



MEMORANDUM INTERNO N° 0 0 7 9 0

**DE : SR. GUILLERMO READY SALAMÉ**  
SEREMI DEL MEDIO AMBIENTE  
REGIÓN DE ATACAMA

**A : SR. JUAN JOSÉ DONOSO RODRIGUEZ**  
JEFE DIVISIÓN RECURSOS NATURALES Y BIODIVERSIDAD  
MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

**MAT. :** Entrega Minuta Técnica para solicitud de AGIES.

Copiapó: 08 de mayo de 2019.

Junto con saludar cordialmente, tengo a bien entregar a usted el documento final de "**Minuta Técnica para elaboración de Anteproyecto Norma Secundaria de Calidad Ambiental para las Aguas Superficiales de la Cuenca del Río Huasco**".

Al respecto, considerando dicho documento, tengo a bien pedir a Ud, que se solicite formalmente al Departamento de Economía Ambiental la realización del Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) de dicho proceso normativo.

Sin otro particular, saluda atentamente a Ud.,

  
GUILLERMO READY SALAMÉ  
SEREMI DEL MEDIO AMBIENTE  
REGIÓN DE ATACAMA

GRS/APV/ogr

Adjunta: Minuta Técnica para elaboración de Anteproyecto NSCA río Huasco. SEREMI MMA Atacama.

Distribucion:

- Destinatario
- Sra. Amerindia Jaramillo Allendes. Jefe Departamento Planes, Normas y Riesgo Ambiental, Ministerio del Medio Ambiente. (c.i)
- Archivos.



**MINUTA TÉCNICA PARA ELABORACIÓN DE ANTEPROYECTO DE LA NORMA SECUNDARIA  
DE CALIDAD AMBIENTAL PARA LAS AGUAS SUPERFICIALES DE LA CUENCA DEL RÍO  
HUASCO.  
VERSION 3**

SEREMI del Medio Ambiente, Región de Atacama – Departamento de Planes, Normas y Riesgo  
Ambiental, Ministerio del Medio Ambiente.



Mayo, 2019.

## Índice

I. Introducción.....	3
II. Proceso de Elaboración de la NSCA Río Huasco .....	7
III. Metodología de elaboración de la NSCA .....	12
IV Referencias.....	54
IV. Anexos.....	57

## I. Introducción

### 1. Cuenca del Río Huasco

En el extremo sur de la Región de Atacama, Chile, se encuentra la cuenca del río Huasco, la cual pertenece a la provincia del mismo nombre. La cuenca del río alcanza una extensión es de 9813,2 km<sup>2</sup> aproximadamente<sup>1</sup> y comprende a las comunas de Alto del Carmen, Huasco, Freirina y Vallenar (Figura 1), cuya población total alcanza los 75.000 habitantes según el censo del año 2017.

Geomorfológicamente, la cuenca del río Huasco está compuesta por tres subcuencas aportantes (Figura 2): 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>2</sup>.

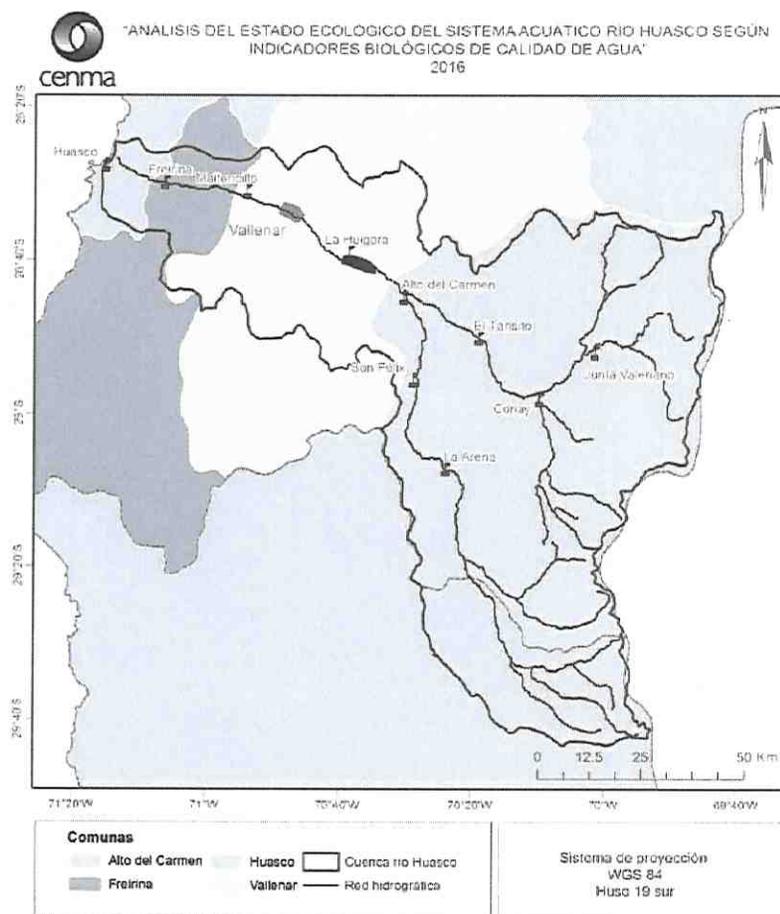


Figura 1: Límites administrativos, ciudades y poblados de la cuenca del río Huasco (CENMA, 2016).

<sup>1</sup> INIA - JVRH, 2009 – 2010. Aplicación red de monitoreo de calidad de agua en la cuenca del río Huasco y sus afluentes.

<sup>2</sup> Algoritmos - MMA, 2013. Diagnóstico, inventario de emisiones y monitoreo de la calidad de las aguas de la cuenca del río Huasco.

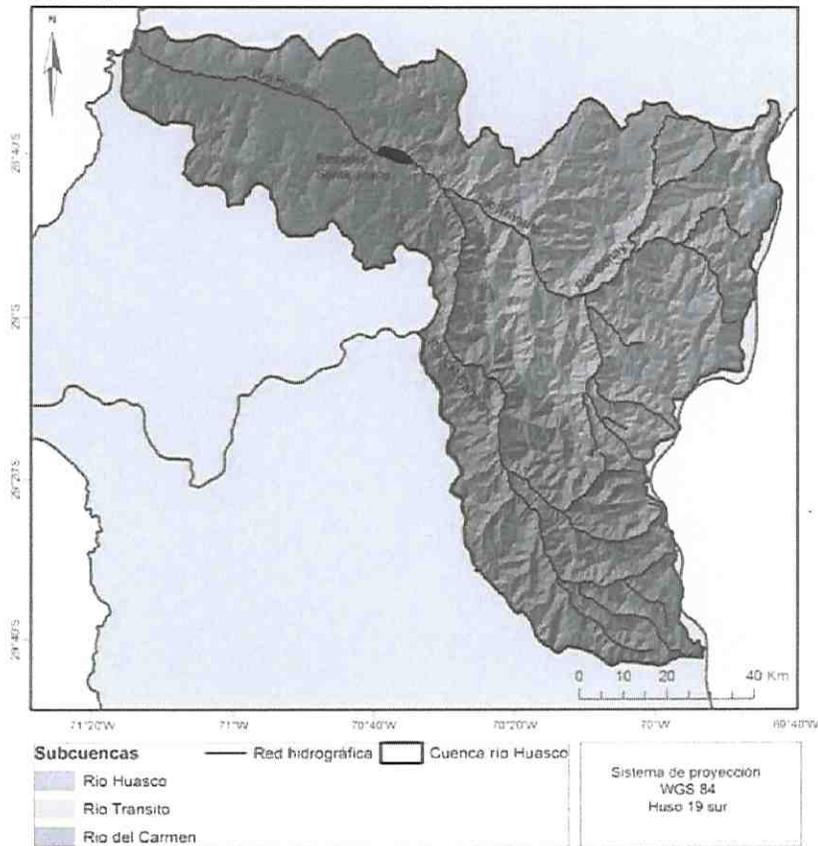


Figura 2: Red hídrica de la cuenca del río Huasco (CENMA, 2016).

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 que alcanza los 5000 msnm.

La cuenca del Río Huasco 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>3</sup>.

En la cuenca del río Huasco, debido a sus características climáticas, gran parte de las especies 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

<sup>3</sup> Cade-Idepe. 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad cuenca del río Huasco.

excepcional fragilidad de los ecosistemas altoandinos<sup>4</sup>. Sin embargo, la cuenca es considerada con un estado ecológico Bueno y Muy Bueno<sup>5</sup> en algunas zonas, de la cual se desprenden variados servicios ecosistémicos de regulación, provisión y de recreación, que son utilizados por las comunidades asociadas a la cuenca y el sector productivo.

## 2. Normas Secundarias de Calidad Ambiental

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

En base a lo anterior, una Norma Secundaria de Calidad Ambiental se considera como un instrumento de gestión ambiental que busca la protección de los ecosistemas frente a determinados contaminantes, en este caso, los ecosistemas acuáticos característicos de la cuenca.

Las normas secundarias, hasta el año 2012, eran dictadas según el Decreto Supremo N° 93/1995 del Ministerio Secretaria General de la Presidencia, sin embargo y como consecuencia del cambio de institucionalidad ambiental, a partir del año 2012, se deben dictar en función de lo descrito en el Decreto Supremo N° 38/2012 del Ministerio del Medio Ambiente, “Reglamento para la dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión”.

Dicho reglamento, en su Artículo 1° indica el “procedimiento para la dictación de normas de calidad ambiental primarias y secundarias y el procedimiento y los criterios para la revisión de dichas normas”.

Respecto al procedimiento para la dictación de las normas de calidad, el Artículo 6° del reglamento mencionado, señala que “comprenderá las siguientes etapas: desarrollo de estudios científicos, análisis técnico y económico, consulta a organismos competentes, públicos y privados, y análisis de las observaciones formuladas. Todas las etapas deberán tener una adecuada publicidad”. Las etapas señaladas y sus plazos, se puede evidenciar en la Figura 3.

---

<sup>4</sup> CENMA. 2016. Análisis del estado ecológicos del sistema acuático río Huasco según indicadores biológicos de calidad de agua, informe final.

<sup>5</sup> CENMA-MMA. 2013. Monitoreo y Evaluación de Estado Ecológico de 10 Cuencas Hidrográficas de Chile. Documento Técnico del Proyecto Normas Secundarias De Calidad.

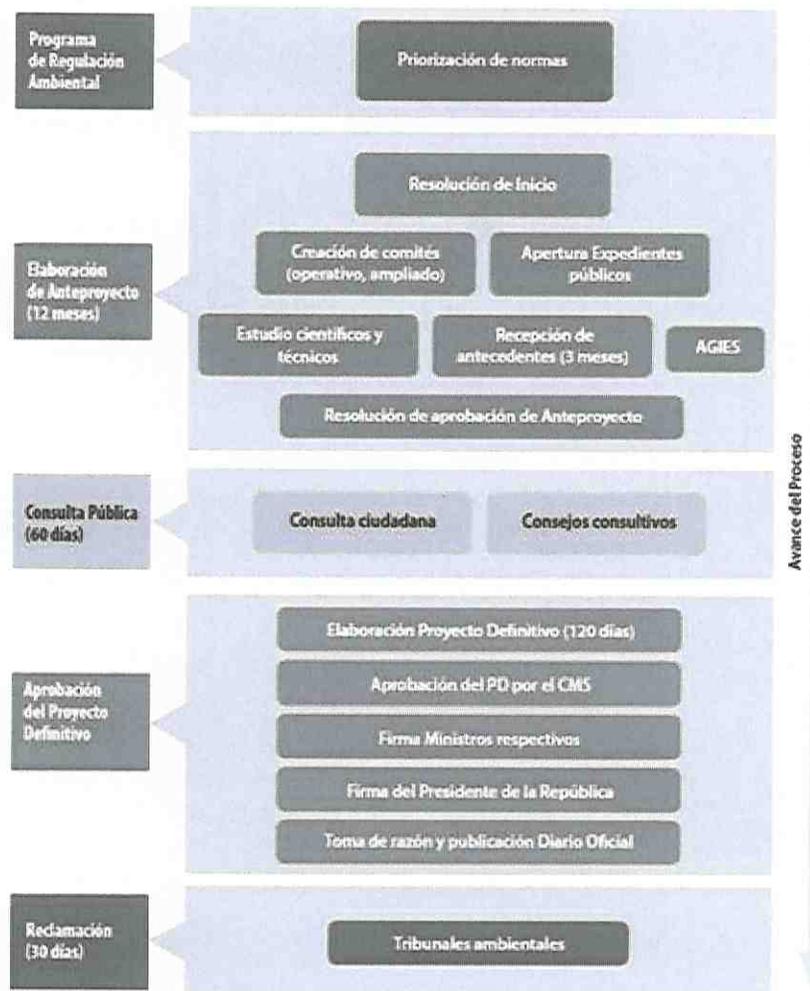


Figura 3: Etapas y plazos del proceso de elaboración de normas de calidad, según D. S. N° 38/2012 MMA (Fuente: MMA, 2017).

En términos generales se reconocen 5 etapas, siendo la primera, la priorización de la norma en el Programa de Regulación Ambiental, por parte del Ministerio del Medio Ambiente, como lo señala el reglamento en el Artículo 10° “Corresponderá al Ministro definir un programa de regulación ambiental que contenga los criterios de sustentabilidad y las prioridades programáticas en materia de políticas, planes y programas de dictación de normas de calidad ambiental y de emisión y demás instrumentos de gestión ambiental”.

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

En el caso de la NSCA de la cuenca del río Huasco, la Resolución de Inicio antes mencionada, se generó el 22 de junio de 2016 en la R. E. N° 553 del Ministerio del Medio Ambiente, de la misma fecha y se encuentra aún en esta etapa de elaboración del Anteproyecto.

La tercera etapa de Consulta Pública, se efectúa una vez se haya publicado la Resolución de aprobación del Anteproyecto y según lo indicado por el Artículo 20° “dentro del plazo de sesenta días, contado desde la publicación de la resolución señalada en el artículo 17, cualquier persona, natural o jurídica, podrá formular observaciones al contenido del Anteproyecto de norma.

La siguiente etapa de Aprobación del Proyecto Definitivo, es descrita por el Artículo 21 donde señala que “dentro de los 120 días siguientes de vencido el plazo a que se refiere el artículo precedente, considerando los antecedentes contenidos en el expediente y el análisis de las observaciones formuladas en la etapa de consulta, se elaborará el proyecto definitivo de norma”.

El Artículo 22° indica los pasos a seguir una vez elaborado el proyecto definitivo de la norma, donde dice que “agotado el plazo a que hace referencia el artículo anterior, el Ministro remitirá el proyecto definitivo de norma al Consejo de Ministros para la Sustentabilidad para su discusión y pronunciamiento, en conformidad a lo dispuesto en el artículo 71, letra f), de la ley N° 19.300.

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

Por último, una vez “emitido el pronunciamiento del Consejo de Ministros para la Sustentabilidad, el proyecto definitivo de norma será sometido a la consideración del Presidente de la República para su decisión”, según el Artículo 23°.

Finalmente, la etapa quinta, que hace referencia a la opción de Reclamación una vez publicada la norma en el Diario Oficial, es señalada en el Artículo 40°: “Los decretos supremos que establezcan normas primarias y secundarias de calidad ambiental y de emisión, serán reclamables ante el Tribunal Ambiental competente, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 50 de la ley N° 19.300, por cualquier persona que considere que no se ajustan a dicha ley y a la cual le causen perjuicio. El plazo para interponer el reclamo será de treinta días, contado desde la fecha de publicación del decreto en el Diario Oficial, o desde la fecha de su aplicación, tratándose de las regulaciones especiales para casos de emergencia”.

## **II. Proceso de Elaboración de la NSCA Río Huasco**

### **1. Historia y estado actual**

La elaboración de esta norma de calidad ambiental se inició originalmente el año 2006, cuando el organismo a cargo era la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) y el marco legal de referencia era el D.S. N°93/1995 de MINSEGPRES. La Norma entonces priorizada dio inicio formalmente el 18 de diciembre de 2006 (R. Ex. N° 3403/2006, CONAMA).

En dicha ocasión, se elaboró un Anteproyecto el cual fue sometido a consulta ciudadana, pero el proceso quedó detenido en la elaboración del Análisis Integral del Impacto Económico y Social, debido a problemas metodológicos que presentaban estos estudios. Para cada norma los AGIES eran desarrollados por distintas consultoras, con métodos diferentes generando gran incertidumbre por parte de los tomadores de decisiones.

Sumado a lo anterior, este proceso normativo contó con distintas observaciones establecidas en el proceso de Participación Ciudadana, como insuficientes datos disponibles y que el origen de cerca del 75% de los datos, correspondían a información generada para levantar la línea de base del proyecto Pascua Lama (Tabla 1). Lo anterior, generaba desconfianza en la comunidad y los entes técnicos, básicamente porque no había otra base de datos disponible para comparar en las áreas de vigilancia asociadas a los ríos Estrecho, Toro, Tres Quebradas, Potrerillos y El Carmen.

Tabla 1: Origen de los datos utilizados para elaboración del Anteproyecto de 2008.

Institución	Detalle del monitoreo	Cobertura temporal	Mediciones
Dirección General de Aguas (DGA)	Calidad de aguas superficiales de la DGA en base a estaciones vigentes (Base de datos depurada)	1980-2006	4.201
	Puntual efectuado por Cade-Idepe Consultores	Octubre 2003	36
Comisión Nacional de Riego (CNR)	Calidad de agua de riego en Huasco	Abril, julio y septiembre 2003	1380
Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) de Atacama	Puntual de la calidad de agua de riego del Río Huasco y sus Afluentes	Diciembre 2005	629
Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA)	Puntual de aguas continentales superficiales en la Tercera Región	Noviembre 2003	64
Cía. Minera Nevada Ltda. (CMN-Barrick)	Aguas superficiales de las cuencas del Río Estrecho-Chollay y El Toro-Tres Quebradas	1981-2005	31.123

Otro de los problemas del Anteproyecto del año 2008 fue la falta de información biológica con la cual se fijaron los valores. Así, a pesar de ser una norma secundaria, que tiene como objetivo la conservación del ecosistema, se utilizó, exclusivamente, un criterio estadístico que considerada sólo la data fisicoquímica histórica y no se realizó el análisis del efecto de estos umbrales físico-químicos en la riqueza, abundancia o diversidad de las comunidades biológicas del río.

Además, no se consideró la realización de una Consulta Indígena, a pesar de la gran cantidad de comunidades indígenas presentes en la cuenca, que podrían verse afectadas por este instrumento de gestión ambiental.

Como parte de elaboración del Anteproyecto, en este proceso normativo se definieron 12 áreas de vigilancia, donde se debería monitorear los parámetros a normar, las cuales se ven ejemplificadas en la Figura 4.

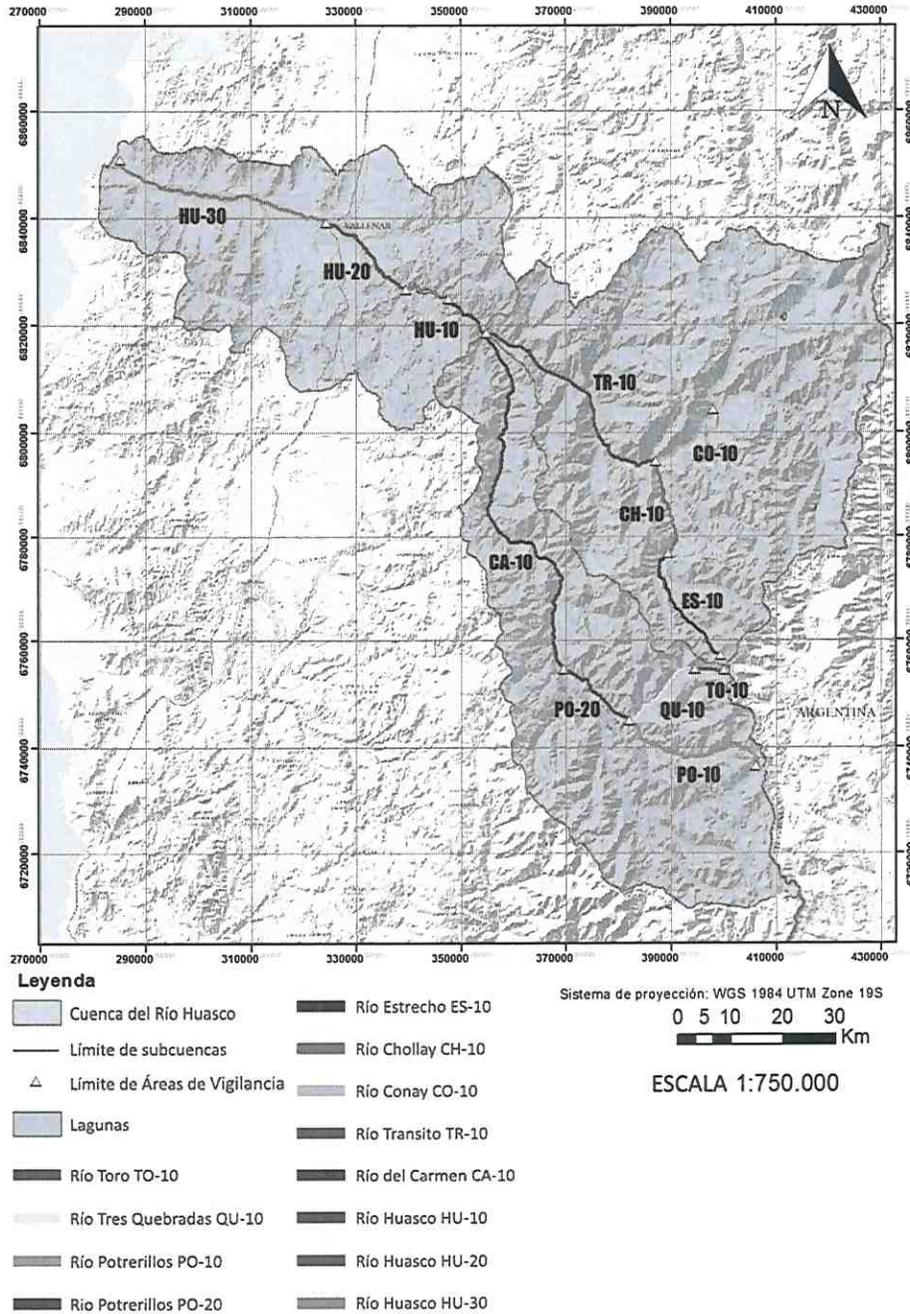


Figura 4: Áreas de vigilancia propuestas en el Anteproyecto de 2008.

En la Tabla 2 se pueden observar también las áreas de vigilancia propuestas y las estaciones de monitoreo a utilizar.

Tabla 2: Áreas de vigilancia propuestas en el Anteproyecto de 2008 y los puntos de monitoreo utilizados como fuentes de información. Estaciones CMN, son pertenecientes a la Compañía Minera Nevada, titular del proyecto Pascua Lama.

Cauce	Áreas de Vigilancia	Estaciones de Monitoreo
Río Huasco	HU-10	Estación DGA 03820002-k
	HU-20	Estación DGA 03823001-8
	HU-30	Estación DGA 03826001-4
Río del Carmen	CA-10	Estación DGA 03815001-4
Río Potrerillos	PO-10	Estación CMN VIT5
	PO-20	Estación CMN VIT3
Río Tres Quebradas	QU-10	Estación CMN VIT4
Río Toro	TO-10	Estación CMN TO3
Río Tránsito	TR-10	Estación DGA 03806001-5
Río Chollay	CH-10	Estación DGA 03803001-9
Río del Estrecho	ES-10	Estación CMN NE4
Río Conay	CO-10	Estación DGA 03802001-3

Respecto a los parámetros a normar, en el proceso normativo de 2006-2008 se seleccionaron 34 parámetros (Tabla 3), destacando la ausencia de datos en varias de las áreas de vigilancia.

Tabla 3: Tabla de parámetros propuestos en el Anteproyecto de 2008.

PARAMETROS	Unidad	HU-10	HU-20	HU-30	CA-10	PO-10	PO-20	QU-10	TO-10	TR-10	CH-10	ES-10	CO-10
<b>FISICOS Y QUIMICOS</b>													
1. Conductividad eléctrica	µS/cm	700	1250	3.380	800	870	600	350	440	610	480	340	520
2. Color aparente	Pt-Co	-	-	-	-	10,0	7,0	10,0	10,0	-	-	5,0	-
3. Oxígeno disuelto	mg/L	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5
4. pH	Rango	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
5. RAS (1)	-	0,7	3,6	4,9	0,6	-	-	-	-	0,7	0,3	-	0,7
6. Sólidos Suspendidos	mg/L	-	-	-	-	32,0	25,0	13,0	10,0	-	-	36,0	-
7. Sólidos Disueltos	mg/L	-	-	-	-	750	510	300	390	-	-	40	-
<b>INORGANICOS</b>													
8. Cloruro	mg/L	20	60	540	20	10	10	20	10	20	10	10	30
9. Cianuro Total	mg/L	-	-	-	-	0,005	0,005	0,005	0,005	-	-	0,1	-
10. Amonio	mg/L	-	-	-	-	0,05	0,15	0,05	0,20	-	-	0,25	-
11. Nitrógeno de Nitritos	mg/L	-	-	-	-	0,004	0,005	0,007	0,005	-	-	0,005	-
12. Nitrógeno de Nitratos	mg/L	0,7	1,0	0,6	0,7	1,2	1,5	1,7	1,8	0,7	0,5	0,8	0,7
13. Sulfato	mg/L	220	350	750	270	380	220	90	160	190	190	150	160
<b>ORGANICOS</b>													
14. Índice de Fenol	mg/L	-	-	-	-	0,002	0,002	0,002	0,002	-	-	0,002	-
15. Detergentes (SAAM)	mg/L	-	-	-	-	0,2	0,2	0,2	0,2	-	-	0,2	-
<b>METALES ESENCIALES</b>													
16. Boro	mg/L	1,25	1,25	1,25	1,25	0,63	0,63	0,63	0,63	1,25	1,25	0,63	1,25
17. Cobre	mg/L	0,03	0,01	0,02	0,02	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,18	0,07
18. Cromo	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,008	0,005	0,005	0,005	0,02	0,02	0,05	0,02
19. Flúor	mg/L	-	-	-	-	0,7	0,4	0,2	0,2	-	-	0,2	-
20. Fósforo	mg/L	-	-	-	-	0,01	0,14	0,04	0,24	-	-	1,00	-
21. Hierro	mg/L	0,8	0,3	0,4	0,6	0,6	1,1	0,8	0,4	0,9	0,8	0,7	1,2
22. Manganeso	mg/L	0,13	0,04	0,07	0,10	1,91	0,81	0,03	0,02	0,15	0,36	2,10	0,20
23. Molibdeno	mg/L	0,02	0,013	0,02	0,013	0,004	0,005	0,007	0,003	0,02	0,02	0,010	0,020
24. Níquel	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,060	0,021	0,025	0,018	0,02	0,02	0,057	0,02
25. Selenio	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,004	0,005	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
26. Sodio	mg/L	30	110	380	30	20	20	20	10	30	10	10	30
27. Zinc	mg/L	0,036	0,02	0,02	0,023	0,29	0,15	0,02	0,05	0,045	0,15	0,93	0,13
<b>METALES NO ESENCIALES</b>													
28. Aluminio	mg/L	1,8	0,5	0,5	1,0	3,0	2,0	0,2	0,1	2,3	2,7	4,0	2,6
29. Arsénico	mg/L	0,006	0,005	0,007	0,008	0,013	0,028	0,042	0,006	0,004	0,006	0,0015	0,010
30. Cadmio	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00155	0,0018	0,0009	0,002	0,02	0,02	0,01	0,02
31. Mercurio	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,002	0,002	0,001	0,002
32. Plomo	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,016	0,013	0,0175	0,007	0,02	0,02	0,05	0,02
<b>MICROBIOLOGICOS</b>													
33. Coliformes fecales (NMP)	NMP/100mL	-	-	-	-	26,0	13,0	23,0	2,0	-	-	2,0	-
34. Coliformes totales (NMP)	NMP/100mL	-	-	-	-	140,0	50,0	240,0	2,0	-	-	2,0	-

Una vez que el Anteproyecto fue sometido a consulta ciudadana y considerando las recomendaciones realizadas a través de ésta, se eliminaron 18 parámetros, por la falta de información en la base de datos en algunos de ellos y por la redundancia con otros parámetros, concluyendo con un listado de 16 parámetros a normar (Tabla 4).

Tabla 4: Parámetros definidos en el Anteproyecto de 2008, posterior a la consulta ciudadana.

PARÁMETROS		Unidad	HU-10	HU-20	HU-30	CA-10	PO-10	PO-20	QU-10	TO-10	TR-10	CH-10	ES-10	CO-10
<b>FÍSICOS Y QUÍMICOS</b>														
1.	Conductividad eléctrica	µS/cm	720	1450	3750	840	950	650	370	450	640	520	390	550
2.	Oxígeno disuelto	mg/L	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5	>7,5
3.	pH	Rango	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
<b>INORGÁNICOS</b>														
4.	Cloruro	mg/L	20	70	650	20	-	-	-	-	20	10	-	30
5.	Nitrógeno de Nitratos	mg/L	0,7	1,1	0,8	0,7	1,2	1,5	1,7	2,1	0,7	0,6	0,7	0,8
6.	Sulfato	mg/L	230	440	980	290	500	250	100	190	190	200	180	170
<b>METALES ESENCIALES</b>														
7.	Cobre	mg/L	0,03	0,02	0,03	0,02	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,05	0,23	0,08
8.	Hierro	mg/L	4,4	0,3	1,4	4,5	3,5	4,8	6,7	0,5	4,3	1,1	1,5	1,3
9.	Manganeso	mg/L	0,54	0,04	0,08	0,33	3,69	1,40	0,17	0,03	0,67	0,49	2,90	0,26
10.	Molibdeno	mg/L	0,05	0,05	0,04	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,05	0,01	0,04
11.	Níquel	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,06	0,05	0,03	0,04	0,02	0,02	0,04	0,02
12.	Sodio	mg/L	30	130	440	30	20	20	20	10	30	20	10	30
13.	Zinc	mg/L	0,84	0,02	0,02	0,06	0,66	0,23	0,07	0,10	0,10	0,22	1,60	0,16
<b>METALES NO ESENCIALES</b>														
14.	Aluminio	mg/L	6,3	0,5	0,7	3,9	10,5	6,0	6,0	0,2	7,9	4,3	8,0	3,9
15.	Arsénico	mg/L	0,008	0,006	0,011	0,010	0,016	0,026	0,042	0,010	0,007	0,006	0,005	0,011
16.	Plomo	mg/L	0,032	0,023	0,020	0,035	0,014	0,015	0,012	0,010	0,030	0,035	0,090	0,028

Finalmente, el listado de parámetros considerado fue el siguiente: Conductividad eléctrica, Oxígeno disuelto, pH, Cloruro, Nitrógeno de nitratos, Sulfato, Cobre, Hierro, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Sodio, Zinc, Aluminio, Arsénico y Plomo (Tabla 4).

## 2. Línea de tiempo revisión norma



Figura 5: Línea de tiempo del proceso normativo de la NSCA del río Huasco.

### III. Metodología de elaboración de la NSCA

La metodología utilizada para el diseño del anteproyecto siguió los lineamientos planteados en la “Guía para la Elaboración de Normas Secundarias de Calidad Ambiental en Aguas Continentales y Marinas 2017”<sup>6</sup>, elaborada por el Ministerio del Medio Ambiente, junto a la Agencia de Cooperación Alemana Deutsche Zusammenarbeit. Las principales etapas del diseño normativo fueron:

#### 1. Análisis Integral de la cuenca a normar

Un análisis integral realizado previamente a la priorización de la presente norma en Primer Programa de Regulación Ambiental 2017-2018 RE. N°177 de 6 de Mayo de 2017, arrojó los siguientes resultados:

-Disponibilidad suficiente de información de calidad de aguas de la cuenca (ver cuadro):

<b>Bases de datos utilizadas en el presente anteproyecto de norma</b>	DGA; RCA Minera Nevada Barrick Chile Ltda.; Proyecto CORFO INIA-MMA (2017-2018); Estudio CENMA-MMA (2016); Base de Datos Junta de Vigilancia Río Huasco; Estudio ANAM-CONAMA (2012), RCA Proyecto Minero El Morro.
<b>Periodo de datos utilizados en el presente anteproyecto de norma</b>	Estación de Control Río Estrecho: 1990-2008 Resto de estaciones de control en la cuenca: 1990-2018
<b>Número total de datos analizados</b>	37.433
<b>Número de parámetros propuestos a regular en el presente anteproyecto de norma</b>	16
<b>Número mínimo de datos para normar en cada punto de control del presente anteproyecto de la norma.</b>	≥12

- Presiones importantes en la cuenca derivados de proyectos y pasivos mineros
- Requerimiento de normativa ambiental por parte de la comunidad (Consejo para la Recuperación Ambiental Social de la Comuna de Huasco - MMA) (medida PRAS B.2.2)
- Necesidad de información complementaria sobre biodiversidad y servicios ecosistémicos de la Cuenca

Lo anterior, llevó a la decisión de la priorización antes mencionada, que se plasmó en la publicación de la RE N° 553 del 22 de julio de 2016, que da nuevo inicio al proceso de elaboración de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental del Río Huasco.

<sup>6</sup> [goo.gl/s5FPb7](http://goo.gl/s5FPb7)

## 2. Selección de Áreas de Vigilancia

De acuerdo con la metodología de referencia para este Anteproyecto (Guía para la Elaboración de Normas secundarias de Calidad Ambiental en Aguas Continentales y Marinas 2017 – MMA 2017), para la delimitación de áreas de vigilancia se consideró un análisis por capas de información, tal como (1) Sub cuencas y tipología, (2) objetos de valoración ecológica y ambiental, junto con los (3) antecedentes de calidad de aguas de la cuenca, se utilizaron como primeras capas de un análisis multi-criterio, dando el mismo peso a cada capa. Seguidamente, se superpusieron otras capas, como las de (4) potenciales fuentes de contaminación (puntual y difusa), (5) información hidrogeológica y (6) usos del suelo. Además, se trabajó activamente en diferentes sesiones del Comité Operativo de la Norma (Expediente electrónico, Actas N° 5<sup>7</sup>, 6<sup>8</sup>, 7<sup>9</sup> y 8<sup>10</sup>), en las cuales los miembros de dicho comité, aportaron desde su conocimiento directo del territorio y las actividades que en ella se realizan, para la definición de las Áreas de Vigilancia.

El detalle de los criterios considerados es el siguiente:

- a) **Tipología:** La cuenca manifiesta un solo tipo de cuerpo lóxico denominado “ríos semiáridos de transición”. No obstante lo anterior, cabe señalar que existe otra zona con una tipología distinta que corresponde al embalse donde se transforma en un cuerpo léntico<sup>11</sup>. A su vez según clasificación de Fuster *et al.* (2010) se evidencian 3 tipos de tipologías de río (6, 7 y 8), es decir, el tramo del río que representan tiene las mismas características desde el punto de vista geomorfológico y edáfico.

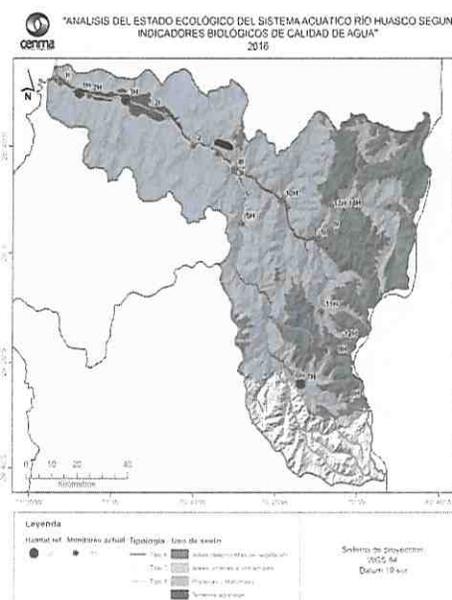


Figura 6. Tipologías en del río Huasco. Fuente: CENMA, 2016, en base a Tipología (Fuster *et al.* (2010)); Usos de suelos (IDE-MMA 2017).

<sup>7</sup> [http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2017/proyectos/1364\\_al\\_1403.pdf](http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2017/proyectos/1364_al_1403.pdf)

<sup>8</sup> <http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2017/proyectos/1416-1460.pdf>

<sup>9</sup> <http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2018/proyectos/1508-1544.pdf>

<sup>10</sup> [http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2018/proyectos/22d\\_1549-1588.pdf](http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2018/proyectos/22d_1549-1588.pdf)

<sup>11</sup> CENMA, 2016. “Análisis del estado ecológico del sistema acuático río Huasco según indicadores biológicos de calidad de agua”.

## b) Subcuencas:

Geomorfológicamente, la cuenca del río Huasco está compuesta por tres subcuencas aportantes: i) Río Tránsito, ii) Río del Carmen y iii) 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.

La subcuenca del río del Tránsito tiene una superficie de 4112 km<sup>2</sup> y debido a la geografía tiene una orientación noreste. Su río principal se forma de la confluencia de los ríos Conay y Chollay, y su longitud total, tomada desde el nacimiento de su subtributario principal hasta la Junta del Carmen, es de 108 km. A su vez el río Conay nace de la confluencia de los ríos Laguna Grande, Laguna chica y río Valeriano, extendiéndose por unos 15 km<sup>12</sup>. Por otra parte, el río Chollay se origina por la confluencia de los ríos Blancos, Estrecho y del Toro, alcanzando una longitud aproximada de 20 km. En toda la extensión del río del Tránsito, tributan los ríos Laguna chica, Arroyo, Yervas buenas, Laguna grande, Valeriano y Chollay, además de las quebradas del Chacay, El Corral, Albaricoque, La Plata, del Amarillo, Pinte, Las Pircas, del Pozo, La Plaza, Chilico, La Mollaca, Paitepén, Chanchoquín y El Tabaco<sup>13</sup>.

La subcuenca Río del Carmen tiene una superficie de 2860 km<sup>2</sup> y se comparte entre las regiones de Atacama y Coquimbo, perteneciendo a esta última los ríos Matancillas, Zancarrón, del Medio y Primero, todos afluentes del río del Carmen. El río Potrerillo y el río Matancilla, ríos principales y de escurrimiento permanente, contribuyen a la formación del río del Carmen en la localidad de Potrerillo. Finalmente, el río del Carmen se extiende por 145 km aguas abajo.

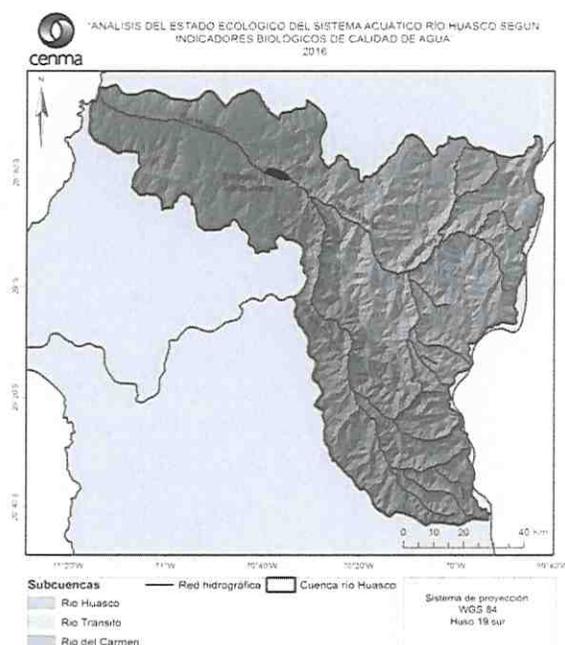


Figura 7. Red hídrica y sub cuencas del río Huasco. (CENMA, 2016, en base a coberturas cartográficas de portal IDE-MMA)

<sup>12</sup> Cade-Idepe 2004

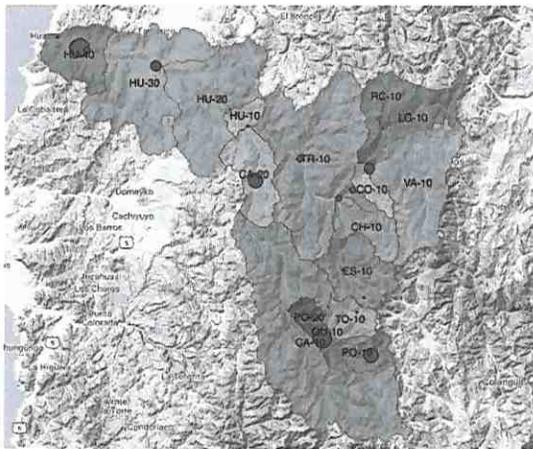
<sup>13</sup> INIA, 2010

- c) **Valor Ecológico de la Cuenca:** Indicadores Índices bióticos, presencia de especies nativas de fauna íctica y localización de Sitios Prioritarios para la conservación de la biodiversidad (ERBD).
- d) **Biodiversidad:** En la cuenca del río Huasco se han realizado diferentes estudios de línea de base ambiental asociados a proyectos mineros, de saneamiento y otros, los que fueron analizados en su componente de Biodiversidad. Adicionalmente, se levantó información biológica mediante estudios del Ministerio del Medio Ambiente y otras fuentes de financiamiento público:

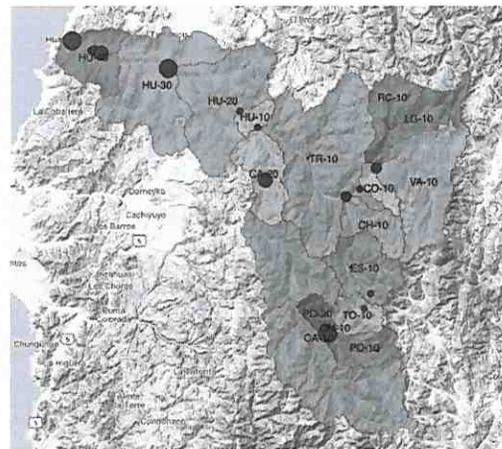
**Índices bióticos:** Estudio “Red de Biomonitorio: Ríos Huasco, Elqui y Mataquito”, BIOMA –MMA (2016) y Proyecto CORFO INNOVA de Bienes Públicos “Análisis integral de calidad de agua, para el aseguramiento de la competitividad del sector social y productivo y la sustentabilidad de los ecosistemas acuáticos, en el marco de la elaboración de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental de las Aguas Superficiales de la Cuenca del Río Huasco” INIA-MMA, (2017-2018). La información biológica recabada y levantada, se centró en análisis de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de la cuenca, dado su reconocido valor como indicadores de calidad del agua y como base para el desarrollo del resto de la cadena trófica. Los resultados de los índices aplicados se muestran en la Figura 6 y destacan el tramo del estuario del río Huasco (HU-40), el sector de Tres Quebradas (QU-10) y el río Toro (TO-10), como aquellos en que se concentraron los más altos índices de biodiversidad.

**Presencia de especies ícticas nativas:** También, se revisó la Base de Datos de especies ícticas nativas del Departamento de Especies del Ministerio del Medio Ambiente, concentrándose principalmente en los registros de **especies nativas** marinas, estuarinas y de agua dulce. Determinándose la presencia de 4 especies de peces nativos presentes en la cuenca (*Galaxias maculatus*; *Basilichthys microlepidodus*, *Thrichomycterus areolatus*, *Cheyrodon pisciculus*) con mayor frecuencia de registro en el área del estuario del Río Huasco o HU-40 (Figura 7).

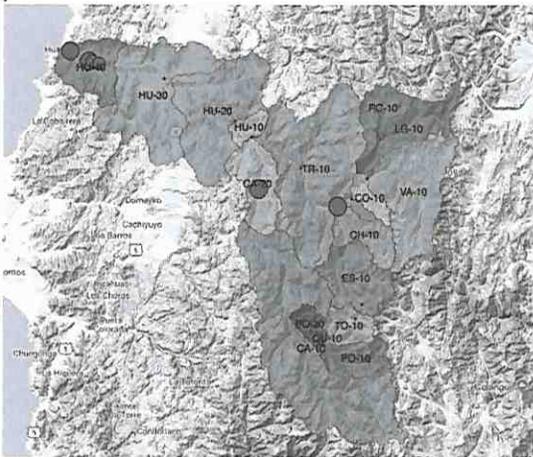
**Sitios Prioritarios:** Además de los índices de biodiversidad y la presencia de especies nativas, en el Valle del Huasco, se han delimitado 8 sitios prioritarios, según la Estrategia y Plan de Acción para la Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad de Atacama (ERBA) 2010 -2017 (Figura 8), destacando el sector del Estuario del Río Huasco (HU-40) y la Reserva los Huascoaltinos (iniciativa de conservación privada), presente en gran parte de la subcuenca del Río El Carmen y asociada, principalmente, a los ríos Cazadero (RC-10), Laguna Grande (LG-10) y río Conay (CO-10).



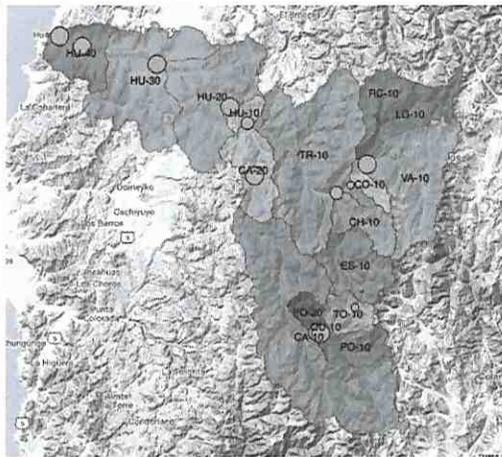
a)



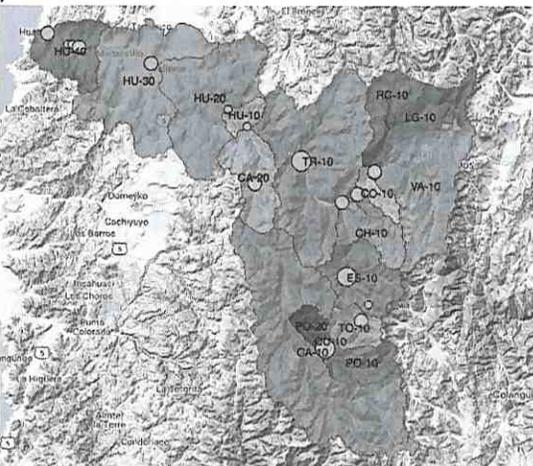
b)



c)



d)



e)

Figura 8: Índices considerados para determinar las estaciones de referencia para la clase 2 en la cuenca del Río Huasco en las distintas Áreas de Vigilancia del presente Anteproyecto (Tabla 2): (a) Índice ETDCH; (b) Índice IBMWP; (c) Índice ICM; (d) Índice IIB; (e) Índice SIGNAL. Cada índice se representa como un círculo coloreado, sobre las distintas áreas de vigilancia. Los valores altos de los índices se representan con un círculo de mayor tamaño, mientras que los menores valores, con un círculo de menor tamaño.



Figura 9: Distribución de especies de peces nativos en la cuenca del Río Huasco en las diferentes Áreas de Vigilancia de la Cuenca (Fuente: Bases de Datos Peces– MMA).

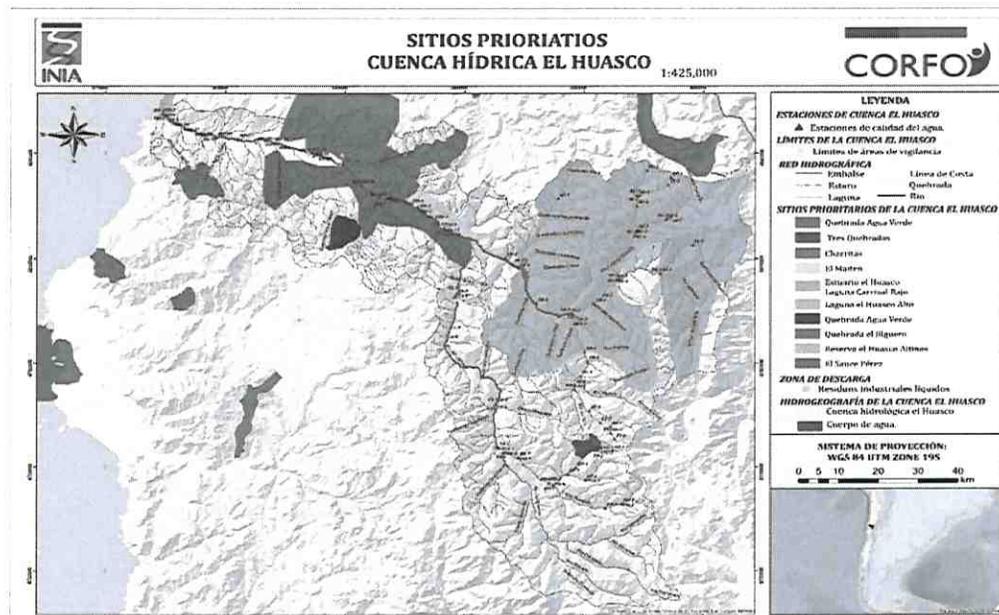


Figura 10: Sitios prioritarios considerados en la Estrategia Regional de Biodiversidad presentes en la cuenca del río Huasco (Fuente: INIA, 2017).

- e) **Data histórica de calidad de aguas en estaciones de monitoreo:** Como en otras normas secundarias de calidad en ríos, previamente elaboradas por el MMA (ríos Biobío, Serrano y Valdivia), las áreas de vigilancia fueron fijadas para ser controladas en un punto hacia el final de éstas. Así, un criterio fundamental en el actual proceso fue la existencia de información histórica de calidad de aguas en el punto de control de la futura norma. En la mayoría de los casos, la información histórica fue obtenida desde el Banco Nacional de Aguas de la DGA<sup>14</sup> y sus estaciones de monitoreo de parámetros fisicoquímicos. En otros casos la información fue generada por estudios llevados a cabo por el Ministerio del Medio Ambiente, entre 2016 y 2018, y sistematizada desde otras fuentes públicas y privadas, las que se detallan en el capítulo III.3.1 de este mismo documento. Adicionalmente, debido a que el actual proceso fue retomado a partir de uno previo (2008), para definir las áreas de vigilancia se tomó en consideración la información del Anteproyecto de 2008. Otro requisito esencial, fue que las áreas estuvieran delimitadas por un nodo georreferenciado en cada extremo, información extraída del Inventario Público de Cuencas Hidrográficas y Lagos de la DGA<sup>15</sup>. La figura 11, muestra la posición y origen de las bases de datos de cada punto de control definido.

El siguiente cuadro resume las características de la información empleada como data histórica:

<b>Bases de datos utilizadas en el presente anteproyecto de norma</b>	DGA; RCA Minera Nevada Barrick Chile Ltda.; Proyecto CORFO INIA-MMA (2017-2018); Estudio CENMA-MMA (2016); Base de Datos Junta de Vigilancia Río Huasco; Estudio ANAM-CONAMA (2012), RCA Proyecto Minero El Morro.
<b>Periodo de datos utilizados en el presente anteproyecto de norma</b>	Estación de Control Río Estrecho: 1990-2008 Resto de estaciones de control en la cuenca: 1990-2018
<b>Número total de datos analizados</b>	37.433
<b>Número mínimo de datos para normar en cada punto de control del presente anteproyecto de la norma.</b>	≥12

En la cuenca existen 6 estaciones de calidad de la Dirección General de Aguas vigentes y cuya data histórica fue suficiente para analizar el comportamiento de la cuenca. Las estaciones con datos históricos se presentaron, principalmente en las zonas media y baja de la cuenca del río Huasco (Figura 11). Estas estaciones fueron priorizadas como puntos de control de las Áreas de Vigilancia HU-20, HU-40, CA-20, TR-10, CH-10 y CO-10, considerando su carácter oficial y cantidad de data histórica existente de calidad de agua. Para las zonas altas de la cuenca se utilizaron estaciones pertenecientes a otras bases de datos, tales como RCAs Compañía Minera Nevada (Pascua Lama), Monitoreos INIA; Universidad de Atacama-CONAMA, ANAM-CONAMA, CENMA y Algoritmos S.A.-MMA (Figura 11).

<sup>14</sup> <http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>

<sup>15</sup> <http://www.arcgis.com/apps/OnePane/basicviewer/index.html?appid=140491cbe86847cab6b18949442393f9>





Figura 12: Análisis Geológico de la Cuenca del Río Huasco según Áreas de Vigilancia Propuestas en el Presente Anteproyecto de norma (Fuente: SERNAGEOMIN, 2018. Elaboración Propia).

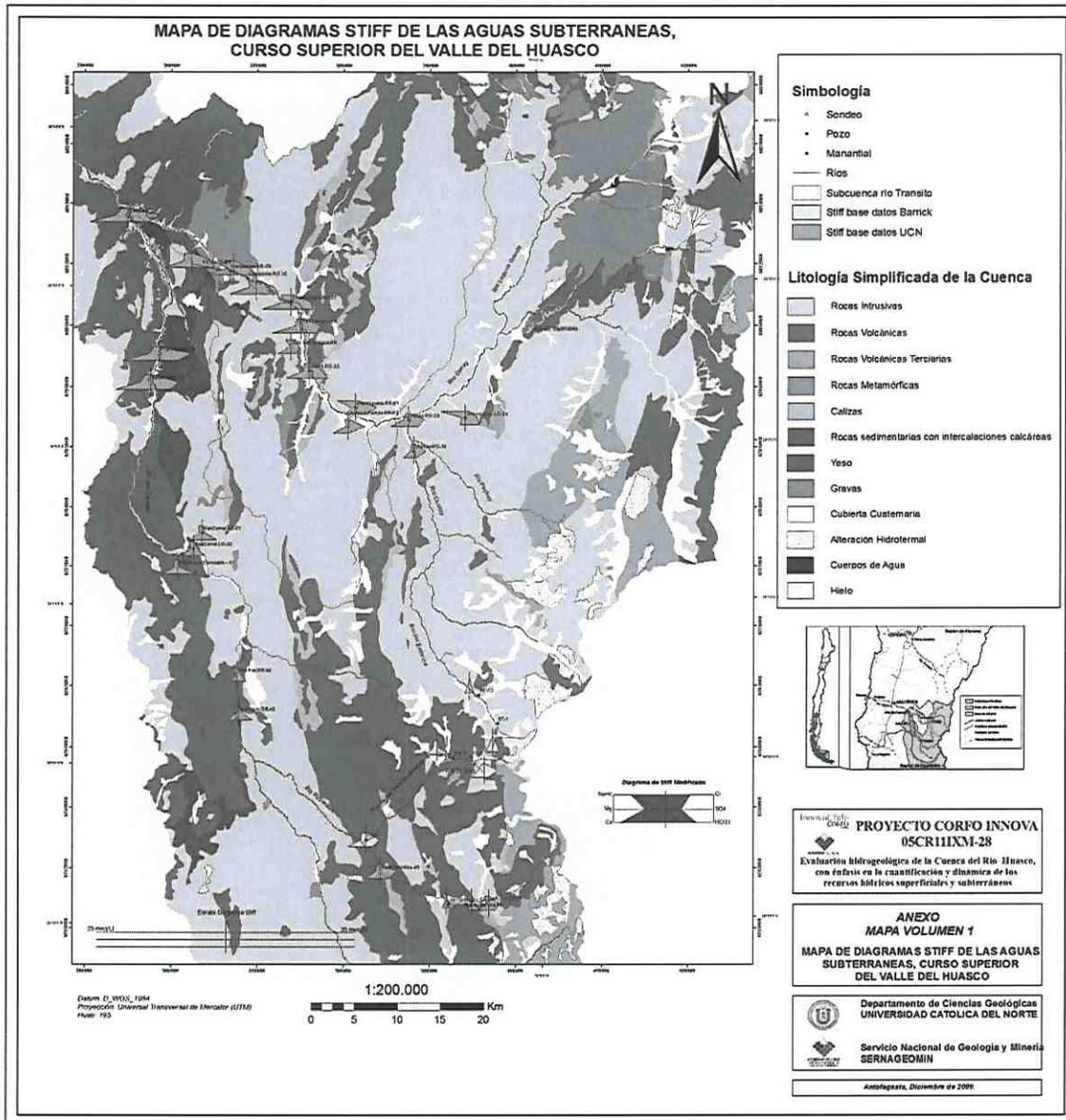


Figura 13: Hidrogeología dominante en la cuenca del Río Huasco más Diagramas de Stiff de la parte alta (Fuente: Universidad Católica del Norte, 2010).



**g) Potenciales Fuentes de emisión antrópica de la cuenca:**

**g.1) Emisiones no relacionadas a la extracción minera**

**g.1.1) Fuentes puntuales:**

Se analizaron las potenciales fuentes de emisión de la cuenca, solicitando información a los Servicios Públicos, integrantes del Comité Operativo y mediante la consulta a diferentes estudios, catastros e inventarios:

- Presentación de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) Atacama al Comité Operativo del presente Anteproyecto (Minuta reunión Comité Operativo 23 de Octubre de 2018).
- Reportes de autocontrol del DS90/00 (RILES descargados en aguas superficiales continentales y marinas) para las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas
- Reportes de autocontrol del DS46/2002 (RILES descargados en aguas subterráneas) para las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas
- Reuniones de subcomité operativo con la Seremi de Medio Ambiente Región de Atacama y Superintendencia de Servicios Sanitarios Región de Atacama (20 de Noviembre de 2018).
- Estudio "Diagnóstico, inventario de emisiones y monitoreo de la calidad de las aguas de la cuenca del río Huasco". Algoritmos-MMA, 2012-2013
- Bases datos de "Catastro de Sitios con Potencial Presencia de Contaminantes del MMA (Región de Atacama)"
- Análisis RCAs N° 24 y 108 de 2017 de Modificación de Tecnologías Plantas de Tratamiento de Aguas de Freirina y Vallenar, respectivamente (SEIA). Al respecto se analiza el cambio tecnológico o procesos de las PTAS y su efecto sobre la calidad de agua del efluente, lo cual se puede ver en su correspondiente expediente de evaluación Ambiental.
- Análisis de la Presencia de Aguas Potables Rurales del Programa de Agua Potable Rural de la DOH-MOP (<http://www.doh.gov.cl/Paginas/default.aspx>)

### g.1.2) Fuente difusas:

- Información de veranadas ganaderas en sector alto de la cuenca, entregada por el Servicio Agrícola y Ganadero Región de Atacama.
- Análisis de Usos del Suelo (INIA, 2010 y 2018). Figuras 15 a-d

Respecto al uso de suelo de la cuenca del río Huasco, la mayoría de los suelos del valle de Huasco y sus afluentes en el curso medio, ocupan una topografía de terrazas planas con pendientes suave y drenaje normal. En general son suelos de espesor mediano a delgado, textura suelta, generalmente franco arenosos, de color pardo en su superficie y textura más pesada en profundidad. En la mayoría de los casos presentan acumulaciones salinas variables profundas en los horizontes de la superficie. La gran mayoría de los suelos presentan perfiles pedregosos y muy pobres en materia orgánica. Los suelos del sector preandino de la cuenca, corresponden en general a suelos xerosoles cálcicos y litosuelos<sup>18</sup>.

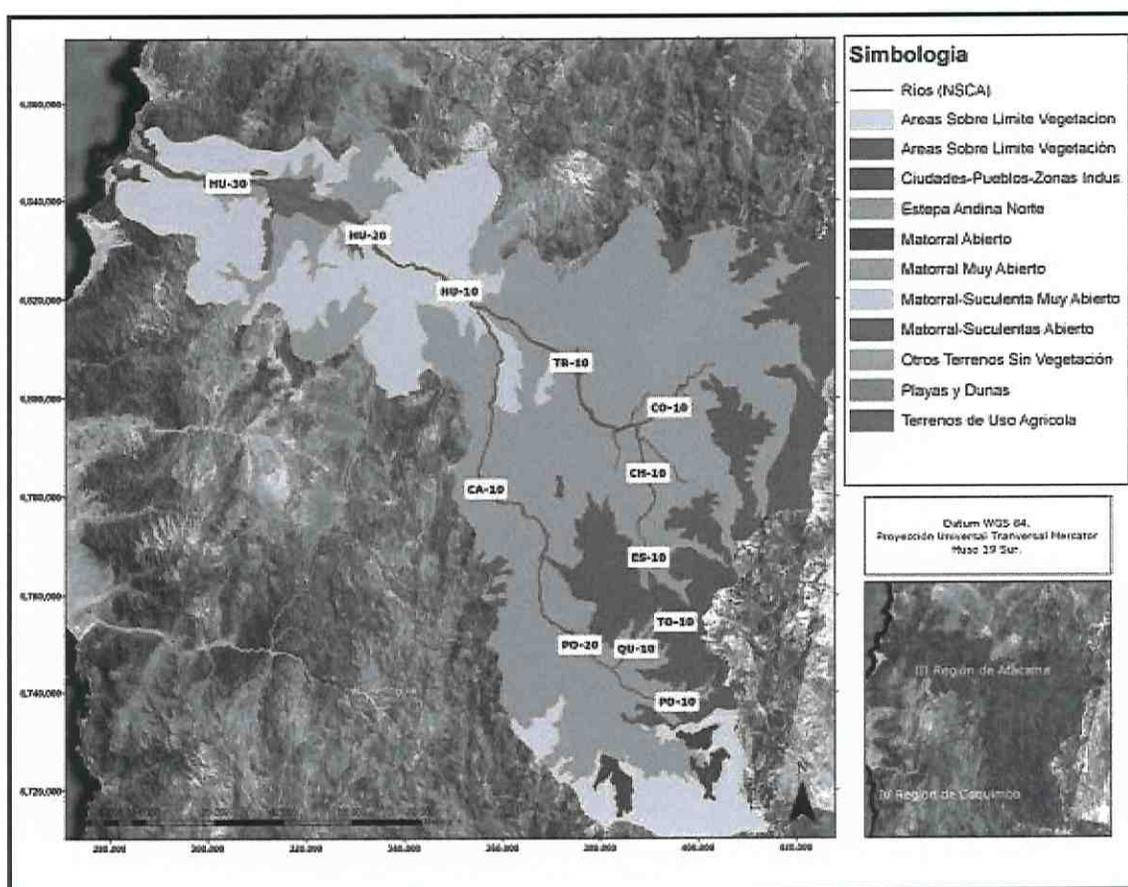


Figura 15 a: Mapa de Uso de Suelo Cuenca del Río Huasco (Fuente: ALGORITMOS-MMA, 2012).

<sup>18</sup> INIA, 2007.



Figura 15 b: Mapa Uso de Suelos Subcuenca Río El Tránsito (Fuente: INIA-MMA 2017)

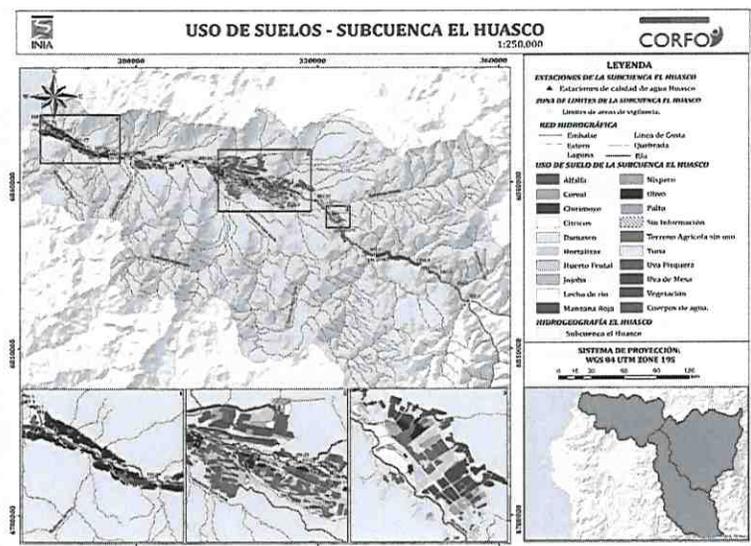


Figura 15 c: Mapa Uso de Suelos Subcuenca Río Huasco (Fuente: INIA-MMA 2017)

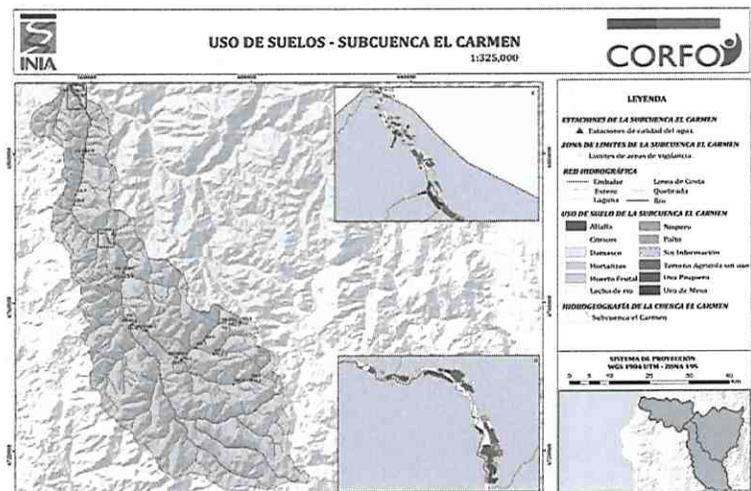


Figura 15 d: Mapa Uso de Suelos Subcuenca Río El Carmen (Fuente: INIA-MMA, 2017)

**g.2) Minería Activa, Pasivos Mineros y proyectos mineros aprobados por el Servicio de Evaluación Impacto Ambiental (SEIA):** En esta cuenca y por tratarse de áreas con gran potencial minero, se realizó un análisis riguroso del emplazamiento territorial de activos y pasivos mineros, así como, de los proyectos en evaluación (SEIA) o aprobados y que pueden comenzar a operar en la cuenca. Lo último fue de especial preocupación del Comité Operativo del presente Anteproyecto de Norma, al momento de definir las áreas de vigilancia y el control de determinados parámetros.

Las fuentes consultadas fueron:

- Bases datos de “Catastro de Sitios con Potencial Presencia de Contaminantes del MMA (Región de Atacama)”. Figura 16.
- Catastro de Depósitos de Relaves Mineros de SERNAGEOMIN (<http://www.sernageomin.cl/datos-publicos-deposito-de-relaves/>)
- Minutas Técnicas generadas en reuniones de subcomité operativo (SERNAGEOMIN-SEREMI Región de Atacama (Expediente norma: Minutas 31 de Agosto de 2018, folio 1976-1977; 28 de Septiembre 2018, folio 1803-1804; 9 de Noviembre de 2018, folio 1862-1863).

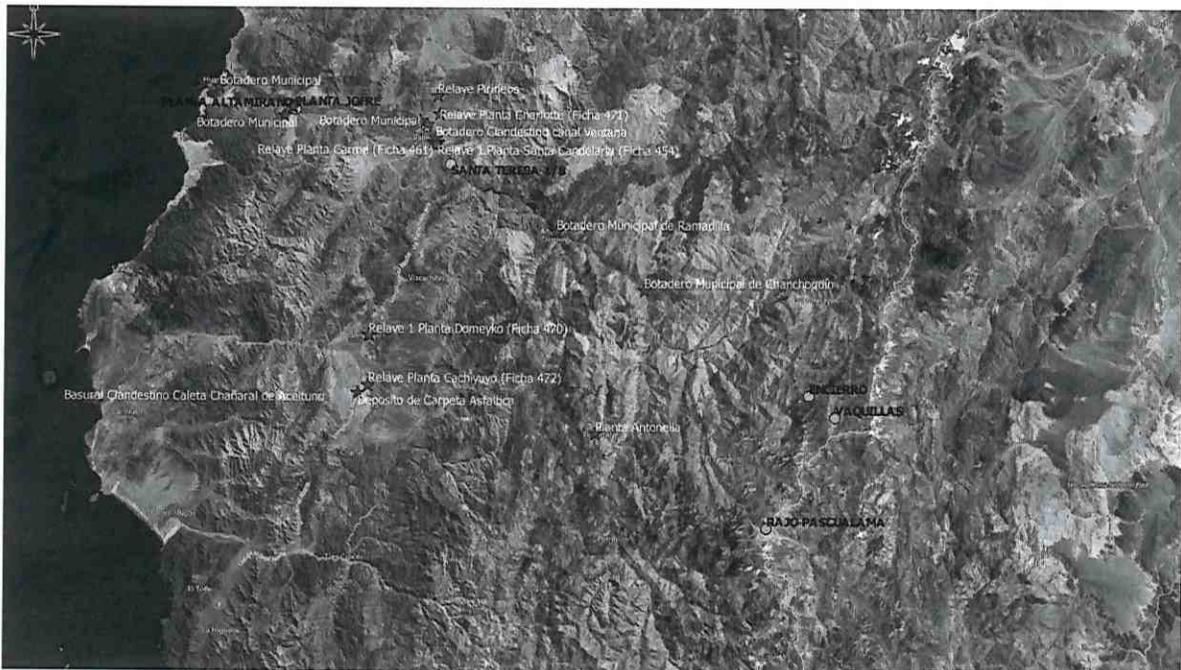


Figura 16: Fuentes de contaminación de origen minero (Fuente: Catastro de Depósitos de Relave SERNAGEOMIN (estrellas rojas) y Catastro de Sitios con Potencial Fuente de Contaminantes-MMA (Círculos azules).

### 3. Resumen de criterios para la definición de Áreas de Vigilancia

La siguiente tabla (Tabla 5), resume los criterios utilizados y decisiones adoptadas, a partir del análisis previo. El análisis antes descrito permitió, definir y proponer en el presente Anteproyecto de norma, las áreas de vigilancia descritas en la Tabla 6, cuyos polígonos se muestran en la Figura 17.

Tabla 5: Resumen criterios definición de Áreas de Vigilancia Anteproyecto NSCA Río Huasco

Área de Vigilancia	Criterio (s)	Decisión según objetivo por Área de Vigilancia.	Fuente de verificación
HU-40, QU-10 y PO-20 RC-10, LG-10, VA-10 CO-10, CH-10 y TR-10	<b>Valor Ecológico:</b> <b>Índices Bióticos Shannon Wiener, ETDCH; IBMWP; ICM; IIB y SIGNAL);</b> <b>presencia de peces endémicos marinos y estuarinos y Sitios Prioritarios u otra figura de protección</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Delimitar un área de vigilancia en los tramos de los ríos y principales tributarios donde se observaron los mayores valores de los índices: Huasco en Desembocadura (HU-40), Río Tres Quebradas (QU-10) y Río Potrerillos (PO-20). Con objeto de mantener la buena calidad de aguas para estas comunidades biológicas allí presentes.</li> <li>2. Separar las áreas de drenaje de CO-10, CH-10 y TR-10, dada la presencia de la Iniciativa Conservación Privada Comunidad Agrícola Huascoaltina</li> <li>3. Se separó un área de vigilancia en Huasco en desembocadura (HU-40), Río Laguna Grande (LG-10) y Río Valeriano (VA-10) con objeto de resguardar la biodiversidad de la zona porque se declara un Sitio Prioritario para la Conservación de la biodiversidad en el año 2009. En el Humedal de desembocadura existe iniciativa de declarar Protección Oficial bajo figura de Santuario de la Naturaleza.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Programa de Biomonitorio MMA, 2016.<sup>19</sup></li> <li>2. Catastro que realizó el Ministerio del Medio Ambiente a través de su Proyecto MMA / GEF-PNUD "Creación de un Sistema Nacional Integral de Áreas Protegidas para Chile: Estructura Financiera y Operacional".</li> <li>3. Resolución Exenta N° 323 de 29 de Diciembre de 2009 de la Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región de Atacama, la cual "Aprueba Estrategia y Plan de Acción para la Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad de Atacama para el período 2010-2017".</li> </ol>
TO-10 y PO-10	<b>Background hidrogeológico</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Delimitar áreas de vigilancia, en función con su red de</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Minutas trabajo subcomités operativos SERNAGEOMIN-</li> </ol>

<sup>19</sup> [goo.gl/i48tgK](http://goo.gl/i48tgK)

		<p>drenaje, en las cuales la geología de la zona es suficientemente distinta a otras zonas. Lo mismo para potenciales fuentes, actividades tradicionales (pastoreo de ganado) y/u objetos de conservación, como la biodiversidad de macroinvertebrados en el río:</p> <p><b>QU:10:</b> Presencia de alteración hidrotermal tipo propilíca</p>	<p>MMA-SEREMI Medio Ambiente Atacama entre (Expediente Norma: Minuta Reuniones 31 de Agosto 2018, 28 de Septiembre 2018 y 8 de Noviembre 2018).</p> <p>Minuta "Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco".</p> <p>Estudio Evaluación hidrogeológica de la Cuenca del Río Huasco, con énfasis en la cuantificación y dinámica de los recursos hídricos superficiales y subterráneos. Proyecto CORFO INNOVA 05CR11IXM-28.</p> <p>Oficio del Servicio Agrícola y Ganadero N°173 del 28 de febrero de 2019, en respuesta a la SEREMI de Medio Ambiente de Atacama respecto de sectores de pastoreo y número de cabezas de ganado controladas por el SAG en la cuenca del río Huasco.</p>
HU-20, CA-20 y HU-30	<p><b>Fuentes de emisiones (no mineras):</b> a) Plantas de Tratamiento de Aguas, Áreas Agrícolas.</p> <p>a) Usos de suelo agrícola a intensivos</p> <p>b) Usos de suelo pecuar</p>	<p>1. Definir áreas para las cuales existiera información histórica en el punto de control y sujetas al efecto de potenciales fuentes de contaminación puntual y difusa.</p> <p>Descargas de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas:</p> <p><b>HU-20:</b> Ciudad de Vallenar (coordenada descarga WGS89_19 324387 E y 6839171 N)</p> <p><b>HU-30:</b> Pueblo Freirina (coordenada de descarga WGS84_19 295066 E y 6845142 N)</p> <p>2. Áreas de uso agrícola de Olivos y Viñas:</p>	<p>1. Trabajo del Comité Operativo SISS: Entrega de documentos RCAs Mejoramiento PTAs Freirina y Vallenar, N°24-2012 y N°108, 2017, respectivamente. Trabajo del Comité Operativo, mapa de uso de suelos.</p> <p>2. Análisis usos del Suelo (INIA, 2010 y 2018).</p> <p>3. Información Comité Operativo Acta Sesión 11<sup>20</sup>.</p>

<sup>20</sup> <http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2018/proyectos/1760-1793.pdf>

	io	<p><b>CA-20: Poblado Carmen Alto.</b></p> <p>3. Actividades pecuarias:</p> <p><b>PO-10:</b> Veranadas por cabreros de la zona</p>	
CA-10, ES-10 y RC-10	<p><b>Minería Activa, Pasivos Mineros y EIA Mineros aprobados por el SEIA (impacto futuro de explotaciones mineras en la cuenca)</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Separar de acuerdo con la red de drenaje en 2 áreas diferentes toda la subcuenca del Río Carmen (solo 1 área de vigilancia en el AP 2008), <b>CA-20</b>, antes caracterizada, y <b>CA-10</b>. Esta última potencialmente influenciada por la actividad minera en su cabecera de las faenas de la Minera El Indio.</li> <li>2. En el caso del Río Estrecho (<b>ES-10</b>), se separó esta área de drenaje, considerando la futura operación del Proyecto Minero Pascua Lama.</li> <li>3. En el Caso de Río Cazaderos (<b>RC-10</b>): Aprobación del Proyecto el Morro (EIA 2013) en su cabecera, que dio paso al proyecto Nueva Unión (aun no entra al SEIA), instó a separar el área de Vigilancia Río Cazadero, cuyo efecto sobre los Río Tránsito y Chollay debe ser evaluado por separado, dada la distribución de fuentes.</li> <li>4. En el caso de <b>HU-30</b>, en esta zona se concentran la mayor cantidad de pasivos mineros huérfanos de la Región, según catastro de Depósitos de Relaves Mineros de SERNAGEOMIN<sup>21</sup></li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Análisis de uso de suelos de la Región. Información, INIA 2018</li> <li>2. Este criterio fue adoptado y sostenido por el Comité Operativo de la norma hasta la fecha de la elaboración del presente documento, independientemente de la operación o no del proyecto minero Pascua Lama. El argumento es que persiste preocupación de la comunidad sobre los efectos de nuevas fuentes en una cuenca muy atractiva para la extracción de diferentes minerales.</li> <li>3. Al igual que con el proyecto minero Pascua Lama, el Comité Operativo decidió, dada la alta presión por emplazar proyectos mineros en la cabecera del Río Cazadero, separar esta área considerando la información del SEIA, información de catastro de Comunidades indígenas (territorio) y del Propio Comité para la Recuperación Ambiental y Social de la Comuna de Huasco (Acta N° 3 del Comité Operativo NSCA Río Huasco 13 de Septiembre de 2018)</li> <li>4. Minutas trabajo subcomités operativos SERNAGEOMIN-MMA-SEREMI Medio Ambiente Atacama entre (Expediente Norma: Minuta Reuniones 31 de Agosto 2018, 28 de Septiembre 2018 y 8 de Noviembre 2018). Bibliografía de Referencia<sup>22</sup></li> </ol>

<sup>21</sup> <http://www.sernageomin.cl/datos-publicos-deposito-de-relaves/>

<sup>6</sup> Depósitos de Relaves Huérfanos en Chile: discusión de soluciones para su cierre, Herrera y Falcón 2018, en elaboración.

Tabla 6: Áreas de vigilancia propuestas, indicando código, cauce, delimitación, estación de monitoreo que se utilizará para el muestreo y coordenadas UTM WGS 84.

N°	Áreas de Vigilancia Propuestas	Cauce	Delimitación de cada área de vigilancia	Código Estaciones Unificadas	Coordenadas UTM WGS 84	
					Norte	Este
1	HU-10	Río Huasco	Desde punto de encuentro del Río Tránsito y Río del Carmen hasta estación DGA Chépica	Estación DGA Chépica 03820002-k	6823906	348477
2	HU-20		Desde estación DGA Chépica hasta estación DGA Panamericana	Estación DGA Panamericana 03823001-8	6838960	324493
3	HU-30		De estación DGA Panamericana hasta estación INIA 03-H	INIA 03-H Nicolasa	6843939	303235
4	HU-40		De estación INIA 03-H hasta estación DGA Huasco Bajo	Estación DGA Huasco Bajo 03826001-4	6848713	286808
5	CA-10	Río Carmen	Desde inicio del Río Carmen hasta estación CMN CA4	Estación CMN CA4	6786630	355570
6	CA-20		Desde estación CMN CA4 hasta intersección de Río Carmen con Río Huasco	Estación DGA Ramadillas 03815001-4	6818346	355150
7	PO-10	Río Potrerillos	Desde inicio del Río Potrerillos hasta estación CMN VIT5	Estación CMN VIT5	6744643	382403
8	PO-20		Desde estación CMN VIT5 hasta final Río Potrerillos	Estación CMN VIT3	6745438	381388
9	QU-10	Río Tres Quebradas	Desde inicio Río Tres Quebradas hasta intersección con Río Potrerillos	Estación CMN VIT4	6744974	382410
10	TO-10	Río del Toro	Desde inicio del Río Toro, hasta inicio Río Tres Quebradas	Estación CMN TO3	6748307	386301
11	TR-10	Río El Tránsito	Desde confluencia del Río Conay y Río Collay hasta intersección con ríos Huasco y Carmen	Estación DGA 03806001-5	6818555	355067
12	CH-10	Río Chollay	Desde inicio del Río Chollay hasta intersección con Río El Tránsito	Estación DGA 03803001-9	6794225	387478
13	ES-10	Río Estrecho	Desde inicio del Río Estrecho hasta inicio del Río Collay	Estación CMN NE4	6769472	389489
14	CO-10	Río Conay	Desde estaciones El Morro RH-7 y RH-8 hasta estación DGA 03802001-3	Estación DGA 03802001-3	6797190	392723

15	VA-10	Río Valeriano	Desde inicio del Río Valeriano (y sus subcuencas) hasta estación El Morro RH-7	Estación El Morro RH-7	6804378	398835
16	LG-10	Río Laguna Grande	Desde estación El Morro LG-10 hasta estación El Morro RH-8	Estación El Morro RH-8	6805171	398824
17	RC-10	Río Cazadero	Desde inicio del Río Cazadero (y subcuencas de éste) hasta estación El Morro LG-10	Estación El Morro LG-10	6818099	403359

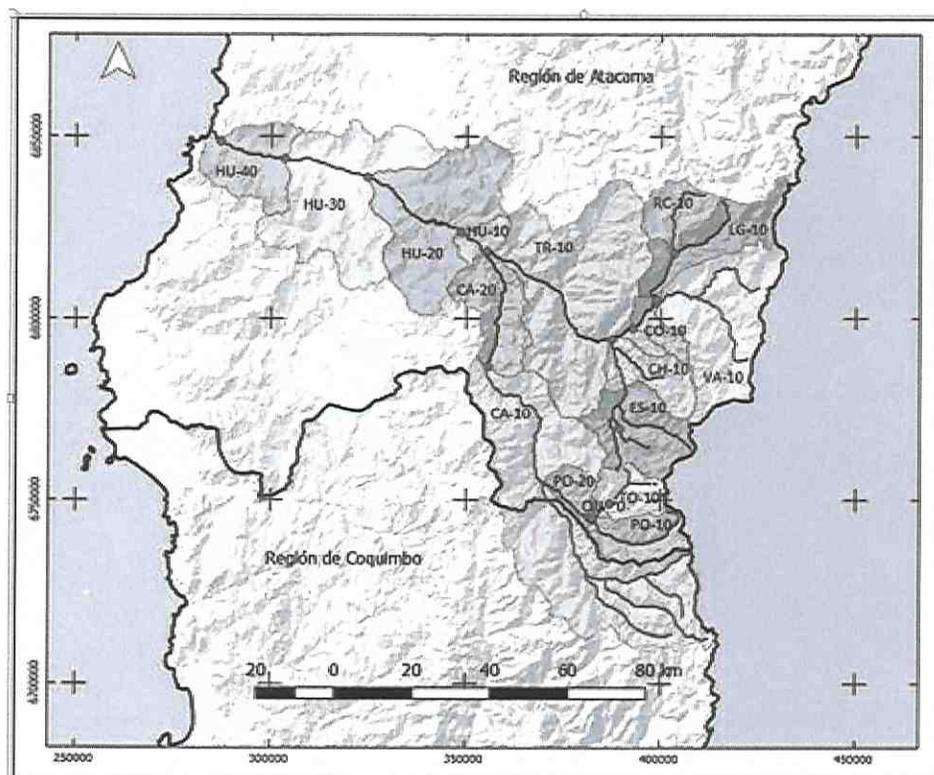


Figura 17: Propuesta de áreas de vigilancia para la cuenca del río Huasco. MMA.

#### 4. Selección de Parámetros

Considerando, todos estos antecedentes que establecen relación entre fuentes y sus potenciales efectos en la contaminación de las aguas superficiales de la cuenca del río Huasco y su biodiversidad asociada, se realizó el análisis para la selección de parámetros a normar. Para la selección de parámetros de la red de control de la norma, se deben considerar los siguientes criterios:

- a) **Calidad del agua (concentraciones ambientales):** se revisó los datos de parámetros fisicoquímicos medidos en la cuenca, privilegiando la información oficial, como la obtenida por la Dirección General de Aguas, en el caso de ríos. Para la selección de los parámetros a incluir en la norma se consideró el efecto de dichos parámetros en el ecosistema: a) parámetros tóxicos (p.e. metales), b) parámetros no tóxicos (p.e. nutrientes) y c) parámetros relacionados a propiedades globales y físicas (p.e. O.D, Conductividad, pH).
- b) **Fuentes emisoras de la cuenca (puntuales y difusas):** Se analizó qué parámetros físico-químicos emitidos por fuentes puntuales y difusas presentes en la cuenca pueden tener un efecto negativo en los ecosistemas acuáticos a proteger. Por ejemplo, el rubro minero, abundante en la cuenca, está asociado a la emisión de metales pesados, como As, Cu, Cd, además de impactar en el pH y la conductividad eléctrica. Los relaves o pasivos mineros, están asociados al drenaje ácido de roca, también relacionado presencia un incremento en la concentración de metales o metaloides en las aguas. También existen emisiones relacionadas con las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas, emisiones difusas por escorrentía de suelos agrícolas y ganaderos, son las fuentes más relevantes.
- c) **Salud del Ecosistema:**
  - c.1) **Indicadores del Estado trófico del Ecosistema:** Se debe considerar la carga de nutrientes, que provocan fenómenos de crecimiento explosivo de algas, macrófitas y bacterias, lo que conlleva a un aumento de la turbiedad, disminuyendo la transparencia del agua, contribuyendo a la eutrofización.
  - c.2) **Efectos ambientales de los parámetros:** Estos impactos pueden afectar a los diferentes niveles del ecosistema, individuos poblaciones o comunidades. Pueden estar directamente relacionados con cambios en el nicho ecológico de las especies, funciones vitales de las mismas o alternación de sus interacciones en condiciones de no contaminación del agua.
- d) **Análisis Estadístico de las Bases de Datos:** De acuerdo con la metodología propuesta para la elaboración de normas (MMA & GIZ, 2017), se trabajó con una base de datos lo más amplia posible (N° de datos, N° de parámetros y periodo de tiempo), para la construcción de la Tabla de Clases de la norma y posterior fijación de valores por parámetro y por AV. La base de datos total trabajada fue el resultado de la consolidación de diferentes datos (Tabla 7).

Tabla 7. Resumen de bases de datos utilizadas en la construcción del presente Anteproyecto de Norma:

Base de Datos	Periodo en que se levantó la Información	Descripción	Áreas de Vigilancia
Dirección General de Aguas	1990-2018	Red Hidrometeorológica de la DGA, Estaciones de Calidad de Aguas.	HU-40, HU-20, TR-10, CO-10, CH-10 y CA-20.
Universidad de Atacama/CONAMA	2009-2010	Caracterización fisicoquímica del río Huasco. Áreas de vigilancia Anteproyecto Norma agua superficial cuenca río Huasco.	HU-10.
Laboratorio ANAM/CONAMA	2012	Caracterización fisicoquímica del río Huasco. Áreas de vigilancia anteproyecto norma agua superficial cuenca río Huasco	HU-10.
CENMA	2016	Estudio monitoreo y actualización de antecedentes técnicos para desarrollar norma secundaria de calidad para la protección de las aguas continentales en la cuenca del río Huasco, Región de Atacama	HU-40, HU-30, HU-20, HU-10, TR-10, CO-10, CH-10, LG-10, CA-20, QU-10.
Algoritmos S.A./MMA	2013	Diagnóstico, inventario de emisiones y monitoreo de la calidad de las aguas de la cuenca del río Huasco.	HU-40, HU-30, HU-20, HU-10, TR-10, CO-10, CH-10, CA-20.
INIA	2006-2009	Proyecto CORFO INNOCA "Desarrollo de un modelo de gestión integral para el resguardo de la calidad del agua en los valles de Huasco, Limarí y Choapa"	HU-40, HU-30, HU-20, HU-10, TR-10, CO-10, CH-10, LG-10, CA-20, QU-10.
INIA	2017-2018	Proyecto CORFO Bienes Públicos "Análisis Integral de la Calidad de las Aguas para el Aseguramiento de la Competitividad del Sector Social y Productivo y la Sustentabilidad de los Ecosistemas Acuáticos, en el marco de la Elaboración de Normas Secundarias de Calidad Ambiental de las Aguas Superficiales de la Cuenca del Río Huasco"	HU-40, HU-30, HU-20, HU-10, TR-10, CO-10, CH-10, LG-10, VA-10, CA-20, CA-10, PO-10, PO-20, QU-10.
UCN/SERNAGEOMÍN	2010	Evaluación hidrogeológica de la cuenca del río Huasco, con énfasis en la cuantificación y dinámica de los recursos	HU-40.

		hídricos superficiales y subterráneos.	
ECOMETRIC	2011	Estudio limnológico en río Huasco para proyecto "Mejoramiento de tratamiento de aguas servidas, freirina" Aguas Chañar S.A.	HU-20.
Junta de Vigilancia del Río Huasco	2009-2010	Aplicación red de monitoreo de calidad de agua en la cuenca del río Huasco y sus afluentes.	HU-40, HU-30, HU-10, CO-10, LG-10, QU-10, RC-10.
Compañía Minera Barrick	1990-2018	Línea de base de calidad de aguas superficiales EIA.  Informe Seguimiento RCA N°39/2001, AV ES-10, PO-20, PO-10, QU-10, TO-10 y CA-10	TR-10, CH-10, ES-10, CA-10, PO-10, PO-20, QU-10, TO-10.
Compañía Minera El Morro	2006-2008	Línea de base de calidad de aguas EIA.	CO-10, CH-10, VA-10, RC-10.

El primer tratamiento estadístico aplicado a esta base de datos de 23.252 datos totales, fue un análisis de varianza para analizar si existían diferencias significativas entre grupos de datos considerando su distinto origen, principalmente la metodología analítica que se utilizó para generarlos. Para ello se aplicó el test de análisis de varianza Kruskal – Wallis (1952)<sup>23</sup> para la comparación de grupos de datos por parámetro y periodo estacional, lo que arrojó un total de 480 pruebas, para las cuales se calculó el porcentaje de éstas en las que hubo diferencias estadísticamente significativas ( $P \geq 0,05$ ) y cuyo resultado se presenta en la Figura 18. Aquí, se muestra que, prácticamente, no hay diferencias significativas entre datos de distinto origen, comparados para una misma variable y AV, según metodología analítica. La mayor diferencia se da entre los datos de metales pesados (11% de las pruebas arrojaron diferencias significativas), lo que resulta marginal desde el punto de vista estadístico. En el Anexo de la presente minuta se pueden encontrar los resultados de la aplicación de estos tests y el detalle de las metodologías analíticas comparadas.

---

23 William H. Kruskal and W. Allen Wallis. Use of ranks in one-criterion variance analysis. Journal of the American Statistical Association 47 (260): 583–621, December 1952.

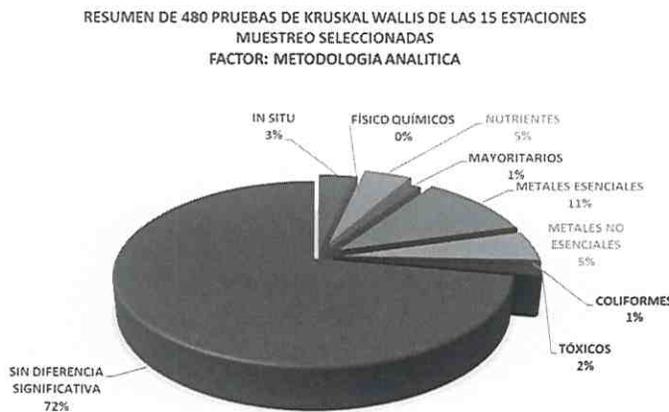


Figura 18: Resumen análisis de varianza para grupos de datos de igual parámetro y área de vigilancia, con distinto tipo de metodología analítica.

Otra de las pruebas realizadas fue el análisis de datos “potencialmente outliers” considerando el criterio de  $\pm 2$  desviaciones estándar<sup>24</sup>. Como resultado, quedaron fuera del análisis, menos de un 5% de los datos.

En base a los 92 parámetros obtenidos en la data histórica utilizada y los criterios de selección antes mencionados, se seleccionaron 16 parámetros a monitorear en la red de control de la norma (Tabla 8), donde además se presenta el rubro al cual está principalmente asociado y el efecto biológico y/o ecológico más importante en ecosistemas fluviales.

La selección de parámetros fue realizada considerando los criterios:

a) “economía de parámetros” (Guía para la elaboración de Normas Secundarias de Calidad Ambiental en Aguas Marinas y Superficiales, MMA, 2017), es decir, evitando la selección de parámetros que representen el mismo efecto ambiental y que se comprobara su correlación estadística significativa con los datos utilizados para normar (por ejemplo, parámetros que pueden considerarse redundantes son conductividad eléctrica, salinidad, sólidos totales disueltos). Además, de los 92 parámetros en la base de datos, se eligieron los que cumplieran con los siguientes criterios adicionales:

- datos para todas o la mayoría de las Áreas de Vigilancia definidas suficientes para establecer clases de calidad.
- un número mínimo de 12 datos, en los últimos 10 años (datos actuales).

Entre los 16 parámetros seleccionados, se cuentan los metales pesados y metaloides (Arsénico), que están directamente asociados a las faenas mineras, a través de la posible generación de

<sup>24</sup> Rousseeuw, P. J., & Croux, C. (1993). Alternatives to the median absolute deviation. *Journal of the American Statistical Association*, 88(424), 1273–1283.

drenaje ácido de roca (DAR). Éstos también fueron considerados en las RCAs de proyectos mineros de la cuenca, entre ellos, el proyecto minero Pascua Lama.

Se seleccionaron parámetros básicos y forzantes, es decir aquellos más relevantes desde el punto de vista de la contaminación de origen humano, que presentan efectos más directos sobre los organismos y de los cuales dependen muchos otros parámetros que se oxidan o reducen y/o concentran o diluyen. Entre ellos está el pH, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto y nutrientes (Integrated Monitoring Guide for SDG 6. UN, 2018).

El pH se seleccionó debido a las potenciales fuentes de contaminación de la cuenca (DAR proveniente de la minería), que pueden modificar esta variable hasta valores letales o subletales para la biota acuática, afectando la toxicidad o biodisponibilidad de otros parámetros, como los metales y nutrientes.

La Conductividad eléctrica y el Sulfato se incluyeron, pues al igual que el pH y los metales pesados, tienen directa relación con las potenciales fuentes de contaminación minera presentes en la cuenca. Sus efectos (aumentos producidos por el DAR), pueden provocar estrés oxidativo, inhibición de la fotosíntesis y alteraciones, tanto metabólicas como físicas, en los organismos y sus hábitats en los ecosistemas acuáticos.

También, se seleccionó Oxígeno disuelto del agua, puesto que el metabolismo de la mayoría de los organismos presentes en la cuenca es aeróbico (fotosíntesis y respiración) y este parámetro regula otros procesos tales como la biodisponibilidad de metales pesados, la liberación de compuestos tóxicos y la proliferación de especies micro-aerófilas o anaeróbicas (microalgas, bacterias y malezas acuáticas), que pueden provocar efectos indeseados en los ecosistemas .

Las emisiones ligadas a la agricultura están relacionadas con los compuestos nitrogenados y fosfatados. Esta propuesta considera incorporar al Nitrato y Fosfato, a ser controlados en la norma, puesto que se cuenta con suficiente información histórica para estas variables en la cuenca.

Asociados al rubro sanitario, agropecuario y a los asentamientos humanos se encuentran los parámetros Amonio y Coliformes totales. Ambos parámetros fueron solicitados ser incorporados en la red de control de este Anteproyecto de norma, por parte del Comité Operativo de la misma. Para el primero se ha documentado un importante impacto sobre las plantas acuáticas que son los productores primarios más importantes en un río y los encargados de la oxigenación de las aguas. En cuanto a los Coliformes totales, su alta correlación con patógenos que pueden afectar a la flora y fauna acuática, y su efecto en la reducción del oxígeno disuelto, fueron la razón de su selección.

Tabla 8: Parámetros propuestos para normar, por su importancia en la cuenca, en relación al rubro al cual se relaciona y el efecto que tienen en los ecosistemas acuáticos.

N°	Parámetro	Rubro	Efecto biológico
1	Cobre Total	Minería y Pasivos Mineros	Estrés oxidativo en comunidades acuáticas y mutaciones genéticas. Inhibición de fotosíntesis.
2	Fierro Total		
3	Aluminio Total		
4	Arsénico Total		
5	Zinc Total		
6	Manganeso Total		
7	Mercurio Total		
8	Cianuro <sup>25</sup>	Minería y Pasivos Mineros	Inhibe respiración celular.
9	pH	Minería y Pasivos Mineros	Aumenta toxicidad de otros parámetros (metales).
10	Conductividad Eléctrica	Minería y Pasivos Mineros, extracción de áridos, agricultura	Alteraciones metabólicas. Problemas en osmorregulación de organismos.
11	Oxígeno Disuelto	Minería y Pasivos Mineros, extracción de áridos, agricultura, Sanitarias, SSR	Alteraciones metabólicas, anoxia. Aumento toxicidad por metales pesados
12	Fosfato	Agricultura y agropecuario	Cambio en la trofia, alteración de estructura comunitaria acuática y anoxia.
13	Sulfato	Minería y Pasivos Mineros, agropecuario	Toxicidad directa y aumento de toxicidad de metales pesados. Inhibición de fotosíntesis.
14	Nitrato	Agricultura y agropecuario	Cambio en la trofia, alteración de estructura comunitaria acuática y anoxia.
15	Amonio	Sanitarias, SSR, asentamientos, agropecuario	A pH altos, se transforma en Amoniaco, muy tóxico para las especies acuáticas.
16	Coliformes Totales	Sanitarias, SSR, asentamientos, agropecuario	Posible presencia de patógenos, anoxia.

<sup>25</sup> Dada la alta toxicidad de este compuesto sobre la biota acuática, su posible paso a través de la cadena trófica al ser humano, así como la presencia de actividad minera activa y pasiva ligada a la extracción de Au en la cuenca se decidió de incorporar este parámetro en el actual anteproyecto de norma.

## 5. Definición de Tabla de Clases

Los valores de tabla de clase se deben determinar sobre la base del impacto de cada parámetro en las especies de los ecosistemas acuáticos. La metodología de elaboración de una Tabla de Clases, ampliamente utilizada en el mundo ya sea a partir de data fisicoquímica como biológica<sup>26</sup>, consideró construcción de cinco clases de calidad, cada una de las cuales corresponde a un rango de concentración, donde el valor señalado en cada clase representa el valor máximo de su rango, mientras que su valor mínimo es dado por el valor de la clase anterior. Los rangos se fijan en base a la mayor cantidad posible de información sobre efectos biológicos, basados en estudios estadísticos robustos, junto a otros antecedentes que tenga relación con el estado del ecosistema para el cual se elaborará la Tabla de Clases.

Para este anteproyecto el análisis sobre efectos biológicos se apoyó, principalmente, en estudios de bioindicadores y no en ensayos ecotoxicológicos. Lo anterior, atendiendo a los resultados obtenidos en estudios realizados en la cuenca, en los cuales los registros de biodiversidad (incluyendo especies nativas) fueron altos en condiciones tenidas como letales para otros ambientes, o para especies estandarizadas (biensayos). Así, se consideró que las especies presentes en algunos sectores de la cuenca del Río Huasco, dada su condición de aislamiento geográfico altitudinal y latitudinal, han generado adaptación a determinadas condiciones ambientales extremas, entre las que se destacan alta concentración de metales pesados y metaloides, como el Arsénico.<sup>27-28</sup>

La definición de cada una de las cinco clases, indicada en la Guía para la elaboración de Normas Secundarias de Calidad Ambiental en Aguas Marinas y Superficiales, MMA, 2017, es la siguiente:

- **Clase 1:** Considerada con una calidad de agua excelente y con escasa perturbación. Es indicadora del estado natural o muy similar al natural de la cuenca, la cual asegura la preservación de las especies más sensibles y su reproducción, además de indicar alta saturación de oxígeno y un estado ultraoligotrófico, apta para fuente de agua potable.
- **Clase 2:** Indicadora de una buena calidad del agua, con un ecosistema moderadamente perturbado, con una óptima protección y conservación del ecosistema acuático, con alta biodiversidad y gran densidad, con buena condición de oxígeno, escasa carga orgánica y un estado oligotrófico.
- **Clase 3:** Indica una calidad regular, con un ecosistema perturbado, el cual tiene una disminución de biodiversidad y tendencia al aumento del estado trófico, con una gran diversidad de peces, pero no apta para peces sensibles, considerado como un estado mesotrófico.
- **Clase 4:** Indicadora de una mala calidad, con un ecosistema altamente perturbado. Condición crítica para el ecosistema acuático, teniendo daños en su estructura y función, con muy pocas especies tolerantes y con alta abundancia, las especies sensibles desaparecen. Concentraciones ambientalmente inaceptables y un estado eutrófico.

---

<sup>26</sup> Water Quality Rating, EPA: <https://www.epa.gov/environmental-topics/water-topics>

<sup>27</sup> Loayza-Muro, R. A., Elías-Letts, R., Marticorena-Ruiz, J. K., Palomino, E. J., Duivenvoorden, J. F., Kraak, M. H., & Admiraal, W. (2010). Metal-induced shifts in benthic macroinvertebrate community composition in Andean high altitude streams. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 29(12), 2761-2768.

<sup>28</sup> Pell, A., Márquez, A., López-Sánchez, J. F., Rubio, R., Barbero, M., Stegen, S., ... & Díaz-Palma, P. (2013). Occurrence of arsenic species in algae and freshwater plants of an extreme arid region in northern Chile, the Loa River Basin. *Chemosphere*, 90(2), 556-564.

- **Clase 5:** Considera una calidad muy mala, con un ecosistema fuertemente perturbado y con grandes cargas de contaminantes, donde se esperan intoxicaciones, aparición de cianobacterias tóxicas, ausencia de peces, pérdida importante de biodiversidad, muy poca oxigenación del agua, con alta turbiedad y un estado hipertrófico.

Para realizar el análisis de tabla de clase, se utilizó la data histórica de la cuenca, en el rango de año de 1990-2018 (con excepción del AV en el Río Estrecho como será explicado más adelante), los criterios utilizados para trabajar estadísticamente los datos se pueden observar en la tabla N° 9.

Tabla N° 9: Criterios de construcción de clases de calidad por parámetro normado.

Parámetro	Valor y criterio Minuta Técnica 2019	Observaciones
pH (Unidad de pH)	6,0 -9,6  Rango obtenido con la data histórica de la cuenca. El rango menos, se obtuvo con el Percentil 5 de los datos, mientras que el rango mayor, con el Percentil 95 de los datos.	Si bien el rango mayor es un poco elevado, desde el valor neutro, se justifica en relación a los datos obtenidos y considerando que lo riesgoso para los ecosistemas acuático, en relación a los metales que puede haber presentes, son los valores más ácidos.
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (uS/cm)	<b>C1=</b> 475. Valor estadístico mediana (P50) de los P05 de todas las AV. <b>C2=</b> 528. Valor estadístico P50 de data histórica de HU-40, TO-10 y QU-10. <b>C3=</b> 833. Valor promedio entre C2 y C4. <b>C4=</b> 1137. Valor estadístico mediana (P50) de los P95 de todas las AV.	C2 se obtuvo con las AV que presentaron mayores índices de biodiversidad.
OXÍGENO DISUELTO (mg/L)	<b>C1=</b> 13,8. Valor estadístico mediana (P50) de los P95 de todas las AV. <b>C2=</b> 10,4. Valor estadístico P50 de data histórica de HU-40, TO-10 y QU-10. <b>C3=</b> 7,9. Valor promedio entre C2 y C4. <b>C4=</b> 5,4. Valor estadístico mediana (P50) de los P05 de todas las AV.	C2 se obtuvo con las AV que presentaron mayores índices de biodiversidad.
SULFATO (mg/L)	<b>C1=</b> 135. Valor estadístico mediana (P50) de los P05 de todas las AV. <b>C2=</b> 189. Valor estadístico P50 de data histórica de HU-40, TO-10 y QU-10. <b>C3=</b> 283. Valor promedio entre C2 y C4.	C2 se obtuvo con las AV que presentaron mayores índices de biodiversidad.

	<b>C4= 376.</b> Valor estadístico mediana (P50) de los P95 de todas las AV.	
FOSFATO (mg/L)	<b>C1= 0,003.</b> Valor estadístico mediana (P50) de los P05 de todas las AV. <b>C2= 0,06.</b> Valor estadístico P50 de data histórica de HU-40, TO-10 y QU-10. <b>C3= 0,5.</b> Valor promedio entre C2 y C4. <b>C4= 1.</b> Valor estadístico mediana (P50) de los P95 de todas las AV.	C2 se obtuvo con las AV que presentaron mayores índices de biodiversidad.
AMONIO (mg/L)	<b>C1= 0,01.</b> Valor estadístico mediana (P50) de los P05 de todas las AV. <b>C2= 0,03.</b> Valor estadístico P50 de data histórica de HU-40, TO-10 y QU-10. <b>C3= 0,2.</b> Valor promedio entre C2 y C4. <b>C4=0,3.</b> Valor estadístico mediana (P50) de los P95 de todas las AV.	C2 se obtuvo con las AV que presentaron mayores índices de biodiversidad.
NITRATO (mg/L)	<b>C1= 0,21.</b> Valor estadístico mediana (P50) de los P05 de todas las AV. <b>C2= 1,74.</b> Valor estadístico P50 de data histórica de HU-40, TO-10 y QU-10. <b>C3=3,8.</b> Valor promedio entre C2 y C4. <b>C4= 6.</b> Valor estadístico mediana (P50) de los P95 de todas las AV.	C2 se obtuvo con las AV que presentaron mayores índices de biodiversidad.
COBRE TOTAL (mg/L)	<b>C1= 0,002.</b> Valor estadístico mediana (P50) de los P05 de todas las AV. <b>C2= 0,01.</b> Valor estadístico P50 de data histórica de HU-40, TO-10 y QU-10. <b>C3= 0,05.</b> Valor promedio entre C2 y C4. <b>C4= 0,09.</b> Valor estadístico mediana (P50) de los P95 de todas las AV.	C2 se obtuvo con las AV que presentaron mayores índices de biodiversidad.
ZINC TOTAL (mg/L)	<b>C1= 0,005.</b> Valor estadístico mediana (P50) de los P05 de todas las AV. <b>C2= 0,02.</b> Valor estadístico P50 de data histórica de HU-40, TO-10 y QU-10.	C2 se obtuvo con las AV que presentaron mayores índices de biodiversidad.

	<p><b>C3= 0,2.</b> Valor promedio entre C2 y C4.</p> <p><b>C4= 0,4.</b> Valor estadístico mediana (P50) de los P95 de todas las AV.</p>	
HIERRO TOTAL (mg/L)	<p><b>C1= 0,02.</b> Valor estadístico mediana (P50) de los P05 de todas las AV.</p> <p><b>C2= 0,16.</b> Valor estadístico P50 de data histórica de HU-40, TO-10 y QU-10.</p> <p><b>C3= 2.</b> Valor promedio entre C2 y C4.</p> <p><b>C4= 3,8.</b> Valor estadístico mediana (P50) de los P95 de todas las AV.</p>	C2 se obtuvo con las AV que presentaron mayores índices de biodiversidad.
MANGANESO TOTAL (mg/L)	<p><b>C1= 0,01.</b> Valor estadístico mediana (P50) de los P05 de todas las AV.</p> <p><b>C2= 0,06.</b> Valor estadístico P50 de data histórica de HU-40, TO-10 y QU-10.</p> <p><b>C3= 0,6.</b> Valor promedio entre C2 y C4.</p> <p><b>C4= 1,2.</b> Valor estadístico mediana (P50) de los P95 de todas las AV.</p>	C2 se obtuvo con las AV que presentaron mayores índices de biodiversidad.
ALUMINIO TOTAL (mg/L)	<p><b>C1= 0,03.</b> Valor estadístico mediana (P50) de los P05 de todas las AV.</p> <p><b>C2= 0,3.</b> Valor estadístico P50 de data histórica de HU-40, TO-10 y QU-10.</p> <p><b>C3= 2,9.</b> Valor promedio entre C2 y C4.</p> <p><b>C4= 5,4.</b> Valor estadístico mediana (P50) de los P95 de todas las AV.</p>	C2 se obtuvo con las AV que presentaron mayores índices de biodiversidad.
ARSÉNICO TOTAL (mg/L)	<p><b>C1= 0,001.</b> Valor estadístico mediana (P50) de los P05 de todas las AV.</p> <p><b>C2= 0,004.</b> Valor estadístico P50 de data histórica de HU-40.</p> <p><b>C3= 0,009.</b> Valor promedio entre C2 y C4.</p> <p><b>C4= 0,01.</b> Valor estadístico mediana (P50) de los P95 de todas las AV.</p>	Para obtener C2 se consideraron sólo los valores de HU-40, puesto que en TO-10 y QU-10 los valores de As total, eran considerablemente altos, a pesar de su alta biodiversidad y en relación a las otras AV.
MERCURIO TOTAL (mg/L)	<p>0,001</p> <p>Valor obtenido de la NCh 409, de calidad de agua potable.</p>	Se utilizó normativa de referencia porque los valores históricos eran límites de detección.
CIANURO TOTAL	0,05	Se utilizó normativa de referencia porque los



En cuanto a la clase 2 de esta Tabla, esta se obtuvo identificando aquellas AV que presentaron características ecológicas relevantes, es decir, sectores de la cuenca en que los indicadores de biodiversidad fueron más altos (medidos como diversidad y calidad del agua), hubo presencia de especies nativas y/o sitios en alguna categoría de protección ambiental. Esta información se obtuvo a partir de estudios de bioindicadores de la cuenca "Programa de Bioindicadores 2016"<sup>[1]</sup> y otras capas de información biológica, tales como la Planilla de Registros Darwin Core, administrada por el Departamento de Especies MMA, especialmente para peces en la cuenca del Huasco.

Se analizó en conjunto la distribución de los índices biológicos en el territorio, y a partir de los valores más altos se determinó cuales son las áreas de vigilancia que presentan mejores condiciones para el desarrollo de la biota (Figura 6). Los índices analizados, aplicados a comunidades de macroinvertebrados bentónicos, fueron los de Diversidad de Shannon-Wiener e índices de calidad ETDCH; IBMWP; ICM; IIB y SIGNAL. El cálculo estadístico para la Clase 2 fue el P50 de las estaciones con mejores índices biológicos de calidad y biodiversidad.

Así, se determinó que las áreas de vigilancia de referencia para la clase 2 serían HU-40 (Huasco bajo), QU-10 (río Tres Quebradas) y TO-10 (río Toro).

En cuanto a la clases 3, representante de un ecosistema bastante perturbado esta se obtuvo del promedio de las clases 2 y 4, fijadas como se describió anteriormente. Finalmente, todos los valores por encima de los valores de la clase 4, corresponderán a clase 5, condición caracterizada teóricamente como aquella de un ecosistema muy perturbado, con mínima biodiversidad nativa y predominancia de especies exóticas.

#### a) **Determinación de rango de pH:**

Considerando las características de la escala de pH y sus efectos biológicos, se determinó un rango para esta variable, dentro del cual las especies se pueden desarrollar sin efectos secundarios y donde se asegura que no habrá movilización de metales por causas de cambios en el equilibrio REDOX de las aguas. Para determinar estos valores -mínimo y máximo- se utilizó la data histórica, por área de vigilancia. Estadísticamente, se obtuvo el percentil 05 de toda la data histórica para el rango inferior, y el percentil 95 para el rango superior. El rango obtenido fue pH 6,0-9,3 que, como se menciona más arriba, resultó acorde a la protección del ecosistema acuático, como objetivo de la norma.

#### b) **Límites de detección para metodologías analíticas:**

Para el caso de los parámetros Mercurio (Hg) y Cianuro (CN<sup>-</sup>), muchos de los valores trabajados en la data histórica, representaban los límites de detección de la técnica. En estos casos y debido a la importancia de estos parámetros en la cuenca, asociado principalmente a faenas de trapicheo (Técnica tradicional de obtención de oro) abandonadas y a la toxicidad que tienen en los ecosistemas, se propuso fijar como valor único el utilizando en la norma chilena de calidad de agua potable (NCh 409) , que establece para el Hg un valor de 0,001 mg/L, mientras que para el CN<sup>-</sup> un valor de 0,05 mg/L.

[1] [http://catalogador.mma.gob.cl:8080/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=3933901c-993d-40df-9829-68ade4bd89c0&fname=INFORME\\_FINAL\\_BIOMONITOREO.docx&access=public](http://catalogador.mma.gob.cl:8080/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=3933901c-993d-40df-9829-68ade4bd89c0&fname=INFORME_FINAL_BIOMONITOREO.docx&access=public)

Con todo, la tabla de clases propuesta en este Anteproyecto de Norma, específica para las aguas superficiales del Río Huasco, con los valores máximos por cada categoría de calidad para cada parámetro y área de vigilancia, y elaborada a partir de la estadística de la data histórica, tolerancia de las especies y normas internacionales<sup>29</sup>, es la que sigue (Tabla 11):

Tabla 11: Tabla de clase propuesta para la Norma de Calidad de Agua del río Huasco.

Parámetro	Unidad	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3	CLASE 4	CLASE 5
pH	Unid. de pH	6,0 - 9,6				
Conductividad eléctrica	uS/cm	475	528	833	1137	>1137
Oxígeno disuelto	mg/L	13,8	10,4	7,9	5,4	>5,4
Sulfato	mg/L	135	189	283	376	>376
Fosfato	mg/L	0,003	0,06	0,5	1	>1
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	0,01	0,03	0,2	0,3	>0,3
NO <sub>3</sub>	mg/L	0,21	1,74	3,8	6	>6
Cu	mg/L	0,002	0,01	0,05	0,09	>0,09
Zn	mg/L	0,005	0,02	0,2	0,4	>0,4
Fe	mg/L	0,02	0,16	2	3,8	>3,8
Mn	mg/L	0,01	0,06	0,6	1,2	>1,2
Hg	mg/L	0,001				
Al	mg/L	0,03	0,3	2,9	5,4	>5,4
As	mg/L	0,001	0,004	0,009	0,01	>0,01
Coliformes totales	NMP/100mL	2	25	738	1452	>1452
CN <sup>-</sup>	mg/L	0,05				

## 6. Análisis del Estado Actual

El estado actual de la cuenca, 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. Lo anterior, simula el criterio de cumplimiento propuesto para la presente norma una vez que entre en vigencia que indica que “el 85% de los datos ordenados de mayor a menor, medidos en tres años, con una frecuencia de cuatro veces por año, debe cumplir el valor norma establecido”. Asimismo, este criterio corresponde al criterio

<sup>29</sup> Se utilizó como normativa de referencia la norma australiana-neozeolandesa “The Australian and New Zealand Environment and Conservation Council (ANZECC 2000 Maintenance of Ecosystems), para parámetros normados, considerando similitudes climatológicas y biogeográficas con los ríos de Chile. Se

utilizado para valorar los cumplimientos dentro del Análisis General de Impacto Económico y Social de su anteproyecto.

En la Tabla 12 se muestra la aplicación de la Tabla de Clases en la Tabla de Estado Actual versión 1, en la que los códigos de colores representan la clase de calidad en la que quedarían cada combinación de parámetro/área de vigilancia. Azul = clase 1; verde = clase 2; amarillo = clase 3; naranja = clase 4; rojo = clase 5.

Tabla 12: Evaluación del Estado Actual, de acuerdo al Anteproyecto de NSCA, presentado en el presente documento.

Parámetro	Unidad	Huasco				El Tránsito						El Carmen						
		HU-40	HU-30	HU-20	HU-10	VA-10	TR-10	RC-10	LG-10	ES-10	CO-10	CH-10	TO-10	QU-10	PO-20	PO-10	CA-20	CA-10
pH	U. de pH	9,57	8,83	9,54	8,4	8,1	9,4	8,8	9,1	7,6	9,2	8,6	7,8	8,1	8,0	8,1	8,2	8,1
CE	uS/cm		2537	1603	889	611	879	341	315	430	821	621	630	427	681	1039	967	855
Oxígeno disuelto	mg/L	11,23	13,65	10,13	9,3	9,2	9,1		9,5	16,3	8,8	8,3	16,5	17,2	16,4	16,3	9,2	16,3
Sulfato	mg/L		707	502	329	209	269	53	74	186	217	228	467	115	247	547	369	332
Fosfato	mg/L	0,04	1,00	0,05	0,02	0,02	0,01		0,3		0,01	0,01		0,1	0,01	0,00	0,0	0,01
NH4+	mg/L	0,79	0,05	0,01	0,10	0,11	0,87	0,07	0,08		0,02	0,85		0,02	0,09	0,14	0,03	0,10
NO3	mg/L	0,44	3,40	0,52	3,4	2,1	2,3	1,8	1,3	2,6	0,5	1,2	14	14	11,4	2,9	1,2	2,3
Cu	mg/L	0,03	0,01	0,02	0,02	0,1	0,05	0,01	0,03	0,1	0,11	0,06	0,01	0,10	0,01	0,01	0,03	0,01
Zn	mg/L	0,02	0,03	0,04	0,07	0,28	0,21	0,03	0,07	0,63	0,29	0,22	0,01	0,14	0,08	0,29	0,12	0,0
Fe	mg/L	0,12	0,22	0,48	0,27	1,11	12,14	0,06	0,30	0,90	6,21	3,69	0,08	0,33	0,3	0,15	12,4	0,71
Mn	mg/L	0,06	0,03	0,07	0,13	0,43	0,9	0,01	0,05	1,6	0,68	0,85	0,01	0,08	0,56	1,5	0,88	0,16
Hg	mg/L	0,002	0,001	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	mg/L	0,37	0,10	0,40	0,7	3,1	5,5	0,5	0,09	3,2	3,2	4,5	0,1	0,2	0,9	0,5	0,5	0,9
As	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,006	0,001	0,002	0,002	0,01	0,005	0,004	0,05	0,03	0,00	0,01	0,01
Coliformes totales	NMP/100m L	1123	1660	285	914	11	891	25	275	1	33	106	89	2550	871	640	105	1055
CN-	mg/L	0,02	0,03	0,001	0,019	0,020	0,020	0,020	0,020	0,003	0,011	0,020	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,003

Al analizar los porcentajes de cumplimiento de la norma, medidos como combinaciones Parámetro/Área de Vigilancia, en este escenario potencial (como si la norma se evaluara con datos de entre 2015 y 2017, con 12 datos por cada combinación Parámetro / Área de Vigilancia), se obtiene el comportamiento de cumplimiento presentado en la Figura 19-A. Si se considera que las tres primeras clases (1, 2, y 3) representan condiciones aceptables para la calidad del agua en la cuenca y para el bienestar del ecosistema, se aprecia que la mayoría de los datos se agrupa en estas tres clases. Por otra parte, evaluado el cumplimiento total del grupo de combinaciones analizadas, éste alcanzaría a un 77% de las mismas. Los “blancos” representan combinaciones para las cuales no hubo suficiente data histórica que diera robustez estadística, por lo tanto, la decisión fue que en tales casos que no se puede normar. No obstante lo anterior, estos parámetros en estos puntos de control, serán incluidos en la Red de Observación de la norma presentada en el Anexo de este documento.

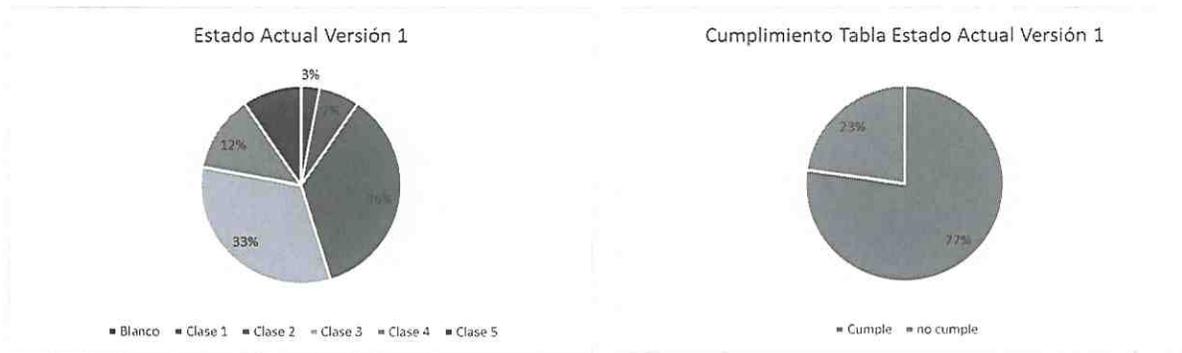


Figura 19-A: Distribución de combinaciones parámetro/Área de Vigilancia, en la Versión 1 de la Evaluación del Estado Actual del Anteproyecto de NSCA del Río Huasco.

Figura 19-B: Evaluación del cumplimiento de la norma, para las combinaciones parámetro/Área de Vigilancia, en la Versión 1 de la Evaluación del Estado Actual del Anteproyecto de NSCA del Río Huasco

El paso siguiente en la Evaluación del Estado Actual de la Cuenca, fue analizar aquellas combinaciones Parámetros/Área de vigilancia, para las cuales las clases resultantes fueron 4 y 5 (Tabla 13), es decir una mala condición de la calidad del agua para los fines de la presente norma. Se analizó un total de 58 de estas combinaciones. Lo anterior, considerando dos escenarios, que dichos valores elevados (con excepción del parámetro Oxígeno Disuelto) se den de manera natural, debido a condiciones geológicas, hidrológicas o ecológicas locales, o que por el contrario, estos valores no correspondan al background natural de la cuenca y entonces exista espacio para la mejora en calidad dadas condiciones de contaminación antrópica. Cabe mencionar que respecto del oxígeno disuelto, la condición de la cuenca completa fue buena.

Tabla 13: Casos de incumplimiento normativo en la de la Evaluación del Estado Actual.

Parámetro	Unidad	Huasco				El Tránsito					El Camen							
		HU-40	HU-30	HU-20	HU-10	VA-10	TR-10	RC-10	LG-10	ES-10	CO-10	CH-10	TO-10	GU-10	PO-20	PO-10	CA-20	CA-10
pH	U de pH																	
CE	uS/cm		1527	1673	895		372									1925	267	855
Oxígeno disuelto	mg/L																	
Sulfato	mg/L		187	592	325							257				541	303	332
Fosfato	mg/L		1,00															
NH4+	mg/L	0,13					0,07										0,14	
NOS	mg/L																	2,9
Cu	mg/L						0,1	0,05		0,1	0,11	0,06		0,10				
Zn	mg/L						0,25			0,03	0,25					0,25		
Fe	mg/L							12,14			0,21	2,63						12,4
Mn	mg/L							0,2		1,6	0,08	0,05					1,1	0,08
Hg	mg/L																	
Al	mg/L						3,1	3,8										
As	mg/L				0,01	0,01				3,2	3,2	4,5						
Coliformes totales	NMP/100mL	1123	1503		514		951							1353	871			1055
CN-	mg/L																	

La metodología para abordar este análisis se basó en información oficial entregada mediante ORDs. de distintos Servicios Públicos representantes del Comité Operativo de la Norma (Ord. N°3653 de 28 de Mayo de 2018 SERNAGEOMIN Región Atacama; Ord. N°1404 de 18 de junio de 2018, SEREMI de Salud Atacama; Ord. N° 7893 de 13 de noviembre de 2018, SISS Atacama), búsquedas bibliográficas del equipo técnico de trabajo y reuniones de Subcomités Operativos con algunos Servicios Públicos.

En el caso de las clases 4 y 5 para metales pesados, metaloides (As), Sulfato y Conductividad Eléctrica se sostuvieron reuniones con las unidades de Geología Regional, Hidrogeología y relaves Mineros de SERNAGEOMIN Nivel Central y con la Oficina Regional (Atacama) de este mismo Servicio. El detalle de estas reuniones se analiza en Anexos de este mismo documento. Los productos obtenidos de dichas reuniones fueron: Análisis de Mapas Geológicos de la Cuenca, Minuta de descripción geológica de cada Área de Vigilancia, Mapa Geológico por Área de Vigilancia.

Por otra parte, en el caso de los elevados valores de Coliformes Fecales y Nitratos, se ofició a la Oficina Regional de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (ORD. N°616/30 Octubre de 2018), con quienes además se sostuvo una reunión, para analizar el estado de funcionamiento de las Empresas Sanitarias de Vallenar y Freirina. Para estos mismos parámetros se ofició a la Oficina Regional del Servicio Agrícola y Ganadero (ORD. N°635/13 de Noviembre 2018), con objeto de obtener información oficial sobre sitios y temporalidad de las Veranadas en la Cuenca del Río Huasco y al Servicio de Salud de la Región de Atacama, con objeto de conocer el estado de funcionamiento de sus Aguas Potables Rurales. Como resultado de estas consultas, a la fecha de la elaboración del presente documento, se obtuvo información de las Resoluciones de Calificación Ambiental de los proyectos de modernización de las Plantas de Tratamiento de Aguas de Vallenar y Freirina.

El análisis detallado de la información antes relatada, se presenta en la Tabla 14, donde se analiza el fundamento para normar en clases altas (4 y 5) o más bajas que las determinadas en la Evaluación del Estado Actual Versión 1. Dado este nuevo escenario de cumplimiento, con cambios de incumplimiento a cumplimiento en 41 de 58 combinaciones de Parámetro/ Área de vigilancia, una Evaluación del Estado de Cumplimiento Versión 2, arrojaría los porcentajes de la Figura 20.

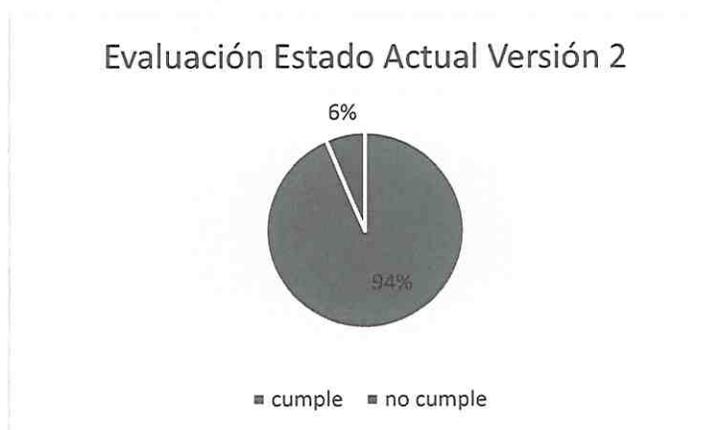


Figura 20: Evaluación del cumplimiento de norma, para las combinaciones parámetro/Área de Vigilancia, en la Versión 1 de la Evaluación del Estado Actual del Anteproyecto de NSCA del Río Huasco.

Tabla 14: Análisis detallado de la Evaluación del Estado Actual Versión 1, para las combinaciones de Parámetro / Área de Vigilancia, en clases 4 y 5.

Parámetro	Área de Vigilancia	Clase	Observación	Propuesta según objetivo de conservación por Área de Vigilancia y Parámetro
Conductividad Eléctrica	HU-30 y HU-20	5	SERNAGEOMIN: <ul style="list-style-type: none"> <li>Minuta "Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco</li> <li>Minuta Reunión Trabajo SERNAGEOMIN – MMA del 8 de Noviembre de 2018.</li> </ul>	Dado la cantidad importante de pasivos mineros con Drenaje Ácido de Roca monitoreado por SERNAGEOMIN; la vigencia de cuerpos jurídicos para el cierre de faenas mineras activas (DS N°20.551 /2011) y la posibilidad de la evaluación económica de traslado reprocesamiento de pasivos mineros abandonados, se propone: bajar la clase y normar en clase 4 este parámetro en este AV.
	HU-10, TR-10, PO-20, CA-20, CA-10	4	SERNAGEOMIN: Minuta "Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco	Se propone normar este parámetro en clase 4, puesto que en este sector los altos valores de CE corresponderían al background natural.
Sulfato	HU-30, HU-20	5	SERNAGEOMIN: <ul style="list-style-type: none"> <li>Minuta "Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco</li> <li>Minuta Reunión Trabajo SERNAGEOMIN – MMA del 8 de Noviembre de 2018.</li> </ul>	Dado la cantidad importante de pasivos mineros con Drenaje Ácido de Roca monitoreado por SERNAGEOMIN; la vigencia de cuerpos jurídicos para el cierre de faenas mineras activas (DS N°20.551 /2011) y la posibilidad de la evaluación económica de traslado reprocesamiento de pasivos mineros abandonados, se propone: bajar la clase y normar en clase 4 este parámetro en este AV.
	HU-10, CA-20 y CA-10	4	SERNAGEOMIN: Minuta "Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco	Se propone normar este parámetro en clase 4, puesto que en este sector los altos valores de SO4 corresponderían al background natural.
	TO-10, PO-10	5	SERNAGEOMIN: Minuta "Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco	Se propone normar este parámetro en clase 5, puesto que en este sector los altos valores de SO4 corresponderían al Background natural.
Fosfato	HU-30	4	SISS: Reunión SISS-SEREMI Medio Ambiente Atacama martes 20 de Noviembre de 2018. Entrega de Documentos RCA Mejoramiento PTAs Freirina y Vallenar, 24-2012 y 108, 2017, respectivamente.	Las RCAs de modernización y mejoramiento de tecnología de abatimiento de las PTAs localizadas aguas arriba de este AV, prevén mejoras en el abatimiento de nutrientes. Se sugiere bajar la clase y normar en clase 3.
Amonio	HU-40	5	SISS: Reunión SISS-SEREMI Medio Ambiente Atacama martes 20 de Noviembre de 2018. Entrega de Documentos RCA Mejoramiento PTAs Freirina y Vallenar, 24-2012 y 108, 2017, respectivamente.	Las RCAs de modernización y mejoramiento de tecnología de abatimiento de las PTAs localizadas aguas arriba de este AV, prevén mejoras en el abatimiento de nutrientes. Se sugiere bajar la clase y normar en clase 3.
	TR-10	5	SISS: Reunión SISS-SEREMI Medio Ambiente Atacama martes 20 de Noviembre de 2018.	Habiendo exigencia de la comunidad, respecto del mal funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas emplazada en Chanchoquin, lo que impulsaría un mejoramiento del funcionamiento de ésta en el futuro cercano, se sugiere bajar la clase y normar en clase 3
	CH-10	5	Parámetro sin fuentes asociadas en el sector del río Chollay.	Se propone normar este parámetro en clase 5, puesto que en este sector no hay fuentes asociadas a este parámetro
Nitrato	TO-10, PO-20 y	5	El comportamiento de esta variable en las AV TO-10, PO-20 y QU-10, muestra	Se propone normar este parámetro en clase 4, por la presencia de del proyecto

	QU-10		una tendencia de aumento desde el año 2009 a la fecha (BD NSCA – MMA). En el sector se encuentra aprobada la DIA “Sistema de Transporte de Caliza y Cal” RCA N° 232/2019 SEA Atacama.	con RCA N° 232/2019 SEA Atacama, asociado a los efluentes líquidos generados en la fase de construcción y operación.
			<p style="text-align: center;"><b>Concentraciones de Nitrato (NO<sub>3</sub>-) en los ríos Potrerillos, Tres Quebradas y Toro vs fecha</b></p>	
Cu	VA-10	5	SERNAGEOMIN: Minuta “Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco	Se propone normar este parámetro en clase 4 considerando que en el tiempo se puede dar un mejoramiento de las actividades de las faenas El Encierro y Vaquillas emplazadas en la cabecera de la cuenca de este AV.
	TR-10, CH-10	4	SERNAGEOMIN: Minuta “Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco	Se propone normar este parámetro en clase 4, puesto que en este sector los altos valores de Cu corresponderían al background natural.
	ES-10	4	SERNAGEOMIN: Minuta “Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco	Se propone normar este parámetro en clase 4, puesto que en este sector los altos valores de Cu corresponderían al background natural. Lo anterior, considerando que por acuerdo del Comité Operativo de esta norma, en la base de datos utilizada para la construcción de su anteproyecto, no se consideró el periodo de construcción de la minera Pascua Lama (2009-2018)
	CO-10, QU-10	5	SERNAGEOMIN: Minuta “Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco	Se propone normar este parámetro en clase 5, puesto que en este sector los altos valores de Cu corresponderían al background natural.
Zn	VA-10	4	SERNAGEOMIN: Minuta “Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco	Se propone normar este parámetro en clase 3 considerando que en el tiempo se puede dar un mejoramiento de las actividades de las faenas El Encierro y Vaquillas emplazadas en la cabecera de la cuenca de este AV.
	ES-10	5	SERNAGEOMIN: Minuta “Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco	Se propone normar este parámetro en clase 5, puesto que en este sector los altos valores de Zn corresponderían al background natural. Lo anterior, considerando que por acuerdo del Comité Operativo de esta norma, en la base de datos utilizada para la construcción de su anteproyecto, no se consideró el periodo de construcción de la minera Pascua Lama (2009-2018)
	CO-10, PO-10	4	SERNAGEOMIN: Minuta “Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco	Se propone normar este parámetro en clase 4, puesto que en este sector los altos valores de Zn corresponderían al background natural.

Fe	TR-10, CO-10, PO-20	5	SERNAGEOMIN: Minuta "Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco	Se propone normar este parámetro en clase 5, puesto que en este sector los altos valores de Fe corresponderían al background natural.
	CH-10	4	SERNAGEOMIN: Minuta "Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco	Se propone normar este parámetro en clase 4, puesto que en este sector los altos valores de Fe corresponderían al background natural.
Mn	ES-10	5	SERNAGEOMIN: Minuta "Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco	Se propone normar este parámetro en clase 5, puesto que en este sector los altos valores de Mn corresponderían al background natural. Lo anterior, considerando que por acuerdo del Comité Operativo de esta norma, en la base de datos utilizada para la construcción de su anteproyecto, no se consideró el periodo de construcción de la minera Pascua Lama (2009-2018)
	CO-10, CH-10, TR-10, CA-20	4	SERNAGEOMIN: Minuta "Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco	Se propone normar este parámetro en clase 4, puesto que en este sector los altos valores de Mn corresponderían al background natural.
	PO-10	5	SERNAGEOMIN: Minuta "Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco	Se propone normar este parámetro en clase 5, puesto que en este sector los altos valores de Mn corresponderían al background natural.
Al	VA-10, CO-10, CH-10	4	SERNAGEOMIN: <ul style="list-style-type: none"> <li>Minuta "Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco</li> <li>Ord. N°3653 de 28 de Mayo de 2018 SERNAGEOMIN Región Atacama.</li> </ul>	Se propone normar este parámetro en clase 4, puesto que en este sector los altos valores de Al corresponderían al background natural.
	TR-10	5	SERNAGEOMIN: <ul style="list-style-type: none"> <li>Minuta "Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco.</li> <li>Ord. N°3653 de 28 de Mayo de 2018 SERNAGEOMIN Región Atacama.</li> </ul>	Se propone normar este parámetro en clase 5, puesto que en este sector los altos valores de Al corresponderían al background natural.
	ES-10	4	SERNAGEOMIN: <ul style="list-style-type: none"> <li>Minuta "Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco.</li> <li>Ord. N°3653 de 28 de Mayo de 2018 SERNAGEOMIN Región Atacama.</li> </ul>	Se propone normar este parámetro en clase 4, puesto que en este sector los altos valores de Al corresponderían al background natural. Lo anterior, considerando que por acuerdo del Comité Operativo de esta norma, en la base de datos utilizada para la construcción de su anteproyecto, no se consideró el periodo de construcción de la minera Pascua Lama (2009-2018)
As	HU-10, VA-10, CO-10, CA-20	4	SERNAGEOMIN: Minuta "Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco	Se propone normar este parámetro en clase 4, puesto que en este sector los altos valores de As corresponderían al background natural.
	QU-10, PO-20	5	SERNAGEOMIN: Minuta "Resumen Geológico de la	Se propone normar este parámetro en clase 5, puesto que en este sector los altos

			Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco	valores de As corresponderían al background natural.
Coliformes Totales	HU-40 y HU-10	4	SISS: Reunión SISS-SEREMI Medio Ambiente Atacama martes 20 de Noviembre de 2018. Entrega de Documentos RCA Mejoramiento PTAs Freirina y Vallenar, 24-2012 y 108, 2017, respectivamente.	Las RCAs de modernización y mejoramiento de tecnología de abatimiento de las PTAs localizadas aguas arriba de estas AVs, prevén mejoras en el abatimiento de la materia orgánica. Se sugiere bajar la clase y normar en clase 3.
	TR-10,	4	SISS: Reunión SISS-SEREMI Medio Ambiente Atacama martes 20 de Noviembre de 2018.	Habiendo exigencia de la comunidad, respecto del mal funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas emplazada en Chanchoquín, lo que impulsaría un mejoramiento del funcionamiento de ésta en el futuro cercano, se sugiere bajar la clase y normar en clase 3
	HU-30	5	SISS: Reunión SISS-SEREMI Medio Ambiente Atacama martes 20 de Noviembre de 2018. Entrega de Documentos RCA Mejoramiento PTAs Freirina y Vallenar, 24-2012 y 108, 2017, respectivamente.	Las RCAs de modernización y mejoramiento de tecnología de abatimiento de las PTAs localizadas aguas arriba de estas AVs, prevén mejoras en el abatimiento de la materia orgánica. Se sugiere bajar la clase y normar en clase 3.
	QU-10	5	Presencia de Cabreríos en la zona, según Ord. N° 840 del 17 de diciembre de 2018, SAG Atacama.	Se propone normar este parámetro en clases 4, en vista de la presencia de cabreríos en la zona, como principal fuente, actividad de trashumancia.
	PO-20, CA-10	4	Presencia de Cabreríos en la zona, según Ord. N° 840 del 17 de diciembre de 2018, SAG Atacama.	Se propone normar este parámetro en clases 4, en vista de la presencia de cabreríos en la zona, como principal fuente, actividad de trashumancia.
Hg	Todas	0,001 mg/L	Valor Normativa de Agua Potable (NCh 409).	Se propone utilizar valor de norma chilena de agua potable <sup>30</sup> , en base a que datos históricos eran valores de límites de detección.
CN <sup>-</sup>	Todas	0,05 mg/L t	Valor Normativa de Agua Potable (NCh 409).	Se propone utilizar valor de norma chilena de agua potable <sup>19</sup> , en base a que datos históricos eran valores de límites de detección.

Con los criterios y propuestas presentadas en la Tabla 14, se resume el análisis de cumplimiento de los valores norma propuestos en la Tabla 15, donde las combinatorias de parámetro/área de vigilancia que tienen valor 0, se considera que están en buena calidad (entre clase 1, 2 o 3), mientras que las celdas que tienen valor -1, se considera que tienen mala calidad y ante la presencia de una fuente asociada a ese parámetro, se recomienda bajar una clase, para mejorar los valores. Las celda que se encuentran con -2, es porque se considera que están en muy mala calidad, por lo que se recomienda disminuir dos clases, ante la presencia de una fuente a mejorar.

<sup>30</sup> NORMA CHILENA OFICIAL NCh409/1.Of2005 Agua potable.

Tabla 15: Comparación de clases de calidad actual vs clases de calidad a normar. Valores 0 indican que se debe mantener la clase actual, valores -1 indican que se recomienda disminuir una clase, mientras que valores -2 indican que se recomienda disminuir dos clases.

Parámetro/AV	Huasco				El Tránsito							El Carmen					
	HU-40	HU-30	HU-20	HU-10	VA-10	TR-10	RC-10	LG-10	ES-10	CO-10	CH-10	TO-10	QU-10	PO-20	PO-10	CA-20	CA-10
pH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CE		-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OD	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sulfato		-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fosfato	0	-1	0	0	0	0		0		0	0		0	0	0	0	0
NH4+	-2	0	0	0	0	-2	0	0		0	0		0	0	0	0	0
NO3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0
Cu	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zn	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Al	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
As	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CT	-1	-2	0	-1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CN-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Esta propuesta de Evaluación del Estado Actual, debe ser sometida al pronunciamiento del Comité Operativo de la norma en las próximas reuniones.

**a) Descriptores de la NSCA: Número de normas, excedencias y parámetros que más exceden.**

Tabla N°16. Descriptores del proyecto de norma.

	Total Norma
Nº total de normas	264
Nº total de saturaciones	16
Mayor nº de saturaciones	-Coliformes totales -Nitrato
% de saturación	6
Nº de tramos saturados	9

## 7. Determinación de valores umbrales de la norma

En base a la información y propuestas detalladas anteriormente, es que se arribó a una propuesta de valores norma en el presente Anteproyecto, el cual se presenta en la Tabla 16.

Tabla 16: Propuesta de valores norma propuestos para cada Área de Vigilancia y Parámetro, según lo determinado en este documento.

Parámetro	Unidad	Huasco					El Tránsito					El Carmen						
		HU-40	HU-30	HU-20	HU-10	VA-10	TR-10	RC-10	LG-10	ES-10	CO-10	CH-10	TO-10	QU-10	PO-20	PO-10	CA-20	CA-10
pH	U. de pH	6,0-9,6	6,0-9,6	6,0-9,6	6,0-9,6	6,0-9,6	6,0-9,6	6,0-9,6	6,0-9,6	6,0-9,6	6,0-9,6	6,0-9,6	6,0-9,6	6,0-9,6	6,0-9,6	6,0-9,6	6,0-9,6	6,0-9,6
CE	uS/cm		1137	1137	1137	833	1137	475	475	475	833	833	833	475	833	1137	1137	1137
Oxígeno disuelto	mg/L	10,4	10,4	7,9	7,9	7,9	7,9		7,9	13,8	7,9	7,9	13,8	13,8	13,8	13,8	7,9	13,8
Sulfato	mg/L		376	376	376	283	283	135	135	189	283	283	467	135	283	547	376	376
Fosfato	mg/L	0,06	0,5	0,06	0,06	0,06	0,06		0,06		0,06	0,06		0,5	0,06	0,06	0,06	0,06
NH4+	mg/L	0,2	0,2	0,03	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2		0,03	0,3		0,03	0,2	0,2	0,03	0,2
NO3	mg/L	1,7	3,8	1,7	3,8	3,8	3,8	3,8	1,7	3,8	1,7	1,7	6	6	6	3,8	1,7	3,8
Cu	mg/L	0,05	0,01	0,05	0,05	0,09	0,09	0,05	0,05	0,09	0,11	0,09	0,01	0,1	0,01	0,01	0,05	0,01
Zn	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,63	0,4	0,2	0,02	0,2	0,2	0,4	0,2	0,005
Fe	mg/L	0,16	2	2	2	2	12,40	0,16	2	2	6,21	3,8	0,16	2	2	0,16	12,40	2
Mn	mg/L	0,06	0,06	0,6	0,6	0,6	1,2	0,06	0,06	1,6	1,2	1,2	0,01	0,6	0,6	1,5	1,2	0,6
Hg	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Al	mg/L	2,9	0,3	2,9	2,9	5,4	5,5	2,9	0,3	5,4	5,4	5,4	0,3	0,3	2,9	2,9	2,9	2,9
As	mg/L	0,009	0,009	0,009	0,01	0,01	0,009	0,001	0,004	0,004	0,01	0,009	0,004	0,05	0,03	0,009	0,01	0,009
Coliformes totales	NMP/100 mL	738	738	738	738	25	1452	25	738	2	738	738	738	1452	1452	738	738	1452
CN-	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

La información presentada en este Minuta Técnica, será puesta a disposición del Departamento de Economía Ambiental para la realización del Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES), como parte de la elaboración del Anteproyecto cumpliendo con lo indicado en el DS N°38/2012, Artículo 15, que trata sobre el análisis técnico y económico y señala que “El Ministerio deberá llevar a cabo un análisis técnico que identifique y cuantifique, cuando corresponda, los riesgos para la población, ecosistemas o especies directamente afectadas o protegidas y un análisis general del impacto económico y social, considerando la situación actual y la situación con anteproyecto de norma. Ambos análisis deberán ser realizados dentro del plazo de elaboración del anteproyecto”.

### a. Criterios Generales y Objetivos de la Norma

- Para determinar los valores de clase de mejor (clase 1) y peor calidad (clase 4) de cada parámetro, se utilizó la base de datos histórica de todas las áreas de vigilancia, excepto los datos del área ES-10, puesto que a solicitud del comité operativo, se utilizaron los datos hasta el año de la instalación del Proyecto Pascua Lama (2008).
- Para determinar los valores de cada parámetro de la clase 2, considerada como de alto valor biológico, se utilizaron de referencia 3 áreas de vigilancia, las que según la revisión bibliográfica, tenían los mejores índices biológicos, que fueron: HU-40, TO-10 y QU-10,

excepto para el parámetro Arsénico total, donde se utilizó sólo la información de HU-40, puesto que las otras áreas de vigilancia tenían valores naturalmente muy altos.

- Se decidió normar como límite máximo hasta clase 3, con el objetivo de mantener las buenas condiciones de calidad y resguardo de la biodiversidad.
- Se consideró como “excedencias”, los parámetros que estuvieron en clase 4 o 5, considerados como mala calidad, que tuvieran alguna fuente de emisión difusa o puntual asociada.
- Se decidió no normar conductividad eléctrica y sulfato en el área de vigilancia HU-40, por tener influencia estuarina.

#### IV Referencias

- Algoritmos - MMA, 2013. Diagnóstico, inventario de emisiones y monitoreo de la calidad de las aguas de la cuenca del río Huasco.
- Awada, S., Campbell, W. F., Dudley, L. M., Jurinak, J. J., & Khan, M. A. (1995). Interactive effects of sodium chloride, sodium sulfate, calcium sulfate, and calcium chloride on snapbean growth, photosynthesis, and ion uptake. *Journal of plant nutrition*, 18(5), 889-900.
- Barata, C., Lekumberri, I., Vila-Escalé, M., Prat, N., & Porte, C. (2005). Trace metal concentration, antioxidant enzyme activities and susceptibility to oxidative stress in the tricoptera larvae *Hydropsyche exocellata* from the Llobregat river basin (NE Spain). *Aquatic toxicology*, 74(1), 3-19.
- Barron, E. G., & Hamburger, M. (1932). The effect of cyanide upon the catalytic action of dyes on cellular oxygen consumption. *Journal of Biological Chemistry*, 96(2), 299-305.
- Cabral, J. P. (2010). Water microbiology. Bacterial pathogens and water. *International journal of environmental research and public health*, 7(10), 3657-3703.
- Cade-Idepe. (2004). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad cuenca del río Huasco.
- Camargo, J. A., & Alonso, Á. (2006). Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: a global assessment. *Environment international*, 32(6), 831-849.
- Camargo, M. M., Fernandes, M. N., & Martinez, C. B. (2009). How aluminium exposure promotes osmoregulatory disturbances in the neotropical freshwater fish *Prochilus lineatus*. *Aquatic Toxicology*, 94(1), 40-46.
- Canesi, L., Viarengo, A., Leonzio, C., Filippelli, M., & Gallo, G. (1999). Heavy metals and glutathione metabolism in mussel tissues. *Aquatic Toxicology*, 46(1), 67-76.
- Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., & Smith, V. H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological applications*, 8(3), 559-568.
- CAZALAC, 2012. Modelo para la gestión hídrica de la cuenca de Huasco: Evaluación de caudal ambiental y valoración de servicios hidrológicos de caudal ambiental.
- CEA-MMA. (2017). Red de Monitoreo Ambiental de Ecosistemas Acuáticos de Chile: Insumo para plataforma de Humedales de Chile.

- CENMA. (2016). Análisis del estado ecológicos del sistema acuático río Huasco según indicadores biológicos de calidad de agua, informe final.
- CENMA-MMA. (2013). Monitoreo y Evaluación de Estado Ecológico de 10 Cuencas Hidrográficas de Chile. Documento Técnico del Proyecto Normas Secundarias De Calidad.
- Chislock, M. F., Doster, E., Zitomer, R. A., & Wilson, A. E. (2013). Eutrophication: causes, consequences, and controls in aquatic ecosystems. *Nature Education Knowledge*, 4(4), 10.
- Chuan, M. C., Shu, G. Y., & Liu, J. C. (1996). Solubility of heavy metals in a contaminated soil: effects of redox potential and pH. *Water, Air, and Soil Pollution*, 90(3-4), 543-556.
- Copaja, S. V., Pérez, C. A., Vega-Retter, C., & Véliz, D. (2017). Heavy metal content in Chilean fish related to habitat use, tissue type and river of origin. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 99(6), 695-700.
- Correll, D. L. (1998). The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: a review. *Journal of environmental quality*, 27(2), 261-266.
- De Gregori, I., Pinochet, H., Delgado, D., Gras, N., & Munoz, L. (1994). Heavy metals in bivalve mussels and their habitats from different sites along the Chilean Coast. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 52(2), 261-268.
- Dixon, M., & Elliott, K. A. C. (1929). The effect of cyanide on the respiration of animal tissues. *Biochemical Journal*, 23(4), 812.
- Egekeze, J. O., & Oehme, F. W. (1980). Cyanides and their toxicity: a literature review. *Veterinary Quarterly*, 2(2), 104-114.
- Emerson, K., Russo, R. C., Lund, R. E., & Thurston, R. V. (1975). Aqueous ammonia equilibrium calculations: effect of pH and temperature. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 32(12), 2379-2383.
- FAROMBI, E. O.; ADELOWO, O. A.; AJIMOKO, Y. R. Biomarkers of oxidative stress and heavy metal levels as indicators of environmental pollution in African cat fish (*Clarias gariepinus*) from Nigeria Ogun River. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2007, vol. 4, no 2, p. 158-165.
- FUSTER R. 2011. Cartografía de tipología de ríos. Informe para Ministerio del Medio Ambiente.
- Hanazato, T., & Dodson, S. I. (1995). Synergistic effects of low oxygen concentration, predator kairomone, and a pesticide on the cladoceran *Daphnia pulex*. *Limnology and Oceanography*, 40(4), 700-709.
- Healey, F. P. (1977). Ammonium and urea uptake by some freshwater algae. *Canadian Journal of Botany*, 55(1), 61-69.
- Herrera y Falcón. (2018). Depósitos de Relaves Huérfanos en Chile: discusión de soluciones para su cierre, en elaboración.
- INIA - INNOVA CORFO, 2006 – 2009. “Desarrollo de un modelo de gestión integral para el resguardo de la calidad del agua en los valles de Huasco, Limarí y Choapa”.
- INIA - JVRH, 2009 – 2010. Aplicación red de monitoreo de calidad de agua en la cuenca del río Huasco y sus afluentes.
- Kefford, B. J. (1998). The relationship between electrical conductivity and selected macroinvertebrate communities in four river systems of south-west Victoria, Australia. *International Journal of Salt Lake Research*, 7(2), 153-170.
- Kefford, B. J., Papas, P. J., & Nuggeoda, D. (2003). Relative salinity tolerance of macroinvertebrates from the Barwon River, Victoria, Australia. *Marine and Freshwater Research*, 54(6), 755-765.

- Körner, S., Das, S. K., Veenstra, S., & Vermaat, J. E. (2001). The effect of pH variation at the ammonium/ammonia equilibrium in wastewater and its toxicity to *Lemna gibba*. *Aquatic botany*, 71(1), 71-78.
- Loayza-Muro, R. A., Elías-Letts, R., Marticorena-Ruíz, J. K., Palomino, E. J., Duivenvoorden, J. F., Kraak, M. H., & Admiraal, W. (2010). Metal-induced shifts in benthic macroinvertebrate community composition in Andean high altitude streams. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 29(12), 2761-2768.
- Mallin, M. A., Johnson, V. L., Ensign, S. H., & MacPherson, T. A. (2006). Factors contributing to hypoxia in rivers, lakes, and streams. *Limnology and Oceanography*, 51(1part2), 690-701.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2017). *Guía para la Elaboración de Normas secundarias de Calidad Ambiental en Aguas Continentales y Marinas*.
- Nebeker, A. V. (1972). Effect of low oxygen concentration on survival and emergence of aquatic insects. *Transactions of the American Fisheries Society*, 101(4), 675-679.
- Nordstrom, D. K. (1982). The effect of sulfate on aluminum concentrations in natural waters: some stability relations in the system  $Al_2O_3-SO_3-H_2O$  at 298 K. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 46(4), 681-692.
- Oyarzún, J., Maturana, H., Paulo, A., & Pasieczna, A. (2003). Heavy metals in stream sediments from the Coquimbo Region (Chile): effects of sustained mining and natural processes in a semi-arid Andean basin. *Mine Water and the Environment*, 22(3), 155-161.
- Pell, A., Márquez, A., López-Sánchez, J. F., Rubio, R., Barbero, M., Stegen, S., & Díaz-Palma, P. (2013). Occurrence of arsenic species in algae and freshwater plants of an extreme arid region in northern Chile, the Loa River Basin. *Chemosphere*, 90(2), 556-564.
- Pell, A., Márquez, A., López-Sánchez, J. F., Rubio, R., Barbero, M., Stegen, S., & Díaz-Palma, P. (2013). Occurrence of arsenic species in algae and freshwater plants of an extreme arid region in northern Chile, the Loa River Basin. *Chemosphere*, 90(2), 556-564.
- Pinto, E., Sigaud-kutner, T. C., Leitao, M. A., Okamoto, O. K., Morse, D., & Colepicolo, P. (2003). Heavy metal-induced oxidative stress in algae 1. *Journal of phycology*, 39(6), 1008-1018.
- Qian, H., Yu, S., Sun, Z., Xie, X., Liu, W., & Fu, Z. (2010). Effects of copper sulfate, hydrogen peroxide and N-phenyl-2-naphthylamine on oxidative stress and the expression of genes involved photosynthesis and microcystin disposition in *Microcystis aeruginosa*. *Aquatic Toxicology*, 99(3), 405-412.
- Roman, M. R., Gauzens, A. L., Rhinehart, W. K., & White, J. R. (1993). Effects of low oxygen waters on Chesapeake Bay zooplankton. *Limnology and oceanography*, 38(8), 1603-1614.
- Rousseeuw, P. J., & Croux, C. (1993). Alternatives to the median absolute deviation. *Journal of the American Statistical Association*, 88(424), 1273-1283.
- Smith, V. H., Tilman, G. D., & Nekola, J. C. (1999). Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental pollution*, 100(1-3), 179-196.
- Sundby, B., Anderson, L. G., Hall, P. O., Iverfeldt, Å., van der Loeff, M. M. R., & Westerlund, S. F. (1986). The effect of oxygen on release and uptake of cobalt, manganese, iron and phosphate at the sediment-water interface. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 50(6), 1281-1288.
- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. In *Molecular, clinical and environmental toxicology* (pp. 133-164). Springer, Basel.

- The Australian and New Zealand Environment and Conservation Council (ANZECC 2000) Maintenance of Ecosystems.
- Vaquer-Sunyer, R., & Duarte, C. M. (2008). Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(40), 15452-15457.
- Violante, A., Cozzolino, V., Perelomov, L., Caporale, A. G., & Pigna, M. (2010). Mobility and bioavailability of heavy metals and metalloids in soil environments. *Journal of soil science and plant nutrition*, 10(3), 268-292.
- Water Quality Rating, EPA: <https://www.epa.gov/environmental-topics/water-topics>
- William H. Kruskal and W. Allen Wallis. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association* 47 (260): 583–621.
- Zhou, Q., Zhang, J., Fu, J., Shi, J., & Jiang, G. (2008). Biomonitoring: an appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. *Analytica chimica acta*, 606(2), 135-150.

#### IV. Anexos

- Anexo 1: Data histórica de la cuenca por Área de Vigilancia.
- Anexo 2: Tablas de clase y de cumplimiento.
- Anexo 3: Tabla de estado actual (últimos 3 años).
- Anexo 4: Tabla datos y fuente de datos, según Área de Vigilancia.
- Anexo 5: Trabajo Comité Operativo y Comité Operativo Ampliado.
- Anexo 6: Red de control.
- Anexo 7: Información sobre Fuentes de Emisión.
- Anexo 8: Minutas de reuniones de trabajo con SERNAGEOMIN Nivel Central.
- Anexo 9: Capas SIG.