisiones del D.S. N° 90 de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) y de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), en el período 2009-2013, se identificó la curva de distribución de probabilidades con mejor ajuste (más antecedentes en Anexo 6.2); Las plantas de tratamiento de aguas servidas rurales se estimó la descarga característica asemejándola a un residuo industrial líquido sin tratar²¹, según la información de plantas en operación de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo²² (Ministerio del Interior y Seguridad Pública 2013). También se agregó y caracterizó la descarga de aquellos establecimientos que tienen planta de tratamiento de aguas residuales y que fueron identificados en el estudio de ECOTEC Ingeniería (2017).

5.1.2.1 Metodología de ajuste de probabilidad

La metodología de ajuste de probabilidad se consideró para establecer distribución de los datos de: calidad de agua, emisión de contaminantes (fuentes emisoras que declaran el D.S. N°90), caudales (de descarga de las fuentes emisoras y el caudal en los ríos), precipitación.

El objetivo es encontrar la distribución de probabilidad que más se asemeje a los datos reales, y luego evaluar la calidad del ajuste a través de Test de Bondad de Ajuste. Así, dentro del software Analytica, cada caso se trabajará como una variable probabilística, lo que permitirá además obtener la incertidumbre de los cálculos.

Teniendo en cuenta la revisión de antecedentes y la flexibilidad de los programas utilizados, las funciones de distribución evaluadas corresponden a: Normal, Gumbel y LogNormal.

El procedimiento consiste entonces en calcular los parámetros asociados a cada distribución, para cada combinación empresa aportante/contaminante, área de

²⁰ Carga contaminante = *Concentración · caudal*, expresado en [ton/año o NMP/año]

²¹ Tabla de caracterización “Establecimiento emisor” para clasificar si un establecimiento será considerado fuente emisora o no según del DS N°90.

²² SUBDERE.

vigilancia/contaminante, área de vigilancia/caudal y estación de medición/precipitaciones. Luego, crear una tabla de frecuencias y comparar los valores empíricos con los de cada función de distribución, por medio de los estadísticos de prueba. Estadísticos calculados según cada uno de los Test de Bondad de Ajuste utilizados: Chi-cuadrado y Kolmogorov-Smirnov.

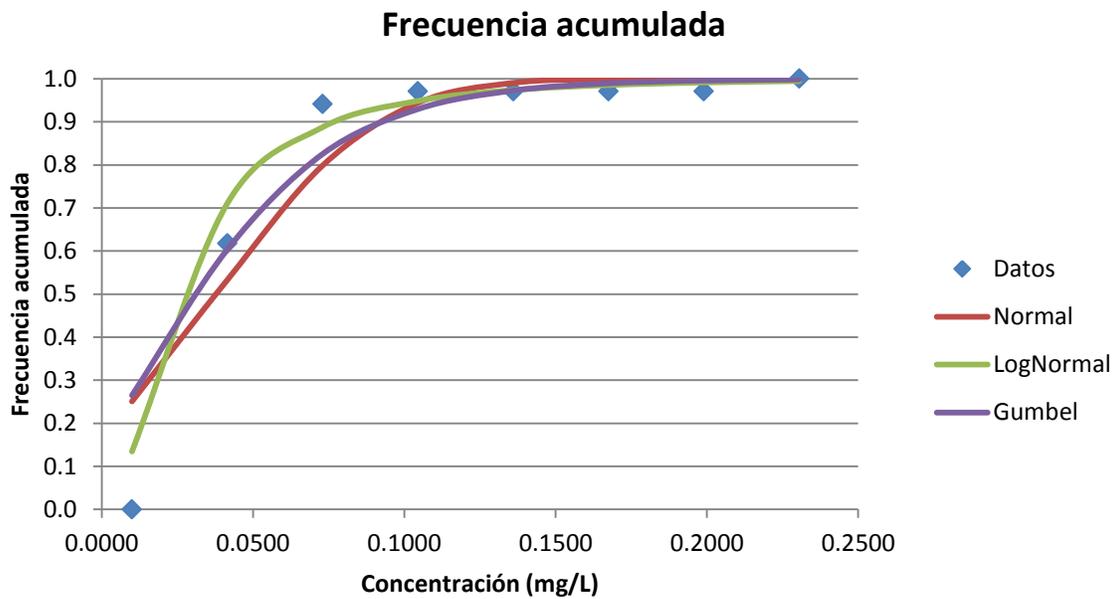
La distribución final escogida corresponde a la que ajuste a alguno de los Test y tenga el menor estadístico de prueba. Estos resultados son trasladados al software Analytica, para continuar con la modelación.

Para llevar a la práctica este análisis estadístico, en un comienzo se compiló y trabajó con los datos en Microsoft Excel. Luego, para el desarrollo de los cálculos de cada combinación, se utilizó la herramienta Macros del mismo software.

A partir de una tabla de frecuencias, en la cual se agrupan los valores observados y teóricos por intervalos, se obtienen los gráficos que muestran las frecuencias acumuladas y relativas

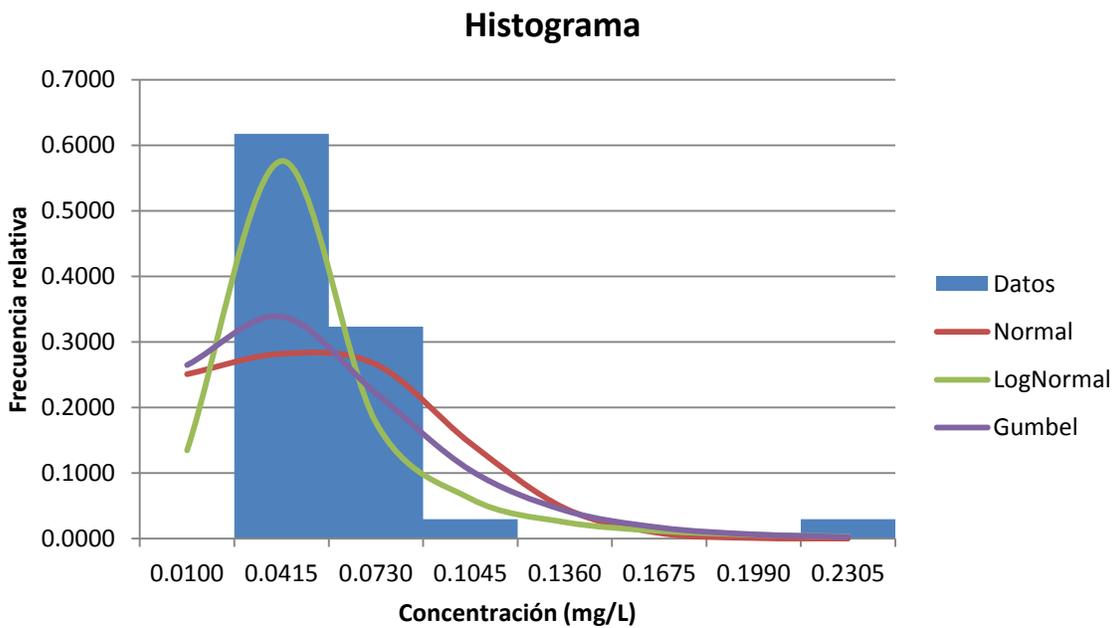
Figura 5-1 respectivamente). En estos, se comparan los datos con cada función de distribución teórica, observándose visualmente que la LogNormal es la que más se ajusta.

Figura 5-1. Ejemplo de Frecuencia acumulada de los datos y su ajuste con curvas de distribución de probabilidades



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-2. Ejemplo de frecuencia relativa e histograma y su ajuste con curvas de distribución de probabilidades



Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.2 Metodología para el cálculo de la reducción de carga contaminante

Al producirse incumplimientos a cualquiera de los límites regulatorios propuestos para la combinación parámetro-área de vigilancia, conlleva necesariamente a estimar cuánta es la carga contaminante²³ en el río que se debiera reducir para lograr el cumplimiento de la regulación propuesta en el AP-NSCA-Aconcagua.

La carga contaminante puede provenir de las características naturales de la cuenca (geomorfología) así como de las actividades antrópicas desarrolladas en la cuenca. La vía de ingreso de estas cargas a los ecosistemas acuáticos puede ser de tipo puntual (ducto de descarga) o difusa (escorrentía por precipitaciones o escurrimiento por riego). Es importante precisar que existen fuentes puntuales que serán consideradas en el AGIES como fuentes difusas cuando: i) descargan sus emisiones a canales, o, ii) son establecimientos que no están regulados por la norma de emisión a cuerpos de agua superficiales (DS N° 90, de 2000, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República)²⁴, por lo tanto no informan ni monitorean los efluentes descargados en aguas superficiales.

Así como se estima la reducción global de cargas requerida para el cumplimiento normativo, se estima también lo que contribuyen a esta reducción las fuentes puntuales²⁵ si instalaran tecnologías de abatimiento de residuos líquidos, de acuerdo a las eficiencias de abatimiento según parámetro-tecnología reportadas en los estudios de Fundación Chile (2010); AMPHOS 21 (2014); ECOTEC Ingeniería (2017). Para el AGIES, se considera sujeto de abatimiento a las fuentes puntuales que emiten el parámetro en incumplimiento, y que por su ubicación, la descarga afecta en la(s) área(s) de vigilancia en donde se identifica el incumplimiento.

5.1.1 Metodología para el cálculo de costos de abatimiento.

Las estimaciones de costos de abatimiento solamente son referenciales y dan cuenta de una aproximación de los costos que podría tener un futuro Plan de Prevención y/o Descontaminación, para dicha instancia debe hacerse un levantamiento de información más exhaustivo que el utilizado en esta ocasión.

Para estos efectos se consideró como información de base las curvas de costos de inversión y de operación y mantenimiento de las tecnologías de abatimiento (Fundación Chile 2010; AMPHOS 21 2014; ECOTEC Ingeniería 2017) que abaten los parámetros que se estiman puedan sobrepasar los límites regulatorios que propone el AP-NSCA-Aconcagua. Genéricamente estas curvas son de tipo exponencial tanto para estimar la inversión como para estimar los costos de operación y mantenimiento (Ecuación 5-3).

$$\text{Costo Abat} = a \cdot Q^b$$

²³ Excluye a los incumplimientos que pudieran haber relacionados con los parámetros: oxígeno disuelto, conductividad, pH y clorofila a.

²⁴ Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.

²⁵ Fuentes puntuales que descargan directamente al río

Ecuación 5-3

Dónde:

Costo Abat: Costo de abatimiento, existe una curva para inversión [USD/m³/h] y otra de operación y mantenimiento [USD/año/m³/h] para cada tecnología
a, b: Constantes de la curva de costos según tecnología
Q: Caudal a tratar [m³/h]

Luego se multiplica el costo por el caudal a tratar para dejar la expresión de inversión en [USD] y la de operación y mantenimiento en [USD/año].

Los costos de inversión fueron anualizados con una tasa de descuento del 6% y un horizonte temporal de acuerdo a los años de vida útil de las tecnologías.

Los costos de abatimiento fueron estimados para las fuentes puntuales que descargan los parámetros que tendrían incumplimiento y disponen sus efluente directamente en los ríos, considerándose aquellas fuentes emisoras que están reguladas por el DS N° 90 del año 2000, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República y que por lo tanto informan regularmente las características de sus residuos industriales líquidos y el (los) punto(s) de descarga; pero también es importante señalar que se consideró a las plantas de tratamiento de aguas servidas rurales, caracterizando su descarga asemejable a un residuo industrial líquido sin tratar²⁶, según la información de Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo²⁷ (Ministerio del Interior y Seguridad Pública 2013). También se agregó y caracterizó la descarga de aquellos establecimientos que tienen planta de tratamiento de aguas residuales y que fueron identificados en el estudio de ECOTEC Ingeniería (2017).

Dado que se tiene el costo de abatir “x” parámetros con distintas tecnologías, expresado en [USD/año], el objetivo es obtener un costo medio por kilogramo abatido, tal como lo indica la Ecuación 5-4.

$$C_{Medio_{i,j,k}} = \frac{\text{Costo anualizado}_{j,k}}{\text{Abat}_{i,j,k} \cdot \text{NumParam}_j}$$

Ecuación 5-4

Dónde:

C_{Medio_{i,j,k}}: Costo medio de abatimiento del parámetro “i” con la tecnología de abatimiento “j” para la fuente emisora puntual “k”, expresado en [USD/kg].
Costo anualizado_{j,k}: Costo total anualizado (inversión + operación y mantenimiento) de la tecnología “j” para la fuente emisora puntual “k”, expresado en [USD/año].
Abat_{i,j,k}: Abatimiento máximo del parámetro “i” con la tecnología “j” que podría lograr la fuente emisora “k”, expresado en [kg/año] o [NMP/año], según parámetro.
NumParam_j: Cantidad de parámetros que puede remover la tecnología “j”

Luego de haber estimado un conjunto de costos medios de abatimiento por parámetro que tendrían las fuentes puntuales según distintas opciones de tecnologías, y para dar un rango genérico de costos sin tener que asignar tal tecnología o combinación de tecnologías, es que

²⁶ Tabla de caracterización “Establecimiento emisor” para clasificar si un establecimiento será considerado fuente emisora o no según del DS N°90.

²⁷ SUBDERE.

se estima un set de estadísticos que reflejen el mínimo costo, percentil 25, percentil 50, percentil 75 por parámetro que se requiere abatir. Posteriormente estos costos medios se multiplican por la carga máxima (por parámetro) que aportan las fuentes puntuales en su conjunto.

Se excluyó los costos de abatimiento de las empresas que no cumplen el DS N° 90, esto con el fin de que los costos que se presentan en el capítulo de resultados reflejen el costo incremental debido al cumplimiento del AP-NSCA-Aconcagua.

5.1.2 Metodología de cálculo de beneficios por reducción de contaminantes (precios sombra)

La metodología de los precios sombras es utilizada para asignar un valor a los bienes que no tienen un precio en el mercado. Un ejemplo claro de esta situación son los bienes relacionados con el medio ambiente y específicamente las emisiones de contaminantes. Los precios sombra pueden ser considerados como un *proxy* del valor que la sociedad le proporciona a la emisión de contaminantes y es posible utilizarlo para el análisis económico de normativas medioambientales (Bruyín, Korterland et al. 2010)

A efectos de llevar a cabo una estimación de beneficios por daño ambiental evitado, se utiliza la metodología de transferencia de beneficios (TB), la cual involucra la aplicación de valores, funciones, datos y/o modelos extraídos de estudios existentes a un caso de estudio, siempre que cumplan ciertos requisitos con respecto a semejanzas entre un sitio y otro, por lo tanto, partir del estudio de Hernández-Sancho, Molinos-Senante et al. (2010)²⁸, se obtienen los precios sombra [USD/kg] para los contaminantes nitrógeno, fósforo y DBO5 (Tabla 5-1), valores que fueron adaptados a la realidad nacional en términos de PIB per cápita ajustado a Paridad de Poder Adquisitivo (PPA)²⁹, de acuerdo a las ecuaciones .

Tabla 5-1. Precios sombra por contaminantes en ríos.

Parámetro	Precio sombra [€/kg]	Precio sombra [USD/kg] (*)
Nitrógeno	16,353	17,78
Fósforo	30,944	33,65
DBO5	0,033	0,04

Fuente: Hernández-Sancho, Molinos-Senante et al. (2010). Nota: (*) Tipo de cambio considerado 1,368 [USD/€]

$$PIB_{per_capita_aj_{k,j}} = PIB_{per_capita_{k,j}} \cdot PPA_{k,j}$$

Ecuación 5-5

Dónde:

PIB_per_capita_aj: PIB per cápita ajustado de *k* (Valencia o Chile) del año “*j*” (en caso de Valencia año 2009 y en caso de Chile se consideró el año 2014) [USD]

PIB_per_capita: PIB per cápita de “*k*” (Valencia o Chile) del año “*j*” (en caso de Valencia año 2009 y en caso de Chile se consideró el año 2014). Valencia=27.764,83[USD], Chile=14.528,33 [USD].

PPA: Factor de conversión Paridad de poder adquisitivo de “*k*” (Valencia, Chile) del año “*j*” (en caso de Valencia año 2009 y en caso de Chile se consideró el año 2014. Valencia=0,986, Chile=0,658.

²⁸ Si bien el estudio se basa en un análisis de Plantas de Tratamiento de Aguas (PTAS), resulta útil a los fines del presente AGIES en el sentido de aportar un valor de referencia (disposición a pagar mínima implícita por evitar un daño ambiental) para los contaminantes nitrógeno y fósforo. El supuesto que sustenta la transferencia realizada es la semejanza de tecnologías productivas entre las PTAS de Chile y España, lo cual se verifica al comparar las estructuras de costos de dicho rubro para ambos países.

²⁹ Los precios sombra se determinaron a partir de la extrapolación de valores del estudio de referencia, como proporción del PIB per cápita de Valencia (2009) en relación al PIB per cápita de Chile, ambos ajustados por Paridad de Poder Adquisitivo (2014) en dólares.

Luego, se establece la proporción entre el precio sombra (Tabla 5-1) y el PIB per cápita ajustado de Valencia estimado en la Ecuación 5-5, tal como se indica en la Ecuación 5-6

$$Pond_{ps_aj_i} = \frac{Precio_sombra_i}{PIB_per_capita_aj_k}$$

Ecuación 5-6

Dónde:

Pond_ps_aj: Ponderación de precio sombra ajustado según PIB de origen, del parámetro “i” [1/kg]

Precio_sombra: Precio sombra del parámetro “i”, según datos de Tabla 5-1

PIB_per_capita_aj: PIB per cápita ajustado de “k”= Valencia

Posteriormente, para establecer el precio sombra aplicable a la realidad de Chile se multiplica PIB per cápita ajustado de Chile (obtenido de la Ecuación 5-5) por la ponderación de precio sombra ajustado (obtenido de la Ecuación 5-6).

Finalmente, para estimar el beneficio que generaría la reducción de nitrógeno, fósforo y DBO₅, según la percepción de la sociedad por evitar un daño ambiental derivado de dichos parámetros. Para esto se multiplica la reducción de estos parámetros por el precio sombra, según se indica en la Ecuación 5-7.

$$Beneficio_i = Precio_sombra_aj_Chile_i \cdot \sum_{j'} W_reduccion_{i,j'} \cdot 365$$

Ecuación 5-7

Dónde:

Beneficio: Beneficio por reducción del parámetro “i” [USD/año]

Precio_sombra_aj_Chile: Precio sombra ajustado a la realidad de Chile del parámetro “i” [USD/kg]

W_reducción: carga total reducida del parámetro “i” por aplicación de medidas de abatimiento en fuentes puntuales [kg/d]

365: factor de conversión de carga diaria a carga anual [dia/año]

5.2 Anteproyecto de NSCA evaluado

Tabla 5-2. Anteproyecto de NSCA para la cuenca del río Aconcagua.

Parámetros	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
Al	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1,8	2	1,1	
As	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
AyG			6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	8,25
Cl-	6,3	6,3	6,3	6,3	10	10	6,3	6,3	10	10	10	10	10	10	10	
Coli/100ml	20		1000	26		1000		138				448	1000	1000	1000	540
Cond	832	646	515	508	383	569	342	258	488	617	818	614	676	666	759	
Cr	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	0,02
Cu	0,03	0,05	0,05	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,06
DBO5	1	3	3	4	5	5		5	5	5	5	1	5	5	5	5
DQO	17	17	17	10	10	13	12	17	17	13	26	12	17	17	22	5
Fe	6,6	3,11	7,52	8,31	1,98	7,1	3,48	7,16	6,95	1,98	3,21	3,5	1,25	2,97	1,34	2,17
Hg	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,101	0,001	0,001
Mn	0,32	0,63	0,34	0,6	0,04	0,63	0,22	0,27	0,43	0,04	0,17	0,14	0,15	0,23	0,34	0,24
Mo	0,05	0,09	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	0,07
N																1
Ni	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04
N-NH4																0,08
N-NO3	0,2	0,7	0,3	0,4	1,1	1,1	0,4	0,2	1,1	1,1	1,7	1,9	2,8	1,5	1,9	
OD	8,54	7,87	9,03	9,12	8,05	7,75	8,19	7,67	8,2	7,92	5,34	8,21	7,39	10	5,79	9,15
P					0,08	0,08			0,08	0,08	0,08	0,08	0,12	0,1	0,1	0,1
Pb	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,11
pH_max	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
pH_min	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
P-PO4	0,027	0,05	0,01	0,019	0,05	0,062	0,01	0,02	0,061	0,05	0,05	0,047	0,1	0,083	0,08	
SO4	171	171	147	160	92	163	100	69	150	92	150	143	154	157	151	197
SST	240	240	240	240	365	365		195		365		365	365	365	365	
Zn	0,01	0,02	0,06	0,069	0,01	0,05	0,03	0,018	0,05	0,01	0,016	0,01	0,01	0,01	0,01	0,025
Clorofila a (ug/L)																20

Fuente: Departamento de Conservación de Ecosistemas Acuáticos, Ministerio del Medio Ambiente

5.2.1 Escenario de calidad actual

Tabla 5-3. Nivel de calidad actual estimado para la evaluación del cumplimiento de AP-NSCA-Aconcagua

Parámetros	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
Al	8.481	2.671	7.157	11.25	3.401	9.351	9.88	8.285	13.42	2.013	4.32	3.592	2.699	4.789	1.051	--
As	0.009	0.018	0.023	0.026	0.01	0.022	0.015	0.014	0.012	0.003	0.006	0.006	0.005	0.006	0.003	0.003
AyG	--	--	16.98				--		--		--				--	21.7
Cl-	24.33	106.1	21.92	30.21	6.151	30.68	8.988	5.686	29.38	16.7	38.08	21.57	34.65	40.05	36.78	--
Coli/100ml	2	--	2100	2	--	280	--	14	--	--	--	500		240	220	1606
Cond	870.4	868.6	500.8	545.9	400.4	563.9	329.2	255.1	555.8	637.7	884.3	644.5	745.4	794.5	806.6	--
Cr	0.043	0.043	0.01	0.043	0.043	0.043	0.043	0.01	0.046	0.045	0.045	0.045	0.043	0.043	0.047	0.02
Cu	0.056	1.631	0.158	1.99	0.033	1.436	0.155	0.082	0.864	0.04	0.144	0.298	0.146	0.137	0.036	0.191
DBO5	2	2	3.57	2	2	2	--	2	2	2	14	2	2	2	2	2.05
DQO	30.32	46.64	17.9	22.88	34.65	32.74	35.08	37.06	38.65	23.72	68.9	28.43	39.23	38.15	34.44	26.52
Fe	7.533	2.413	7.705	8.587	2.392	7.808	6.642	5.87	12.35	1.096	4.24	3.032	2.159	4.231	1.127	3.592
Hg	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	
Mn	0.33	0.416	0.569	0.64	0.119	0.622	0.307	0.283	0.511	0.082	0.258	0.198	0.298	0.332	0.181	0.351
Mo	0.05	0.114	0.06	0.053	0.05	0.052	0.049	0.046	0.051	0.05	0.05	0.053	0.049	0.055	0.05	0.01
N	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Ni	0.031	0.033	0.022	0.033	0.031	0.031	0.031	0.044	0.034	0.031	0.032	0.032	0.03	0.035	0.033	0.07
N-NH4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0.101
N-NO3	0.129	0.376	0.206	0.275	0.808	0.503	0.194	0.296	0.657	3.246	3.406	1.928	3.014	1.628	2.29	--
OD	7.348	6.892	8.8	7.935	7.374	7.174	6.486	7.225	7.335	6.758	5.126	7.672	6.358	6.337	4.865	6.679
P	--	--	--	--			--	--								0.2
Pb	0.058	0.06	0.056	0.06	0.06	0.058	0.065	0.05	0.059	0.06	0.063	0.059	0.05	0.061	0.053	0.108
pH	17.25	16.76	16.48	16.91	17.23	17.38	17.18	17.29	16.92	16.73	16.66	17.72	16.62	17.55	16.64	16.74
P-PO4	0.049	0.054	0.019	0.023	0.148	0.128	0.116	0.648	0.324	0.183	0.534	0.437	0.461	0.538	0.954	0.717
SO4	359	220.7	149.1	171.1	101.2	168.8	92.07	75.17	167.8	133.8	194.6	149.9	175.6	194.9	183.3	--
SST			264.9													36.71
Zn	0.035	0.095	0.122	0.153	0.022	0.121	--	0.042	--	0.02	--	0.041	0.02	0.03	0.019	--
Clorofila a																

Fuente: Elaboración propia. Nota: "--": No normado. Celda rellena color gris: sin información de calidad

5.3 Resultados adicionales

5.3.1 Reducción de carga contaminante

La reducción de cargas tiene dos dimensiones de análisis, una es la magnitud de la reducción de la carga por parámetro emitida por las fuentes puntuales que descargan en el río, y la otra es la repercusión que tiene sobre la reducción de la carga total del río, en este sentido podemos observar de la Tabla 5-4 importantes cifras de reducción para parámetros como sulfatos, cloruros, sólidos suspendidos totales, entre otros, que tienen una baja repercusión en el aporte a la carga del río. Las principales reducciones se identifican a parámetros como el fósforo total (19 [%]) y, demanda biológica de oxígeno, cobre, zinc y molibdeno que tienen al menos un 5 [%] de reducción en la carga del río.

Tabla 5-4. Reducción de cargas desde fuentes puntuales que descargan al río

Parámetro	Carga en el río [ton/año]	Reducción de la carga aportada por fuentes puntuales [ton/año]	Carga en el río post- abatimiento [ton/año]	Porcentaje de reducción de la carga en el río [%]
P	920	171,2	748,8	 19%
DBO5	14.454	883,7	13.570,3	 6%
Cu	881	49,2	831,8	 6%
Zn	326	17,7	308,3	 5%
Mo	46	2,4	43,6	 5%
Cr	92	1,6	90,4	 2%
Cl-	760.865	9.888,5	750.976,5	 1%
SO4	1.844.827	22.406,8	1.822.420,2	 1%
AyG	99.794	1.126,6	98.667,4	 1%
Hg	5	4,95	4,95	 1%
Pb	495	490,2	490,2	 1%
Al	2.493	2.471,6	2.471,6	 1%
Ni	324	321,5	321,5	 1%
SST	168.840	168.041	168.041	 0%
Mn	1.612	1.605,3	1.605,3	 0%
Fe	163519	16.501,1	16.501,1	 0%
As	12.685	12.683,6	12.683,6	 0%
DQO	121.968	121.957,3	121.957,3	 0%

Fuente: Elaboración propia. Nota: se excluye la reducción de nitrógeno total (N) debido a que no se tiene datos de calidad en el río, sin embargo la reducción estimada por parte de las fuentes puntuales es de 0,2 [ton/año]

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. Santiago.

Bruyín, S., M. Korterland, et al. (2010). Shadow Prices Handbook. Valuation and weighting of emissions and environmental impacts.

Centro Nacional del Medio Ambiente (2015). Diagnóstico y propuesta de control de las fuentes difusas en la cuenca del río Aconcagua, región de Valparaíso. Informe Final. Santiago, Preparado para Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente de la región de Valparaíso.

Centro Nacional del Medio Ambiente (2016). Generación y complementación de información base para la elaboración de los AGIES relacionados con recursos hídricos. Aplicación práctica en la cuenca del río Elqui y en la cuenca del río Mataquito. Preparado para el Ministerio del Medio Ambiente.

Cienciambiental (2014). "Recopilación y Sistematización de Información Relativa a Estudios de Evaluación, Mapeo y Valorización de Servicios Ecosistémicos en Chile." 1: 55.

ECOTEC Ingeniería (2017). Inventario de tecnologías de tratamiento de residuos industriales líquidos y actualización de costos de tecnologías de tratamiento. Informe Final. Santiago, Preparado para el Ministerio del Medio Ambiente.

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. Elaborado para la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). Santiago.

FundacionChile (2010). Estimación de Costos de Abatimiento de contaminantes en Residuos Líquidos. Santiago de Chile.

GreenLabUC (2016). Elaboración de Guías Metodológicas de Valoración Contingente y Transferencia de Beneficios y su Aplicación a un Caso Práctico. Gestión y Política Ambiental DICTUC S.A. Santiago, Preparado para el Ministerio del Medio Ambiente.

Haines-Young, R. and M. Potschin (2012). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, EEA Framework Contract No EEA/IEA/09/003.

Hernández-Sancho, F., M. Molinos-Senante, et al. (2010). "Economic valuation of environmental benefits from wastewater treatment processes: An empirical approach for Spain." Science of the Total Environment **408**(4): 953-957.

Huenchuleo, C., J. Barkmann, et al. (2016). "Attitudinal determinants of willingness -to-pay for river ecosystem improvements in central Chile: A choice experiment " Ciencia e Investigación Agraria **43**(1): 125-137.

Laboratorio de Análisis Territorial (2011). Generación de información cartográfica para el sistema de tipología de ríos y lagos de Chile. Informe Final. Documento preparado para el Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables: 128.

Ministerio del Interior y Seguridad Pública (2013). Catastro Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas sector rural año 2012. Unidad Saneamiento Sanitario, Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE).