



DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

ANÁLISIS GENERAL DE IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DEL ANTEPROYECTO DE LA NORMA SECUNDARIA DE CALIDAD AMBIENTAL PARA LA PROTECCIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DE LA CUENCA DEL RÍO HUASCO

*Abril 2020*

## 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 (DS 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 apoyo a 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 de Calidad, desde el desarrollo del anteproyecto hasta su aprobación, contempla la elaboración de dos documentos de parte del DEA:

- 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 a uno de los múltiples antecedentes para la toma de decisión respecto de la protección de la calidad del agua de cuencas hidrográficas. Otros antecedentes pueden ser, por ejemplo, información geográfica y demográfica, datos históricos, situación política y la percepción pública respecto a la contaminación.

El presente documento corresponde al Análisis General de Impacto Económico y Social para el Anteproyecto A-AP (en rojo, Figura 1) de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental para la

protección de aguas continentales de la cuenca del río Huasco. En este documento se identifican, cuantifican y valorizan los costos y beneficios derivados del cumplimiento de la norma considerando la mejor información disponible por el MMA a la fecha de evaluación.

Figura 1. 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 la norma derivados de la mayor necesidad de monitoreo y fiscalización, los costos de un potencial 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 presente documento corresponde al Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) del Anteproyecto de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental de la cuenca del río Huasco. Este tiene como objetivo evaluar los costos y beneficios que implique el cumplimiento de la propuesta regulatoria.

El Anteproyecto define límites máximos y mínimos permisibles de 16<sup>1</sup> contaminantes en 17 áreas de vigilancia, generándose 277 límites normativos a evaluar. Del análisis de costos y beneficios del Anteproyecto se desprende lo siguiente:

- La evaluación de los límites permisibles de concentración establecidos respecto de la calidad actual del río genera 21 superaciones y 256 cumplimientos.
- Los beneficios contemplan la valoración por mejoras en calidad de agua y provisión de servicios ecosistémicos protegidos por la NSCA. El beneficio valorizado se estimó en US\$2,18 millones por año.
- Se evalúan los costos de la norma para el Estado (monitoreo y fiscalización), y los costos generados por la eventual implementación de un Plan de Descontaminación en la cuenca (costos de abatimiento para las fuentes emisoras).
- Los costos de implementación de la norma se estimaron en US\$ 0,046 millones por año.
- Los costos valorizados por la potencial implementación del Plan de Descontaminación en la cuenca considerando 10 superaciones se estiman en aproximadamente US\$1,54 millones por año.

Del análisis se concluye que la NSCA de la cuenca del río Huasco es consistente con los compromisos del Ministerio del Medio Ambiente, ya que reduce la contaminación y permite conservar la biota acuática de los ecosistemas y los servicios ecosistémicos de la cuenca. Con los beneficios y costos que se lograron valorar monetariamente, se concluye además que la norma es rentable socialmente.

---

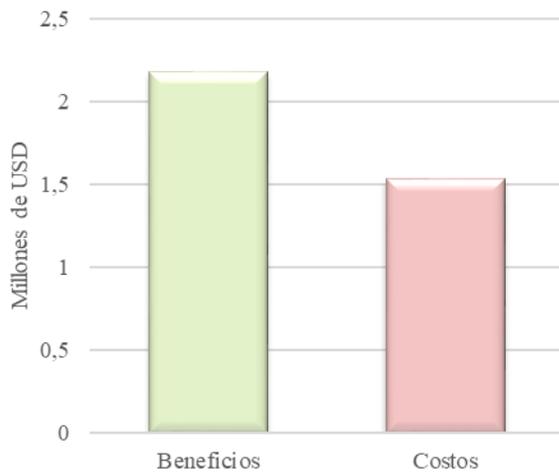
<sup>1</sup> Se considera al pH como un solo contaminante, independiente que se norme con límite superior e inferior.

## Figuras y tablas

Parámetro	Porcentaje reducción
Zn	79%
Sulfato	75%
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	72%
Mn	43%
Fosfato	36%
Cu	31%
Fe	30%
Al	13%
NO <sub>3</sub>	9%

**Figura A. Reducción porcentual de emisiones.**

Debido a los incumplimientos que se producirían y a la aplicación de medidas de abatimiento para revertirlos se estima que las principales reducciones de parámetros corresponderían principalmente a zinc, sulfato y NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.



**Figura B. Beneficios y costos monetizados.**

Los costos totales que generaría el Anteproyecto de NSCA-Huasco bordea los US\$ 1,58 millones anuales, mientras que los beneficios superan los US\$ 2,18 millones por año.

Se generan importantes beneficios para la sociedad, principalmente por mejoras en la calidad de los ecosistemas acuáticos y sus servicios beneficiando a usuarios de éstos, de este modo se incrementa el valor natural de la cuenca y contribuye a mejoras económicas sobre el desarrollo de la región.



**Figura C. Evaluación de cumplimiento de NSCA.**

Se identificaron 21 superaciones que se producirían con la entrada en vigencia el Anteproyecto de la NSCA Huasco. De estas, se evalúa la reducción y costos de abatimiento de 11.

De las 10 superaciones que no se evalúan, 5 no involucran costos directamente, ya que corresponden a variables respuesta que no se pueden abatir directamente en la fuente emisora (Conductividad, Oxígeno disuelto y pH). Estos parámetros podrían revertirse si se reducen otros afines, como los nutrientes, los metales y las sales. El resto de las superaciones no evaluadas corresponden presentadas en áreas de cabecera donde no es posible caracterizar los aportes (Coliformes totales y NO<sub>3</sub>).

## Contenido

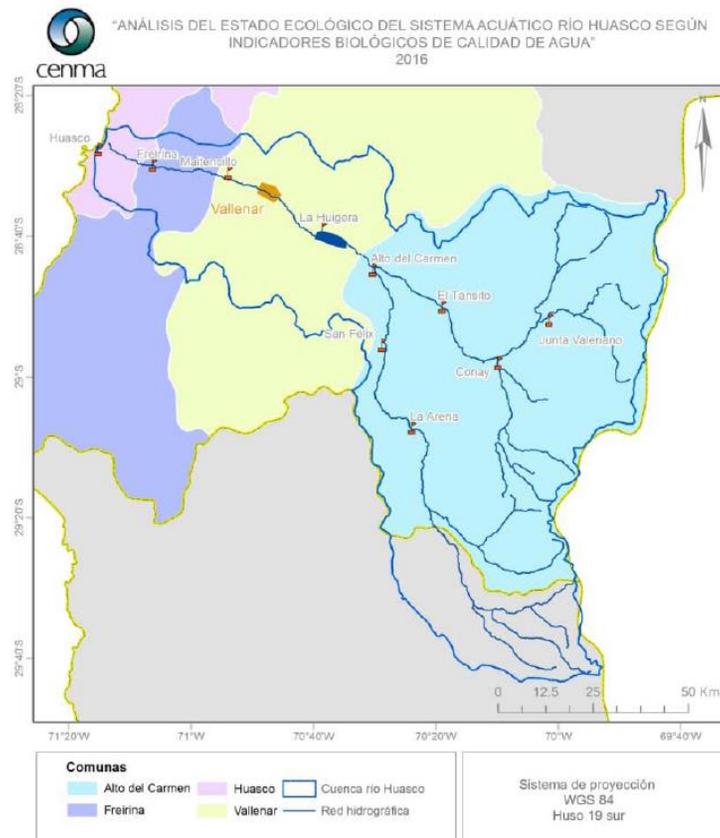
<b>RESUMEN.....</b>	<b>3</b>
<b>1. ANTECEDENTES.....</b>	<b>6</b>
1.1 CUENCA DEL RÍO HUASCO.....	6
1.2 NORMA SECUNDARIA DE CALIDAD AMBIENTAL PARA EL RÍO HUASCO.....	8
1.3 CARACTERIZACIÓN SOCIAL DE LA CUENCA.....	11
<b>2. METODOLOGÍA GENERAL DEL AGIES.....</b>	<b>13</b>
2.1 LÍNEA BASE DE CONCENTRACIONES DEL RÍO.....	13
2.2 LÍNEA BASE DE EMISIONES.....	13
2.2.1 Fuentes Puntuales.....	13
2.2.2 Fuentes Difusas.....	16
2.3 COSTOS.....	19
2.3.1 Costos de monitoreo.....	19
2.3.2 Costos de fiscalización.....	20
2.3.3 Costos de abatimiento.....	20
2.4 BENEFICIOS.....	24
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>27</b>
3.1 REDUCCIÓN DE EMISIONES.....	27
3.2 COSTOS.....	28
3.2.1 Costos de Monitoreo y Fiscalización.....	28
3.2.2 Costos de abatimiento.....	29
3.3 BENEFICIOS.....	30
3.3.1 Identificación de servicios ecosistémicos en la cuenca del río Huasco.....	30
3.3.2 Beneficios económicos asociados a DAP.....	30
<b>4. COMENTARIOS FINALES.....</b>	<b>32</b>
<b>5. ANEXOS.....</b>	<b>33</b>
5.1 LÍNEA BASE DE CALIDAD DE AGUA (“SITUACIÓN ACTUAL”).....	33
5.2 TECNOLOGÍAS DE ABATIMIENTO PARA FUENTES PUNTUALES.....	38
5.3 ABATIMIENTO PARA FUENTES DIFUSAS: REMEDIACIÓN DE SITIOS MINEROS.....	45
5.4 PARÁMETROS DE COSTOS DE MONITOREO Y FISCALIZACIÓN.....	46
5.5 PARÁMETROS DE ANÁLISIS Y USO DE SOFTWARE.....	47
5.6 SERVICIOS ECOSISTÉMICOS (SSEE) IDENTIFICADOS POTENCIALMENTE EN LA CUENCA RELACIONADOS CON ECOSISTEMAS ACUÁTICOS.....	47
<b>6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>51</b>

## 1. Antecedentes

### 1.1 Cuenca del río Huasco

La cuenca del río Huasco se encuentra en el extremo sur de la Región de Atacama, Chile. Alcanza una extensión de 9.813,2 km<sup>2</sup> aproximadamente<sup>2</sup> y comprende a las comunas de Alto del Carmen, Huasco, Freirina y Vallenar (ver Figura 2), cuya población total alcanza los 75.000 habitantes según el censo del año 2017.

Figura 2. Límites administrativos, ciudades y poblados de la cuenca del río Huasco (CENMA, 2016).

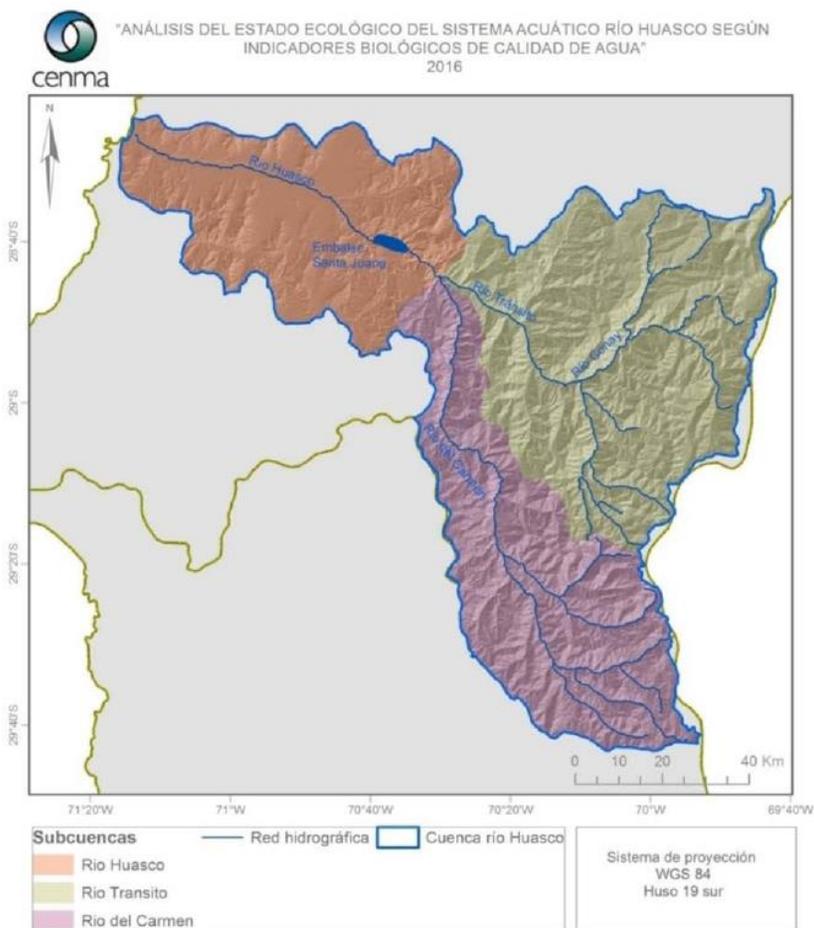


Geomorfológicamente, la cuenca del río Huasco está compuesta por tres subcuencas aportantes (ver Figura 3): Río Tránsito, Río del Carmen y Río Huasco. El río Huasco se forma en el sector denominado Junta del Carmen, donde confluyen los ríos Tránsito y del Carmen, los cuales transportan aguas desde el noreste y sureste de la cuenca, respectivamente. El río Huasco se extiende 90 km desde dicha confluencia hasta su desembocadura en el mar<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> INIA - JVRH, 2009 – 2010. Aplicación red de monitoreo de calidad de agua en la cuenca del río Huasco y sus afluentes.

<sup>3</sup> Algoritmos - MMA, 2013. Diagnóstico, inventario de emisiones y monitoreo de la calidad de las aguas de la cuenca del río Huasco.

Figura 3. Red hídrica de la cuenca del río Huasco (CENMA, 2016).



El régimen del río Huasco es de tipo nival, ya que sus principales ríos aportantes nacen de la alta cordillera de Los Andes, a una altura de 5000 msnm. La cuenca se caracteriza por una marcada variación climática, lo cual provoca años con abundantes precipitaciones y caudales, mientras que también existen periodos prolongados de sequía, manifestándose un déficit hídrico. Las aguas de la cuenca del río Huasco constituyen una fuente primordial para el desarrollo social e industrial de la provincia, donde sus principales usos son referidos al sector agrícola, a través del agua de riego, y al sector minero<sup>4</sup>.

Debido a sus características climáticas, gran parte de las especies en la cuenca se encuentran restringidas a humedales altoandinos, como vegas y bofedales. Por lo tanto, las poblaciones están muy fragmentadas y son altamente susceptibles al aislamiento y reducción de sus hábitats, lo que ha determinado que exista un alto nivel de endemismo y al mismo tiempo una excepcional fragilidad de los ecosistemas altoandinos<sup>5</sup>. Sin embargo, la cuenca es considerada con un estado

<sup>4</sup> Cade-Idepe. 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad cuenca del río Huasco.

<sup>5</sup> CENMA. 2016. Análisis del estado ecológicos del sistema acuático río Huasco según indicadores biológicos de calidad de agua, informe final.

ecológico Bueno y Muy Bueno<sup>6</sup> en algunas zonas, las cuales proveen variados servicios ecosistémicos de regulación, provisión y de recreación (Ver Sección 5.6), que son utilizados por las comunidades asociadas a la cuenca y el sector productivo.

## 1.2 Norma Secundaria de Calidad Ambiental para el río Huasco

El Anteproyecto de la NSCA establece diecisiete áreas de vigilancia. Los lugares de inicio y término de cada una de las áreas de vigilancia se detallan en la **Tabla 1**.

**Tabla 1.** Áreas de Vigilancia de la NSCA del río Huasco

N°	Cauce	Área de Vigilancia	Límites Área de Vigilancia	Coordenadas	
				UTM WGS 84	
				Norte	Este
1	Río Huasco	HU-10	De: Confluencia río Tránsito y Río Carmen.	6823906	348477
			Hasta: Aguas arriba del Embalse Santa Juana.		
2		HU-20	De: Aguas arriba del Embalse Santa Juana.	6838960	324493
			Hasta: Aguas debajo de la ciudad de Vallenar.		
3		HU-30	De: Aguas debajo de la ciudad de Vallenar.	6843939	303235
			Hasta: Puente Nicolasa, Freirina.		
4		HU-40	De: Puente Nicolasa, Freirina.	6848713	286808
			Hasta: Huasco Bajo, Huasco.		
5	Río Carmen	CA-10	De: Naciente del río Carmen	6786630	355570
			Hasta: Confluencia con Quebrada López.		
6		CA-20	De: Confluencia con Quebrada López.	6818346	355150
			Hasta: Confluencia con río Tránsito.		
7	Río Potrerillos	PO-10	De: Naciente del río Potrerillos.	6744643	382403
			Hasta: Confluencia con río Tres Quebradas.		
8		PO-20	De: Confluencia con río Tres Quebradas.	6745438	381388
			Hasta: Antes de confluencia con Río Carmen.		

<sup>6</sup> CENMA-MMA. 2013. Monitoreo y Evaluación de Estado Ecológico de 10 Cuencas Hidrográficas de Chile. Documento Técnico del Proyecto Normas Secundarias De Calidad.

9	Río Tres Quebradas	QU-10	De: Aguas arriba confluencia Quebrada La Ortiga.	6744974	382410
			Hasta: Río Potrerillos.		
10	Río Toro	TO-10	De: Naciente río Toro	6748307	386301
			Hasta: Aguas arriba confluencia Quebrada La Ortiga.		
11	Río El Tránsito	TR-10	De: Ríos Conay y Chollay.	6818555	355067
			Hasta: Confluencia con río Carmen.		
12	Río Chollay	CH-10	De: Río Estrecho.	6794225	387478
			Hasta: Río Tránsito.		
13	Río Estrecho	ES-10	De: Naciente río Estrecho.	6769472	389489
			Hasta: Río Chollay.		
14	Río Conay	CO-10	De: Confluencia ríos Valeriano y Laguna Grande.	6797190	392723
			Hasta: Río Tránsito.		
15	Río Valeriano	VA-10	De: Naciente río Valeriano.	6804378	398835
			Hasta: Río Conay.		
16	Río Laguna Grande	LG-10	De: Naciente río Laguna Grande.	6805171	398824
			Hasta: Río Conay.		
17	Río Cazadero	RC-10	De: Naciente río Cazadero.	6818099	403359
			Hasta: Río Laguna Grande.		

**Fuente:** Anteproyecto de la NSCA del río Huasco

El Anteproyecto de la NSCA define niveles de calidad ambiental, según parámetro, de acuerdo a lo establecido en la Tabla 2. Además, el Anteproyecto establece la obligación de realizar al menos doce (12) monitoreos anuales para cada contaminante a controlar, así como como dos ensayos ecotoxicológicos y dos muestreos de bioindicadores por año.

Tabla 2. Niveles de calidad ambiental por Área de Vigilancia en la cuenca del río Huasco

		Parámetro normado															
		pH	Conductividad (uS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Fosfato (mg/L)	NH4+ (mg/L)	NO3 (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Hg (mg/L)	Al (mg/L)	As (mg/L)	Coliformes totales (NMP/10)	CN- (mg/L)
Área de vigilancia	HU-40	6,1-9,2	-	6	-	0,066	0,17	2	0,04	0,17	0,14	0,5	0,001	2,7	0,009	738	0,05
	HU-30	6,1-9,2	1118	6	375	0,5	0,17	3,9	0,008	0,17	1,9	0,05	0,001	0,18	0,009	738	0,05
	HU-20	6,1-9,2	1118	6	375	0,066	0,03	2	0,04	0,17	1,9	0,5	0,001	2,7	0,009	738	0,05
	HU-10	6,1-9,2	1118	6	375	0,066	0,17	3,9	0,04	0,17	1,9	0,5	0,001	2,7	0,014	738	0,05
	TR-10	6,1-9,2	1118	6	284	0,066	0,17	3,9	0,08	0,33	3,7	0,96	0,001	5,2	0,009	738	0,05
	CO-10	6,1-9,2	830	6	284	0,066	0,03	2	0,103	0,33	3,7	0,5	0,001	2,7	0,014	49	0,05
	LG-10	6,1-9,2	475	6	146	0,066	0,17	2	0,04	0,17	1,9	0,05	0,001	0,18	0,004	738	0,05
	RC-10	6,1-9,2	475	-	146	-	0,17	2	0,04	0,17	0,14	0,05	0,001	2,7	0,004	49	0,05
	VA-10	6,1-9,2	830	6	284	0,066	0,17	2	0,08	0,17	1,9	0,5	0,001	5,2	0,014	49	0,05
	CH-10	6,1-9,2	830	6	284	0,066	0,79	2	0,08	0,33	3,7	0,96	0,001	5,2	0,009	49	0,05
	ES-10	6,1-9,2	475	10,4	192	-	-	3,9	0,08	0,63	1,9	1,56	0,001	5,2	0,004	2	0,05
	CA-20	6,1-9,2	1118	6	375	0,066	0,17	2	0,04	0,17	3,7	0,96	0,001	2,7	0,014	738	0,05
	CA-10	6,1-9,2	1118	10,4	375	-	-	3,9	0,008	0,006	1,9	0,5	0,001	2,7	0,009	738	0,05
	PO-20	6,1-9,2	830	6	284	-	-	5,8	0,04	0,17	1,9	0,5	0,001	2,7	0,03	1427	0,05
	PO-10	6,1-9,2	1118	6	545	0,066	0,17	3,9	0,008	0,33	1,9	1,47	0,001	2,7	0,009	738	0,05
	QU-10	6,1-9,2	475	6	146	0,5	0,03	5,8	0,1	0,17	1,9	0,5	0,001	2,7	0,05	1427	0,05
TO-10	6,1-9,2	830	10,4	475	-	-	5,8	0,008	0,006	0,14	0,01	0,001	0,18	0,009	738	0,05	

Fuente: Anteproyecto de la NSCA del río Huasco

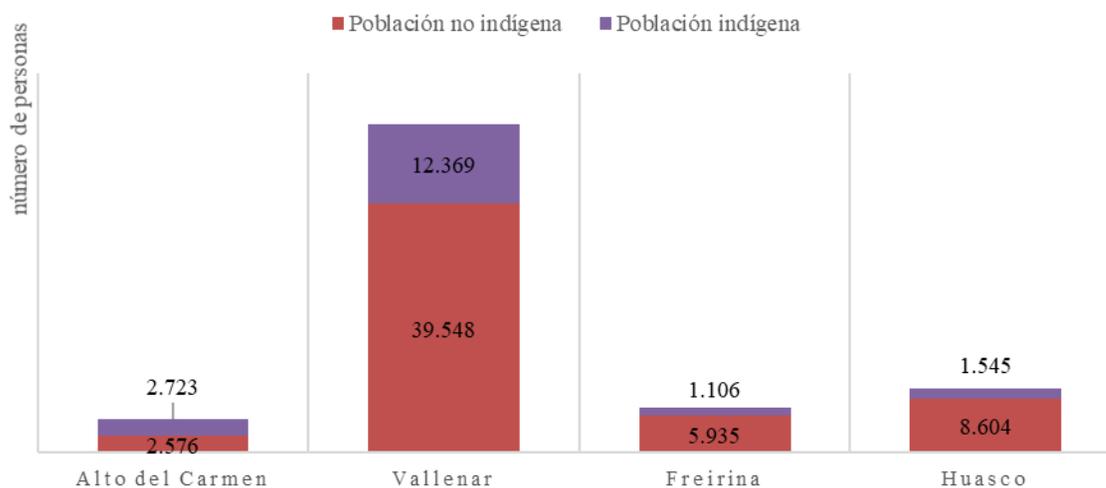
### 1.3 Caracterización social de la Cuenca

En esta sección se describen brevemente las principales características de la población que habita la cuenca del río Huasco, haciendo especial énfasis en las comunidades indígenas del área.

La Provincia del Huasco tiene una población total de 74.406 habitantes (INE, 2017a), que se concentra mayoritariamente en la comuna de Vallenar (70%), mientras que el 30% restante reside en las comunas de Huasco (14%), Freirina (9%) y Alto del Carmen (7%). Esta distribución de la población por comunas se puede observar en Figura 4.

Además, en Figura 4 se desagrega el número de habitantes por comuna entre población no indígena y población indígena, según datos de INE (2017). La población no indígena que habita en las cuatro comunas se estima en 56.663, mientras 17.743 residentes corresponden a población indígena. Es importante destacar que, en términos proporcionales, la comuna con una mayor representación de población indígena es Alto del Carmen (51%), seguida por Vallenar (24%), Freirina (16%) y Huasco (15%).

Figura 4: Número de personas por comuna en la Provincia de Huasco.



Si bien el número total de personas indígenas (17.743) está compuesto por más de 10 pueblos originarios (e.g. Kawésqar, Quechua), la gran mayoría de los habitantes de la Provincia de Huasco se consideran a sí mismos miembros del pueblo Diaguita (14.571 personas, 82%).

Más allá de los antecedentes descriptivos de los patrones de distribución poblacional, la alta representatividad de habitantes pertenecientes a pueblos originarios requiere que este elemento sea considerado en la evaluación socio-económica de la NSCA. La necesidad de incorporar este elemento se debe a que los pueblos originarios tienen tradiciones, costumbres, prácticas religiosas o espirituales relacionadas al medio ambiente natural, como las Fiestas de la Trilla o la Princesa Challa (Gleisner & Montt, 2014) y que son elementos constitutivos de su forma de vida y de bienestar.

Este conjunto de costumbres y tradiciones ligadas al medio ambiente pueden ser enmarcadas en el contexto de servicios ecosistémicos culturales (R Haines-Young & Potschin, 2012). Es importante destacar que los servicios ecosistémicos culturales son más difíciles de cuantificar o valorar monetariamente (Satz et al., 2013), por ser de naturaleza inmaterial o intangible (Figura 2; Martín-López et al., 2012), por ende, debieran ser considerados bajo otros lenguajes de valoración no monetarios (Martínez Alier, 2009).

## 2. Metodología general del AGIES

Con la finalidad de obtener una estimación del impacto general de la NSCA en la cuenca del río Huasco, se aplica una metodología que permita estimar los beneficios y costos que generaría su implementación para los distintos actores involucrados (sociedad, privados y Estado). Esto se realiza sin perjuicio que luego estos costos y beneficios sean reevaluados en un potencial Plan de Descontaminación, con información actualizada y medidas que efectivamente sean acordadas entre todos los agentes involucrados.

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 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 y (v) identificar, cuantificar y valorar los beneficios asociados a la protección de los servicios ecosistémicos en la cuenca.

### 2.1 Línea base de concentraciones del río

La línea base de calidad de aguas actual fue proporcionada por el Departamento de Ecosistemas Acuáticos y se obtuvo a partir de la data de calidad de aguas superficiales de la cuenca del Río Huasco, de los últimos años (2015, 2016 y 2017) para el cálculo del percentil 85 (P85) por cada parámetro y área de vigilancia.

Estos datos solo tienen efectos para este análisis, pues permite establecer el escenario de “Situación actual” (sin norma NSCA), el cual va a ser contrastado con la “Situación con proyecto” (con norma NSCA), por lo tanto, a partir de la calidad actual y la calidad normada se identifican los cumplimientos e incumplimientos de las NSCA. Los niveles de calidad actual se detallan en el Anexo 5.1.

### 2.2 Línea base de emisiones

#### 2.2.1 Fuentes Puntuales

Para determinar las emisiones de fuentes puntuales, se consideraron aquellos proyectos actualmente en operación, considerando esta situación como el escenario de emisiones más probable en el horizonte de evaluación de esta norma (10 años). De esta forma, se identificaron 32 fuentes puntuales a lo largo de la cuenca del río Huasco, 2 de estas corresponden a plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAs) mientras que las 30 restantes se clasifican como plantas de agua potable rural (APRs).

Tabla 3: Número de fuentes puntuales por área de vigilancia

Tipo de fuente puntual	Área de vigilancia							
	CA-10	CA-20	CH-10	CO-10	HU-20	HU-30	HU-40	TR-10
<b>APRs</b>	2	8	1	2	3	2	3	9
<b>PTAs<sup>7</sup></b>	-	-	-	-	0	1	1	-
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>9</b>

Las emisiones para las 2 PTAs se estiman según lo indicado en la Ecuación 2-1.

$$W_{FE\ i,j} = \frac{C_{Desc\ i,j} \cdot Q_j \cdot NA_j}{FCU} \quad \text{Ecuación 2-1}$$

Donde,

- $W_{FE\ i,j}$ : Emisión del contaminante j en la fuente emisora i (ton/año)  
 $C_{Desc\ i,j}$ : Concentración de la descarga del parámetro i en la fuente j (mg/L ó µg/L para clorofila a)  
 $Q_j$ : Caudal de descarga de la fuente j (m<sup>3</sup>/día)  
 $NA_j$ : Nivel de actividad de la fuente j según rubro al que pertenece (días/año)  
 $FCU$ : Factor de conversión de unidades (10<sup>6</sup> para mg/L y 10<sup>9</sup> para µg/L)

Para determinar las cargas de las fuentes, se revisaron las emisiones reportadas en el marco de la norma de emisión de residuos líquidos a aguas superficiales continentales y marinas (D.S. 90/2000 MINSEGPRES) para los años 2017 y 2018, para cada área de vigilancia, donde se encontró la existencia de 2 PTAs, ubicadas en las áreas de vigilancia HU-40 y HU-30. La concentración de los parámetros y el caudal de descarga se estimaron considerando el promedio de los muestreos realizados durante los años 2017-2018.

La caracterización de las 30 fuentes puntuales correspondientes a APRs se realizó de acuerdo a la carga contaminante media diaria (equivalente a 100 hab/día) descrita en la Tabla “Establecimiento emisor” del DS N°90/2000 MINSEGPRES. La carga contaminante es el equivalente de la emisión por fuente (mg/d), transformada a (ton/año) utilizando la población asociada a cada fuente (Tabla 4).

Las APR se identificaron mediante la cartografía temática (en formato *shapefile*) de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH). En caso de no contar con la población atendida, se consultaron los resultados del Censo 2017<sup>8</sup> a nivel de la localidad, según la ubicación del punto de la fuente emisora.

<sup>7</sup> Corresponden a las plantas de tratamiento de aguas servidas Vallenar y Freirina

<sup>8</sup> Datos disponibles en línea, URL: <https://www.censo2017.cl/>

Tabla 4: Carga de contaminante media por cada 100 hab/día

Contaminante	Valor característico	Unidad	Carga media 100hab/día	Unidad carga
<b>pH</b>	6			
<b>Temperatura</b>	20	°C		
<b>Solidos Suspendidos Totales</b>	220	mg/L	3520	g/d
<b>Solidos Sedimentables</b>	6	ml/L 1h		
<b>Aceites y Grasas</b>	60	mg/L	960	g/d
<b>Hidrocarburos fijos</b>	10	mg/L	160	g/d
<b>Hidrocarburos totales</b>	11	mg/L	176	g/d
<b>Hidrocarburos volátiles</b>	1	mg/L	16	g/d
<b>DBO5</b>	250	mg O2/L	4000	g/d
<b>Aluminio</b>	1	mg/L	16	g/d
<b>Arsénico</b>	0,05	mg/L	0,8	g/d
<b>Boro</b>	0,75	mg/L	12,8	g/d
<b>Cadmio</b>	0,01	mg/L	0,16	g/d
<b>Cianuro</b>	0,2	mg/L	3,2	g/d
<b>Cloruros</b>	400	mg/L	6400	g/d
<b>Cobre</b>	1	mg/L	16	g/d
<b>Cromo Total</b>	0,1	mg/L	1,6	g/d
<b>Cromo Hexavalente</b>	0,05	mg/L	0,8	g/d
<b>Estaño</b>	0,5	mg/L	8	g/d
<b>Fluoruro</b>	1,5	mg/L	24	g/d
<b>Fósforo Total</b>	10	mg/L	160	g/d
<b>Hierro</b>	1	mg/L	16	g/d
<b>Manganeso</b>	0,3	mg/L	4,8	g/d
<b>Mercurio</b>	0,001	mg/L	0,02	g/d
<b>Molibdeno</b>	0,07	mg/L	1,12	g/d
<b>Niquel</b>	0,1	mg/L	1,6	g/d
<b>Nitrógeno total kjeldahl</b>	50	mg/L	800	g/d
<b>Nitrito más Nitrato (lagos)</b>	15	mg/L	240	g/d
<b>Pentaclorofenol</b>	0,009	mg/L	0,144	g/d
<b>Plomo</b>	0,2	mg/L	3,2	g/d
<b>Selenio</b>	0,01	mg/L	0,16	g/d
<b>Sulfato</b>	300	mg/L	4800	g/d
<b>Sulfuro</b>	3	mg/L	48	g/d

<b>Tetracloroetano</b>	0,04	mg/L	0,64	g/d
<b>Tolueno</b>	0,7	mg/L	11,2	g/d
<b>Triclorometano</b>	0,2	mg/L	3,2	g/d
<b>Xileno</b>	0,5	mg/L	8	g/d
<b>Zinc</b>	1	mg/L	16	g/d
<b>Indice de Fenol</b>	0,05	mg/L	0,8	g/d
<b>Poder espumogeno</b>	5	mm	5	mm
<b>SAAN</b>	10	mg/L	160	g/d
<b>Coliformes Fecales o termotolerantes</b>	10000000	NMP/100ml	1,6E+12	coli/d

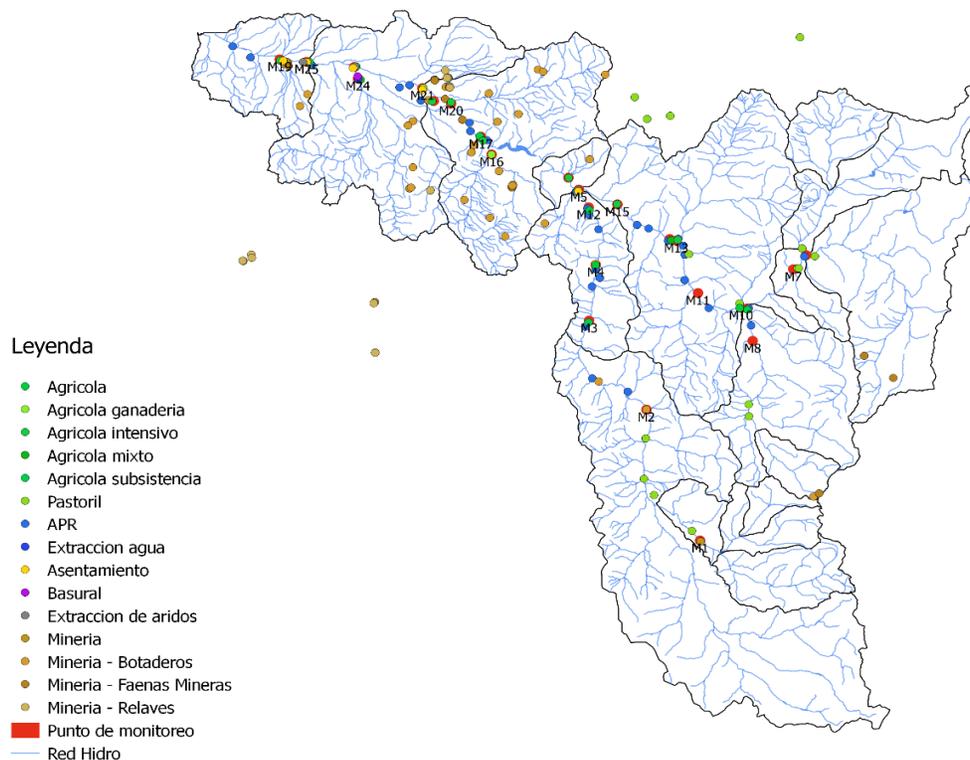
Fuente: D.S. 90/2000 MINSEGPRES

### 2.2.2 Fuentes Difusas

Para determinar las concentraciones aportadas por las fuentes difusas en la cuenca del río Huasco, se realizó la consultoría “*Monitoreo de la Calidad de Agua y Caudal en la cuenca del río Huasco como insumo para la determinación de los aportes de fuentes difusas de la cuenca, en el contexto del AGIES de la Norma Secundaria de Calidad de Agua del río Huasco*” (Coexiste, 2019). Este estudio contempló una campaña de monitoreo llevada a cabo durante agosto de 2019, que registró las propiedades físico-químicas y microbiológicas de calidad de agua en 25 puntos a lo largo de la cuenca. Específicamente, se registraron un total de 20 parámetros distintos.

Este estudio permite estimar relaciones entre fuentes difusas y parámetros potencialmente afectados por estas mediante mediciones de los parámetros normados para cada área de vigilancia, en las cercanías de distintas fuentes difusas a lo largo de la cuenca del río Huasco.

Figura 5: Fuentes de contaminación difusa identificadas en la cuenca del Río Huasco



Fuente: (Coexiste, 2019)

A partir de un Análisis Multivariado de Componentes Principales realizado por el Departamento de Ecosistemas Acuáticos<sup>9</sup>, se pudo relacionar de manera simple (2 o 3 componentes) un conjunto de datos que inicialmente están en muchas dimensiones y de esta manera explicar cuál es el conjunto de variables que explica el origen de la variabilidad de cada observación realizada. Considerando los parámetros explicativos obtenidos, estos fueron relacionados a los tipos de fuentes difusas existentes cercanos a cada punto de monitoreo de la forma en que detalla la tabla siguiente:

Tabla 5: Relación establecida entre parámetro y tipos de fuentes difusas<sup>10</sup>.

Parámetro	Tipo de fuente difusa
Conductividad	Relaves mineros
Oxígeno disuelto	Agricultura y Población
NO <sub>3</sub>	Ganadería
Cu	Botaderos e Influencia Geológica

<sup>9</sup> Disponible en [http://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id\\_expediente=926046](http://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id_expediente=926046)

<sup>10</sup> Para los parámetros pH, Sulfato, Fosfato, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Hg y As no se estableció relación lineal con algún tipo emitido por fuentes difusas.

Parámetro	Tipo de fuente difusa
Zn	Botaderos e Influencia Geológica
Fe	Botaderos e Influencia Geológica
Mn	Botaderos e Influencia Geológica
Al	Botaderos e Influencia Geológica
Coliformes totales	Agricultura y Población
CN-	Botaderos e Influencia Geológica

Fuente: (Coexiste, 2019)

Establecida la relación entre los parámetros y el tipo de fuente difusa, se identifican tipologías de fuentes difusas en la cuenca, como detalla la Tabla 6. Adicionalmente, a partir de información proporcionada por el Departamento de Ecosistemas Acuáticos, fue posible relacionar las mediciones de parámetros en superación para el área de vigilancia VA-10 con una potencial fuente difusa de origen minero<sup>11</sup>.

Tabla 6: Tipo de fuentes difusas por área de vigilancia

Área de vigilancia	Tipo de fuentes difusas
CA-10	Botaderos
CA-20	Agricultura y población
HU-20	Relaves mineros, agricultura y población
HU-30	Relaves mineros y ganadería
HU-40	Relaves mineros
VA-10	Relaves mineros

Fuente: Elaboración propia en base a (Coexiste, 2019)

Las emisiones de las fuentes difusas se calculan de la manera siguiente:

$$W_{FE\ i,j} = \frac{(C_{Mon\ i,k} - C_{Natural\ i,k}) \cdot Q_k}{FCU} - \sum_j W_{FE\ i,j,k} \quad \text{Ecuación 2-2}$$

Donde,

$W_{FE\ i,j}$ : Emisión del contaminante  $i$  en la fuente difusa  $j$  (kg/día)

$C_{Mon\ i,k}$ : Concentración monitoreada para la descarga del parámetro  $i$  en el área de vigilancia  $k$  (mg/L ó  $\mu\text{g/L}$  para clorofila a)

$C_{Natural\ i,k}$ : Concentración natural del parámetro  $i$  en el área de vigilancia  $k$  (mg/L ó  $\mu\text{g/L}$  para clorofila a)

<sup>11</sup> Se identifican las faenas mineras “El Encierro” y “Vaquillas” como emplazadas en la cabecera de la cuenca correspondiente al área de vigilancia VA-10.

$Q_j$ :	Caudal de descarga en el área de vigilancia $k$ ( $m^3/s$ )
$FCU$ :	Factor de conversión de unidades ( $10^6$ para $mg/L$ y $10^9$ para $\mu g/L$ )
$W_{FE\ i,i,k}$ :	Emisión de la fuente puntual $j$ del contaminante $i$ al área de vigilancia $k$ ( $kg/día$ )

La ecuación representa que la concentración monitoreada refleja la calidad natural, estimada a partir de estaciones de referencia, el aporte de fuentes puntuales y el aporte de fuentes difusas aguas arriba, por lo que los dos primeros aportes se deben descontar observada para estimar el aporte difuso.

En el Anexo 5.2 (Tabla 16) se indica el aporte de las emisiones totales según parámetro y tipo de fuente emisora.

## 2.3 Costos

Los costos para el Estado asociados a la implementación de la NSCA corresponden a los derivados de fiscalización y monitoreo. Además, se evalúan los costos de abatimiento para los regulados asociados al incumplimiento de los límites de la NSCA que gatillarían un potencial Plan de Descontaminación. Esta sección describe la metodología para la evaluación de estos costos. No se consideran costos para la población, debido a que no se verá directamente afectada por la implementación de la NSCA.

### 2.3.1 Costos de monitoreo

Los costos de monitoreo se desglosan en dos componentes: el costo del muestreo y el de análisis de laboratorio de los contaminantes regulados. El costo de análisis de laboratorio se estima en base a los análisis adicionales, tanto en frecuencia como en cantidad de contaminantes, a los actualmente realizados por la DGA. En detalle:

Tabla 7: Monitoreos anuales realizados en las áreas de vigilancia de la cuenca

Área de vigilancia	Estación de monitoreo	Numero de monitoreos anuales (actuales)
<b>HU-10</b>	Río Huasco, Chépica	0
<b>HU-20</b>	Río Huasco, Puente Panamericana	3
<b>HU-30</b>	INIA 03-H Nicolasa	0
<b>HU-40</b>	Río Huasco, Huasco Bajo	4
<b>CA-10</b>	CMN CA4	0
<b>CA-20</b>	Río Carmen, Ramadillas	4
<b>PO-10</b>	CMN VIT5	0
<b>PO-20</b>	CMN VIT1	0
<b>QU-10</b>	CMN VIT4	0
<b>TO-10</b>	CMN TO3	0
<b>TR-10</b>	Río Tránsito, Junta Río Carmen	4

<b>CH-10</b>	Río Chollay, Río Conay	4
<b>ES-10</b>	CMN NE4	0
<b>CO-10</b>	Río Conay, Las Lozas	4
<b>VA-10</b>	El Morro RH-7	0
<b>LG-10</b>	El Morro RH-8	0
<b>RC-10</b>	El Morro LG-10	0

Fuente: DGA

El costo de muestreo se aproxima como el 25% de los costos de análisis, tal como indica la Ecuación 2-3, mientras que la Tabla 20 del Anexo 5.4 detalla los costos unitarios de análisis por contaminante.

$$C_{Muestreo} = \sum_{k,i} (\Delta f_k \cdot (C_{Análisis,i} \cdot 1,25)) \quad \text{Ecuación 2-3}$$

Donde,

- $C_{Muestreo}$ : Costo de muestreo (CLP/año)  
 $\Delta f_k$ : Aumento de frecuencia (cantidad por año) de monitoreo de la NSCA respecto de frecuencia de monitoreo actual realizado por DGA, para el área de vigilancia  $k$   
 $C_{Análisis,i}$ : Costo de análisis de laboratorio (CLP) para el parámetro  $i$

### 2.3.2 Costos de fiscalización

Los costos de fiscalización consideran las horas hombre destinadas por cada servicio (SMA, MMA y DGA) a la fiscalización y seguimiento del cumplimiento de la norma. Se calcula multiplicando las horas profesionales por actividad de fiscalización, anualizando con un horizonte de evaluación de 10 años, según la periodicidad de cada actividad de fiscalización, según los datos indicados en la Tabla 22 del Anexo 5.4.

### 2.3.3 Costos de abatimiento

Los costos de abatimiento derivan del cumplimiento de los límites regulatorios establecidos por la NSCA, asociados a un eventual Plan de Descontaminación. Estos límites están establecidos en términos de calidad del agua, es decir, concentración de contaminantes en el medio acuático. La calidad del agua observada (calidad actual) se compone de lo que aportan las fuentes emisoras (puntuales y difusas) más lo que se encuentra de manera natural en el medio.

$$C_{LB_{i,k}} = C_{Natural_{i,k}} + C_{FE_{i,k}} \quad \text{Ecuación 2-4}$$

Donde,

- $C_{LB_{i,k}}$ : Concentración observada para contaminante  $i$  en el área de vigilancia  $k$ .  
 $C_{Natural_{i,k}}$ : Concentración natural para contaminante  $i$  en el área de vigilancia  $k$ .  
 $C_{FE_{i,k}}$ : Concentración para contaminante  $i$  aportada por todas las fuentes emisoras que aportan al área de vigilancia  $k$ .

Luego, el cambio en calidad exigido por la NSCA ( $C_{NSCA_{i,k}} - C_{LB_{i,k}}$ )<sup>12</sup> implicará la implementación de medidas de reducción de emisiones de las fuentes emisoras, con lo que se reducirá el aporte antropogénico y, por lo tanto, se reducirá la concentración observada.

Para simular la concentración observada, así como el cumplimiento normativo a través de la reducción de emisiones, se utiliza un modelo de dispersión simple. Por lo tanto, la concentración aportada por fuentes emisoras se modela a través de un factor emisión concentración, según la siguiente ecuación.

$$C_{FE_{i,k}} = \sum_{j=1}^N W_{FE_{i,j}} \cdot FEC_{i,j,k} \quad \text{Ecuación 2-5}$$

Donde,

- $W_{FE_{i,j}}$ : Carga aportada por la fuente emisora  $j$  para contaminante  $i$  (kg/día).  
 $FEC_{i,j,k}$ : Factor emisión concentración para la fuente emisora  $j$  (1...N) que aporta en el área de vigilancia  $k$  según contaminante  $i$ .

El FEC se estimó en base a un modelo empírico entre la concentración presente en el cuerpo de agua y las emisiones puntuales y difusas, utilizando adicionalmente ponderadores de acuerdo a la distancia que se ubica la fuente emisora y el área de vigilancia donde se localiza, y la interacción entre los diferentes contaminantes dado por la química de los parámetros en el cuerpo de agua. Este modelo simplificado permite tener un acercamiento al grado de las responsabilidades de las emisiones (tanto naturales como antrópicas para fuentes puntuales y difusas), en la calidad del agua monitoreada y que incorpora de manera indirecta las consideraciones asociadas al sistema natural (caudales, morfología, fluctuaciones climáticas, etc.).

$$FEC_{i,j,k} = \frac{\alpha_{i,k}}{d_{j,k}} \cdot Coef_{\epsilon_{i,i}} \quad \text{Ecuación 2-6}$$

Donde,

- $\alpha_{i,k}$ : Coeficiente de concentración que relaciona la emisión total aportada por AV con la concentración aportada por fuentes antropogénicas.  
 $d_{j,k}$ : Distancia de la fuente emisora  $j$  a las AV aguas abajo  $k$  que impacta (km).  
 $Coef_{\epsilon_{i,i}}$ : Coeficiente estequiométrico entre contaminantes.

<sup>12</sup> Esta relación es inversa para el oxígeno disuelto y el pH ( $C_{LB_{i,k}} - C_{NSCA_{i,k}}$ )

La estimación del coeficiente  $\alpha_{i,k}$  se detalla en la Ecuación 2-7.

$$\alpha_{i,k} = \frac{(C_{LB\ i,k} - C_{natural\ i,k})}{\sum_{i,j} W_{FE\ i,j,k} \cdot Coef_{\varepsilon_{i,i}} / d_{j,k}} \quad \text{Ecuación 2-7}$$

Con la relación emisión-concentración se puede estimar el cambio en la carga asociado a la reducción en concentración y por lo tanto evaluar el costo de cumplimiento de la norma. Este se conceptualiza como un problema de minimización de costos para cumplir con la concentración exigida por la norma (Ecuación 2-8).

$$\text{Min Costo}_{Total} = \sum_{j=1}^N \sum_{m=1}^M \text{Costo}_{j,m} \cdot x_{j,m} \quad \text{S. a.} \quad \text{Ecuación 2-8}$$

$$C_{modelada\ i,k} < C_{NSCA\ i,k} \cdot y_{i,k}$$

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

Donde,

- $\text{Costo}_{Total}$ : Costo total de cumplimiento de la norma (USD/año).  
 $\text{Costo}_{j,m}$ : Costo (USD/año) de la tecnología m para la fuente emisora j.  
 $x_{j,m}$ : Proporción (%) del costo por fuente j para cada tecnología m para.  
 $C_{modelada\ i,k}$ : Concentración modelada del río, considerando abatimiento, del contaminante i en el área de vigilancia k.  
 $C_{NSCA\ i,k}$ : 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 contaminante i a modelar en el área de vigilancia k.

La variable  $y_{i,k}$  en la Ecuación 2-8 tiene por finalidad hacer factible encontrar una solución óptima al problema de optimización. Se obtiene de simular el cambio en concentración teórico máximo que se puede lograr con la información disponible (tecnologías de abatimiento disponibles e identificación de aportes de emisión antropogénico).

La concentración modelada (Ecuación 2-9) corresponde a la concentración cuando se reduce la emisión de las fuentes, según una eficiencia equivalente (Ecuación 2-10) calculada en función de la variable de decisión del problema de optimización ( $x_{j,m}$ ).

$$C_{modelada} = C_{Natural\ i,k} + \sum_{j=1}^N W_{FE\ i,j} \cdot (1 - \varepsilon_{\varepsilon q\ i,j}) \cdot FEC_{i,j,k} \quad \text{Ecuación 2-9}$$

Donde,

$\varepsilon_{eq\ i,j}$ : Eficiencia equivalente de reducción de emisiones del contaminante i para la fuente j.

$$\varepsilon_{eq\ i,j} = 1 - \prod_{m=1}^M (1 - \varepsilon_{i,m})^{x_{j,m}} \quad \text{Ecuación 2-10}$$

Donde,

$\varepsilon_{i,m}$ : Eficiencia de abatimiento del contaminante i para la tecnología de abatimiento m.

La eficiencia de abatimiento para fuentes puntuales según tecnología se detalla en el Anexo 5.2, Tabla 18. Por otro lado, las funciones de costo de inversión u operación y mantenimiento consideradas para las fuentes puntuales tienen una forma potencial que depende del caudal de las fuentes (Ecuación 2-11).

$$Costo_{j,m} = a_m \cdot Q_j^{b_m} \quad \text{Ecuación 2-11}$$

Los parámetros que componen las curvas de costo ( $a_m$ ,  $b_m$  y  $c_m$ ) se detallan en el Anexo 5.2 Tabla 19. El costo de abatimiento para cada fuente y tecnología ( $Costo_{j,m}$ ) se calcula anualizando el costo de inversión según la vida útil de cada tecnología y sumándolo al costo de operación y mantenimiento.

La estimación de costos para las fuentes difusas sigue una metodología diferente; se evalúan 2 tecnologías de abatimiento, cada una con una forma de función de costos distinta dependiendo del rubro de actividad en la que fue clasificada la fuente emisora.

Respecto de las fuentes difusas mineras, los costos para el control de la contaminación generada por ellas fueron obtenidos del estudio realizado por Buck & Gerard, (2001). En este, se presentan costos de limpieza para minas abandonadas que generan contaminación de aguas superficiales, causadas por el proceso de drenaje ácido de minas (RoyChowdhury et al., 2015), y que aportan metales pesados y descargas ácidas a los ríos.

Para más detalle de las tecnologías de abatimiento de fuentes difusas mineras, ver sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** del Anexo 5.3. El costo se evalúa según la siguiente ecuación:

$$Costo_j = \overline{Costo} \cdot NSM_{j,k} \quad \text{Ecuación 2-12}$$

Donde,

$Costo_j$ : Costos de abatimiento para la fuente difusa j

$NSM_k$ : Número de sitios mineros correspondientes a la fuente difusa j en el área de vigilancia k.

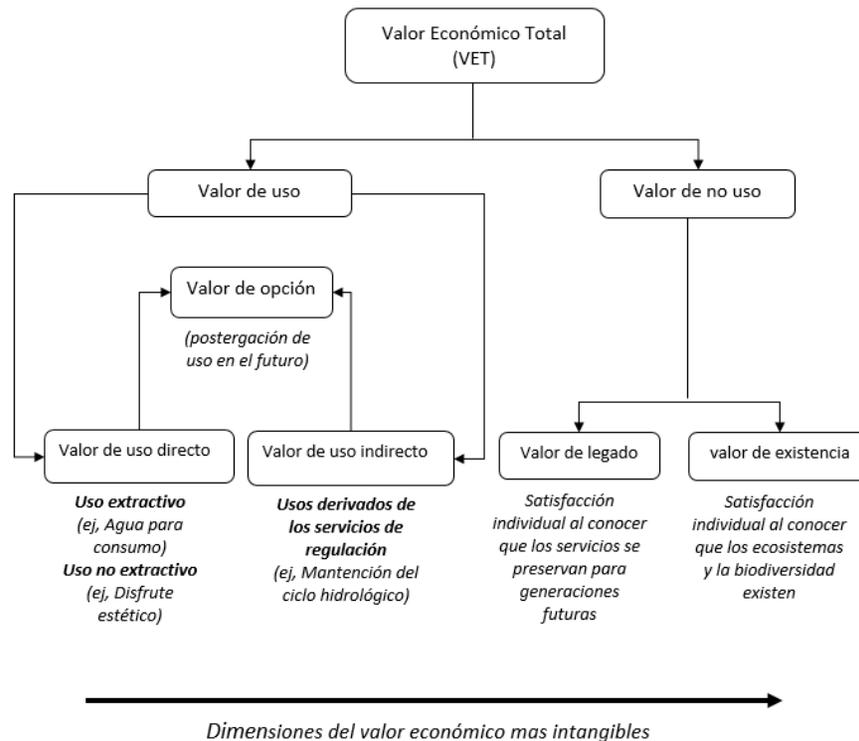
$\overline{Costo}$ : Costo promedio de la tecnología 117.932,8 (USD/año)

## 2.4 Beneficios

Los beneficios asociados a una NSCA responden a su objeto de protección, es decir a sus efectos sobre la biodiversidad (especies, ecosistemas, condiciones ambientales, etc.) y los servicios ecosistémicos. Para obtener un valor monetario existen diferentes metodologías establecidas por la economía ambiental. Sin embargo, este valor es por defecto antropocéntrico (Wegner & Pascual, 2011), reflejando cómo el ser humano valora el medio ambiente, ya sea mediante acciones concretas (preferencias reveladas) o hipotéticamente a través de su disposición a pagar o a recibir una compensación (preferencias declaradas). Por esta razón, el beneficio monetizado asociado a la protección de ecosistemas y especies por el cumplimiento de una NSCA no refleja estrictamente un beneficio para la especie o ecosistema en sí, sino que corresponde a la valoración que la sociedad le asigna a determinados elementos del ecosistema.

Por lo tanto, para evaluar el beneficio para la sociedad de la NSCA se deben identificar las dimensiones en las que el ser humano puede beneficiarse de los ecosistemas que están presentes en la cuenca, de tal forma de conocer el Valor Económico Total (VET) provisto por las especies y ecosistemas. Es importante destacar que las metodologías para cuantificar el VET requieren un gran nivel de información y una inversión considerable en estudios de distinta índole para conocer todos los tipos de usos. A modo ilustrativo, en la Figura 6 se exponen las tipologías de valor que componen el VET para ecosistemas acuáticos y su biodiversidad y que podrían verse afectadas por cambios en la calidad del medio acuático.

Figura 6. Tipologías de valor en el Valor Económico Total de los ecosistemas



Fuente: Adaptado de (Martín-López et al., 2012b)

El uso que el ser humano hace de los ecosistemas se denomina Servicios Ecosistémicos (SSEE), los cuales han sido clasificados según su origen y según su tipo de uso. Para sus evaluaciones, el DEA utiliza la clasificación “*Common International Classification of Ecosystem Services (CICES)*” (Roy Haines-Young & Potschin, 2012) (Haines-Young & Potschin, 2018). Esta clasificación, en su última actualización describe los SSEE, en tres grandes secciones: provisión, regulación y cultural.

La calidad del agua, los SSEE y el VET están estrechamente relacionados<sup>13</sup>. 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). Más aún, los ecosistemas presentan comportamientos no lineales en sus variables respuesta; propiedades emergentes de los sistemas que no pueden ser consideradas *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.

Por lo tanto, la estimación de beneficios económicos producto de la NSCA se basa en i) la identificación de los SSEE presentes en la cuenca del río Huasco y ii) la obtención de la disposición de la sociedad por mejorar la calidad del agua, elemento que redundará en una mejora en la provisión de los SSEE identificados<sup>14</sup> y que se expresa en términos de Disposición a Pagar (DAP).

Para la etapa de identificación de los SSEE se utiliza el estudio (Cienciambiental, 2018), donde se clasifican los ecosistemas presentes en el territorio que abarca la cuenca del río Huasco. Específicamente, se consideran los SSEE que provienen de ecosistemas acuáticos (cuerpos de agua). El listado de SSEE identificados se presenta en la sección 5.6.

La estimación de beneficios económicos derivados de la DAP (en USD/hogar-año) por cambios en la calidad del agua, relaciona la cantidad monetaria por hogar y la cantidad de hogares beneficiados por la regulación normativa. Los valores unitarios de DAP fueron obtenidos de 3 publicaciones (Johnston et al., 2017, 2005; Van Houtven et al., 2007), que en conjunto contienen valores de DAP por cambios en calidad de agua recopilados de 65 estudios distintos. Estos 65 estudios fueron ajustados por inflación y Paridad de Poder Adquisitivo (PPP), para transferirlos a la realidad nacional, según los lineamientos contenidos en la guía “Guía metodológica para la

<sup>13</sup> Dentro de los valores de uso por ejemplo se encuentran servicios de provisión, como el agua para consumo humano, o el uso físico del paisaje, uso recreacional de una cuenca o la extracción de peces, los valores de uso indirecto pueden estar relacionados con servicios de provisión tales como la regulación del clima local por un río, o el control de enfermedades del agua limpia.

<sup>14</sup> Así como las actividades económicas asociadas al uso del agua (calidad de los productos con denominación de origen, actividades de recreación y turismo entre otras).

transferencia de beneficios” (MMA, 2017). Los datos de inflación para el período 2000-2020 fueron obtenidos del Banco Central <sup>15</sup>, observándose un IPC promedio de 3,21%; los datos de PPP fueron obtenidos del Banco Mundial<sup>16</sup>; los datos del precio observado del dólar americano (USD) fueron obtenidos de la base de datos del Banco Central, considerándose el valor promedio para los últimos doce meses (1USD=708,6CLP). Finalmente, los datos ajustados de DAP fueron filtrados para considerar únicamente valores de DAP para cuerpos de agua fluviales dada las características de la cuenca del río Huasco, considerándose entonces un valor de DAP promedio a partir de 27 estudios.

Para obtener el número de hogares beneficiados por la regulación, se consideraron los datos del Instituto Nacional de Estadísticas (INE, 2017a). Con éstos se obtuvo el total de población para las comunas de Huasco, Freirina, Alto del Carmen y Vallenar considerando las proyecciones del INE al año 2020. El número de personas fue transformado a número de hogares utilizando un factor de conversión de 3,1 personas por hogar (INE, 2017b).

---

<sup>15</sup> <https://si3.bcentral.cl/siete/secure/cuadros/arboles.aspx>

<sup>16</sup> <https://data.worldbank.org/indicator/PA.NUS.PPP>

### 3. Resultados

#### 3.1 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 asociada al cumplimiento de la norma. Esto se resume en la Tabla 8 a continuación. Para cada contaminante se detalla la emisión de línea base y la emisión asociada al abatimiento estimado para cumplir la NSCA (Con NSCA). La cuarta columna, en tanto, detalla la reducción estimada necesaria para dar cumplimiento a las NSCA, y de éstas se originan los costos y beneficios estimados para la regulación.

Tabla 8. Reducción de emisiones según escenario de reducción.

Contaminantes NSCA	Emisiones (kg/día)			Reducción %
	Línea Base	Con NSCA	Reducción	
<b>Zn</b>	16,4	3,4	13,02	79%
<b>Sulfato</b>	39.971,5	10.110,0	29.861,46	75%
<b>NH4+</b>	160,2	44,3	115,92	72%
<b>Mn</b>	1,5	0,9	0,64	43%
<b>Fosfato</b>	260,3	167,4	92,92	36%
<b>Coliformes totales<sup>17</sup></b>	1.243.880,2	820.233,2	423.646,98	34%
<b>Cu</b>	9,7	6,7	3,00	31%
<b>Fe</b>	3,0	2,1	0,88	30%
<b>Al</b>	3,8	3,4	0,49	13%
<b>NO3</b>	1.612,1	1.468,6	143,49	9%

<sup>17</sup> 10<sup>6</sup> Numero más probable /día

Las superaciones a abatir por parámetro y área de vigilancia son:

Tabla 9: Numero de incumplimientos identificados por área de vigilancia según parámetro

Parámetro	Área de vigilancia									Total
	CA-20	HU-20	HU-30	HU-40	PO-20	QU-10	TO-10	TR-10	VA-10	
Coliformes totales			1		1	1				3
Conductividad		1	1							2
Cu									1	1
Fe	1							1		2
Fosfato			1							1
NH4+				1				1		2
NO3					1	1	1			3
Oxígeno disuelto									1	1
pH		1		1				1		3
Sulfato		1	1							2
Zn									1	1
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>21</b>

Fuente: Elaboración propia.

## 3.2 Costos

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

### 3.2.1 Costos de Monitoreo y Fiscalización

Los costos de monitoreo y fiscalización ascienden a 46.042 dólares al año (Tabla 10):

Tabla 10. Desglose de costos de Monitoreo

Concepto	Costo Anualizado (USD/año)
Monitoreo	26.270
Fiscalización	19.772
<b>TOTAL</b>	<b>46.042</b>

Fuente: Elaboración propia. Nota: Tipo de cambio de referencia: \$723 (CLP/USD).

### 3.2.2 Costos de abatimiento

Se identificaron 21 superaciones distribuidas en 9 áreas de vigilancia y que probablemente podrían ocurrir en el futuro si se mantienen las condiciones actuales que influyen en la calidad de agua. De estas 21 superaciones, se evalúa la reducción de 11 y los costos de abatimiento asociados se estimaron en aproximadamente US\$ 1,54 millón al año. La Tabla 11 muestra la desagregación de los costos según tipo de fuente emisora.

Tabla 11. Costos de abatimiento estimados por tipo de fuente.

Tipo de fuente	Costo Abatimiento (USD/año)
Fuentes puntuales - PTAs	374.479
Fuentes puntuales - APRs	238.535
Fuentes difusas	924.467
<b>Total</b>	<b>1.537.482</b>

Fuente: Elaboración propia.

Las 10 superaciones que no se incluyen en los costos corresponden a 5 presentadas en áreas de cabecera donde no es posible caracterizar los aportes (Coliformes totales y NO<sub>3</sub>). Estas áreas tienen aporte de fuentes difusas como la ganadería, que estarían aportando coliformes totales, sin embargo, no se cuenta con información disponible para cuantificar su impacto directo sobre la calidad del agua (por ejemplo, cabreríos transhumantes). El resto de las 6 superaciones que no involucran costos directamente, corresponden a variables respuesta (Conductividad, Oxígeno disuelto y pH) y que por lo tanto no pueden abatirse directamente en la fuente, sino que responden al control de otros parámetros. En particular, la conductividad eléctrica, el pH y el oxígeno disuelto son parámetros que no tienen asociada una tecnología específica de abatimiento directa. Por lo tanto, se asume que estos 6 incumplimientos podrían revertirse si se reducen otros parámetros afines, como los nutrientes, los metales y las sales.

Tabla 12: Superaciones no evaluadas según parámetro y área de vigilancia

Parámetro	Área de vigilancia								Total
	HU-20	HU-30	HU-40	PO-20	QU-10	TO-10	TR-10	VA-10	
Coliformes totales				1	1				2
Conductividad	1	1							2
NO <sub>3</sub>				1	1	1			3
Oxígeno disuelto								1	1
pH	1		1				1		3
Total	2	1	1	2	2	1	1	1	11

### 3.3 Beneficios

A continuación se describen los resultados obtenidos para la identificación y valorización de servicios ecosistémicos (SSEE).

#### 3.3.1 Identificación de servicios ecosistémicos en la cuenca del río Huasco

Se identificó un total de 651 combinaciones de ecosistema y SSEE existentes en la cuenca del río Huasco. Esto se muestra a continuación en la Tabla 13.

Tabla 13. Ecosistemas y cantidad de servicios ecosistémicos considerados en la evaluación de beneficios.

Ecosistemas	Sección CICES	N° SSEE
Canales	Cultural	12
	Provisión	38
	Regulación	34
Embalses	Cultural	15
	Provisión	46
	Regulación	42
Hielo y glaciares	Cultural	14
	Provisión	30
	Regulación	26
Lagos y lagunas	Cultural	17
	Provisión	57
	Regulación	51
Marismas	Cultural	16
	Provisión	62
	Regulación	56
Ríos y esteros	Cultural	18
	Provisión	62
	Regulación	55
<b>Total</b>		<b>651</b>

Fuente: Elaboración propia

En total, los ecosistemas acuáticos de la cuenca del río Huasco proveen potencialmente 59 SSEE distintos a la sociedad. En el numeral anexo 5.6 se presenta el detalle de los SSEE identificados para la cuenca que tienen relación con ecosistemas acuáticos continentales.

#### 3.3.2 Beneficios económicos asociados a DAP

En esta sección se presentan los resultados de beneficios económicos producto de la regulación normativa. La estimación de beneficios se obtiene de la Disposición A Pagar (DAP) que tiene la

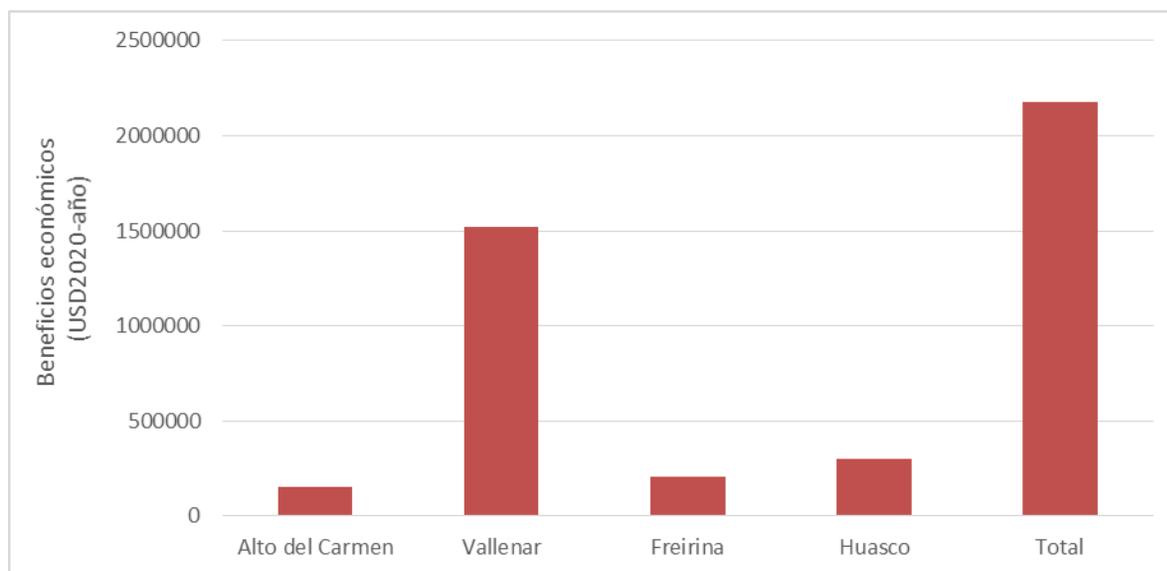
población de la provincia de Huasco, por mejorar la calidad del agua de los ríos considerados en la norma, y representa una aproximación al valor de este ecosistema acuático, considerando el nivel de la calidad del agua deseado socialmente.

Debido a que los SSEE sustentados por la calidad ambiental del agua en la cuenca, pueden ser entendidos como una externalidad positiva de los ecosistemas (Engel, 2016; Gómez-Baggethun et al., 2010), tanto la provisión de SSEE como la calidad del agua no son entregados al nivel socialmente óptimo, sino más bien bajo el óptimo. Es decir, si se conceptualiza la calidad del agua y el nivel de provisión de SSEE como un elemento donde la sociedad elige, mediante la demanda agregada, el nivel de éstos, la DAP representa el valor *real* de la calidad del agua y los SSEE asociados. Se dice *real* porque la DAP capturaría el valor de la externalidad positiva de los SSEE.

Se considera que la DAP social por cambios en la calidad del agua es un buen indicador del valor de los SSEE de los ecosistemas acuáticos de la cuenca, porque la calidad ambiental subyace y sostiene la estructura y función de los ecosistemas, que a su vez, son los que proporcionan una contribución al bienestar multidimensional de los seres humanos (Díaz et al., 2015).

Los beneficios económicos se estiman en \$USD 2,18 millones/año, que pueden ser desagregados por comuna como se muestra en Figura 7.

Figura 7: Beneficios económicos asociados a Disposición A Pagar (DAP, USD/año) por mejorar calidad del agua.



Por lo tanto, los beneficios atribuibles a una disposición a pagar por evitar el deterioro y mantener los ecosistemas presentes en la cuenca, así como los servicios que éstos proveen a la sociedad en su conjunto (población), ascienden en promedio a US\$2,18 millones al año. Este valor monetario ha sido atribuido a la Norma Secundaria de Calidad para el río Huasco, ya que su implementación permitirá mantener, y en algunos casos mejorar las condiciones ambientales de los ecosistemas que conforman la cuenca, y por ende mantener el flujo de servicios hacia la población.

#### **4. Comentarios Finales**

Los Análisis Generales de Impacto Económico y Social (AGIES) realizan análisis de costo beneficio de los instrumentos de gestión ambiental con el objeto de apoyar a los tomadores de decisión en un esfuerzo por hacer que las medidas de política ambiental sean más eficientes y eficaces. En este contexto, a través del presente análisis general de impacto económico y social es posible concluir:

- Los costos valorizados asociados a la implementación de la norma y a un potencial plan de descontaminación en caso de superarse esta ascienden a US\$1,58 millones al año.
- Los beneficios valorizados se estiman en US\$2,18 millones al año. Se valoraron a través de la metodología disposición a pagar. Este valor solo constituye una parte del Valor Económico Total que los servicios ecosistémicos presentes en la cuenca y que la NSCA estaría protegiendo.
- Existe una gran cantidad de beneficiarios impactados positivamente por la implementación de la NSCA, lo cual constituye un beneficio adicional a la valoración económica aquí obtenida.
- Considerando los beneficios y costos valorizados, se obtiene una razón beneficio-costo de 1,37.

## **5. Anexos**

### **5.1 Línea base de calidad de agua (“situación actual”)**

El nivel de calidad ambiental de las aguas es el resultado combinado de los aportes naturales (*background*) y de los usos antrópicos que se desarrollan en la cuenca. Las siguientes tablas presentan los valores utilizados en AGIES de Anteproyecto. El nivel de calidad ambiental actual fue dado por el Departamento de Ecosistemas Acuáticos y es considerado como referencia para el análisis de excedencias de los niveles de calidad ambiental propuestos.

Actualización de AGIES con motivo del Proyecto Definitivo de NSCA de la cuenca del río Huasco

Tabla 14. Línea base de calidad del agua considerada en el AGIES

Parámetro	CA-10	CA-20	CH-10	CO-10	ES-10	HU-10	HU-20	HU-30	HU-40	LG-10	PO-10	PO-20	QU-10	RC-10	TO-10	TR-10	VA-10
Al (mg/l)	0,86	0,50	4,45	2,61	3,15	0,53	0,30	0,08	0,30	0,08	0,38	1,07	0,20	0,50	0,08	4,00	3,13
As (mg/l)	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,05	0,00	0,00	0,01	0,01
CN- (mg/l)	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02	0,02
Coliformes totales (NMP/100mL)	350	105	34	33	1	490	285	1700	435	280	330	2800	2400	13	79	79	8
Conductividad (uS/cm)	854	854	633	813	430	887	1493	2563		310	1034	736	426	341	633	896	612
Cu (mg/l)	0,01	0,03	0,06	0,10	0,07	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,10	0,01	0,01	0,06	0,10
Fe (mg/l)	0,43	10,08	2,08	3,33	0,89	0,23	0,39	0,15	0,12	0,28	0,14	1,20	0,29	0,05	0,08	12,49	1,12
Fosfato (mg/l)		0,00	0,01	0,01		0,02	0,05	1,00	0,04	0,04	0,00		0,10			0,01	0,02
Hg (mg/l)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn (mg/l)	0,16	0,77	0,83	0,48	1,56	0,07	0,07	0,03	0,06	0,05	1,47	0,29	0,06	0,01	0,01	0,89	0,43
NH4+ (mg/l)		0,03	0,79	0,02		0,10	0,01	0,05	0,95	0,08	0,14		0,02	0,07		0,85	0,10
NO3 (mg/l)	2,11	0,51	0,87	0,54	2,61	3,00	0,52	3,43	0,40	1,29	2,80	8,71	14,40	1,73	13,90	2,26	1,90
Oxígeno disuelto (mg/l)	10,70	8,09	7,40	7,17	13,20	6,80	9,17	8,10	9,50	6,40	7,40	10,30	6,34		12,27	7,99	3,50
pH max (Unid. de pH)	8,11	9,16	8,69	9,19	7,60	8,34	9,53	8,92	9,64	9,10	8,05	7,96	8,10	8,83	7,82	9,47	8,04
pH min (Unid. de pH)	7,56	7,75	6,88	7,60	6,94	7,63	7,87	8,50	7,27	8,40	6,93	7,19	7,35	8,37	7,07	7,65	7,38
Sulfato (mg/l)	329	359	228	212	186	328	472	700		77	545	255	114	52	475	269	210
Zn (mg/l)	0,01	0,10	0,21	0,26	0,63	0,07	0,03	0,03	0,02	0,06	0,29	0,04	0,14	0,03	0,01	0,22	0,28

Fuente: Elaboración propia, según lo informado por el Departamento de Ecosistemas Acuáticos.

Actualización de AGIES con motivo del Proyecto Definitivo de NSCA de la cuenca del río Huasco

Tabla 15. Calidad natural considerada en el AGIES

Parámetro	CA-10	CA-20	CH-10	CO-10	ES-10	HU-10	HU-20	HU-30	HU-40	LG-10	PO-10	PO-20	QU-10	RC-10	TO-10	TR-10	VA-10
Al (mg/l)	0,5	0,4	1,3	1,3	2,2	0,3	0,3	0,0	0,3	0,0	0,3	0,5	0,1	0,2	0,1	1,3	1,3
As (mg/l)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CN- (mg/l)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Coliformes totales (NMP/100mL)	13,0	13,0	13,0	13,0	1,0	290,0	137,9	290,0	290,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	5,1
Conductividad (uS/cm)	817,5	817,5	113,9	813,0	327,0	750,0	750,0	750,0		116,8	817,5	340,5	149,5	161,7	343,6	817,5	285,2
Cu (mg/l)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fe (mg/l)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	0,2	0,2
Fosfato (mg/l)		0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0			0,0	0,0
Hg (mg/l)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mn (mg/l)	0,1	0,6	0,2	0,3	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
NH4+ (mg/l)		0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0		0,0	0,0
NO3 (mg/l)	1,1	0,5	0,9	0,2	0,5	0,2	0,3	0,2	0,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Oxígeno disuelto (mg/l)	9,0	9,0	1,5	3,5		3,6	9,9	9,9	9,9	9,0	9,0	9,0	9,0		9,0	9,0	9,0
pH (Unid. de pH)	7,8	7,8	7,8	7,8	6,6	8,2	8,2	8,2	8,2	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
Sulfato (mg/l)	183,3	260,2	41,8	86,8	140,0	281,0	281,0	281,0		27,4	380,5	123,5	40,3	25,1	380,5	63,6	97,6
Zn (mg/l)	0,0	0,1	0,2	0,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,11

Fuente: Elaboración propia en base a los datos proporcionados por Departamento de Ecosistemas Acuáticos.

Tabla 16: Aporte de concentraciones según tipo de fuente

Parámetro	Tipo de fuente			Total
	PTAs	APRs	Difusas	
Al (mg/l)	1	3		4
As (mg/l)	0	0		0
CN- (mg/l)	0	1	3	4
Coliformes totales (NMP/100mL)	101	1.243.779		1.243.880
Cu (mg/l)	0	3	7	10
Fe (mg/l)	0	3		3
Fosfato (mg/l)	171	90		260
Hg (mg/l)	0	0		0
Mn (mg/l)	1	1		2
NH4+ (mg/l)	111	49		160
NO3 (mg/l)	1.134	479		1.612
pH (Unid. de pH)	120			120
Sulfato (mg/l)	1.671	877	37.424	39.971
Zn (mg/l)	1	3	13	16
Conductividad (uS/cm)			160.040	160.040
Oxígeno disuelto (mg/l)			14.873	14.873

Fuente: Elaboración propia

*Actualización de AGIES con motivo del Proyecto Definitivo de NSCA de la cuenca del río Huasco*

## 5.2 Tecnologías de abatimiento para fuentes puntuales

Tabla 17: Códigos y nombres de tecnologías de abatiendo evaluadas para fuentes puntuales

Nombre Tecnología	Código tecnología
<b>Etapa 4 Bardenpho</b>	4_Bard
<b>EBPR</b>	BioAOSinTanqAd
<b>Biometanización</b>	BioBiomet
<b>BRI</b>	BioBri
<b>Filtros Biológicos Horizontales</b>	BioFilHor
<b>Filtros Biológicos Verticales</b>	BioFilVer
<b>Lagunas de oxidación</b>	BioLag
<b>Lodos Activados</b>	BioLod
<b>Lodos Activados+complemento Nt</b>	BioLodComp
<b>EGSB</b>	BioReAnCL
<b>UASB</b>	BioReAnF7
<b>SBR</b>	BioReBio
<b>Wetlands</b>	BioWet
<b>BLUE PRO - Precipitacion química</b>	BlueProFisPre
<b>Desinfeccion UV</b>	DesUV
<b>Electrocoagulación</b>	Electrocoag
<b>Adsorción por carbón activado</b>	FisAdsCind
<b>Adsorción con diferentes materiales</b>	FisAdsDAA
<b>Adsorción con aluminio</b>	FisAl
<b>Arrastre por Aire (Air Stripping)</b>	FisArr
<b>Bekosplit</b>	FisBek
<b>Clarificación</b>	FisCla
<b>Coalescencia</b>	FisCoas
<b>Decloración</b>	FisDecSO2
<b>Destilacion</b>	FisDes
<b>Electrodialisis</b>	FisEled
<b>Electrooxidacion</b>	FisElex
<b>Extracción por Solvente</b>	FisExt
<b>Filtros AMIAD</b>	FisFil2
<b>Flotación</b>	FisFlo
<b>Electrodesionización</b>	FisInt

<b>Nanofiltración</b>	FisNan
<b>Ósmosis inversa</b>	FisOsm
<b>Oxidación con Agua Supercrítica</b>	FisOxiAg
<b>Oxidación con Aire Húmedo</b>	FisOxiAire
<b>POA</b>	FisOxiAO
<b>Precipitación Química</b>	FisPre
<b>Cribado</b>	FisPreC
<b>Filtración</b>	FisPreFil
<b>Desbaste</b>	FisPreR
<b>Tamizado</b>	FisPreTR
<b>Separadores por Gravedad y Sedimentación</b>	FisSepA
<b>Sedimentación</b>	FisSepN
<b>Skimmer</b>	FisSki
<b>Ultrafiltración - Microfiltración</b>	FisUlt
<b>BRM</b>	MemBrm
<b>Modificación a Ludzack Ettinger (MLE)</b>	MLE
<b>MLE + Filtración</b>	MLEFilt
<b>Ozonización</b>	Ozon
<b>Coagulación -Floculación</b>	QuimCoFloc
<b>Neutralización</b>	QuimNe
<b>Rotación Biológica de Contacto</b>	RBC
<b>Intercambiador de Calor</b>	TraInt
<b>Torres de Enfriamiento</b>	TraTor
<b>Zanjas de Oxidación+complemento Nt</b>	ZanOxComp
<b>Remediación Minera</b>	MedMineras

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 18 presenta información acerca de las eficiencias de abatimiento por parámetro de cada tecnología consideradas para las fuentes puntuales.

Tabla 18. Eficiencia de remoción de contaminantes de las tecnologías aplicables a fuentes puntuales

Código tecnología	Al	As	CN-	Coliformes totales	Cu	Fe	Fosfato	Hg	Mn	NH4+	NO3	pH	Sulfato	Zn
BioFilHor				90%						85%	70%			
BioFilVer				90%						85%	70%			
BioLag												7%		
BioLod							18%							
BioReAnCL				88%						22%				
BioReAnF7													73%	
DesUV				99%										
Electrcoag	99%	97%	63%		99%	99%			84%		99%			99%
FisAdsDAA		90%						90%						
FisEled		80%					90%				90%		90%	
FisFlo						85%			85%					
FisInt	97%						98%		98%	98%	98%		95%	
FisNan		90%				95%					95%			
FisOxiAire			95%											
FisPre		70%		60%	73%	51%	93%	21%	90%					70%
FisPreC						85%			85%					
FisPreFil						85%			85%					
FisPreR						85%			85%					
FisPreTR						85%			85%					
FisSepN						85%			85%					
FisUlt				55%										
MedMineras	70%	70%	70%		70%	70%							80%	100%
MemBrm										91%				
Ozon				90%										
QuimCoFloc		99%		90%				99%						
ZanOxComp										95%				

Fuente: Elaboración propia en base a Fundación Chile (2010), AMPHOS 21 (2014) y ECOTEC (2017) . Nota: Celdas en blanco no tienen eficiencia de remoción para ese parámetro.

Tabla 19. Antecedentes de las curvas de costos de tecnologías para fuentes puntuales.

Código tecnología	Tipo de costo	Unidad Caudal	Unidad función	a	b
<b>FisAdsDAA</b>	Inversión	m3/d	USD	2.108	0,6
	Operación y Mantenición	m3/d	USD/m3	4	-0,424
<b>FisAdsCind</b>	Inversión	m3/h	USD/m3/h	21.935	-0,4
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	5.484	-0,4
<b>FisArr</b>	Inversión	m3/h	USD	5.600	0,6
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/m3	3	-0,69
<b>FisBek</b>	Inversión	L/h	USD	7.870	0,4117
	Operación y Mantenición	L/h	USD/m3	59	-0,763
<b>BioBiomet</b>	Inversión	m3/h	USD/m3/h	264.072	-0,26
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	14.048	-0,4
<b>BlueProFisPre</b>	Inversión	m3/h	USD/m3/h	1.631	-0,072
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	233	-0,044
<b>BioBri</b>	Inversión	m3/h	USD/m3/h	210.456	-0,349
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	18.941	-0,349
<b>MemBrm</b>	Inversión	m3/h	USD/m3/h	276.547	-0,355
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	5.883	-0,143
<b>FisCla</b>	Inversión	m3/h	USD/m3/h	18	-
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	14.969.088	-1
<b>QuimCoFloc</b>	Inversión	m3/h	USD/m3/h	42.918	-0,671
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	3.819	-0,703
<b>FisCoas</b>	Inversión	L/s	USD	5.471	0,4
	Operación y Mantenición	L/s	USD/m3	0	-0,611
<b>FisPreC</b>	Inversión	m3/h	USD/m3/h	1.422	-0,4
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	89	-0,4
<b>FisDecSO2</b>	Operación y Mantenición	m3/d	USD/m3	0	-0,12
<b>FisPreR</b>	Inversión	m3/h	USD/m3/h	421	-0,4
	Operación y Mantenición	m3/h	USD/año/m3/h	43	-0,4
<b>DesUV</b>	Inversión	L/s	USD	11.208	0,5351
	Operación y Mantenición	L/s	USD/m3	9	-0,987
<b>FisDes</b>	Inversión	m3/d	USD	30.153	0,4
	Operación y Mantenición	m3/d	USD/m3	12	-
<b>BioAOSinTanqAd</b>	Inversión	m3/d	USD	237	0,6426
	Operación y Mantenición	m3/d	USD/m3	0	-0,265

Actualización de AGIES con motivo del Proyecto Definitivo de NSCA de la cuenca del río Huasco

<b>BioReAnCL</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD/m3/h	38.076	-0,4
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año/m3/h	5.984	-0,4
<b>Electrocoag</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD/m3/h	18.198	-0,4
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año/m3/h	178	-0,091
<b>FisInt</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD/m3/h	77.675	-0,4
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año/m3/h	3.494	-0,4
<b>FisEled</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD/m3/h	192.810	-0,455
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año/m3/h	150.468	-0,374
<b>FisElex</b>	Inversión	<b>m3/d</b>	USD	11.357	0,6
	Operación y Mantenición	<b>m3/d</b>	USD/m3	5	-0,214
<b>4_Bard</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD/m3/h	461.362	-0,67
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año/m3/h	66.660	-0,712
<b>FisExt</b>	Inversión	<b>m3/mes</b>	USD	31.451	0,6
<b>FisPreFil</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD/m3/h	15.602	-0,309
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año/m3/h	2.340	-0,309
<b>FisFil2</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD	16.583	0,3
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/m3	0	-0,135
<b>BioFilHor</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD/m3/h	23.351	-0,237
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año/m3/h	2.738	-0,4
<b>BioFilVer</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD/m3/h	401.161	-0,405
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año/m3/h	38.631	-0,486
<b>FisFlo</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD/m3/h	52.941	-0,508
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año/m3/h	4.630	-0,451
<b>TraInt</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD/m3/h	834	-0,3
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año/m3/h	1.699	-0,28
<b>BioLag</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD/m3/h	675.119	-0,4
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año/m3/h	391	0,1292
<b>BioLod</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD/m3/h	91.820	-0,167
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año/m3/h	211.462	-0,476
<b>BioLodComp</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD	51.963	0,5919
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año	4.997	0,5937
<b>MLEFilt</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD/m3/h	442.955	-
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año/m3/h	48.152	-0,659
<b>MLE</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD/m3/h	375.194	-0,623
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año/m3/h	39.815	-0,631

## Actualización de AGIES con motivo del Proyecto Definitivo de NSCA de la cuenca del río Huasco

<b>FisNan</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD/m3/h	53.599	-0,275
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año/m3/h	11.001	-0,324
<b>QuimNe</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD/m3/h	11.202	-0,377
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año/m3/h	313	-0,036
<b>FisAl</b>	Inversión	<b>m3/d</b>	USD	94.193	0,1356
	Operación y Mantenición	<b>m3/d</b>	USD/m3	0	-0,16
<b>FisOxiAg</b>	Inversión	<b>m3/d</b>	USD	25.238	0,6
	Operación y Mantenición	<b>m3/d</b>	USD/m3	3	-0,131
<b>FisOxiAire</b>	Inversión	<b>m3/d</b>	USD	18.929	0,6
	Operación y Mantenición	<b>m3/d</b>	USD/m3	2	-0,131
<b>Ozon</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD/m3/h	19.534	-0,4
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año/m3/h	819	-0,266
<b>FisOxiAO</b>	Inversión	<b>m3/d</b>	USD	22.714	0,6
	Operación y Mantenición	<b>m3/d</b>	USD/m3	2	-0,131
<b>FisPre</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD/m3/h	19.394	-0,537
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año/m3/h	1.506	-0,539
<b>RBC</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD/m3/h	403.122	-0,533
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año/m3/h	28.495	-0,528
<b>BioReBio</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD/m3/h	302.390	-0,45
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año/m3/h	24.479	-0,514
<b>FisSepN</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD/m3/h	8.461	-0,582
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año/m3/h	1.269	-0,582
<b>FisSepA</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD	14.078	0,6
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/m3	0	-0,45
<b>FisSki</b>	Inversión	<b>L/h</b>	USD	2.593	0,1714
	Operación y Mantenición	<b>L/h</b>	USD/m3	11	-0,558
<b>FisPreTR</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD/m3/h	436	-0,4
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año/m3/h	43	-0,4
<b>TraTor</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD/m3/h	0	-0,1
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año/m3/h	4.313	-0,321
<b>BioReAnF7</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD/m3/h	12.875	-0,234
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año/m3/h	3.282	-0,042
<b>FisUlt</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD/m3/h	28.627	-0,221
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año/m3/h	7.599	-0,229
<b>BioWet</b>	Inversión	<b>m3/d</b>	USD	8.124	0,7281

*Actualización de AGIES con motivo del Proyecto Definitivo de NSCA de la cuenca del río Huasco*

	Operación y Mantenición	<b>m3/d</b>	USD/m3	0	-0,546
<b>ZanOxComp</b>	Inversión	<b>m3/h</b>	USD	32.292	0,6162
	Operación y Mantenición	<b>m3/h</b>	USD/año	3.150	0,6565

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

### 5.3 Abatimiento para fuentes difusas: remediación de sitios mineros

A grandes rasgos, las tecnologías para el control de la contaminación por fuentes difusas asociadas a sitios mineros abandonados, corresponden a i) prevención o control de la fuente de contaminación y ii) técnicas de remediación (RoyChowdhury et al., 2015). La prevención o control de la fuente implica que los residuos mineros son aislados del agua y oxígeno para evitar la ocurrencia de drenaje ácido de minas. Este aislamiento puede ser realizado mediante barreras físicas como zanjas de desvío; o coberturas con multicapas de suelo (con arcillas para evitar la entrada de oxígeno o capas alcalinas) que luego son estabilizadas con cobertura vegetal (para más detalle, ver RoyChowdhury et al., 2015).

Las técnicas de remediación, a su vez, pueden ser subdivididas en técnicas activas y pasivas. Las técnicas activas consisten en la adición de diversos químicos al agua que proviene del drenaje ácido de minas; estos químicos son generalmente elementos neutralizantes del pH ácido, tales como cal ( $\text{CaCO}_3$ ), soda cáustica ( $\text{NaOH}$ ), óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), entre otros (para más detalle, ver RoyChowdhury et al., 2015). Las técnicas pasivas corresponden fundamentalmente a humedales (*Wetlands*) construidos artificialmente o a birreactores reductores de sulfatos. Los humedales son ecosistemas de interface entre tierra sólida y ecosistemas acuáticos que presentan generalmente alta biodiversidad y que entre sus muchas funciones ecológicas permiten la purificación del agua mediante la retención o metabolismo de contaminantes. Los bioreactores reductores de sulfatos utilizan bacterias de los géneros *Desulfovibrio*, *Desulfomicrobium*, *Desulfobacter* y *Desulfotomaculum* para transformar el sulfato  $\text{SO}_4$  en ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), lo que mediante distintas reacciones químicas produce la precipitación de metales disueltos en forma de hidróxidos o carbonatos (para más detalle, ver RoyChowdhury et al., 2015).

Los considerados en el AGIES son los presentados por Buck & Gerard, (2001) y corresponden a un rango de valores mínimo – máximo por sitio, considerando en este rango un total de 14.400 sitios estudiados en Estados Unidos. El gran número de sitios estudiados permite considerar a este rango como una estimación robusta de los costos por sitio. A pesar de que existe información en otros estudios, respecto de costos por tonelada de roca o por área del sitio minero a tratar (por ejemplo, Skousen & Ziemkiewicz, 2005), éstos no fueron utilizados porque existe ausencia de información respecto de las áreas superficiales o cantidades de roca a ser tratadas, y por ende, se trabajó con los datos presentados por Buck & Gerard, (2001).

El rango de valores entregado por Buck & Gerard, (2001) es de entre \$USD (1996) 1.000.000-3.000.000 por sitio. Estos valores fueron ajustados por los años de inflación correspondientes desde 1996 hasta 2020 y por la diferencia entre el poder adquisitivo de Estados Unidos y Chile, siguiendo los lineamientos de la “Guía metodológica para la transferencia de beneficios” (MMA, 2017). Por último, se asumió que los costos contenidos en el estudio de Buck & Gerard, (2001) representan costos de inversión, por lo cual el rango de valores fue anualizado para representar el costo anual de inversión. Para realizar esta operación se consideró la vida media útil más aceptada para el diseño de medidas de control de fuentes difusas (i.e. 20 años, RoyChowdhury et al., 2015; Skousen & Ziemkiewicz, 2005), resultando en un rango de \$USD 61.267,8 - 174.597,7 por sitio al año, con un promedio de \$USD 117.932,8. Este valor promedio fue el utilizado en este AGIES.

## 5.4 Parámetros de costos de monitoreo y fiscalización

Tabla 20. Costos unitarios de análisis de laboratorio según contaminante

Parámetro	Costo [UF]
pH	0,03
Sulfato	0,17
Fosfato	0,54
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,21
NO <sub>3</sub>	0,36
Cu	0,18
Zn	0,19
Fe	0,2
Mn	0,13
Hg	0,25
Al	0,22
As	0,24
Coliformes totales	0,24
CN-	0,28

Fuente: Elaboración propia a partir de cotizaciones señaladas en texto, Valor UF: \$ 28001 CLP

La Tabla 21 identifica el número de monitoreos adicionales a los actuales que se deberán realizar a fin de asegurar el cumplimiento de la norma, mientras que en la Tabla 22 se detallan los valores utilizados para calcular los costos de fiscalización.

Tabla 21. Numero de monitoreo adicionales por área de vigilancia para cumplir NSCA-Huasco.

Área de vigilancia	Monitoreos adicionales anuales a los realizados regularmente a la fecha por DGA
HU-40	8
HU-30	12
HU-20	9
HU-10	12
TR-10	8
CO-10	8
LG-10	12
RC-10	12
VA-10	12
CH-10	8
ES-10	12
CA-20	8
CA-10	12
PO-20	12

<b>PO-10</b>	12
<b>QU-10</b>	12
<b>TO-10</b>	12

Tabla 22. Valores considerados en fiscalización por servicio público

Concepto	Servicio	Valor Hp [CLP/h]	N° horas [h]	Frecuencia
Elaboración PMCCA	SMA	25.000	100	1 vez
Elaboración PMCCA	MMA	20.000	250	1 vez
Elaboración Reporte Técnico de Monitoreo	DGA	23.000	50	12 veces/año
Elaboración Informe Técnico de Cumplimiento de la NSCA	SMA	25.000	300	1 vez/año (a partir del 3 <sup>er</sup> año)
Fiscalizar actividades de monitoreo	SMA	25.000	16	12 veces/año
Elaboración Informe de calidad de la NSCA	MMA	20.000	100	1 vez/año (a partir 3 <sup>er</sup> año)

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

## 5.5 Parámetros de análisis y uso de software

Las etapas de análisis descritas anteriormente se implementaron en el programa Analytica 64-bit Optimizer 5.2, optimizador KNITRO. El procesamiento de datos espaciales y generación de cartografía se realizó con ArcGis 10.

Las tasas de cambio utilizadas en el presente informe se presentan en la Tabla 23.

Tabla 23. Parámetros de análisis

Parámetro	Valor	Nota
UF	28.001 CLP	Banco Central. Estimada a partir del promedio móvil entre febrero 2018 a febrero 2020.
Dólar (USD)	723 CLP	Banco Central. Tipo de cambio estimado promedio móvil entre febrero 2018 a febrero 2020.
Tasa de descuento social	6%	MIDESO (2017)

Fuente: Elaboración propia

## 5.6 Servicios ecosistémicos (SSEE) identificados potencialmente en la cuenca relacionados con ecosistemas acuáticos.

Número	Tipología CICES	Detalle del Servicio Ecosistémico
1	Cultural	Características de los sistemas vivos que permiten actividades a través de interacciones activas o inmersivas
2	Cultural	Características de los sistemas vivos que permiten actividades a través de interacciones pasivas u observacionales
3	Cultural	Características de los sistemas vivos que permiten experiencias estéticas
4	Cultural	Características de los sistemas vivos que permiten la educación y el entrenamiento
5	Cultural	Características de los sistemas vivos que permiten la investigación científica
6	Cultural	Características de los sistemas vivos que son importantes en términos de cultura o herencia
7	Cultural	Características naturales abióticas, que permiten interacciones experienciales pasivas o activas
8	Cultural	Características naturales abióticas, que permiten interacciones intelectuales
9	Cultural	Características o formas abióticas un valor de opción, existencia o legado
10	Cultural	Características o formas de los sistemas vivos que tienen un valor de legado
11	Cultural	Características o formas de los sistemas vivos que tienen valor de existencia
12	Cultural	Elementos de los sistemas vivos que son sagrados o con significado religioso
13	Cultural	Elementos de los sistemas vivos que tienen un significado simbólico
14	Cultural	Elementos de los sistemas vivos usados para entretenimiento o representación
15	Cultural	Elementos naturales abióticos que tienen un significado simbólico
16	Provisión	Agua subterránea (y subsuperficial) para beber
17	Provisión	Agua subterránea (y subsuperficial) utilizada para otros usos (no potable)
18	Provisión	Agua superficial (dulce) utilizada como fuente de energía (Embalse Santa Juana)
19	Provisión	Agua superficial para beber
20	Provisión	Agua superficial para otros usos ( no potable)
21	Provisión	Animales criados para alimentación
22	Provisión	Animales salvajes (organismos completos) para la reproducción de nuevas cepas o variedades
23	Provisión	Animales salvajes (terrestres y acuáticos) para alimentación
24	Provisión	Animales salvajes (terrestres y acuáticos) utilizados como fuente de energía
25	Provisión	Fibras y otros materiales de animales criados para uso directo o

Actualización de AGIES con motivo del Proyecto Definitivo de NSCA de la cuenca del río Huasco

		procesamiento (excluye material genético)
26	Provisión	Fibras y otros materiales de animales de acuicultura in situ para uso directo o procesamiento( excluye material genético)
27	Provisión	Fibras y otros materiales de animales salvajes para uso directo o procesamiento (excluye material genético )
28	Provisión	Fibras y otros materiales de plantas de acuicultura in situ para el uso directo o procesamiento
29	Provisión	Fibras y otros materiales de plantas silvestres para uso directo o procesamiento (excluye material genético )
30	Provisión	Fibras y otros materiales obtenidos de plantas cultivadas, hongos, algas y bacterias para uso directo o procesado (excluye material genético)
31	Provisión	Filtración, secuestro, almacenamiento y/o acumulación a través de microorganismos, algas, plantas y animales
32	Provisión	Material animal colectado para mantener o establecer una población
33	Provisión	Plantas cultivadas (incluidos hongos, algas) como fuente de energía
34	Provisión	Plantas de acuicultura in situ para alimentación.
35	Provisión	Plantas silvestres (terrestres y acuáticas, incluidos hongos, algas) utilizadas como fuente de energía
36	Provisión	Plantas silvestres (terrestres y acuáticas, incluidos hongos, algas) utilizadas para alimentación
37	Provisión	Plantas superiores e inferiores (organismos completos) utilizadas para generar nuevas cepas o variedades
38	Provisión	Plantas terrestres cultivadas (incluidos hongos, algas) para alimentación.
39	Provisión	Semillas, esporas y otros materiales vegetales recolectados para mantener o establecer una población
40	Regulación	Biorremediación a través de microorganismos, algas, plantas y animales
41	Regulación	Control de enfermedades
42	Regulación	Control de las tasas de erosión
43	Regulación	Control de plagas (incluyendo especies invasoras)
44	Regulación	Dilución por agua y ecosistemas marinos
45	Regulación	Dispersión de semillas
46	Regulación	Flujos de masa
47	Regulación	Flujos gaseosos
49	Regulación	Mantenimiento y regulación por procesos inorgánicos químicos y físicos
50	Regulación	Mantenimiento de poblaciones juveniles y hábitats (incluida la protección del pool genético)
51	Regulación	Mediación por otros medios químicos o físicos (ej. Mediante filtración, secuestro, almacenamiento o acumulación)
52	Regulación	Meteorización y su efecto en la calidad del suelo
53	Regulación	Polinización (o dispersión de gametos en el mar)

*Actualización de AGIES con motivo del Proyecto Definitivo de NSCA de la cuenca del río Huasco*

<b>54</b>	Regulación	Procesos de descomposición y fijación y su efecto en la calidad del suelo
<b>55</b>	Regulación	Reducción de olores
<b>56</b>	Regulación	Regulación de la composición química de la atmósfera y los océanos
<b>57</b>	Regulación	Regulación de la condición química de las aguas dulces mediante procesos bióticos
<b>58</b>	Regulación	Regulación de la temperatura y la humedad, incluyendo ventilación y transpiración
<b>59</b>	Regulación	Regulación del ciclo hidrológico y los flujos de agua

Fuente: Elaboración propia. Estos SSEE deben ser entendidos como identificados potencialmente y su uso es únicamente referencial.

## 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.
- Buck, S., Gerard, D., 2001. Cleaning Up Mining Waste. Polit. Econ. Res. Cent. Res. Study.
- 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](https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/325999626_Identificacion_de_ecosistemas_continentales_y_los_servicios_ecosistemicos_que_estos_proveen)
- Coexiste, 2019. MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUA Y CAUDAL EN CUENCA DEL RIO HUASCO COMO INSUMO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS APORTES DE FUENTES DIFUSAS DE LA CUENCA, EN EL CONTEXTO DEL AGIES DE LA NORMA DE CALIDAD DE AGUA DE HUASCO.
- 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>
- 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.
- Gayoso, J. & S. Gayoso (2003). "Diseño de zonas ribereñas, requerimiento de un ancho mínimo." *Facultad Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile.* 12p.
- Gayoso, J., B. Schlegel, et al. (2000). *Guía de conservación de agua*, Universidad Austral de Chile.
- Gleisner, C., Montt, S., 2014. *Diaguitas Chilenos*.
- Haines-Young, R., Potschin, M., 2018. CICES V5. 1. Guidance on the Application of the Revised Structure, Fabis Consulting.
- Haines-Young, R, Potschin, M., 2012. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4.
- Haines-Young, Roy, Potschin, M., 2012. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, August-December 2012. EEA Framew. Contract No EEA/IEA/09/003.

- Hawes, E. & M. Smith (2005). "Riparian buffer zones: Functions and recommended widths. Yale School of Forestry and Environmental Studies." Rep. to the Eightmile River Wild and Scenic Study Committee.
- Holmes, T. P., J. C. Bergstrom, et al. (2004). "Contingent valuation, net marginal benefits, and the scale of riparian ecosystem restoration." Ecological Economics **49**(1): 19-30.
- Hoorman, J. J. & J. McCutcheon (2005). "Ohio State University Extension Fact Sheet."
- 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.
- 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>
- Naiman, R. J. & H. Décamps (1997). "The ecology of interfaces: riparian zones." Annual review of Ecology and Systematics: 621-658.
- Martín-López, B., González, J., Vilarly, S., 2012a. Ciencias de la Guía Docente Guía Docente. <https://doi.org/10.1016/j.ajhg.2011.11.018>
- Martín-López, B., González, J.A., Vilarly, S., Martín-López & González, J. A., B., 2012b. Ciencias de la sostenibilidad: guía docente. Univ. del Magdal.
- Martínez Alier, J., 2009. El ecologismo de los pobres: conflictos ambientales y lenguajes de valoración.
- MMA, 2017. Guía metodológica para la transferencia de beneficios.
- MMA (2011). Análisis General de Impacto Económico y Social del anteproyecto de normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas del lago Villarrica. Departamento de Economía Ambiental. Chile.
- NRC (2002). Riparian Areas: Functions and Strategies for Management, National Academy Press Washington, DC, USA.
- Parkyn, S. M., R. J. Davies-Colley, et al. (2005). "Predictions of stream nutrient and sediment yield changes following restoration of forested riparian buffers." Ecological Engineering **24**(5): 551-558.
- RoyChowdhury, A., Sarkar, D., Datta, R., 2015. Remediation of Acid Mine Drainage-Impacted Water. *Curr. Pollut. Reports* **1**, 131–141. <https://doi.org/10.1007/s40726-015-0011-3>
- Satz, D., Gould, R.K., Chan, K.M.A., Guerry, A., Norton, B., Satterfield, T., Halpern, B.S., Levine, J., Woodside, U., Hannahs, N., Basurto, X., Klain, S., 2013. The challenges of incorporating cultural ecosystem services into environmental assessment. *Ambio* **42**, 675–684. <https://doi.org/10.1007/s13280-013-0386-6>
- Skousen, J., Ziemkiewicz, P., 2005. Performance of 116 passive treatment systems for acid mine drainage. *22nd Am. Soc. Min. Reclam. Annu. Natl. Conf.* **2005** **2**, 1100–1133. <https://doi.org/10.21000/jasmr05011100>

- 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, *Global Environmental Change*. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.12.008>