



**MINUTA TÉCNICA PARA ELABORACIÓN DE ANTEPROYECTO DE LA NORMA SECUNDARIA
DE CALIDAD AMBIENTAL PARA LAS AGUAS SUPERFICIALES DE LA CUENCA DEL RÍO
HUASCO.
VERSIÓN 5**

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



Febrero, 2020.

Índice

I.	Introducción.....	3
1.	Cuenca del Río Huasco.....	3
2.	Normas Secundarias de Calidad Ambiental.....	6
II.	Proceso de Elaboración de la NSCA Río Huasco.....	8
1.	Historia y estado actual.....	8
2.	Línea de tiempo revisión norma.....	14
III.	Metodología de elaboración de la NSCA.....	15
1.	Análisis Integral de la cuenca a normar.....	15
2.	Selección de Áreas de Vigilancia.....	16
a)	Análisis Estadístico de las Bases de Datos:.....	39
b)	Construcción de clases:.....	41
5.	Análisis del Estado Actual.....	47
a)	Descriptores de la NSCA:.....	55
6.	Determinación de valores umbrales de la norma.....	56
IV.	Referencias.....	57
V.	Anexos.....	60

I. Introducción

Esta minuta presenta los antecedentes técnicos utilizados para el desarrollo del anteproyecto de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental para las Aguas Superficiales de la cuenca del Río Huasco. La información presentada en este Minuta Técnica fue 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”.

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 km² aproximadamente¹ 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 mar².

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

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

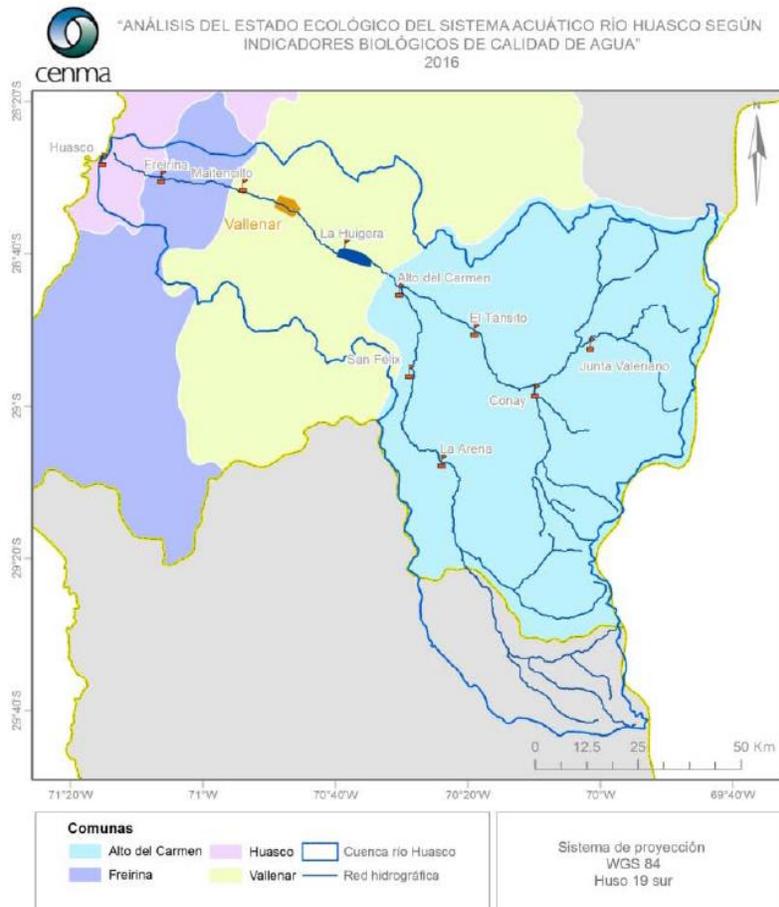


Figura 1: Límites administrativos, ciudades y poblados de la cuenca del río Huasco (CENMA, 2016).

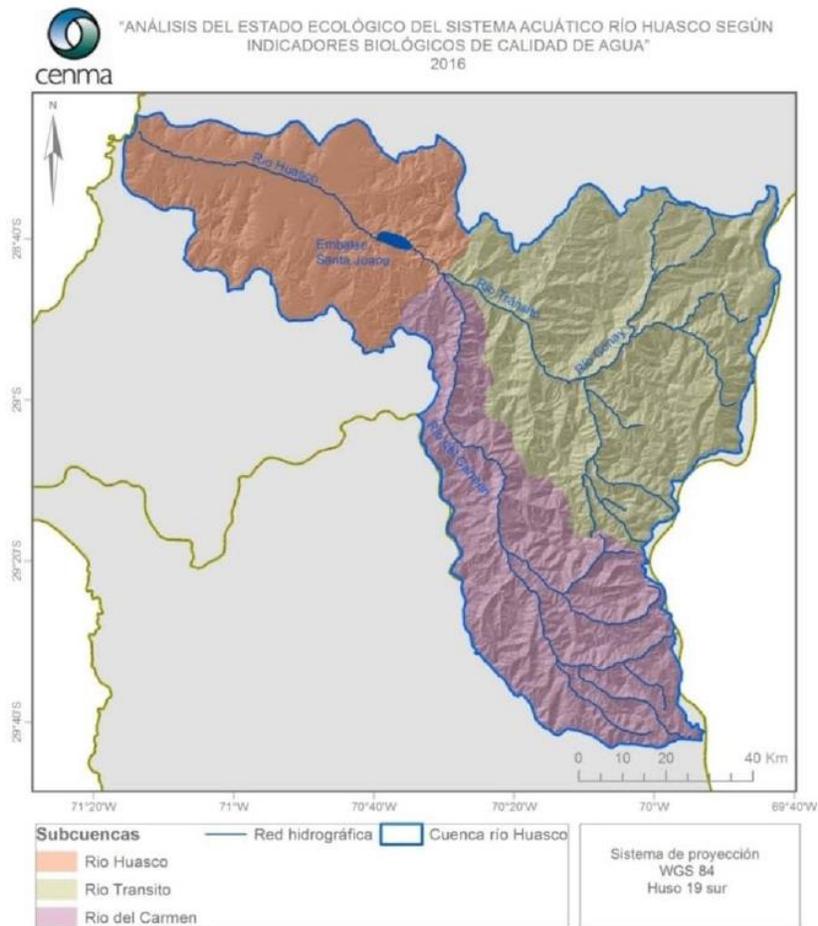


Figura 2: Red hídrica de la cuenca del río Huasco (CENMA, 2016).

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 minero³.

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

³ 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 altoandinos⁴. Sin embargo, la cuenca es considerada con un estado ecológico Bueno y Muy Bueno⁵ 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

La Ley N° 19.300, sobre 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 NSCA es un instrumento de gestión ambiental que busca la protección de los ecosistemas frente a determinados contaminantes, en este caso, de los ecosistemas acuáticos característicos de la cuenca.

Las NSCA, hasta el año 2012, eran dictadas según el Decreto Supremo N° 93, de 15 de mayo de 1995, del Ministerio Secretaría 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, de 30 de octubre de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente, que aprueba el Reglamento para la dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión.

Respecto al procedimiento para la dictación de las normas de calidad, el Artículo 6° del referido Reglamento, indica que este “*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*”. En este sentido, las etapas señaladas y sus plazos, pueden ser resumidas en la Figura 3.

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

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

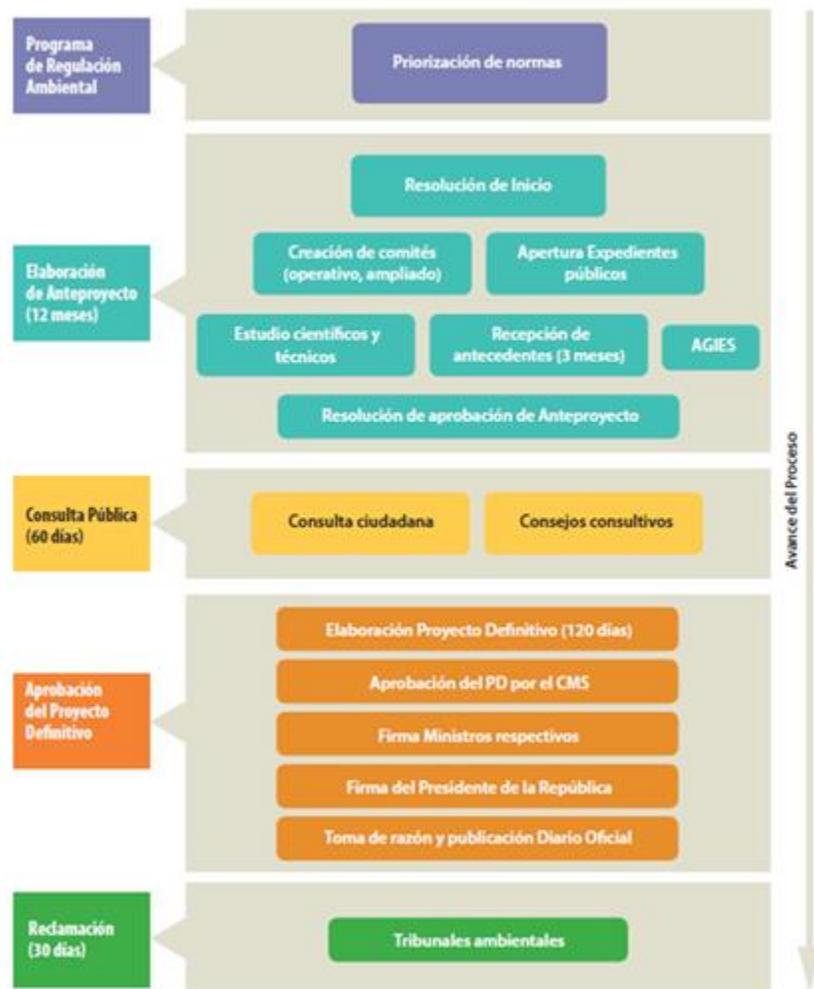


Figura 3: Etapas y plazos del proceso de elaboración de normas de calidad, según Decreto Supremo N° 38/2012 MMA (Fuente: MMA, 2017).

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 corresponde a la elaboración del Anteproyecto, 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, *“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, cabe indicar que respecto de la quinta etapa, esta 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 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
Cia. 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.

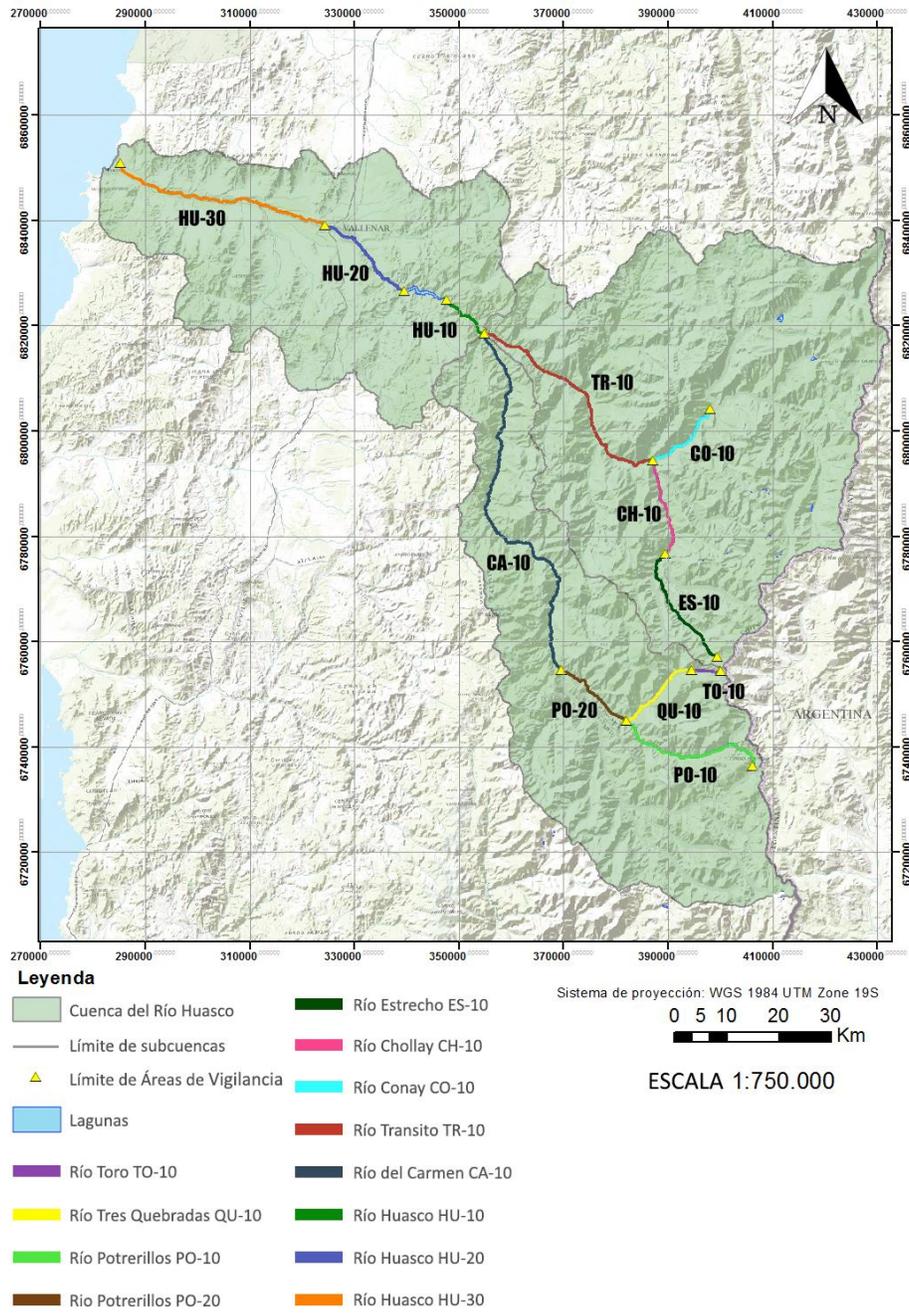


Figura 4: Áreas de vigilancia propuestas en el Anteproyecto de 2008.

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
FÍSICOS Y QUÍMICOS													
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	-
INORGÁNICOS													
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	390	790	270	390	220	90	160	190	190	150	160
ORGÁNICOS													
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	-
METALES ESENCIALES													
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	0,16	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	0,6	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
METALES NO ESENCIALES													
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
MICROBIOLÓGICOS													
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): Conductividad eléctrica, Oxígeno disuelto, pH, Cloruro, Nitrógeno de nitratos, Sulfato, Cobre, Hierro, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Sodio, Zinc, Aluminio, Arsénico y Plomo.

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	
FÍSICOS Y QUÍMICOS													
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
INORGÁNICOS													
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
METALES ESENCIALES													
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
METALES NO ESENCIALES													
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

La etapa siguiente en el proceso correspondía al Análisis General de Impacto Económico y Social (“AGIES”), el cual nunca se realizó. De esta forma, el proceso se paralizó en Agosto de 2009, de acuerdo a los antecedentes del expediente de la norma.

Como parte del proceso de elaboración del Primer Programa de Regulación Ambiental 2016 – 2017, se desarrolló un diagnóstico previo que arrojó que la cuenca del Huasco cumplía con criterios para la reactivación de su tramitación, es decir:

- Disponibilidad de información: Durante el periodo de paralización se continuó el monitoreo de calidad de agua por parte de la DGA y el sector privado, además de otras campañas realizadas por otras instituciones y un importante número de estudios realizados en la zona.
- Aspectos de biodiversidad: La cuenca del río Huasco tiene zonas de alto valor biológico, además de estar declarado como Sitio Prioritario para la conservación de la Biodiversidad durante la actualización de la Estrategia Regional de Biodiversidad 2010 – 2017
- Presiones y amenazas: La cuenca del río Huasco presenta diversas presiones asociadas a actividades mineras, industria agrícola, descarga de RILes, generación hidroeléctrica, crecimiento demográfico, entre otras.

En atención a esos criterios, la norma fue nuevamente priorizada en el Primer Programa de Regulación Ambiental de 2016 (RE. N°177 de 10 de Marzo de 2016). En consecuencia, se dio nuevo inicio al proceso en Junio de 2016 (RE. N°553 de 22 de Junio de 2016), en atención a las implicancias del tiempo transcurrido desde la paralización del proyecto como la existencia de mayor información (estudios y monitoreo), aprobación de nuevos proyectos en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (“SEIA”), y actualizaciones a la institucionalidad ambiental y los procesos normativos (creación del Ministerio de Medio Ambiente y establecimiento de un nuevo Reglamento para la dictación de normas de calidad ambiental y emisión).

2. Línea de tiempo revisión norma

La Figura 5 presenta los hitos más relevantes en el proceso de elaboración de la NSCA del Río Huasco, considerando toda la extensión del proceso.



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*”⁶, 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

En consideración de la mayor disponibilidad de información, la base de datos para el diseño de la NSCA (Tabla 5) aumenta la cantidad de fuentes de información utilizadas en comparación al Anteproyecto de 2008.

Tabla 5: Características de la base de datos de calidad del agua utilizada para el diseño de la SNCA

Bases de datos utilizadas en el presente anteproyecto de norma	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.
Periodo de datos utilizados en el presente anteproyecto de norma	Estación de Control Río Estrecho: 1990-2008 Resto de estaciones de control en la cuenca: 1990-2018
Número total de datos analizados	37.433
Número de parámetros propuestos a regular en el presente anteproyecto de norma	16
Número mínimo de datos para normar en cada punto de control del presente anteproyecto de la norma.	≥12

⁶ 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) subcuencas y tipología, (2) objetos de valoración ecológica y ambiental, y (3) antecedentes de calidad de aguas de la cuenca. Estas capas se utilizaron como en 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° 5⁷, 6⁸, 7⁹ y 8¹⁰), 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.

Criterios para la definición de Áreas de Vigilancia:

Los criterios considerados para la definición de áreas de vigilancia son los siguientes:

a) Tipología:

La cuenca manifiesta un solo tipo de cuerpo lótico denominado “ríos semiáridos de transición”. No obstante lo anterior, existe otra zona con una tipología distinta que corresponde al embalse donde se transforma en un cuerpo léntico¹¹. A su vez según clasificación de Fuster *et al.* (2011) se evidencian 3 tipos de tipologías de río (6, 7 y 8, Figura 6), es decir, el tramo del río que representan tiene las mismas características desde el punto de vista geomorfológico y edáfico.

⁷ http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2017/proyectos/1364_al_1403.pdf

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

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

¹⁰ http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2018/proyectos/22d_1549-1588.pdf

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

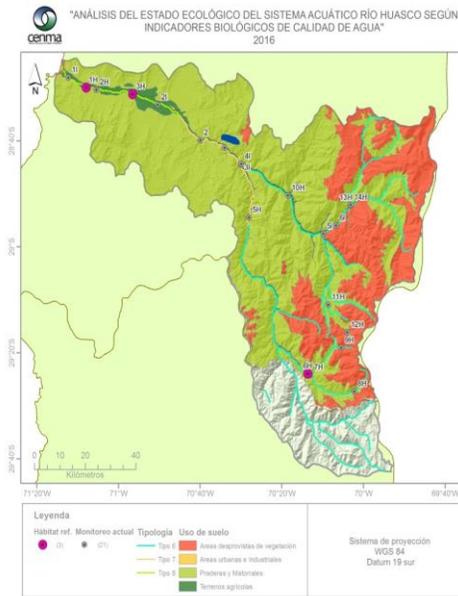


Figura 6: Tipologías en del río Huasco. Fuente: CENMA, 2016, en base a Tipología (Fuster et al. (2010)); Usos de suelos (IDE-MMA 2017).

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 (Figura 7). 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 km² 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 km¹². 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 Tabaco¹³.

La subcuenca Río del Carmen tiene una superficie de 2860 km² 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.

¹² Cade-Idepe 2004

¹³ INIA, 2010

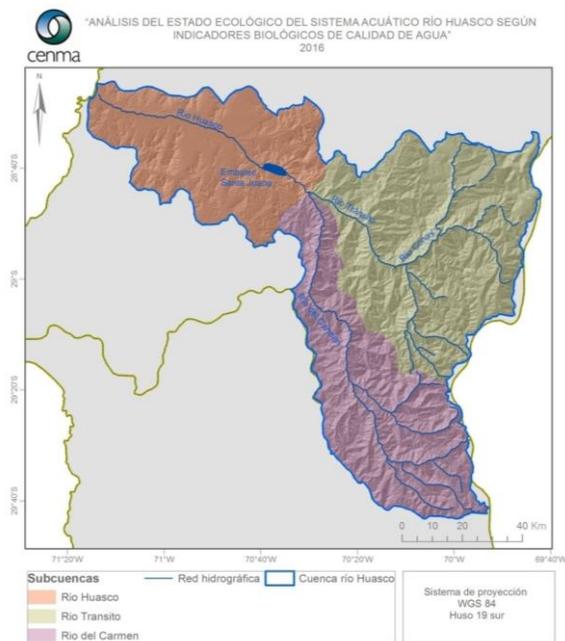


Figura 7: Red hídrica y subcuencas del río Huasco. (CENMA, 2016, en base a coberturas cartográficas de portal IDE-MMA)

c) Valor ecológico y biodiversidad de la cuenca:

Se levantó información biológica mediante estudios del Ministerio del Medio Ambiente y otras fuentes de financiamiento público, además de diferentes estudios de línea de base ambiental asociados a proyectos mineros, de saneamiento y otros, analizados en su componente de biodiversidad. Estos estudios determinan indicadores e Índices bióticos, y presencia de especies nativas de fauna íctica. También se considera la localización de Sitios Prioritarios para la conservación de la biodiversidad (ERBD).

En relación a los índices bióticos, se cuenta con los estudios “Red de Biomonitorio: Ríos Huasco, Elqui y Mataquito” (BIOMA-MMA, 2016) y “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” (Proyecto CORFO INNOVA de Bienes Públicos, 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 8 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.

En relación a la presencia de especies ícticas nativas, 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 9).

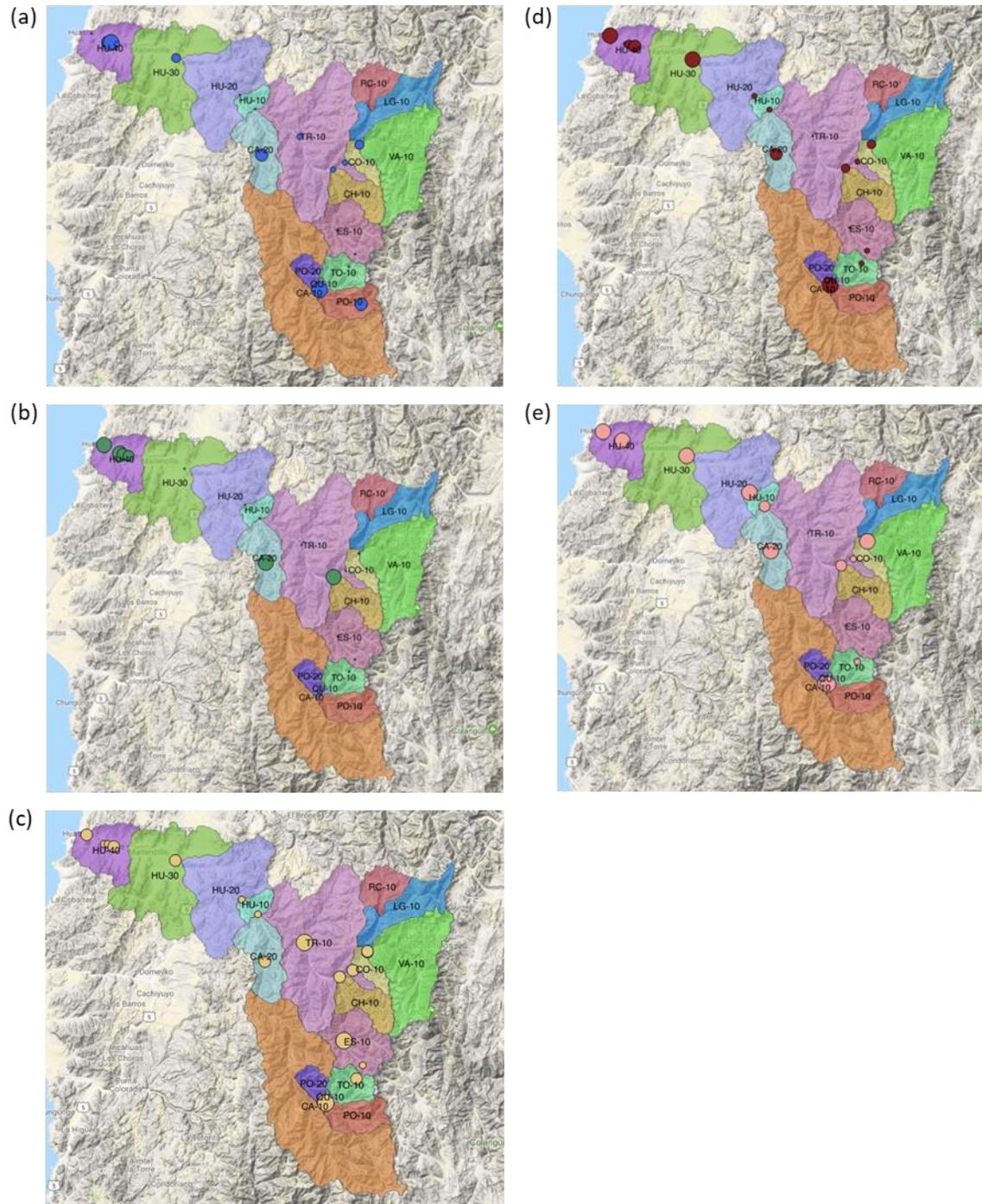


Figura 8: Índices considerados para determinar las estaciones de referencia para la clase 2 en la cuenca del Río Huasco en las distintas Áreas de Vigilancia del presente Anteproyecto (Tabla 2): (a) Índice ETDCH; (b) Índice IBMWP; (c) Índice ICM; (d) Índice IIB;

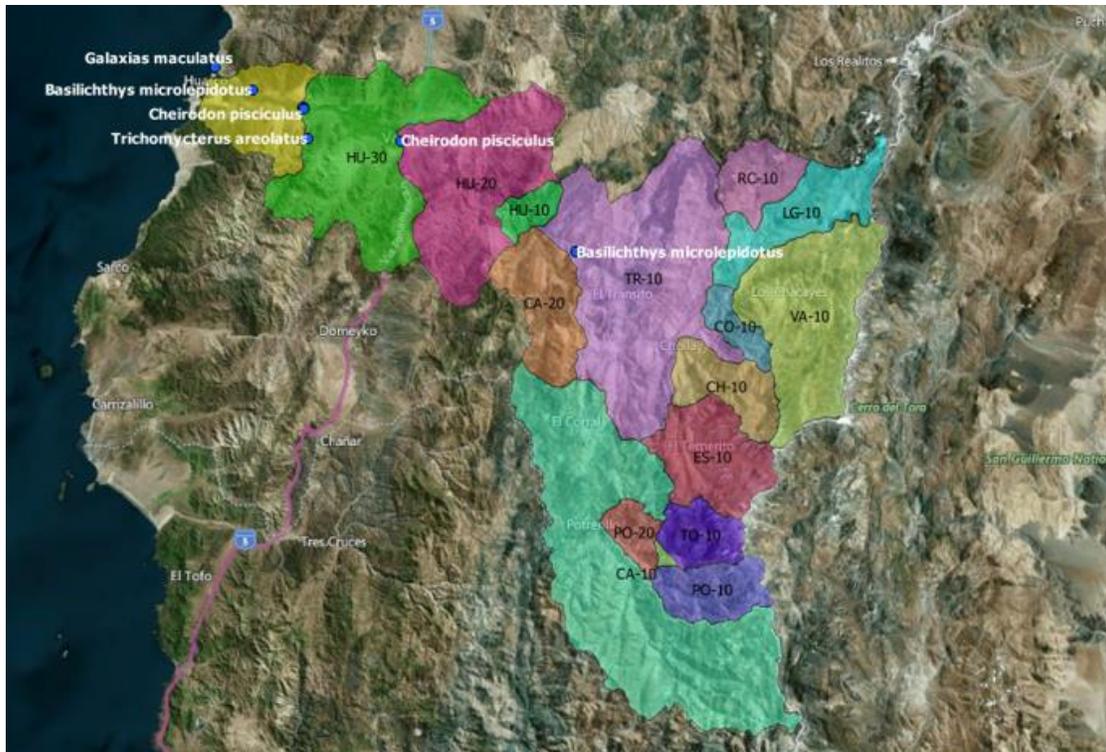


Figura 9: Distribución de especies de peces nativos en la cuenca del Río Huasco en las diferentes Áreas de Vigilancia de la Cuenca (Fuente: Bases de Datos Peces– MMA).

En relación con la presencia de sitios prioritarios, 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 10), 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).

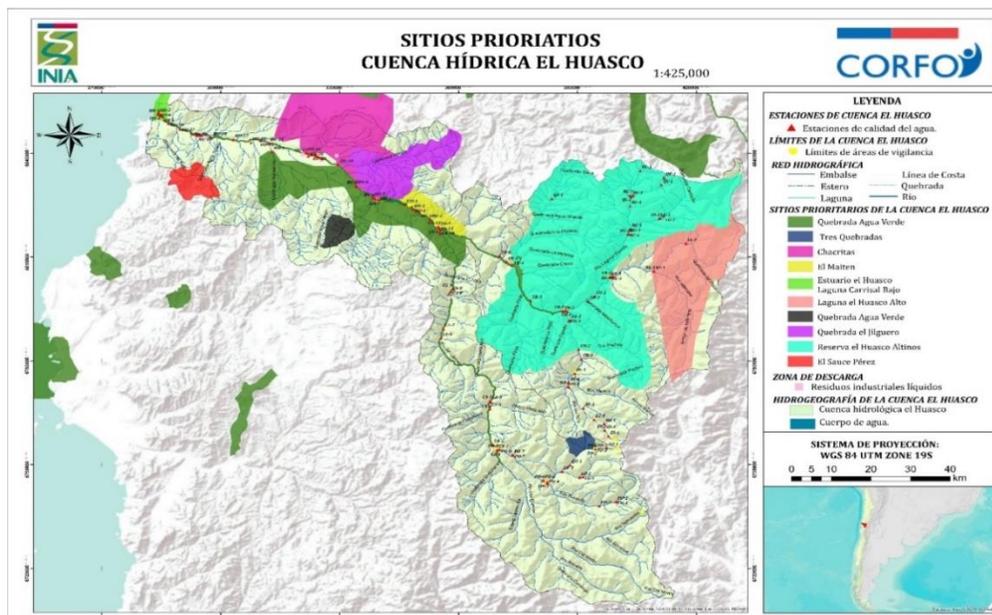


Figura 10: Sitios prioritarios considerados en la Estrategia Regional de Biodiversidad presentes en la cuenca del río Huasco (Fuente: INIA, 2017).

d) 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 DGA¹⁴ 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 DGA¹⁵. En la cuenca existen 6 estaciones de calidad de la DGA 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).

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

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



Figura 11: Puntos de control propuestos en el presente Anteproyecto de la NSCA del Río Huasco con el detalle de las bases de datos de origen (Fuente: MMA, 2018. Elaboración Propia).

e) Background Hidrogeológico:

El estudio hidrogeológico de la Cuenca del Río Huasco¹⁶, la consulta al Inventario Público de Cuencas Hídricas de la DGA, y reuniones de trabajo con el Subcomité Operativo (SERNAGEOMIN-SEREMI Medio Ambiente Atacama-MMA), realizadas entre Agosto y Noviembre de 2018, permitieron analizar la geología a pequeña escala de la cuenca del río Huasco (Figura 12), así como con las redes de drenaje de cada una de sus subcuencas y sub-subcuencas, identificando relaciones entre las características químicas del agua y las características geológicas de la cuenca hidrográfica. Lo anterior, queda evidenciado por el aumento de la concentración de algunos iones en tramos específicos, por los índices de saturación de las aguas, por coeficientes de correlación entre parámetros, por indicadores de mezclas de aguas y por el análisis de los diagramas de Stiff¹⁷ (dominancia de aguas bicarbonatado-cálcicas en la cuenca), tanto de aguas subterráneas como superficiales. Asimismo, se analizó el background geológico el cual influencia de manera diferenciada la calidad de las aguas (Figura 13 y Figura 14).

¹⁶ UCN- (2010)

¹⁷ Diagramas de Stiff, permiten representar gráficamente la química del agua.

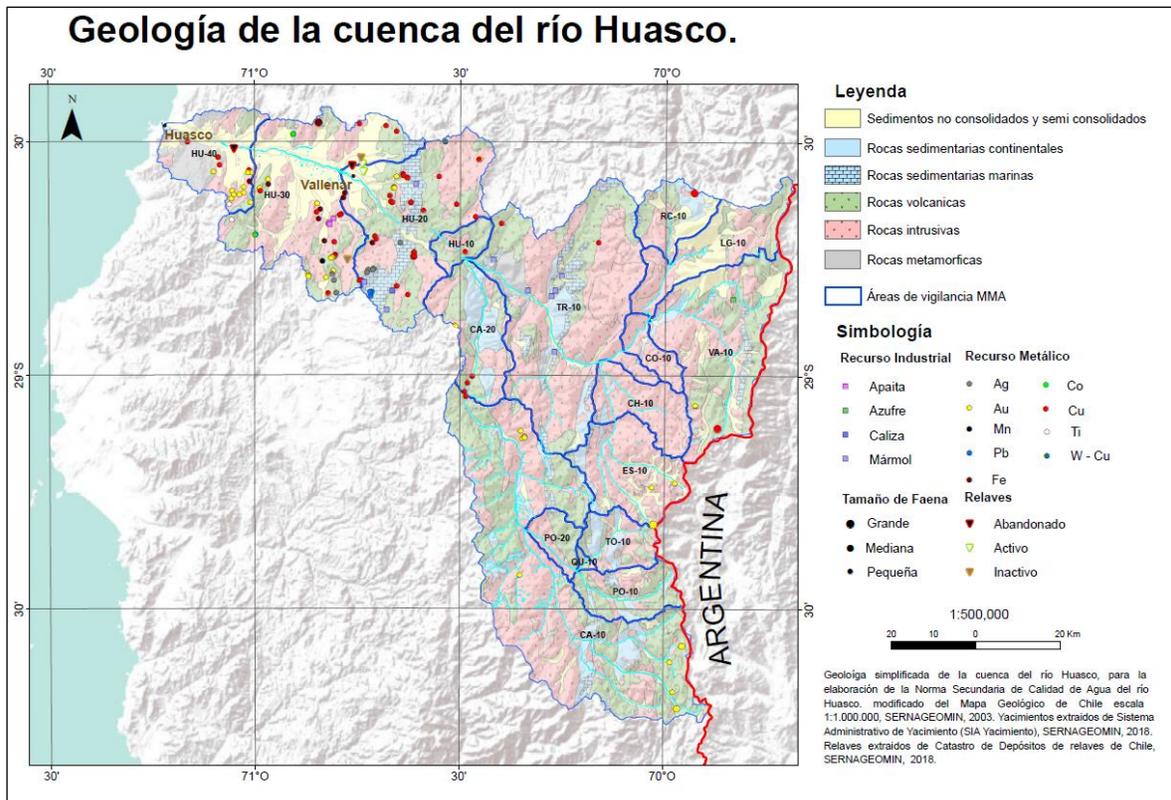


Figura 12: Análisis Geológico de la Cuenca del Río Huasco según Áreas de Vigilancia Propuestas en el Presente Anteproyecto de norma (Fuente: SERNAGEOMIN, 2018. Elaboración Propia).

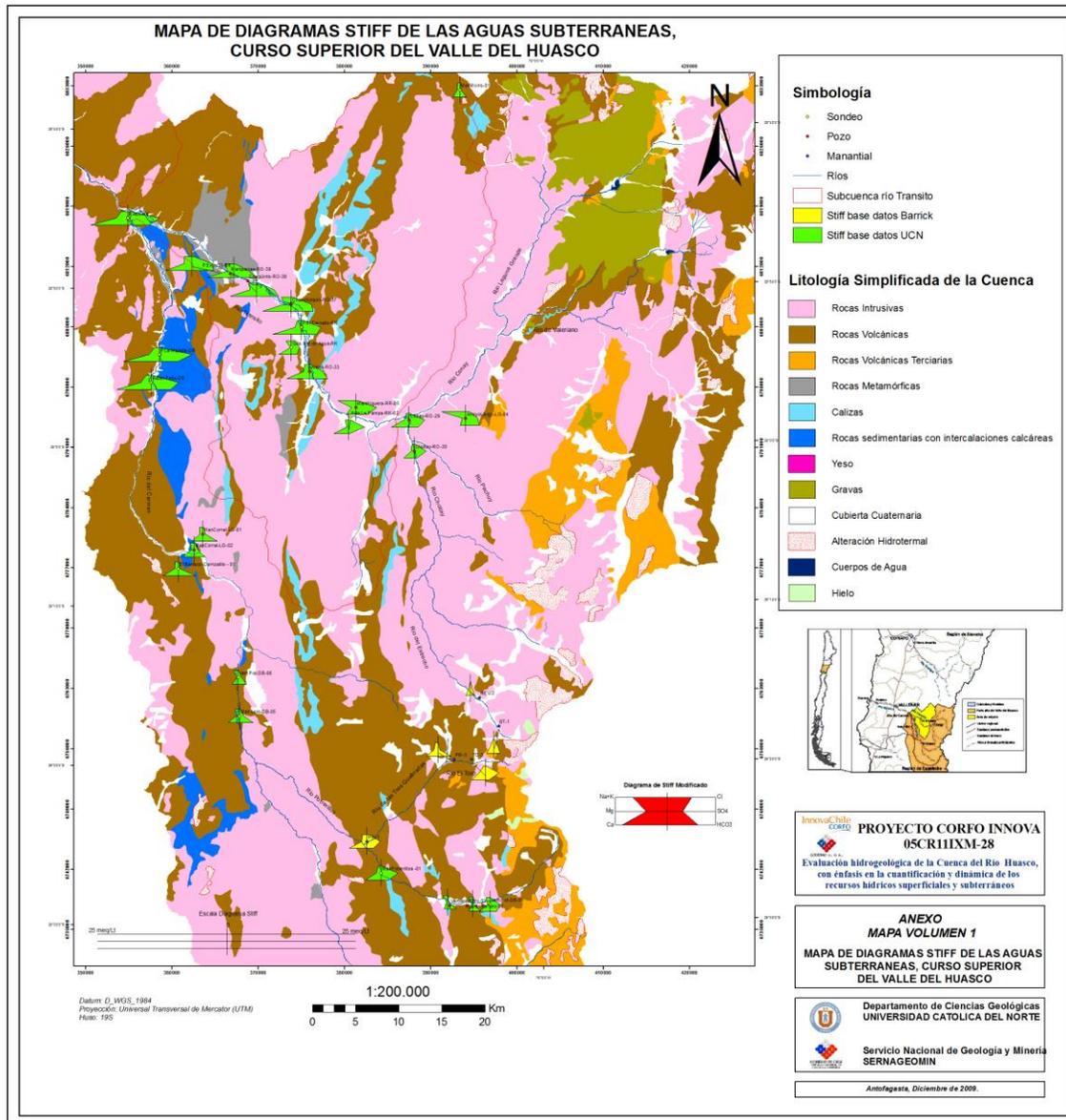


Figura 13: Hidrogeología dominante en la cuenca del Río Huasco más Diagramas de Stiff de la parte alta (Fuente: Universidad Católica del Norte, 2010).

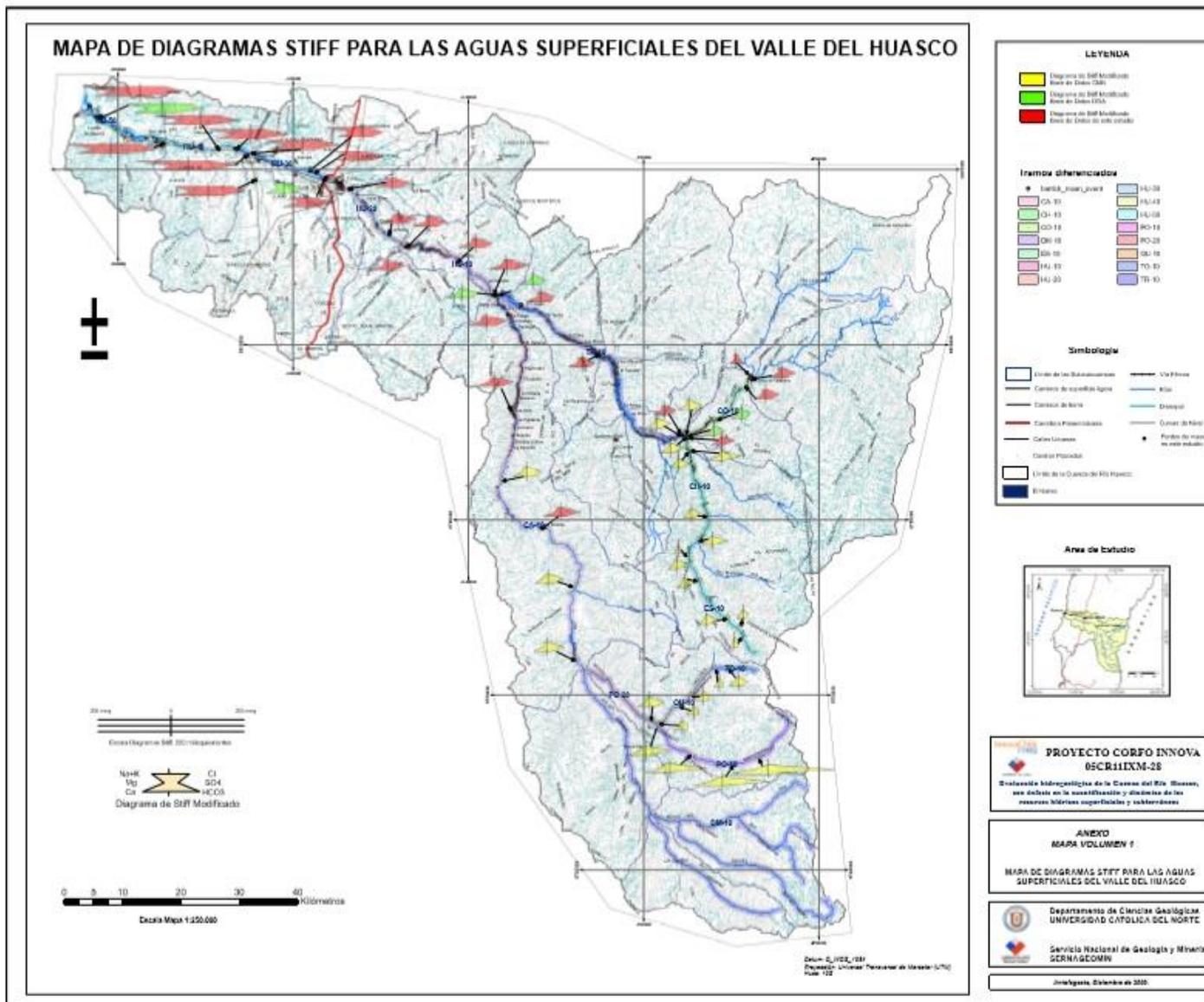


Figura 14: Diagramas de Stiff para las aguas superficiales de la cuenca del río Huasco (Fuente: Universidad Católica del Norte, 2010).

f) Potenciales fuentes de emisión antrópica de la cuenca:

f.1) Emisiones no relacionadas a la extracción minera

f.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
- Base de datos del “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>)

f.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). Figura 15 y Figura 16

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 suaves 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 litosuelos¹⁸.

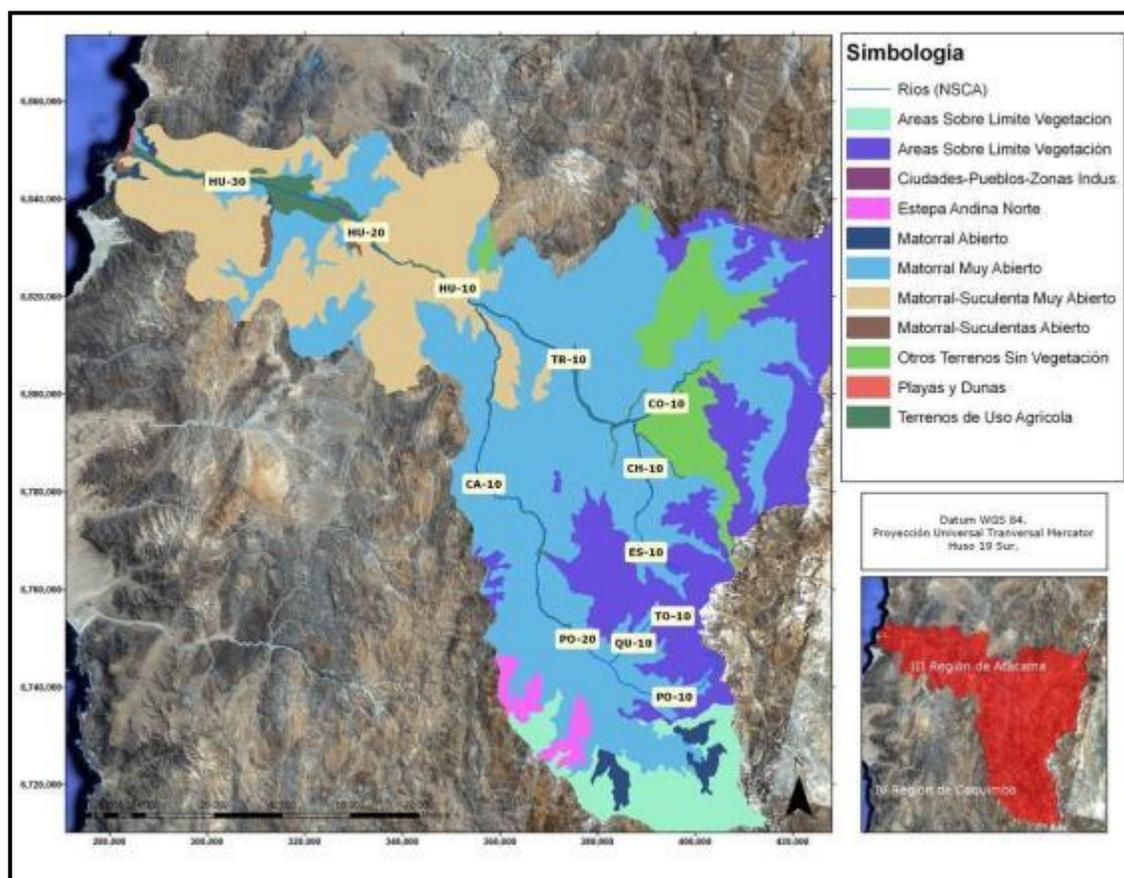


Figura 15: Mapa de Uso de Suelo Cuenca del Río Huasco (Fuente: ALGORITMOS-MMA, 2012).

¹⁸ INIA, 2007.

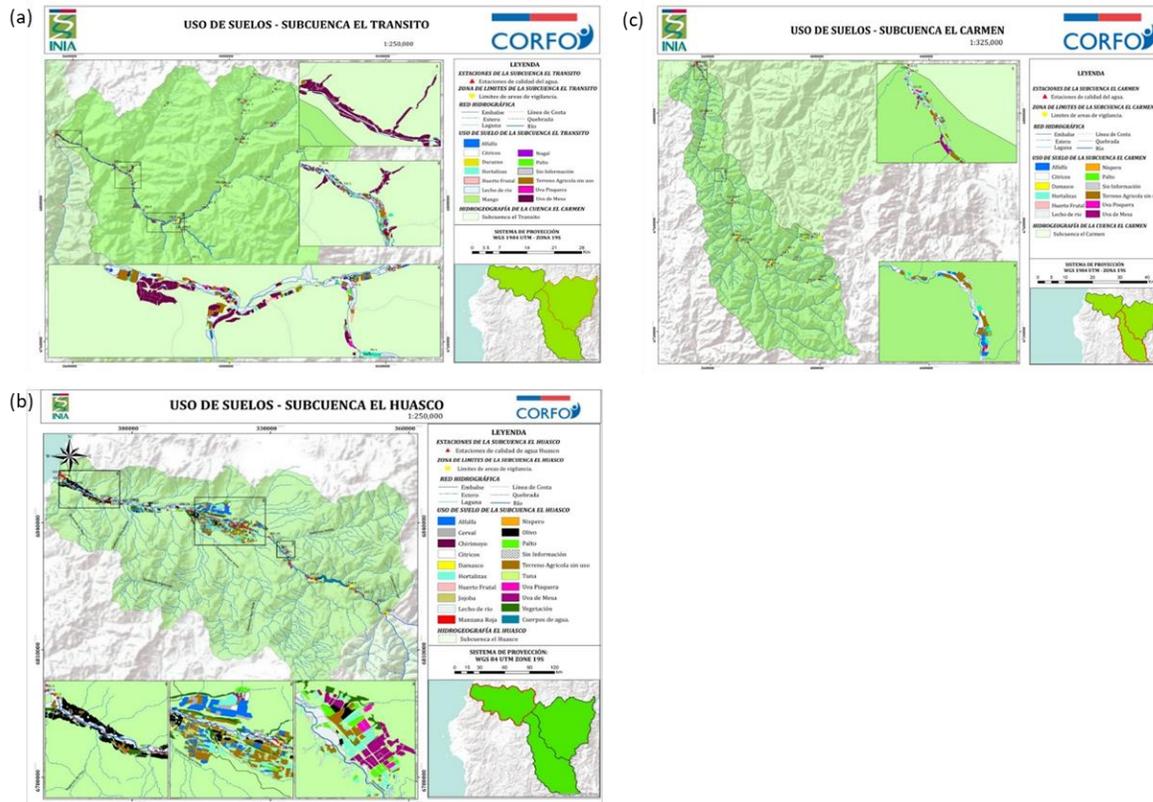


Figura 16: Mapa Uso de Suelos (a) Subcuenca Río El Tránsito (b) Subcuenca Río El Carmen (c) Subcuenca Río Huasco (Fuente: INIA-MMA 2017)

f.2) Minería Activa, Pasivos Mineros y proyectos mineros aprobados por el Servicio de Evaluación Impacto Ambiental (“SEIA”): 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 ambiental, o aprobados, y que pueden comenzar a operar en la cuenca. Esto 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 17)
- 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 17: Fuentes de contaminación de origen minero (Fuente: Catastro de Depósitos de Relave del SERNAGEOMIN (estrellas rojas) y Catastro de Sitios con Potencial Fuente de Contaminantes-MMA (Círculos azules).

Definición de áreas de vigilancia según criterios establecidos

La siguiente tabla (Tabla 6) resume la definición de las áreas de vigilancia de acuerdo a los criterios descritos anteriormente. La Tabla 7, en tanto, describe las áreas de vigilancia propuestas en el presente Anteproyecto de norma, cuyos polígonos se muestran en la Figura 18.

Tabla 6: Definición de áreas de vigilancia según criterios

Área de Vigilancia	Criterio (s)	Decisión según objetivo por Área de Vigilancia.	Fuente de verificación
HU-40, QU-10 , PO-20, RC-10, LG-10, VA-10 CO-10, CH-10 y TR-10	Valor Ecológico: Índices Bióticos Shannon Wiener, ETDCH; IBMWP; ICM; IIB y SIGNAL); presencia de peces endémicos marinos y estuarinos y Sitios Prioritarios u otra figura de protección	<ol style="list-style-type: none"> 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. 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 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. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Programa de Biomonitorio MMA, 2016.¹⁹ 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". 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".
TO-10 y PO-10	Background hidrogeológico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Delimitar áreas de vigilancia, en función con su red de drenaje, en las cuales la geología de la zona es suficientemente distinta a 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Minutas trabajo subcomités operativos SERNAGEOMIN-MMA-SEREMI Medio Ambiente Atacama entre (Expediente Norma: Minuta

¹⁹ goo.gl/i48tgK

		<p>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>QU:10: Presencia de alteración hidrotermal tipo propílica</p>	<p>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>Fuentes de emisiones (no mineras): a) Plantas de Tratamiento de Aguas, Áreas Agrícolas.</p> <p>a) Usos de suelo agrícola a intensivos</p> <p>b) Usos de suelo pecuario</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>HU-20: Ciudad de Vallenar (coordenada descarga WGS89_19 324387 E y 6839171 N)</p> <p>HU-30: 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>CA-20: Poblado Carmen Alto.</p> <p>3. Actividades pecuarias:</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 11²⁰.</p>

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

		PO-10: Veranadas por cabreros de la zona	
CA-10, ES-10 y RC-10	Minería Activa, Pasivos Mineros y EIA Mineros aprobados por el SEIA (impacto futuro de explotaciones mineras en la cuenca)	<ol style="list-style-type: none"> 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), CA-20, antes caracterizada, y CA-10. Esta última potencialmente influenciada por la actividad minera en su cabecera de las faenas de la Minera El Indio. 2. En el caso del Río Estrecho (ES-10), se separó esta área de drenaje, considerando la futura operación del Proyecto Minero Pascua Lama. 3. En el Caso de Río Cazaderos (RC-10): 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. 4. En el caso de HU-30, en esta zona se concentran la mayor cantidad de pasivos mineros huérfanos de la Región, según catastro de Depósitos de Relaves Mineros de SERNAGEOMIN²¹ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Análisis de uso de suelos de la Región. Información, INIA 2018 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. 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) 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 Referencia²²

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

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

Tabla 7: Áreas de vigilancia propuestas, indicando código, cauce, delimitación, estación de monitoreo que se utilizará para el muestreo y coordenadas UTM WGS 84.

N°	Cauce	Área de Vigilancia	Límites Área de Vigilancia	Código Estaciones Unificadas	Coordenadas	
					UTM WGS 84	
					Norte	Este
1	Río Huasco	HU-10	Desde: Confluencia Río Tránsito y Río Carmen Hasta: Aguas arriba del Embalse Santa Juana	Estación DGA Chepica 03820002-K	6.823.906	348.477
2		HU-20	Desde: Aguas arriba del Embalse Santa Juana Hasta: Aguas debajo de la ciudad de Vallenar	Estación DGA Panamericana 03823001-8	6.838.960	324.493
3		HU-30	Desde: Aguas debajo de la ciudad de Vallenar Hasta: Puente Nicolasa, Freirina	INIA 03-H Nicolasa	6.843.939	303.235
4		HU-40	Desde: Puente Nicolasa, Freirina Hasta: Huasco Bajo, Huasco	Estación DGA Huasco Bajo 03826001-4	6.848.713	286.808
5	Río Carmen	CA-10	Desde: Naciente Río Carmen Hasta: Confluencia con Quebrada López	Estación CMN CA4	6.786.630	355.570
6		CA-20	Desde: Confluencia con Quebrada López Hasta: Confluencia con Río Tránsito	Estación DGA Ramadillas 03815001-4	6.818.346	355.150
7	Río Potrerillos	PO-10	Desde: Naciente Río Potrerillos Hasta: Confluencia con Río Tres Quebradas	Estación CMN VIT5	6.744.643	382.403
8		PO-20	Desde: Confluencia con Río Tres Quebradas Hasta: Antes confluencia con Río Carmen	Estación CMN VIT1	6.754.338	370.321
9	Río Tres Quebradas	QU-10	Desde: Aguas arriba confluencia Quebrada La Ortiga Hasta: Río Potrerillos	Estación CMN VIT4	6.744.974	382.410
10	Río del Toro	TO-10	Desde: Naciente Río Toro Hasta: Aguas arriba confluencia Quebrada La Ortiga	Estación CMN TO3	6.748.307	386.301
11	Río El Tránsito	TR-10	Desde: Confluencia Río Conay y Río Chollay Hasta: Confluencia con Río Carmen	Estación DGA 03806001-5	6.818.555	355.067
12	Río Chollay	CH-10	Desde: Río Estrecho Hasta: Río Tránsito	Estación DGA 03803001-9	6.794.225	387.478
13	Río Estrecho	ES-10	Desde: Naciente Río Estrecho Hasta: Río Chollay	Estación CMN NE4	6.769.472	389.489

14	Río Conayo	CO-10	Desde: Confluencia Río Valeriano y Río Laguna Grande Hasta: Río Tránsito	Estación DGA 03802001-3	6.797.190	392.723
15	Río Valeriano	VA-10	Desde: Naciente Río Valeriano Hasta: Río Conayo	Estación El Morro RH-7	6.804.378	398.835
16	Río Laguna Grande	LG-10	Desde: Naciente Río Laguna Grande Hasta: Río Conayo	Estación El Morro RH-8	6.805.171	398.824
17	Río Cazadero	RC-10	Desde: Naciente Río Cazadero Hasta: Río Laguna Grande	Estación El Morro LG-10	6.818.099	403.359

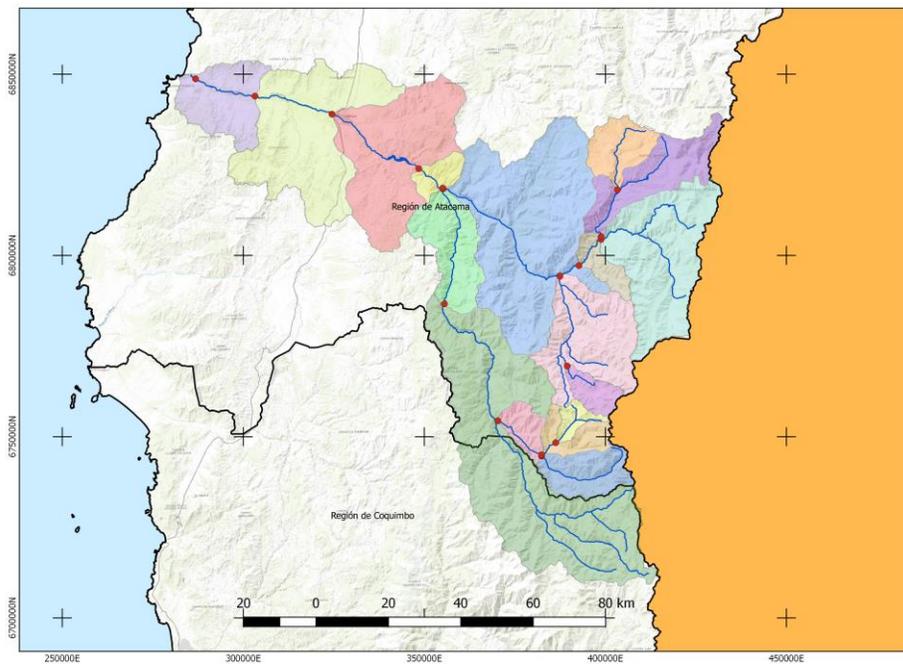


Figura 18: Propuesta de áreas de vigilancia para la cuenca del río Huasco. MMA.

3. Selección de Parámetros

Criterios para la 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 consideraron 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 DGA, 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 a un incremento en la concentración de metales o metaloides en las aguas. Otras fuentes relevantes son las emisiones relacionadas con las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas, y emisiones difusas por escorrentía de suelos agrícolas y ganaderos.
- 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) **Economía de parámetros:** Se evitó 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).
- e) **Otros criterios:** Además de los criterios anteriores, se establecieron como criterios adicionales que los parámetros deben tener datos suficientes para establecer clases de calidad, que deben contar con datos para todas o la mayoría de las Áreas de Vigilancia definidas y que deben contar con un mínimo de 12 datos en los últimos 10 años.

Parámetros seleccionados:

A partir de 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.

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 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-aerofílicas 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.

Nº	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	Cianuro²³	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 trofía, 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 trofía, 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.

²³ 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.

4. 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 biológica²⁴, 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.²⁵⁻²⁶

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.
- **Clase 5:** Considera una calidad muy mala, con un ecosistema fuertemente perturbado y con grandes cargas de contaminantes, donde se esperan intoxicaciones, aparición de

²⁴ Water Quality Rating, EPA: <https://www.epa.gov/environmental-topics/water-topics>

²⁵ 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.

²⁶ 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.

cianobacterias tóxicas, ausencia de peces, pérdida importante de biodiversidad, muy poca oxigenación del agua, con alta turbiedad y un estado hipertrófico.

a) 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, 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 9).

Tabla 9: 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 Iso	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.

		Ecosistemas Acuáticos, en el marco de la Elaboración de Normas Secundarias de Calidad Ambiental de las Aguas Superficiales de la Cuenca del Río Huasco”	
UCN/SERNAGEOMÍN	2010	Evaluación hidrogeológica de la cuenca del río Huasco, con énfasis en la cuantificación y dinámica de los recursos hídricos superficiales y subterráneos.	HU-40.
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)²⁷ 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 ($P \leq 0,05$) y cuyo resultado se presenta en la Figura 19. 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 test y el detalle de las metodologías analíticas comparadas.

27 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.

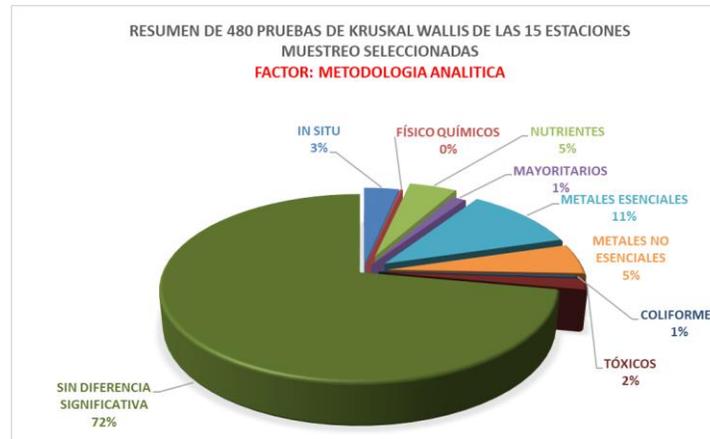


Figura 19: Resumen análisis de varianza para grupos de datos de igual parámetro y área de vigilancia, con distinto tipo de metodología analítica.

Otra de las pruebas realizadas fue el análisis de datos “potencialmente outliers” considerando el criterio de ± 2 desviaciones estándar²⁸. Como resultado, quedaron fuera del análisis, menos de un 5% de los datos.

b) Construcción de clases:

Para realizar el análisis de tabla de clase, se utilizó la data histórica de la cuenca en el periodo 1990-2018 (con excepción del AV en el Río Estrecho, que utilizó el periodo 1990-2008 como será explicado más adelante). Los criterios utilizados para la elaboración de las clases son los siguientes:

- i) **Criterios generales:** Para determinar los valores de cada clase se utilizó análisis estadístico, a través de la obtención de percentiles, a partir de la información de los 16 parámetros definidos para normar y de las 17 áreas de vigilancia. Para lo anterior, se utilizó el criterio de casos, según el cual los mejores casos o concentraciones más bajas de un parámetro (con excepción del oxígeno disuelto (OD) y el pH), fueron asociadas a una condición prístina del Área de Vigilancia o Clase 1, mientras que los peores casos o concentraciones más altas de un parámetro (con excepción del oxígeno disuelto (OD) y el pH), fueron asociadas a una condición ambiental crítica del Área de Vigilancia o Clase 4. Estadísticamente se obtuvieron los mejores casos (menos el OD y pH) calculando el P50 de los percentiles 05 de cada grupo de datos por parámetro en todas las AV, mientras que los peores casos (menos el OD y pH), se obtuvieron calculando el promedio, y P50 para As, de los percentiles 95 de cada grupo de datos por parámetro en todas las AV. La Tabla 10 presenta un ejemplo del cálculo percentiles, para los mejores casos.

²⁸ Rousseeuw, P. J., & Croux, C. (1993). Alternatives to the median absolute deviation. *Journal of the American Statistical Association*, 88(424), 1273–1283.

Tabla 10: Tabla generada con los percentiles 5 de cada parámetro y área de vigilancia, con los cual se obtuvo el percentil 50.

P05	Conducti		Oxigeno		Sulfato	Fosfato	NH4+	NO3	Cu	Fe	Zn	Mn	Hg	Al	As	Coliformes	
	pH	vidad	disuelto													totales	CN-
	[-]	[uS/cm]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	NMP/100mL	[mg/L]
HU-40	7,4	1335	6,99	321,8	0,005	0,01	0,2	0,005	0,02	0,00654	0,00807	0,00012	0,017	0,001	49	0,001	
HU-30	8,32	1245	6,1	389	0,018	0,01	0,203	0,00206	0,02	0,00198	0,00897	0,00013	0,00477	0,001	2	0,001	
HU-20	7,35	557	4,6	172,9	0,00184	0,01	0,235	0,0033	0,02	0,006	0,00726	0,00013	0,0176	0,001	79	0,001	
HU-10	7,1	588	6,53	209	0,009	0,01	0,22	0,00198	0,012	0,0039	0,011	0,00013	0,0357	0,0018	23	0,001	
TR-10	7,15	475	5,83	130,6	0,001	0,01	0,15	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00012	0,2	0,001	1	0,001	
CO-10	7,35	415	6,79	110,5	0,003	0,01	0,113	0,01	0,08	0,01	0,01	0,00013	0,5	0,001	2	0,001	
CH-10	6,55	353	6,07	115,3	0,003	0,01	0,14	0,0069	0,06	0,01	0,01	0,00005	0,3	0,0009	1	0,001	
LG-10	8,02	220	5,95	42,5	0,006	0,01	0,203	0,00162	0,04	0,002	0,00223	0,00013	0,01	0,00062	2	0,001	
VA-10	7,2	466	3,4	146	sin datos	0,03	0,6	0,005	0,05	0,007	0,316	0,00013	0,13	0,001	2	0,001	
ES-10	4,71	260	sin datos	91	sin datos	sin datos	0,3	0,0005	0,03	0,076	0,91	0,00005	0,5	0,00005	1	0,0025	
CA-20	7,15	590	5,65	177	0,003	0,01	0,087	0,00292	0,02	0,00675	0,01	0,00013	0,0451	0,001	23	0,001	
CA-10	7,55	623	5,75	222	sin datos	sin datos	0,18	0,0005	0,005	0,005	0,005	0,00005	0,025	0,0005	8	0,0025	
PO-10	6,08	656	5,11	276	sin datos	sin datos	0,45	0,0005	0,005	0,005	0,51	0,00005	0,025	0,0005	1	0,0025	
PO-20	7,21	511	10,29	151	sin datos	sin datos	0,35	0,001	0,01	0,006	0,01	0,0001	0,017	0,002	2	0,005	
QU-10	7,45	300	4,64	67	0,009	0,01	0,82	0,0005	0,005	0,0005	0,00329	0,00005	0,0025	0,011	1	0,001	
TO-10	6,7	343	12,21	75	sin datos	sin datos	0,86	0,0005	0,005	0,0005	0,0005	0,00005	0,0025	0,00005	1	0,0025	
RC-10	8,21	248	sin datos	32,1	sin datos	0,03	1	0,00162	0,002	0,002	0,00089	0,00013	0,00898	0,00054	2	0,001	

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”^[1] 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 PO-20 (río Potrerillos).

En cuanto a la clase 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.

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

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

parámetro y área de vigilancia, y elaborada a partir de la estadística de la data histórica, tolerancia de las especies y normas internacionales²⁹, 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	6,08 - 9,2				
Conductividad	uS/cm	475	541	830	1118	>1118
Oxígeno disuelto	mg/L	17,4	10,4	6,0	3,4	<3,4
Sulfato	mg/L	146	192	284	375	>375
Fosfato	mg/L	0,0030	0,066	0,5	0,9	>0,9
NH4+	mg/L	0,0100	0,03	0,17	0,31	>0,31
NO3	mg/L	0,22	2,03	3,9	5,8	>5,8
Cu	mg/L	0,002	0,008	0,04	0,08	>0,08
Fe	mg/L	0,02	0,14	2,0	3,9	>3,9
Zn	mg/L	0,006	0,016	0,17	0,33	>0,33
Mn	mg/L	0,01	0,05	0,50	0,96	>0,96
Hg	mg/L	0,001				
Al	mg/L	0,025	0,18	2,7	5,3	>5,3
As	mg/L	0,001	0,004	0,009	0,014	>0,014
Coliformes totales	NMP/100mL	2	49	738	1427	>1427
CN-	mg/L	0,05				

El detalle de la construcción de las clases de calidad por parámetro normado, considerando los criterios establecidos antes, se presenta en la Tabla 12

Tabla 12: Criterios de construcción de clases de calidad por parámetro normado.

Parámetro	Valor y criterio Minuta Técnica 2019	Observaciones
pH (Unidad de pH)	6,1 -9,2 Rango obtenido con la data histórica de la cuenca. El rango menor, se obtuvo con el valor más bajo de Percentil 5 de las AV, esto es en PO-10. Por otro lado el rango mayor se obtuvo con el valor más alto de Percentil 95 de las AV, esto es en LG-10.	Si bien el pH en el AV ES-10 es más bajo (4,7) este valor es extremadamente ácido y pone en riesgo a los ecosistemas acuáticos al propiciar la dilución de los metales presentes en la columna de agua aumentando su biodisponibilidad. Dado lo anterior se decidió normar con el segundo valor más bajo de la cuenca con el cual se asegura un grado de protección aceptable.
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (uS/cm)	C1 = 475. Valor estadístico mediana (P50) de los P05 de todas las AV.	C2 se obtuvo con las AV que presentaron mayores índices de biodiversidad.

²⁹ 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

	<p>C2= 541. Valor estadístico P50 de data histórica de HU-40, PO-20 y QU-10.</p> <p>C3= 830. Valor promedio entre C2 y C4.</p> <p>C4= 1118. Valor estadístico promedio de los P95 de todas las AV.</p>	
OXÍGENO DISUELTO (mg/L)	<p>C1= 17,4. P95 más alto de las AV de la cuenca (PO-20)</p> <p>C2= 10,4. Valor estadístico P50 de data histórica de HU-40, PO-20 y QU-10.</p> <p>C3= 6,0. Referencia internacional South Australia, Environment Protection (Water Quality) Policy 2003. Versión 2009.</p> <p>C4= 3,4. P05 más bajo de las AV de la cuenca (VA-10)</p>	<p>C2 se obtuvo con las AV que presentaron mayores índices de biodiversidad.</p> <p>Para C3 se utilizó referencia internacional considerando similitudes climatológicas y biogeográficas de la zona norte de Chile.</p>
SULFATO (mg/L)	<p>C1= 146. Valor estadístico mediana (P50) de los P05 de todas las AV.</p> <p>C2= 192. Valor estadístico P50 de data histórica de HU-40, PO-20 y QU-10.</p> <p>C3= 284. Valor promedio entre C2 y C4.</p> <p>C4= 375. Valor estadístico promedio de los P95 de todas las AV..</p>	<p>C2 se obtuvo con las AV que presentaron mayores índices de biodiversidad.</p>
FOSFATO (mg/L)	<p>C1= 0,003. Valor estadístico mediana (P50) de los P05 de todas las AV.</p> <p>C2= 0,066. Valor estadístico P50 de data histórica de HU-40, PO-20 y QU-10.</p> <p>C3= 0,5. Valor promedio entre C2 y C4.</p> <p>C4= 0,9. Valor estadístico promedio de los P95 de todas las AV.</p>	<p>C2 se obtuvo con las AV que presentaron mayores índices de biodiversidad.</p>
AMONIO (mg/L)	<p>C1= 0,01. Valor estadístico mediana (P50) de los P05 de todas las AV.</p> <p>C2= 0,03. Valor estadístico P50 de data histórica de HU-40, PO-20 y QU-10.</p> <p>C3= 0,17. Valor promedio entre C2 y C4.</p>	<p>C2 se obtuvo con las AV que presentaron mayores índices de biodiversidad.</p>

	C4=0,31. Valor estadístico promedio de los P95 de todas las AV.	
NITRATO (mg/L)	C1= 0,22. Valor estadístico mediana (P50) de los P05 de todas las AV. C2= 2,03. Valor estadístico P50 de data histórica de HU-40, PO-20 y QU-10. C3=3,9. Valor promedio entre C2 y C4. C4= 5,8. Valor estadístico promedio de los P95 de todas las AV.	C2 se obtuvo con las AV que presentaron mayores índices de biodiversidad.
COBRE TOTAL (mg/L)	C1= 0,002. Valor estadístico mediana (P50) de los P05 de todas las AV. C2= 0,008. Valor estadístico P50 de data histórica de HU-40, PO-20 y QU-10. C3= 0,04. Valor promedio entre C2 y C4. C4= 0,08. Valor estadístico promedio de los P95 de todas las AV.	C2 se obtuvo con las AV que presentaron mayores índices de biodiversidad.
ZINC TOTAL (mg/L)	C1= 0,006. Valor estadístico mediana (P50) de los P05 de todas las AV. C2= 0,016. Valor estadístico P50 de data histórica de HU-40, PO-20 y QU-10. C3= 0,17. Valor promedio entre C2 y C4. C4= 0,33. Valor estadístico promedio de los P95 de todas las AV.	C2 se obtuvo con las AV que presentaron mayores índices de biodiversidad.
HIERRO TOTAL (mg/L)	C1= 0,02. Valor estadístico mediana (P50) de los P05 de todas las AV. C2= 0,16. Valor estadístico P50 de data histórica de HU-40, PO-20 y QU-10. C3= 2,0. Valor promedio entre C2 y C4. C4= 3,9. Valor estadístico promedio de los P95 de todas las AV.	C2 se obtuvo con las AV que presentaron mayores índices de biodiversidad.
MANGANESO TOTAL (mg/L)	C1= 0,01. Valor estadístico mediana (P50) de los P05 de todas las AV. C2= 0,05. Valor estadístico P50 de data histórica de HU-40, PO-20 y QU-10.	C2 se obtuvo con las AV que presentaron mayores índices de biodiversidad.

	<p>C3= 0,5. Valor promedio entre C2 y C4.</p> <p>C4= 0,96. Valor estadístico promedio de los P95 de todas las AV.</p>	
ALUMINIO TOTAL (mg/L)	<p>C1= 0,025. Valor estadístico mediana (P50) de los P05 de todas las AV.</p> <p>C2= 0,18. Valor estadístico P50 de data histórica de HU-40, PO-20 y QU-10.</p> <p>C3= 2,7. Valor promedio entre C2 y C4.</p> <p>C4= 5,3. Valor estadístico promedio 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>C1= 0,001. Valor estadístico mediana (P50) de los P05 de todas las AV.</p> <p>C2= 0,004. Valor estadístico P50 de data histórica de HU-40.</p> <p>C3= 0,009. Valor promedio entre C2 y C4.</p> <p>C4= 0,014. 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)	0,001 Valor obtenido de la NCh 409, de calidad de agua potable.	Se utilizó normativa de referencia porque los valores históricos eran límites de detección.
CIANURO TOTAL (mg/L)	0,05 Valor obtenido de la NCh 409, de calidad de agua potable.	Se utilizó normativa de referencia porque los valores históricos eran límites de detección.
COLIFORMES TOTALES (nmp/100MI)	<p>C1= 2. Valor estadístico mediana (P50) de los P05 de todas las AV.</p> <p>C2= 49. Valor estadístico P50 de data histórica de HU-40, PO-20 y QU-10.</p> <p>C3= 738. Valor promedio entre C2 y C4.</p> <p>C4= 1427. Valor estadístico promedio de los P95 de todas las AV.</p>	C2 se obtuvo con las AV que presentaron mayores índices de biodiversidad.

Para el caso de los parámetros Mercurio (Hg) y Cianuro (CN⁻), 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⁻ un valor de 0,05 mg/L.

5. 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), posterior a la paralización del proyecto minero Pascua Lama en 2013. El estado actual se determinó como el 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 un año, con una frecuencia de doce veces por año, debe cumplir el valor norma establecido”. Asimismo, este criterio corresponde al criterio utilizado para valorar los cumplimientos dentro del Análisis General de Impacto Económico y Social de su anteproyecto.

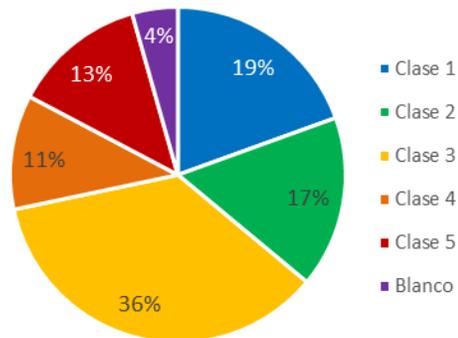
En la Tabla 13 se muestra la aplicación de la Tabla de Clases en la Tabla de Estado Actual, en la que los códigos de colores representan la clase de calidad en la que quedarían cada combinación de parámetro/área de vigilancia. Azul = clase 1; verde = clase 2; amarillo = clase 3; naranja = clase 4; rojo = clase 5.

Tabla 13: Evaluación del Estado Actual, de acuerdo al Anteproyecto de NSCA, presentado en el presente documento.

Calidad Actual		Huasco				El Tránsito						El Carmen						
Parámetro	Unidad	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 bajo	Unid. de pH	7,27	8,5	7,87	7,63	7,38	7,65	8,37	8,4	6,94	7,6	6,88	7,07	7,35	7,19	6,93	7,75	7,56
pH alto	Unid. de pH	9,64	8,92	9,53	8,34	8,04	9,47	8,83	9,1	7,6	9,19	8,69	7,82	8,1	7,96	8,05	9,16	8,11
Conductividad	uS/cm	No normado	2563	1493	887	612	896	341	310	430	813	633	633	426	736	1034	854	854
Oxígeno disuelto	mg/L	9,5	8,1	9,169	6,8	3,5	7,99	sin datos	6,4	13,2	7,17	7,4	12,27	6,34	10,3	7,4	8,089	10,7
Sulfato	mg/L	No normado	700	472	328	210	268,8	52	76,5	185,68	211,7	227,9	475	114	255	545	358,7	329
Fosfato	mg/L	0,037	1	0,051	0,018	0,0215	0,009	sin datos	0,039	sin datos	0,008	0,009	sin datos	0,1	sin datos	0,0045	0,005	sin datos
NH4+	mg/L	0,95	0,05	0,012	0,1	0,1	0,85	0,07	0,082	sin datos	0,02	0,79	sin datos	0,016	sin datos	0,14	0,03	sin datos
NO3	mg/L	0,4	3,43	0,518	3	1,9	2,26	1,73	1,29	2,61	0,538	0,87	13,9	14,4	8,71	2,8	0,51	2,11
Cu	mg/L	0,028	0,0051	0,02	0,02	0,0995	0,055	0,01	0,009	0,0679	0,103	0,064	0,005	0,1	0,01	0,005	0,027	0,005
Fe	mg/L	0,12	0,15	0,389	0,23	1,12	12,49	0,05	0,278	0,89	3,326	2,08	0,08	0,29	1,2	0,14	10,08	0,43
Zn	mg/L	0,022	0,0328	0,031	0,0705	0,2835	0,218	0,029	0,06	0,6279	0,262	0,212	0,005	0,138	0,035	0,29	0,104	0,005
Mn	mg/L	0,064	0,0337	0,068	0,0656	0,43	0,887	0,012	0,0462	1,5578	0,483	0,83	0,005	0,06	0,286	1,47	0,766	0,16
Hg	mg/L	0,002	0,0005	0,002	0,0001	0,0005	0,002	0,0005	0,0005	0,00005	0,002	0,002	0,00005	0,00005	0,0001	0,00005	0,002	0,00005
Al	mg/L	0,3	0,083	0,3	0,53	3,13	3,997	0,5	0,08	3,147	2,61	4,45	0,08	0,2	1,07	0,38	0,5	0,86
As	mg/L	0,00498	0,0078	0,006	0,01	0,013	0,006	0,001	0,0019	0,0023	0,012	0,005	0,004	0,049	0,027	0,004	0,012	0,007
Coliformes totales	NMP/100mL	435	1700	285	490	8	79	13	280	1	33	33,5	79	2400	2800	330	105	350
CN-	mg/L	0,02	0,02	0,001	0,002	0,02	0,02	0,02	0,02	0,0025	0,011	0,02	0,0025	0,0025	0,005	0,0025	0,002	0,0025

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 20a. 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 (72%) se agrupa en estas tres clases, mientras que otro porcentaje no se evalúa al optarse por no normarlos debido a la falta de suficiente data histórica (categoría blancos, 4%). De esta forma, el cumplimiento alcanzaría un 75% (Figura 20b). Los parámetros que no hayan sido evaluados serán incluidos en la Red de Observación de la norma presentada en el Anexo de este documento.

(a) Estado actual según clases de calidad



(b) Cumplimiento (clases de calidad igual o menor a 3) según estado actual

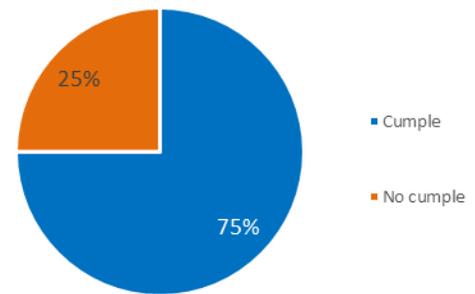


Figura 20: (a) Distribución de combinaciones parámetro/Área de Vigilancia, en la Evaluación del Estado Actual del Anteproyecto de NSCA del Río Huasco. (b) Evaluación del cumplimiento de la norma, para las combinaciones parámetro/Área de Vigilancia, en la Evaluación del Estado Actual del Anteproyecto 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 14), es decir una mala condición de la calidad del agua para los fines de la presente norma. Se analizó un total de 65 de estas combinaciones. Lo anterior, considerando dos escenarios, que dichos valores elevados (con excepción del parámetro Oxígeno Disuelto y pH) 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 14: Casos de incumplimiento normativo en la de la Evaluación del Estado Actual.

Incumplimientos		Huasco				El Tránsito						El Carmen						
Parámetro	Unidad	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 bajo	Unid. de pH																	
pH alto	Unid. de pH	9,64		9,529			9,47											
Conductividad	uS/cm		2563	1493	887		896									1034	854	854
Oxígeno disuelto	mg/L					3,5												
Sulfato	mg/L		700	472,21	328								475			545	358,72	329
Fosfato	mg/L		1															
NH4+	mg/L	0,95					0,85					0,79						
NO3	mg/L												13,9	14,4	8,71			
Cu	mg/L					0,0995	0,055			0,0679	0,103	0,064		0,1				
Fe	mg/L						12,49				3,326	2,08					10,079	
Zn	mg/L					0,2835	0,218			0,6279	0,262	0,212				0,29		
Mn	mg/L						0,887			1,5578		0,83				1,47	0,766	
Hg	mg/L	0,002		0,002			0,002				0,002	0,002						0,002
Al	mg/L					3,13	3,997			3,147		4,45						
As	mg/L				0,01	0,013					0,012			0,049	0,027		0,012	
Coliformes totales	NMP/100mL		1700											2400	2800			
CN-	mg/L																	

La metodología para abordar este análisis se basó en información oficial entregada mediante Oficios Ordinarios de distintos Servicios Públicos, representantes del Comité Operativo de la Norma (Ordinario N° 3653 de 28 de Mayo de 2018 SERNAGEOMIN Región Atacama; Ordinario N° 1404 de

18 de junio de 2018, SEREMI de Salud Atacama; Ordinario 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 (Ordinario N° 616 de 30 de 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 (Ordinario N° 635 de 13 de noviembre de 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 15, 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.

Tabla 15: 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"> Minuta "Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco Minuta Reunión Trabajo SERNAGEOMIN – MMA del 8 de Noviembre de 2018. 	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"> Minuta "Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco Minuta Reunión Trabajo SERNAGEOMIN – MMA del 8 de Noviembre de 2018. 	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 QU-10	5	El comportamiento de esta variable en las AV TO-10, PO-20 y QU-10, muestra 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.	Se propone normar este parámetro en clase 4, por la presencia de del proyecto 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;">Concentraciones de Nitrato (NO₃-) en los ríos Potrerillos, Tres Quebradas y Toro vs fecha</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"> Minuta "Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco Ord. N°3653 de 28 de Mayo de 2018 SERNAGEOMIN Región Atacama. 	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"> Minuta "Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco. Ord. N°3653 de 28 de Mayo de 2018 SERNAGEOMIN Región Atacama. 	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"> Minuta "Resumen Geológico de la Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco. Ord. N°3653 de 28 de Mayo de 2018 SERNAGEOMIN Región Atacama. 	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 Cuenca del Río Huasco, para la Elaboración de la	Se propone normar este parámetro en clase 5, puesto que en este sector los altos valores de As corresponderían al background natural.

			Norma Secundaria de Calidad de Aguas del Río Huasco	
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 Chanchoquin, 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 ³⁰ , en base a que datos históricos eran valores de límites de detección.
CN ⁻	Todas	0,05 mg/L t	Valor Normativa de Agua Potable (NCh 409).	Se propone utilizar valor de norma chilena de agua potable ¹⁹ , en base a que datos históricos eran valores de límites de detección.

Con los criterios y propuestas presentadas en la Tabla 15, se resume el análisis de cumplimiento de los valores norma propuestos en la Tabla 16, 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 celdas 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.

³⁰ NORMA CHILENA OFICIAL NCh409/1.Of2005 Agua potable.

Tabla 16: 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	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	-1	0	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Conductividad	-	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oxígeno disuelto	0	0	0	0	-1	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	0
Fosfato	0	-2	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	-
NO3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0
Cu	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
Zn	0	0	0	0	-1	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	0
Hg	0	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	0
As	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coliformes totales	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0
CN-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Dado este nuevo escenario de cumplimiento, con cambios de incumplimiento a cumplimiento en 38 de 65 combinaciones de Parámetro/ Área de vigilancia, una Evaluación del Estado de Cumplimiento Versión 2, arrojaría los porcentajes de la Figura 21.

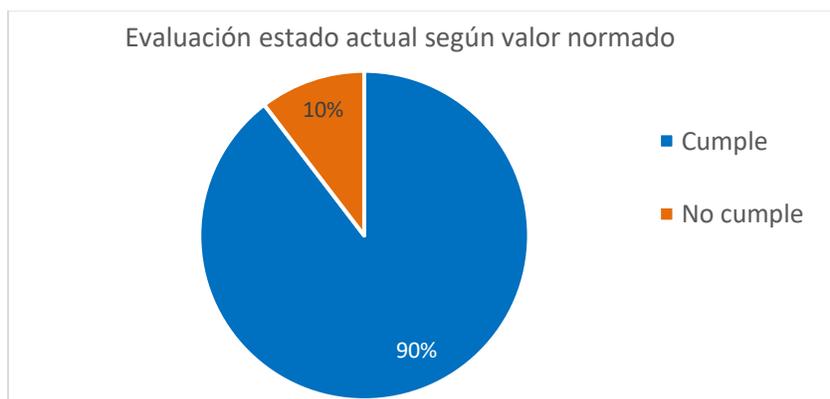


Figura 21: Evaluación del cumplimiento de norma, para las combinaciones parámetro/Área de Vigilancia, en la Evaluación del Estado Actual del Anteproyecto de NSCA del Río Huasco.

Esta propuesta de Evaluación del Estado Actual, fue sometida al pronunciamiento del Comité Operativo de la norma en la 18ª reunión y debe ser presentada al Comité Operativo Ampliado en las próximas reuniones.

a) **Descriptores de la NSCA:**

La Tabla 17 presenta un resumen de la norma, indicando el número total de combinaciones de parámetros y áreas de vigilancia normados e información relativa a las saturaciones, considerando el anteproyecto presentado y el estado actual (p. ej. número de saturaciones, parámetros con mayor cantidad de saturaciones).

Tabla 17: Descriptores del proyecto de norma.

	Total Norma
Nº total de normas	260
Nº total de saturaciones	21
Mayor nº de saturaciones	- pH - Coliformes totales - Nitrato
% de saturación	8
Nº de tramos saturados	9

6. 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, la cual se presenta en la Tabla 18.

Tabla 18: Propuesta de valores norma propuestos para cada Área de Vigilancia y Parámetro, según lo determinado en este documento. Los valores en rojo indican que existe incumplimiento.

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	Unid. de pH	6,1-9,2	6,1-9,2	6,1-9,2	6,1-9,2	6,1-9,2	6,1-9,2	6,1-9,2	6,1-9,2	6,1-9,2	6,1-9,2	6,1-9,2	6,1-9,2	6,1-9,2	6,1-9,2	6,1-9,2	6,1-9,2	6,1-9,2
Conductividad	uS/cm	-	1118	1118	1118	830	1118	475	475	475	830	830	830	475	830	1118	1118	1118
Oxígeno disuelto	mg/L	6	6	6	6	6	6	-	6	10,4	6	6	10,4	6	6	6	6	10,4
Sulfato	mg/L	-	375	375	375	284	284	146	146	192	284	284	475	146	284	545	375	375
Fosfato	mg/L	0,066	0,5	0,066	0,066	0,066	0,066	-	0,066	-	0,066	0,066	-	0,5	-	0,066	0,066	-
NH4+	mg/L	0,17	0,17	0,03	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	-	0,03	0,79	-	0,03	-	0,17	0,17	-
NO3	mg/L	2	3,9	2	3,9	2	3,9	2	2	3,9	2	2	5,8	5,8	5,8	3,9	2	3,9
Cu	mg/L	0,04	0,008	0,04	0,04	0,08	0,08	0,04	0,04	0,08	0,103	0,08	0,008	0,1	0,04	0,008	0,04	0,008
Fe	mg/L	0,14	1,9	1,9	1,9	1,9	3,7	0,14	1,9	1,9	3,7	3,7	0,14	1,9	1,9	1,9	3,7	1,9
Zn	mg/L	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,33	0,17	0,17	0,63	0,33	0,33	0,006	0,17	0,17	0,33	0,17	0,006
Mn	mg/L	0,5	0,05	0,5	0,5	0,5	0,96	0,05	0,05	1,56	0,5	0,96	0,01	0,5	0,5	1,47	0,96	0,5
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	2,7	0,18	2,7	2,7	5,2	5,2	2,7	0,18	5,2	2,7	5,2	0,18	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
As	mg/L	0,009	0,009	0,009	0,014	0,014	0,009	0,004	0,004	0,004	0,014	0,009	0,009	0,05	0,03	0,009	0,014	0,009
Coliformes totales	NMP/100mL	738	738	738	738	49	738	49	738	2	49	49	738	1427	1427	738	738	738
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

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.
- En general, se decidió normar como límite máximo hasta clase 3, con el objetivo de mantener las buenas condiciones de calidad y resguardo de la biodiversidad. No obstante, algunos parámetros en áreas de vigilancia específicas fueron normadas en clase 4 o 5, consideradas como mala calidad, debido a condiciones naturales.
- 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 rio 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.

V. 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.