



CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

ESTUDIO PARA ACTUALIZACIÓN DE ANTECEDENTES TÉCNICOS PARA  
DESARROLLAR LA NORMA SECUNDARIA DE CALIDAD PARA LA PROTECCIÓN  
DE LAS AGUAS CONTINENTALES EN LA CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA,  
REGIÓN DE VALPARAÍSO

INFORME FINAL

Versión 3

Solicitado por  
SEREMI Medio Ambiente, Región de Valparaíso  
Ministerio de Medio Ambiente

Santiago de Chile  
Mayo de 2015

### **Equipo de Trabajo**

---

Rodrigo Ramos

Alejandro Palma

Valentina Escanilla

**Unidad de Biodiversidad, Centro Nacional del Medio Ambiente.**

### **Contraparte Técnica**

---

Dino Figueroa

**Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente, Región de Valparaíso.**

Hernan Latuz

Francisco Donoso

**Ministerio del Medio Ambiente.**

## Contenido

RESUMEN EJECUTIVO .....	5
INTRODUCCIÓN.....	7
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos.....	9
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA.....	10
METODOLOGÍA GENERAL DEL ESTUDIO.....	16
Objetivos y actividades.....	16
Reuniones de trabajo y ajustes con la contraparte técnica del proyecto.....	16
Cronograma.....	16
METODOLOGÍA DEL ESTUDIO POR OBJETIVOS.....	19
OBJETIVO ESPECIFICO A: Revisar, actualizar y validar las bases de datos históricos de calidad de agua disponible según requerimientos de la propuesta de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental, en adelante (NSCA) para la cuenca del río Aconcagua.....	19
1. Recopilación y sistematización de la información.....	19
2. Validación de la información.....	20
3. Construcción de un archivo consolidado con la información seleccionada y sistematizada en formato Excel.....	21
OBJETIVO ESPECIFICO B: Establecer y justificar técnicamente las áreas de vigilancia, así como también los parámetros a normar para la nueva propuesta normativa.....	22
1. Recopilación y análisis de información espacial.....	22
2. Establecimiento/justificación de áreas de vigilancia.....	23
3. Delimitación de las áreas de vigilancia.....	35
4. Selección de parámetros a normar.....	36
OBJETIVO ESPECIFICO C: Realizar el o los análisis estadísticos respectivos que permitan definir los valores de calidad ambiental para todos los parámetros propuestos.....	38
OBJETIVO ESPECIFICO D: Definir los objetivos ambientales de cada área de vigilancia.....	39
OBJETIVO ESPECIFICO E: Efectuar una nueva propuesta de anteproyecto de NSCA para la cuenca del río Aconcagua.....	42

RESULTADOS .....	43
Reunión con la contraparte técnica .....	43
OBJETIVO ESPECIFICO A: Revisar, actualizar y validar las bases de datos históricos de calidad de agua disponible según requerimientos de la propuesta de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental, en adelante (NSCA) para la cuenca del río Aconcagua. ....	44
1. Recopilación y sistematización de información relevante .....	44
2. Validación de la información sistematizada .....	50
3. Base de Datos Obtenida .....	53
4. Resumen de los datos encontrados .....	54
5. Datos de fauna.....	56
OBJETIVO ESPECIFICO B: Establecer y justificar técnicamente las áreas de vigilancia, así como también los parámetros a normar para la nueva propuesta normativa. ....	60
1. Recopilación y análisis de información espacial.....	60
2. Establecimiento/justificación de áreas de vigilancia .....	61
3. Delimitación geográfica y propuesta de áreas de vigilancia .....	73
4. Selección de parámetros a normar .....	77
OBJETIVO ESPECIFICO C: Realizar el o los análisis estadísticos respectivos que permitan definir los valores de calidad ambiental para todos los parámetros propuestos. ....	87
OBJETIVO ESPECIFICO D: Definir los objetivos ambientales de cada área de vigilancia. ....	89
OBJETIVO ESPECIFICO E: Efectuar una nueva propuesta de anteproyecto de NSCA para la cuenca del río Aconcagua. ....	94
CONSIDERACIONES ADICIONALES Y RECOMENDACIONES .....	96
CONCLUSIONES .....	98
REFERENCIAS .....	99

## RESUMEN EJECUTIVO

Se revisó y validó la base de datos histórica de la calidad de agua de la DGA en conjunto con bases de datos adicionales proveniente de trabajos realizados en la cuenca del Aconcagua. Se recopiló un total de 34513 registros, de los cuales se validaron un total de 31282 registros para 42 parámetros de calidad de agua colectados entre los años 1980 y 2014. En acuerdo con la contraparte técnica y luego de evaluar distintas ventanas temporales, para el establecimiento de las clases y niveles de calidad se utilizó la base de datos correspondiente al periodo 2000-2014 por ser el periodo correspondiente a la entrada en vigencia del decreto supremo 90, y que refleja los parámetros de los últimos 15 años en la cuenca.

Se estableció un total de 14 áreas de vigilancia para el total de la cuenca del Aconcagua luego de caracterizar la cuenca usando una metodología cuantitativa desarrollada por el equipo consultor para efecto de esta propuesta, basada en información espacial relativa a tres conjuntos de atributos: a) Características físicas y políticas de la cuenca: hidrología, usos de suelo, subcuencas, tipología de ríos, ciudades; b) Actividades económicas: ubicación de industrias, puntos de descargas RILES; y c) Aspectos ecológicos y normativos: Servicio Nacional de Áreas Silvestres protegidas por el Estado (SNASPE), especies en categorías de conservación, estado ecológico de los tramos, áreas de vigilancia propuestas por CONAMA, estaciones de monitoreo vigentes DGA.

Seis categorías de actividades económicas fueron identificadas como relevantes en la cuenca: agrícola-ganadera, urbano-industrial, minería, producción de alimentos, extracción de áridos, y generación eléctrica. A partir de estas actividades y sus descargas asociadas se seleccionaron un total de 31 parámetros fisicoquímicos para la nueva propuesta normativa, de los cuales 26 se proponen para norma y 5 para seguimiento o vigilancia. Los valores para cada parámetro propuesto para norma fueron categorizados en cinco clases de calidad a partir de la estadística basada en percentiles desde la base de datos histórica de cada parámetro. Las clases son: Clase 1 o Muy buena, Clase 2 o Buena, Clase 3 o Regular, Clase 4 o Mala, y Clase 5 o Muy mala.

Debido a que la Norma Secundaria de Calidad de Agua (NSCA) apunta a la protección de la biota, se seleccionaron además cuatro parámetros biológicos para evaluar la calidad ecológica y fisicoquímica de la cuenca, que sirvan de indicadores directos del estado de la biota en el sistema: a) los macroinvertebrados bentónicos, b) el fitobentos, c) las macrófitas, y d) los índices de ribera y hábitat fluvial. Estos fueron escogidos por tener facilidades logísticas importantes: un protocolo rápido, facilidad técnica y poseen amplio reconocimiento mundial para este fin. Los muestreos biológicos deben ser realizados de manera paralela a los fisicoquímicos de modo de incluirlos en la norma en el próximo proceso de revisión de ésta.

Se definió una estrategia de gestión de calidad ambiental (conservadora, moderada o agresiva) para cada área de vigilancia, calculada en base a la combinación de los valores biológico, económico y potencial demográfico. Esto permite identificar áreas donde se debe y/o puede ser más exigente (estrategia agresiva) al establecer los límites de la norma, y donde se debe y/o puede ser menos exigente (estrategia conservadora).

En base a la estrategia de gestión de calidad ambiental de cada área de vigilancia y a las clases de calidad actuales calculadas por parámetro fisicoquímico y área de vigilancia, se definieron de manera directa los valores norma para éstos, valores obtenidos provienen de la base de datos fisicoquímica histórica.

Finalmente y debido a las intensas presiones a las que se ve sometida la cuenca, a la diversidad de actividades económicas desarrolladas en ésta y la heterogeneidad física y biológica de la misma, se entregan cuatro recomendaciones relevantes: a) realizar un monitoreo de concentración de metales en los sedimentos para cada área de vigilancia una vez al año, adicional a los monitoreos estacionales en la columna de agua. Esto debido a que los sedimentos constituyen un banco de nutrientes y metales, los cuales pueden ser liberados a la columna de agua tras alteraciones de pH o mecánicas. Así el registro de elementos en sedimentos permite evaluar el riesgo potencial al ecosistema, producto de eventuales alteraciones fisicoquímicas, b) incorporar parámetros biológicos al programa de vigilancia c) Realizar un estudio de línea base de biodiversidad adicional cada 5 años (al menos) a fin de establecer el estado real de la biota fluvial y su evolución temporal, lo que permitiría tener un catastro actualizado de las especies presentes, su diversidad y estado de conservación, así como evaluar la efectividad de los instrumentos de gestión y control asociados a la normativa y d) vigilar los niveles de aquellos parámetros fisicoquímicos y biológicos de importancia en la cuenca y de los que no se poseen datos actuales para normar, con miras a su futura incorporación a la NSCA.

## INTRODUCCIÓN

En el año 2010 y de acuerdo con lo establecido en la Ley N° 19.300/1994 MINSEGPRES sobre Bases Generales del Medio Ambiente, se implementó el desarrollo de Normas Secundarias de Calidad del Agua para la preservación de la biota asociada. Esta normativa es una herramienta valiosa para la gestión en la conservación de la biodiversidad de especies, la elaboración e implementación de Planes de Regulación, Manejo y Gestión de Especies y la puesta en marcha de medidas para su preservación.

La cuenca del río Aconcagua constituye el soporte para los principales asentamientos humanos, procesos productivos y de servicios de la Región de Valparaíso. Debido a sus características únicas se ha convertido en un centro vital para el desarrollo socioeconómico del país, cuenta con una importante actividad industrial y acoge a una gran cantidad de habitantes, por lo que su gestión es compleja y responde a intereses de variados sectores que presentan importancia en el desarrollo de la región y del país. Se encuentra situada entre los paralelos 32° 20' y 33° 07' latitud sur, y entre los meridianos 71° 31' y 70° 00' longitud oeste. Tiene una superficie estimada de 7.337 Km<sup>2</sup> y geográficamente está inserta en su totalidad dentro de la Región de Valparaíso.

El río Aconcagua nace por la confluencia de los ríos Juncal y Blanco, con el gran aporte andino proveniente del río Colorado, que recibe por su lado norte a poco más de 13 Km aguas abajo. Estos tres ríos provienen de la alta cordillera de Los Andes con alturas entre 5.400 y 7.000 m.s.n.m., lo cual permite una glaciación importante y una nivación estacional considerable, y contribuye a fijar las características hidrológicas del río Aconcagua (Anteproyecto NSCA cuenca río Aconcagua, 2005).

Su régimen hidrológico es de alimentación mixta, o nivo-pluvial. En su zona alta y media el río Aconcagua es de régimen marcadamente nival, presentando un gran aumento de caudal en los meses de primavera producto de los deshielos cordilleranos. En la zona baja, el río Aconcagua posee un régimen pluvial, por lo cual presenta crecidas asociadas directamente con las precipitaciones. En su nacimiento después de la confluencia de los ríos Juncal y Blanco (1.420 m.s.n.m.), tiene las características de un río importante con un promedio anual de caudal natural de 20.5 m<sup>3</sup>/s. Entra al valle central en el sector del puente Las Vizcachas, en la Primera Sección, con un promedio anual de caudal natural de 33.0 m<sup>3</sup>/s. En su curso medio, el río Aconcagua recibe aportes de varios esteros de marcado régimen pluvial; por el lado norte, los esteros Catemu y Los Litres, mientras que por la ribera sur llegan los afluentes Lo Campo y Los Loros. En su curso inferior, luego de recibir los aportes del estero Rautén, su principal tributario corresponde al estero Limache, una subcuenca regulada por el embalse Los Aromos. Finalmente, y luego de un recorrido de aproximadamente 190 kilómetros desde su nacimiento, desemboca al Océano Pacífico, en la comuna de Concón (Anteproyecto NSCA cuenca río Aconcagua, 2005).

En términos generales la cuenca del río Aconcagua, de acuerdo a la Estrategia Regional de Desarrollo (ERD), es el segundo eje de crecimiento de la región donde se llevan a cabo diferentes actividades de minería en la cordillera, como es la División Andina de CODELCO Chile en el río Blanco, y en las cabeceras de algunos tributarios (Estero Catemu, Los Litres). Existen también importantes proyectos hidroeléctricos en la zona, que son alimentados con aguas de la parte alta de la primera sección del río Aconcagua, y una importante y extensa actividad agrícola. Otras actividades como extracción de

áridos, industria manufacturera, turismo y servicio de transporte se desarrollan en la cuenca, haciendo de ella una zona de alta demanda y múltiples usos.

Todas estas actividades generan riesgos para la protección y conservación del medio ambiente, así como también para la preservación de la vida asociada a dicho entorno. La acción antrópica ha influido en la pérdida evidenciada en la calidad del suelo y aguas, junto con un manejo inadecuado de los residuos sólidos y de las fuentes puntuales y difusas que descargan sus residuos líquidos a los cursos y cuerpos de aguas de la cuenca. Esta degradación en la calidad del recurso hídrico ha motivado la necesidad de generar iniciativas tendientes a proteger y conservar dicho recurso.

En la actualidad se cuenta con una serie de normas de emisión, destacando el D.S. N° 90/00 que norma la emisión de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos (RILES) a las aguas marinas y continentales superficiales, cuyo cumplimiento para fuentes emisoras nuevas entró en vigencia en el año 2001 y a partir de septiembre de 2006 para fuentes emisoras antiguas.

Actualmente existe una propuesta de anteproyecto de Norma Secundaria de Calidad Ambiental (NSCA) para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Aconcagua, lo que permite contar con un instrumento de gestión ambiental que establece niveles de calidad en la cuenca, salvaguardando el aprovechamiento del recurso hídrico y maximizando de esta manera los beneficios sociales, económicos y ambientales. Dicha propuesta fechada en enero del año 2006, cuenta con 16 áreas de vigilancia de los principales cursos de aguas corrientes de la cuenca (e.g. río Blanco, río Aconcagua, Río Juncal entre otros) y un total de 23 parámetros normados.

La nueva propuesta de anteproyecto de NSCA que se desarrolla en esta consultoría, requiere contar con antecedentes técnicos y científicos que permitan determinar niveles máximos o mínimos de concentraciones para cada elemento o parámetro normado, en función de los usos del agua, la protección de las comunidades acuáticas y la sustentabilidad del recurso. Éstas deben ser avaladas por la información de la biota existente, en lo referido a su presencia y/o estado de conservación, de manera de poder establecer y justificar técnicamente las áreas de vigilancia vigentes, así como también los parámetros a normar para la nueva propuesta normativa.

En este informe final se entregan los resultados y análisis de los objetivos solicitados en los TDR y que se describen a continuación.



## OBJETIVO GENERAL

Recopilar, actualizar, sistematizar y analizar toda la información existente, al año 2014, respecto de la calidad de las aguas continentales correspondientes al río Aconcagua en toda su extensión, así como también de sus masas de agua aportantes, para la elaboración de una nueva propuesta de anteproyecto de norma secundaria de calidad ambiental para la cuenca del río Aconcagua.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- A. Revisar, actualizar y validar las bases de datos históricos de calidad de agua disponible según requerimientos de la propuesta de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental, en adelante (NSCA) para la cuenca del río Aconcagua.
- B. Establecer y justificar técnicamente las áreas de vigilancia, así como también los parámetros a normar para la nueva propuesta normativa.
- C. Realizar el o los análisis estadísticos respectivos que permitan definir los valores de calidad ambiental para todos los parámetros propuestos
- D. Definir los objetivos ambientales de cada área de vigilancia.
- E. Efectuar una nueva propuesta de anteproyecto de NSCA para la cuenca del río Aconcagua.

## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA

La cuenca hidrográfica del río Aconcagua se sitúa entre los paralelos 32° 20' y 33° 07' de latitud Sur y los 71° 31' y 70° 00' de longitud oeste. Se ubica geográficamente en la V Región de Valparaíso, en el extremo sur de la zona de los Valles Transversales o Semiárida. Su extensión es de 7.340 Km<sup>2</sup> y su rumbo general es de este a oeste. Los afluentes más caudalosos son recibidos por la ribera norte y todos sus tributarios formativos asientan sus cabeceras en la cordillera andina en un sector donde ésta alcanza elevaciones excepcionales, tales como los cerros Juncal (6110 m.), Alto de Los Leones o Cabeza de León (5400 m.) y el macizo del Aconcagua (7021 m.).

La reunión del río Juncal, proveniente del oriente, y del río Blanco que viene del sureste da origen al río Aconcagua en la cordillera de Los Andes a 1430 m. de altitud (Figura 1). Desde la junta con el río Blanco, el río Aconcagua recorre 142 Km. hasta su desembocadura en la bahía de Concón. El río Juncal se origina en la cordillera y divide las aguas con la cuenca del río Maipo en el glaciar Juncal Norte, donde recibe numerosos arroyos la mayoría originados en glaciares colgados. El río Blanco se genera al pie norte de los cerros La Copa y El Altar, se dirige al NW con una gran pendiente y una longitud de 15 Km. En el tramo río Blanco-Los Andes, el tributario más importante por la ribera norte es el río Colorado, el limo que posee más otros sedimentos rojizos enturbian sus aguas en las crecidas. Otros afluentes menores al Aconcagua en este tramo son los esteros Riecillos y Vilcuya. En los alrededores de San Felipe el río Aconcagua recibe otros tributarios, como el estero Pocuro que recoge aguas de precordillera, de la vertiente norte del cordón de Chacabuco. Cuatro kilómetros aguas abajo de San Felipe, el río Aconcagua recibe uno de sus más importantes afluentes, el río Putaendo, originado a 1.188 m. Desarrolla un curso dirigido al SSW de 34 Km. y desemboca en el Aconcagua en una caja muy ancha y pedregosa. La hoya situada entre Los Andes y San Felipe recibe por su vertiente norte el estero Quilpué que drena un amplio sector cordillerano con una red de esteros y arroyos.

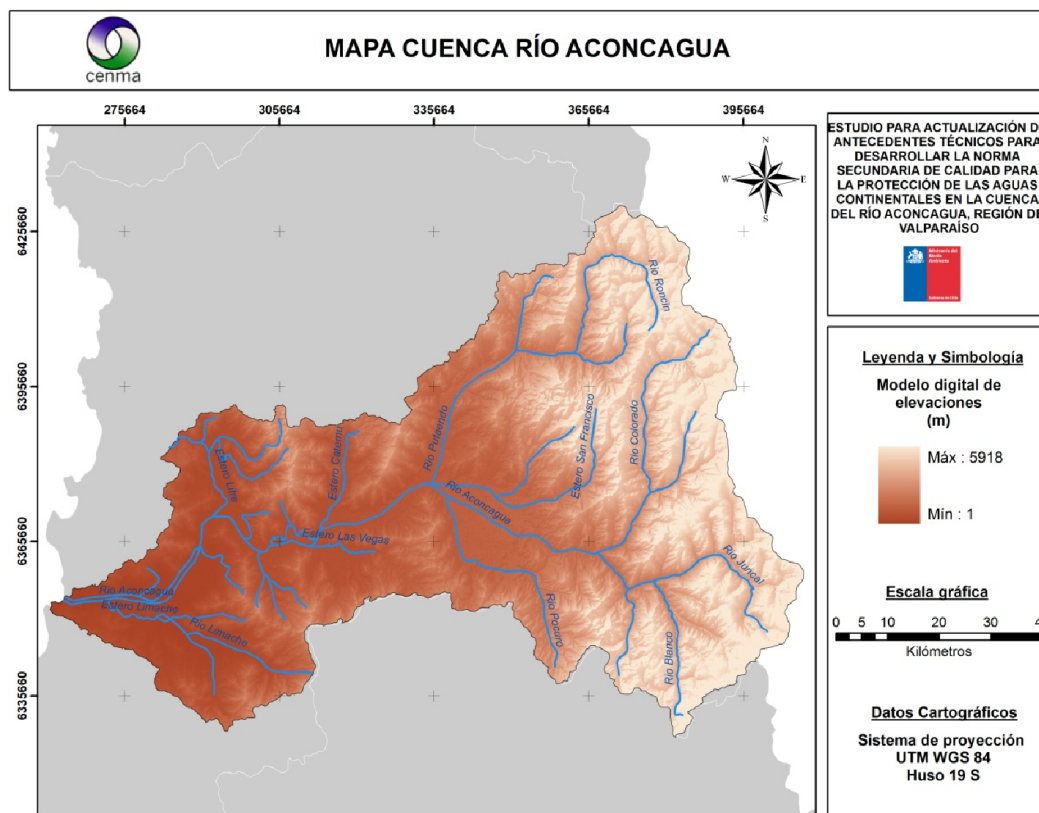


Figura 1. Mapa general de la cuenca, hidrografía y elevaciones. (Fuente: elaboración propia).

En el sector comprendido entre San Felipe y La Calera, el principal tributario es el estero Catemu que riega el valle agrícola de ese nombre; tiene un desarrollo de 14 Km. en dirección sur. También en este tramo recibe el estero Los Loros desde el sur y que drena el valle tectónico de Llay Llay. En el curso inferior entre La Calera y el mar, los afluentes relevantes son los esteros Los Litres y Limache. El primero drena la falda sur de La Calera, por la vaguada de un valle agrícola, donde se emplazan las ciudades de El Melón y Nogales. El estero Limache se une al río Aconcagua por la izquierda a sólo 8 Km. del mar, en Concón Alto.

**División político-administrativa:** se ubica en la V región de Valparaíso, cubriendo parcialmente el territorio de las provincias de San Felipe de Aconcagua, Los Andes, Quillota y Valparaíso. Su superficie equivale al 45% de la superficie regional. Los asentamientos con mayor número de habitantes en la cuenca son las localidades de Quillota, San Felipe, Los Andes y La Calera.

**Clima:** La cuenca presenta dos tipos de clima, templado del tipo Mediterráneo con estación seca prolongada y frío de altura en la Cordillera de los Andes. El primero se desarrolla prácticamente en toda la cuenca del río Aconcagua. El invierno es bien marcado con temperaturas extremas que llegan a 0 °C. Los Andes registra una temperatura media anual de 15,2 °C pero los contrastes térmicos son fuertes. En verano las máximas alcanzan valores superiores a 27 °C durante el día. La precipitación media

anual en el sector costero de la cuenca alcanzan valores aproximados de 395 mm/año y temperaturas de 14.5 °C. Por efectos del relieve, en el sector centro de la cuenca, se presentan áreas de mayor sequedad y montos menores de precipitación (261 mm/año). En sectores más elevados, las precipitaciones aumentan alcanzando valores medios anuales de 467 mm y temperaturas medias anuales de 14,1 °C (Estación Vilcuya). Por otro lado, el clima frío de altura se localiza por sobre los 3.000 metros de altura, caracterizándose por bajas temperaturas y precipitaciones sólidas, acumulación de nieve y presencia de campos de hielo de tipo permanentes en cumbres y quebradas de la alta Cordillera (Cade Idepe, 2004).

**Actividad económica:** Las principales actividades económicas en esta cuenca son agricultura, minería e industria. La actividad agrícola se desarrolla principalmente en los alrededores de las ciudades de San Felipe y Los Andes, donde los cultivos principales son las siembras de cereales y chacras, siendo utilizado como fuente de canales de regadío. En cuanto a la actividad industrial, la minería metálica más importante de la cuenca corresponde a la explotación de cobre fino en sectores de Los Andes y Catemu. De las compañías mineras que se emplazan en la cuenca se pueden destacar a la empresa Codelco División Andina (cobre y molibdeno) y la Compañía Minera Disputada de las Condes con las faenas mineras: Fundición Chagres, Planta El Soldado, Planta El Cobre y Mina Los Bronces, actualmente en operación y dedicadas a la explotación del mineral de cobre. La División Andina de Codelco, cuenta con el mayor yacimiento de la región ubicado en la provincia de Los Andes, donde se localizan las minas Andina y Sur-Sur. La producción minera, se procesa en Ventanas. Con respecto a la minería no metálica, destaca la explotación de caliza, que se destina principalmente a la producción de Cemento Melón, en la comuna de La Calera. Además de la minería del cobre, la actividad industrial sobresale por su diversidad, ya que cuenta con actividades tan diversas como industrias de alimentos, conserveras, cemento y minería. La industria está representada también, por la fabricación de productos químicos industriales y frigoríficos relacionados con la conservación de todo tipo de carnes (Cade Idepe, 2004).

**Geología y volcanismo:** La cuenca está influenciada en el sector alto, por rocas sulfuradas, materiales volcánicos vítreos de texturas gruesas ubicados en los sectores de mayores pendientes en la Cordillera de los Andes. En el sector de río Aconcagua, localidad de San Felipe, existe influencia de rocas ácidas. En sectores próximos a la desembocadura, existe influencia mixta de rocas sulfuradas y de caliza. Las formaciones antes mencionadas corresponden a tres tipos de rocas. El primer tipo son las rocas sedimentarias del Pleistoceno-Holoceno; Depósitos fluviales; gravas, arenas y limos del curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas subactuales y llanuras de inundación. El segundo tipo son rocas volcánicas del Mioceno Inferior-medio; Complejos volcánicos parcialmente erosionados y secuencias volcánicas, lavas, brechas, domos y rocas piroclásticas andesíticas-basálticas a dacíticas. Y el tercer tipo son rocas volcano-sedimentarias del cretácico inferior-Cretácico Superior. Son secuencias sedimentarias y volcánicas continentales, con escasas intercalaciones marinas: brechas sedimentarias y volcánicas, lavas andesíticas, ocoitas, conglomerados, areniscas, linolitas calcáreas lacustres con flora fósil; localmente calizas fosilíferas marinas en la base. No existe influencia de volcanes en el área de la cuenca (Cade Idepe, 2004).

**Hidrogeología:** Los acuíferos subterráneos se ubican solamente alrededor del cauce del río Aconcagua y río Putaendo, en el resto de la cuenca la permeabilidad es nula o muy baja. El movimiento del acuífero es en sentido del movimiento del cauce principal del río.

En el sector de desembocadura se presentan dos acuíferos, uno a nivel superficial y con una profundidad variable, permeable y de buena capacidad de almacenamiento, en el cual se encuentra en contacto directo con la recarga proveniente del río Aconcagua. A una mayor profundidad se ubica un acuífero confinado, el que se encuentra separado del anterior por una capa predominantemente arcillosa. Dada la baja permeabilidad del estrato arcilloso, se genera un confinamiento del acuífero inferior, el que presenta niveles piezométricos generalmente distintos al acuífero superficial. Los depósitos fluviales del río, se alternan con apozamientos (arcillas) y sedimentos más graduados provenientes de las laderas (Cade Idepe, 2004).

Usos del suelo: (Figura 2) El uso agrícola en la cuenca comprende 83.470 Ha equivalentes al 12,56% de la superficie total. De esta superficie, aproximadamente el 7% es utilizado para fines de cultivo permanentes. Además, comprende 586 Ha de terrenos cuyo uso se destina a rotación cultivo-pradera. De la superficie total plantada, la mayor parte está destinada al cultivo de frutales y a las plantaciones forestales, con un 35 y 22% de uso, respectivamente. Luego destacan las forrajeras y cultivo de hortalizas y cereales, con un 18, 14 y 6% aproximadamente para cada rubro. En el caso de la actividad ganadera, el ganado bovino y caprino son los predominantes en la cuenca con un 31,6 y 22,77%, respectivamente. Luego el tipo de ganado porcino y ovino con un 19,58% y 12,84% de ejemplares para cada tipo, respectivamente. Del ganado equino, el del tipo caballar predomina con casi un 12% del total de ganado criado en la cuenca. La superficie de la cuenca destinada a actividad minera industrial comprende una superficie de 1.037 Ha equivalente al 0,1% del total de la superficie de la cuenca (Cade Idepe, 2004).

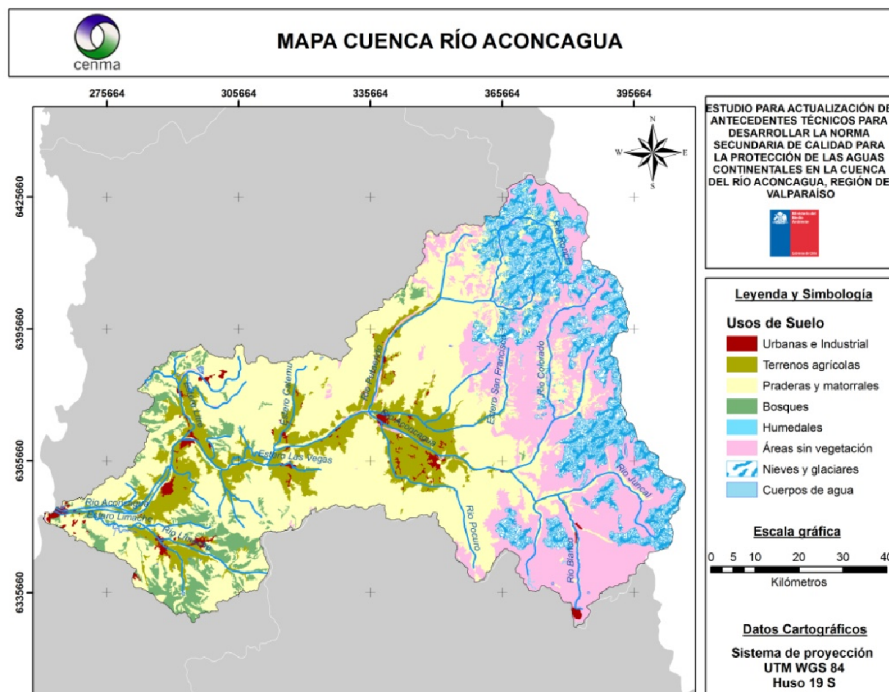


Figura 2. Usos de suelo cuenca río Aconcagua. (Fuente: elaboración propia).

En cuanto al uso forestal se puede decir que no es de los más importantes en la cuenca ya que las plantaciones de bosque alcanzan las 2.910 Ha, siendo aproximadamente el 0,5% de la cuenca. La superficie que corresponde a bosque nativo es de 29.226 Ha. Dentro de la cuenca, las provincias con mayor importancia según superficie destinada a la actividad forestal son Valparaíso y Quillota, concentrando entre ambas aproximadamente el 99% de la superficie destinada a este tipo de uso. La superficie forestal está constituida principalmente por plantaciones de Eucaliptus.

Con respecto al sector urbano, Quillota, San Felipe, Los Andes y La Calera, son las localidades que concentran el mayor número de habitantes en la cuenca, asentamientos que estarían emplazados próximos al cauce principal del río Aconcagua y a los Esteros Limache, Catemu y Los Litres(CENMA, 2008).

En esta zona, existen áreas bajo protección oficial del SNASPE, las que están emplazadas en la cuenca y corresponden al Parque Nacional La Campana y la Reserva Nacional río Blanco. La superficie total abarcada por estas áreas es de 8.945 Ha, equivalentes al 1,2% de la superficie total de la cuenca. En la cuenca existe sólo un sitio de Conservación de la Biodiversidad, la Cordillera El Melón (Cade Idepe, 2004).

## Principales actividades y su influencia sobre la calidad de las aguas de la cuenca

Basados en la información aportada anteriormente, y al analizar las principales actividades desarrolladas en la cuenca del Aconcagua y sus principales efectos que pudieren influenciar la calidad de sus aguas, obtenemos lo siguiente:

- a) Industria: Descarga de efluentes líquidos ricos en compuestos orgánicos, metales disueltos y sólidos suspendidos en los cursos de agua. Se presentan como fuentes puntuales en forma de Riles. Los principales parámetros afectados son: Metales, Oxígeno disponible, Fisicoquímicos Inorgánicos.
- b) Agricultura: Adición de plaguicidas y fertilizantes a los cultivos que posteriormente drenan a los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Se presenta como fuentes difusas. Los principales parámetros afectados son: Plaguicidas y Nutrientes.
- c) Ganadería: Aporte por fecas y purines. La presencia de ganado incrementa la cantidad de materia orgánica, coliformes y nutrientes. Los principales parámetros afectados son: Microbiológicos y Oxígeno disponible.
- d) Silvicultura: Similar a la agricultura, pero en menor magnitud. La presencia de plantaciones de árboles disminuye la escorrentía. Los principales parámetros afectados son: Microbiológicos y Fisicoquímicos Orgánicos.
- e) Centros Urbanos: Aporte de aguas servidas, las cuales aportan principalmente: coliformes fecales, DBO5, aceites y grasas, sólidos suspendidos y nutrientes, disminuyen el OD.
- f) Embalses: Realizan un efecto de dilución al dejar un caudal pasante menor y por tanto con menor capacidad de dilución de contaminantes que se agregan en un segmento inferior.
- g) Extracciones: Concentran contaminantes como nutrientes y sólidos suspendidos y sedimentables. Disminuye la cantidad de oxígeno aguas bajo del embalse.
- h) Minería: Sus actividades son grandes generadoras de Riles con altas concentraciones de metales y inorgánicos. Los principales parámetros afectados son: Metales, pH, Fisicoquímicos Inorgánicos.

Todo lo anterior manifiesta la relevancia de analizar la información existente en la actual propuesta de anteproyecto de Norma Secundaria de Calidad Ambiental (NSCA) para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Aconcagua del año 2006, de modo de establecer y justificar técnicamente las áreas de vigilancias existentes así como también los parámetros a normar para la nueva propuesta normativa, lo que permitirá contar con un instrumento de gestión ambiental que establecerá las clases y niveles de calidad para la cuenca.

## **METODOLOGÍA GENERAL DEL ESTUDIO**

De acuerdo a lo requerido por la contraparte, se han definido los siguientes componentes de la metodología de trabajo.

### **Objetivos y actividades**

El trabajo se desarrolla en diversas actividades que dan cumplimiento a cada uno de los cinco objetivos específicos que se detallan en la Figura 3 como esquema metodológico. Las especificaciones de cada actividad se plantean más abajo.

### **Reuniones de trabajo y ajustes con la contraparte técnica del proyecto**

Durante todo el proceso de trabajo se realizaron reuniones con la contraparte técnica, instancia para resolver dudas de índole administrativa y práctica, unificar criterios respecto del desarrollo técnico de la consultoría, revisión de la metodología propuesta y ajuste del plan y cronograma de trabajo y organización de las actividades.

### **Cronograma**

La Figura 3 da cuenta de los objetivos y actividades específicas que se desarrollaron para dar cumplimiento al objetivo general de la consultoría, asociado al tiempo cronológico que se abarcará en cada una de ellas.



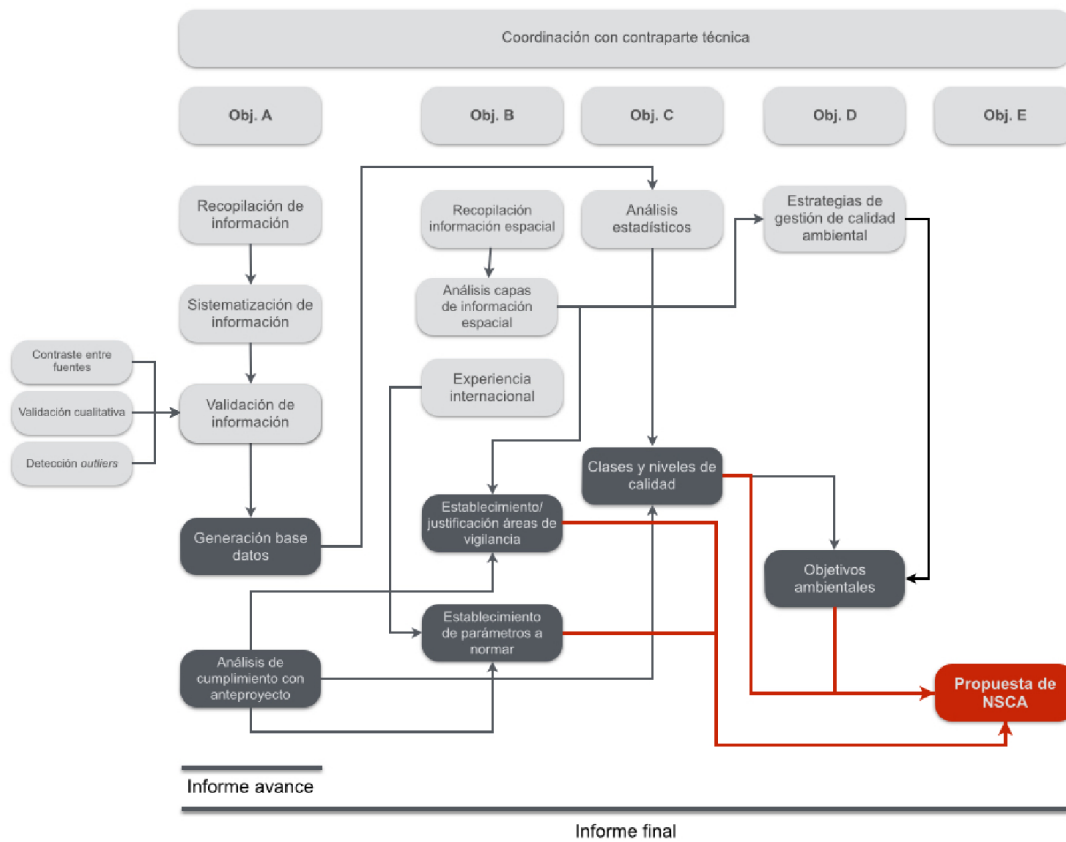


Figura 3. Resumen de la metodología usada en este estudio. Las cajas gris claro representan actividades y las cajas gris oscuro productos/insumos resultantes, asociados a cada objetivo (Fuente: elaboración propia).

Tabla 1. Cronograma de objetivos y actividades para el desarrollo de esta consultoría (Fuente:  
 elaboración propia).

Hito	Actividad	Días						
		1	5	30	60	90	110	120
1	<b>Reuniones de trabajo y ajuste</b>	[Barra de actividad desde día 1 hasta día 110]						
2	<b>Objetivo específico A</b>	[Barra de actividad desde día 1 hasta día 60]						
	Recopilación información	[Barra de actividad desde día 5 hasta día 30]						
	Sistematización	[Barra de actividad desde día 5 hasta día 30]						
	Validación	[Barra de actividad desde día 5 hasta día 30]						
	Entrega informe de avance	[Barra de actividad desde día 60 hasta día 90]						
3	<b>Objetivo específico B</b>	[Barra de actividad desde día 60 hasta día 110]						
	Recopilación inf. espacial	[Barra de actividad desde día 60 hasta día 90]						
	Análisis capas de información	[Barra de actividad desde día 60 hasta día 90]						
4	<b>Objetivo específico C</b>	[Barra de actividad desde día 60 hasta día 110]						
	Análisis de variables mediante métodos estadísticos	[Barra de actividad desde día 60 hasta día 90]						
	Clases y niveles de calidad	[Barra de actividad desde día 60 hasta día 90]						
5	<b>Objetivo específico D</b>	[Barra de actividad desde día 60 hasta día 110]						
	Objetivos ambientales	[Barra de actividad desde día 60 hasta día 90]						
6	<b>Objetivo específico E</b>	[Barra de actividad desde día 60 hasta día 110]						
7	Entrega Informe Final	[Barra de actividad desde día 110 hasta día 120]						
8	Fin del Contrato	[Barra de actividad desde día 110 hasta día 120]						

## METODOLOGÍA DEL ESTUDIO POR OBJETIVOS

**OBJETIVO ESPECIFICO A:** Revisar, actualizar y validar las bases de datos históricos de calidad de agua disponible según requerimientos de la propuesta de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental, en adelante (NSCA) para la cuenca del río Aconcagua.

### 1. Recopilación y sistematización de la información

Utilizando distintas bases de datos (ver Tabla 2), archivos de consultorías, tesis y trabajos científicos disponibles en instituciones, servicios estatales y en la red, se recopiló información de los parámetros fisicoquímicos, hidrológicos y biológicos de las distintas áreas de vigilancia de la cuenca del río Aconcagua, así como de las fuentes de descargas puntuales y difusas.

Tabla 2. Base de datos utilizados en este estudio con sus respectivas URL (Fuente: elaboración propia).

Buscador web	URL
ISI web of Science	<a href="http://thomsonreuters.com/">http://thomsonreuters.com/</a>
Scopus	<a href="http://www.scopus.com/">http://www.scopus.com/</a>
Scielo	<a href="http://www.scielo.cl/">http://www.scielo.cl/</a>
Google Académico	<a href="http://scholar.google.es/">http://scholar.google.es/</a>
Dirección General de Aguas (DGA)	<a href="http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes">http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes</a>
Servicio de Evaluación Ambiental (SEA)	<a href="http://seia.sea.gob.cl/">http://seia.sea.gob.cl/</a>

La información recopilada se complementó con una base de datos entregada por la contraparte técnica, la cual contenía datos de calidad de aguas (parámetros fisicoquímicos) de estaciones administradas por la Dirección General de Aguas (DGA).

## 2. Validación de la información

Una vez sistematizada toda la información, se realizaron dos análisis previos para seleccionar aquella información con datos confiables.

1. Análisis cualitativo: la información recopilada se filtró primeramente según cumplimiento de los siguientes criterios básicos:

- i. Se reportan sus coordenadas geográficas
- ii. Se reporta la fecha precisa de la toma de cada dato
- iii. Se reporta la unidad de medida de cada parámetro

Aquella información que no cumpliera con todos los requisitos anteriores no fue incluida en la base de datos consolidada.

2. Análisis cuantitativo: la segunda etapa de validación de la información consistió en la identificación de posibles datos anómalos (*outliers*), provenientes de eventuales errores de medición o transcripción de datos. Para la detección de *outliers* (datos extremos), utilizamos el método de Boxplot Ajustado (Vanderviere and Huber, 2004). Este método se basa en estadísticos de rangos (mediana, cuartiles) y no asume normalidad ni simetría en la distribución de las variables. Por lo anterior, este método es apropiado en general para datos donde se espera una distribución de frecuencias sesgada (Seo, 2006), como se verificó para la información recopilada en esta consultoría. De acuerdo a este método, se identifican como *outliers* aquellas observaciones que escapan del rango  $[L, U]$ , dado por:

$$\begin{aligned} [L, U] &= [Q1-1.5 \times \exp(-3.5MC) \times IQR, Q3+1.5 \times \exp(4MC) \times IQR] \text{ si } MC \geq 0 \\ &= [Q1-1.5 \times \exp(-4MC) \times IQR, Q3+1.5 \times \exp(3.5MC) \times IQR] \text{ si } MC \leq 0, \end{aligned}$$

Donde  $Q1$  y  $Q3$  son cuartiles 1 y 3,  $IQR$  es el rango intercuartil =  $Q3-Q1$  y  $MC$  es una medida robusta de la asimetría de la distribución de observaciones, dada por:

$$MC(x_1, \dots, x_n) = \text{med} \frac{(x_j - \text{med}_k) - (\text{med}_k - x_i)}{x_j - x_i},$$

en que  $\text{med}_k$  es la mediana del conjunto de valores de la variable y  $x_j, x_i$  son observaciones que cumplen  $x_i \leq \text{med}_k \leq x_j$  y  $x_i \neq x_j$ .

Para aquellos casos en que no pudo ser aplicado este método, donde por extrema redundancia de valores la mediana fue igual a los cuartiles 1 y 3, aplicamos el método de la desviación estándar, donde las observaciones que escapan del rango  $[L, U] = \bar{x} - 3DE, \bar{x} + 3DE$  son consideradas *outliers*, con  $\bar{x}$  y  $DE$  siendo el promedio y la desviación estándar del conjunto de observaciones, respectivamente.

3. Análisis del cumplimiento con anteproyecto: se probó la concordancia entre los valores obtenidos por las distintas fuentes de información. Esto se llevó a cabo a través de comparar los datos DGA con los obtenidos de otros estudios, utilizando análisis de varianza no-paramétrico de Kruskal-Wallis, que permite aplicarse a datos que no se distribuyen normalmente como es el caso de los datos recopilados en esta consultoría.

### **3. Construcción de un archivo consolidado con la información seleccionada y sistematizada en formato Excel**

Con el total de información obtenida de las bases de datos, sistematizada y validada, se procedió a realizar un archivo consolidado con la información adecuadamente seleccionada.

**OBJETIVO ESPECIFICO B: Establecer y justificar técnicamente las áreas de vigilancia, así como también los parámetros a normar para la nueva propuesta normativa.**

### **1. Recopilación y análisis de información espacial**

Esta actividad comprende la recopilación de información espacial para caracterizar la cuenca a través de atributos que dan cuenta de:

- i. Características físicas y políticas de la cuenca: hidrología, usos de suelo, subcuencas, tipología de ríos (Fuster 2011), ciudades.
- ii. Actividades económicas: ubicación de industrias, puntos de descargas RILES
- iii. Aspectos ecológicos y normativos: SNASPE, especies en categorías de conservación, estado ecológico de los tramos, áreas de vigilancia propuestas por CONAMA (2006-2007), estaciones de monitoreo vigentes DGA.

Esta información se recopiló en formato *shape*, principalmente a través de 3 bases de datos:

- a. Infraestructura de datos Geoespaciales (IDE).
- b. Base de datos CENMA.
- c. Información aportada por la contraparte técnica.

El análisis espacial de la cartografía adquirida y que permitió finalmente delimitar las áreas de vigilancia se basó en primer lugar en identificar todas las actividades y elementos espaciales importantes de la cuenca para construir una visión general del desarrollo económico, social y ecológico. De esta forma se concibe una idea de territorio.

Bajo esta visión, fue necesario traducir esta generalidad en información que entregase datos duros sobre la heterogeneidad espacial de la cuenca sobre el objeto de estudio: la red hidrográfica. Para tal fin se asignó la información cartográfica a cada uno de los tramos de la red en base a la proximidad espacial, es decir, los elementos y actividades identificados en la cuenca se asignaban al tramo ubicado a menor distancia lineal. Si bien, el producto final está dirigido a áreas de vigilancia, nuestra metodología se basa en la asignación de información por tramos de la red hidrográfica para luego identificar grupos de tramos que conformarán las áreas de vigilancia.

Tanto la metodología específica como las fuentes de información utilizada y elementos espaciales asignados a cada uno de los tramos de la red hidrográfica se describen en el Anexo I.

Finalmente el conjunto de datos por tramo sirvió de base para definir áreas de vigilancia a través de la metodología que se describe a continuación.

## **2. Establecimiento/justificación de áreas de vigilancia**

El establecimiento de las áreas de vigilancia se basó en una metodología cuantitativa desarrollada para este estudio por el equipo consultor. La metodología está orientada al uso de la información espacial recopilada con el fin de obtener una priorización en tres capas de cada uno de los tramos (ríos) que conforman la cuenca. A partir de esta priorización emergen los grupos de tramos (áreas) con alto valor de importancia para la vigilancia, cuyos límites se ajustan luego para optimizar el uso de estaciones DGA actualmente en operación y a la presencia de fuentes de contaminación puntual importantes. Cada área de vigilancia queda así justificada de acuerdo a la(s) capa(s) de información que la definen con alto valor de importancia. Cada área de vigilancia propuesta cuenta con una estación control (principal) que deberá estar ubicada al final de ésta y opcionalmente una o más estaciones de monitoreo (adicionales a la principal) cuando hay sub-áreas de especial significación biológica o económica, la cual deberá estar ubicada aguas debajo del objetivo de monitoreo (área biológica o fuente industrial).

### **Priorización cuantitativa de los tramos para fines de vigilancia**

Desarrollamos una metodología cuantitativa para priorizar los tramos de acuerdo a su importancia para la vigilancia ambiental del sistema hídrico del Aconcagua. Estos cálculos se podrán implementar en cualquier hoja de cálculo, aunque es preferible utilizar algún lenguaje de programación. El resultado de esta priorización será tomado como base para la definición de las áreas de vigilancia. La priorización de tramos considera tres capas básicas de información, las cuales son detalladas en el texto más adelante:

1. Física, que integra la centralidad topológica, longitud y tipología del tramo
2. Biológica, que integra el estado ecológico (calidad), valor de conservación y orden de Strahler del tramo
3. Económica, que considera indicadores de las fuentes puntuales y difusas de contaminación asociadas al tramo

El siguiente esquema ilustra la aproximación general utilizada.

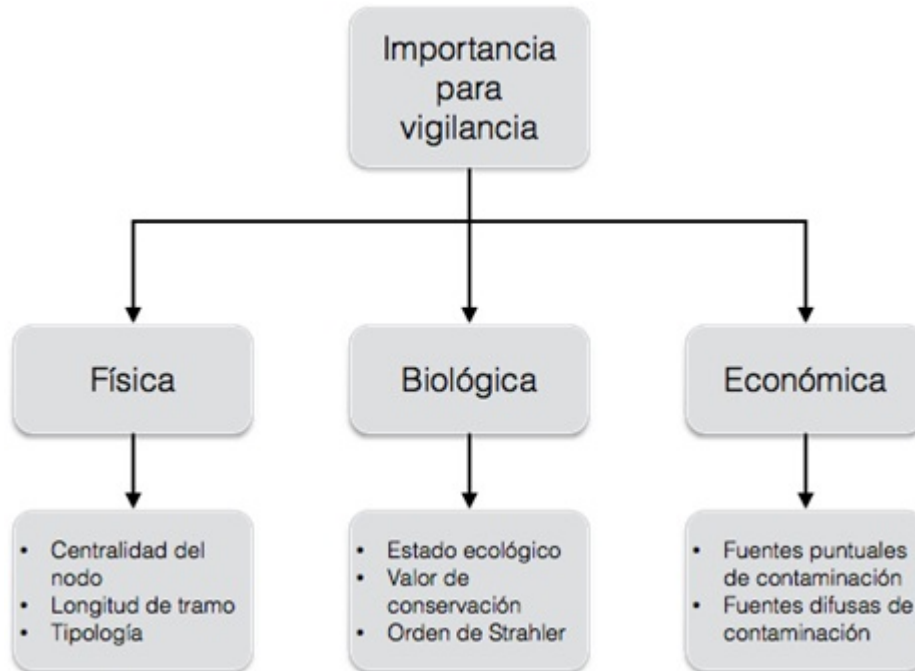


Figura 4. Esquema de la información utilizada para priorizar los tramos del sistema hídrico del Aconcagua para fines de vigilancia ambiental (Fuente: elaboración propia).

Las componentes física, biológica y económica se calculan cada una con un índice asociado a cada tramo  $n$ , como se explica a continuación.

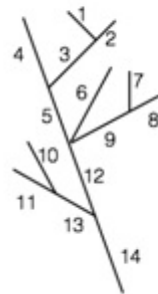
### Componente físico

La importancia física de cada tramo  $F_n$ , se calculó considerando los siguientes sub-componentes: a) centralidad topológica del tramo, b) longitud del tramo y c) tipología del tramo. La centralidad topológica es una medida de la contribución de un tramo a la conectividad global de la red hidrográfica. La longitud es una medida del tamaño del tramo y por tanto de la cantidad de energía y materia que contiene. Finalmente la tipología da cuenta de características comunes de los diferentes tramos de una red hidrográfica de acuerdo a criterios como: ecoregión, pendiente, altura, caudal del tramo, tipo geológico y sustrato predominante.

Para ello, se modelizó el sistema hídrico del Aconcagua como un grafo no-dirigido, donde los nodos representan tramos y los arcos representan confluencias entre tramos. Se define un “tramo” como una sección de río que se encuentra entre confluencia y confluencia (Figura 5).



Red hidrográfica



Grafo de tramos

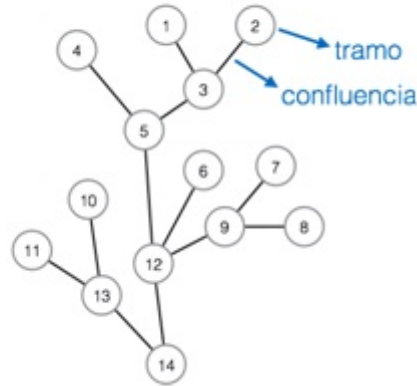


Figura 5. Esquema del procedimiento de modelización basado en grafo (Fuente: elaboración propia).

A partir del grafo obtenido (Figura 5) y su matriz de adyacencia<sup>1</sup> asociada, se calculó la conectividad integral (i.e. conectividad global del sistema)  $C$  de la red hídrica del Aconcagua, a partir de Eros *et al.* 2011, como:

$$C = \frac{\sum_i \sum_j \frac{L_i T_i L_j T_j}{1 + d_{ij}}}{\left( \sum_n L_n T_n \right)^2}$$

Donde  $L_i$  y  $T_i$  corresponden a la longitud y el puntaje dependiente de la tipología del tramo  $i$  (ver Tabla 3), respectivamente, y  $d_{ij}$  es la distancia geodésica entre los nodos  $i$  y  $j$ .

Siguiendo a Fuster *et al.* (2011) se definen tres tipos para el Aconcagua: Tipo 6 Andino semiárido, Tipo 7 Transición semiárido y Tipo 8 Desembocadura semiárido, a cada uno de los cuales se les asignó un puntaje de acuerdo a su tipología (Tabla 3).

<sup>1</sup> Se refiere a una matriz con igual número de filas y columnas equivalentes al número de nodos (tramos) de la red. En cada posición  $i,j$  (fila, columna) se registra "1" ó "0" cuando existe o no existe, respectivamente, conexión física (confluencia) entre los nodos (tramos)  $i$  y  $j$ .

Tabla 3. Puntaje asignado a cada tramo según tipología de Fuster et al. 2011 (fuente: elaboración propia).

Tipo	T
6 - Andino semiárido	4
7 - Transición semiárido	2
8 - Desembocadura semiárido	1

Los puntajes para cada tipología fueron establecidos por el grupo de trabajo en base al supuesto de que los tramos más cercanos a su origen cordillerano, son físicamente más importantes para la vigilancia. De manera general, existen criterios de gran importancia para entender el funcionamiento y la clasificación de los ríos en su tipología como la altitud, pendiente del cauce, sustrato dominante y caudal medio anual entre otros. Así el criterio de altitudes mayores (y por lo tanto tipologías de cabecera de las altas cumbres), se basa en que éste es un factor determinante de las características hidráulicas como caudal, cantidad de oxígeno, temperatura y del sustrato del cauce, elementos que influyen en la estructura de los ecosistemas fluviales (Allan & Castillo 2007). En este contexto, para la cuenca del Aconcagua es en las zonas de altas cumbres cordilleranas donde el régimen del caudal medio anual explica las condiciones de escurrimiento, humedad, temporalidad de la zona inundada, cantidad de sedimentos y concentración de iones entre otras características, determinando las propiedades biológicas y físicas de los tramos inferiores (aguas abajo). Por lo anterior, es que se asignan mayores puntajes a las zonas cordilleranas altas y menores puntajes a la zona de desembocadura. El puntaje propuesto sigue una serie geométrica a fin de obtener un mayor poder de discriminación entre las diferentes categorías.

Finalmente, el valor de importancia física  $F_n$  del nodo (tramo)  $n$ , para fines de vigilancia, se calcula mediante:

$$F_n = \frac{C - C_n}{C},$$

Donde  $C_n$  es el índice de conectividad integral del sistema en ausencia del nodo  $n$ .

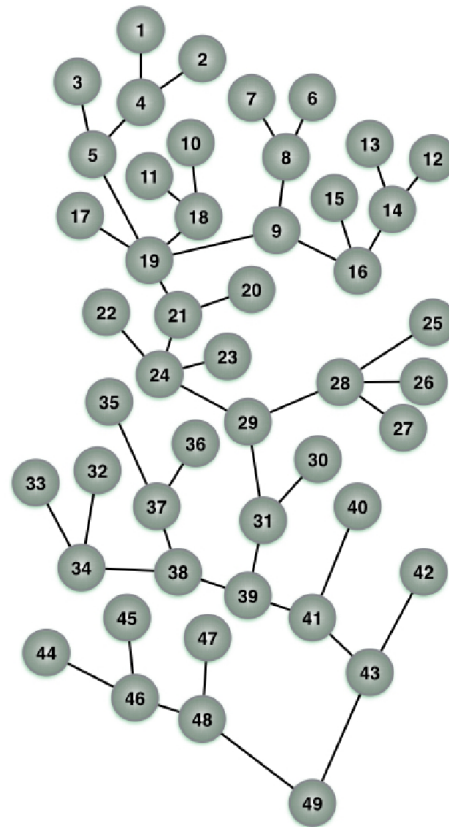


Figura 6. Modelo de grafo del sistema hídrico del Aconcagua (Fuente: elaboración propia).

La ubicación espacial de los nodos del modelo de grafos (Figura 6) se muestra en la Figura 7. En la Tabla 4 se presentan los nombres de cada tramo (nodo) correspondiente.

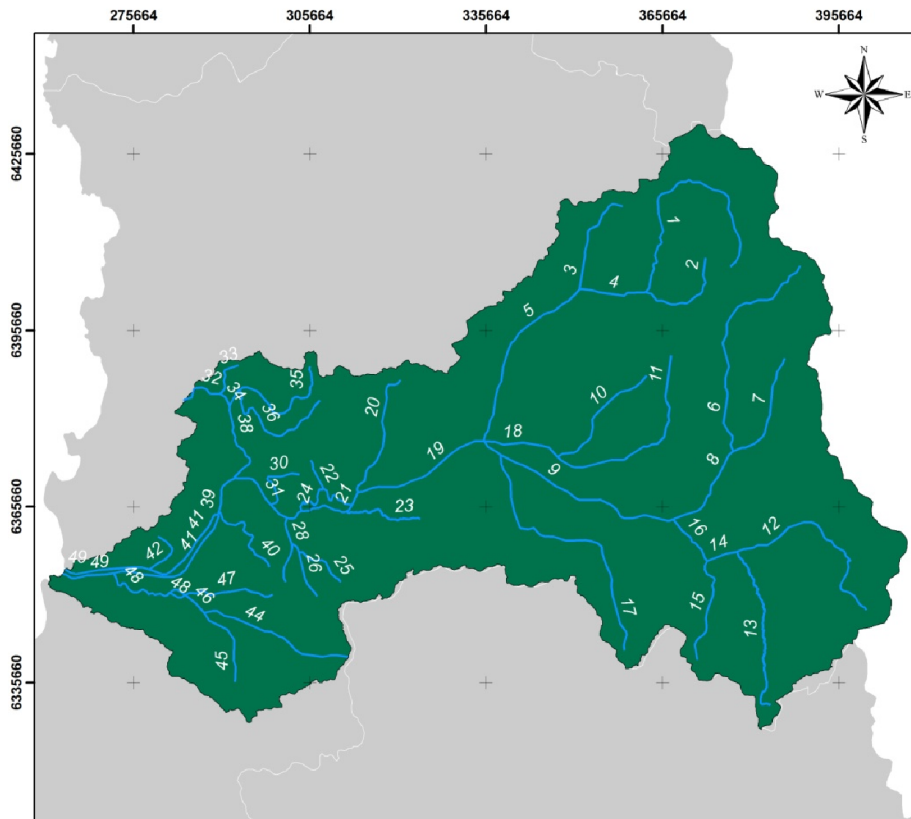


Figura 7. Número de nodos para cada tramo de la red hidrográfica. (Fuente: elaboración propia).

Tabla 4. Nombre de los principales ríos de la red hidrográfica del Aconcagua, y su correspondencia con los nodos del modelo de grafo. (Fuente: elaboración propia).

Número de nodo	Nombre río
1	Río Roncin
2	Desconocido
3	Río Putaendo
4	Desconocido
5	Río Putaendo
6	Río Colorado
7	Desconocido
8	Río Colorado
9	Río Aconcagua
10	Desconocido
11	Estero San Francisco
12	Río Juncal
13	Río Blanco
14	Río Aconcagua

<b>Número de nodo</b>	<b>Nombre río</b>
15	Desconocido
16	Rio Aconcagua
17	Rio Pocuro
18	Estero Quilpue
19	Rio Aconcagua
20	Estero Catemu
21	Rio Aconcagua
22	Desconocido
23	Estero Las Vegas
24	Rio Aconcagua
25	Desconocido
26	Desconocido
27	Desconocido
28	Desconocido
29	Rio Aconcagua
30	Desconocido
31	Rio Aconcagua
32	Desconocido
33	Desconocido
34	Desconocido
35	Desconocido
36	Desconocido
37	Desconocido
38	Estero Litre
39	Rio Aconcagua
40	Desconocido
41	Rio Aconcagua
42	Desconocido
43	Rio Aconcagua
44	Rio Limache
45	Desconocido
46	Rio Limache
47	Desconocido
48	Desconocido
49	Rio Aconcagua

### Componente biológico

La importancia biológica  $B_n$  de cada tramo se calculó en base a tres propiedades: a) estado ecológico, b) valor de conservación, c) orden de Strahler.

#### *Estado ecológico*

Es un índice basado en la presencia de organismos bioindicadores de calidad de aguas, que informa el estado de salud de la biodiversidad en el sitio focal (CENMA, 2012). El valor de estado ecológico  $E_n$  de cada tramo de acuerdo a las categorías estándar se asigna de acuerdo a:

Tabla 5. Valores del índice de estado ecológico, de acuerdo a las respectivas categorías (fuente: elaboración propia).

Estado ecológico	$E$
Malo	1
Deficiente	2
Moderado	4
Bueno	8
Muy bueno	16

Estos valores fueron establecidos por el grupo de trabajo bajo el criterio de asignar mayor importancia a aquellos tramos con el mejor estado ecológico, con tal de resguardar y mantener su calidad biológica. El puntaje sigue una serie geométrica.

#### *Valor de conservación*

Es un indicador de la importancia del sitio para el resguardo de especies o sitios protegidos. Se utiliza en general para dar valor a áreas con diferentes características ecológicas, basándose en la suma ponderada entre el número de especies y el puntaje según el valor de conservación de dichas especies (Guti, 1995). Para efectos de esta consultoría, se consideró relevante agregar a este índice un valor extra debido a la cercanía de un área perteneciente al SNASPE. Por consiguiente, nuestro índice de valor de conservación  $V_n$  del sitio  $n$  se calculó como:

$$V_n = \sum_i k_i N_{i,n} + S_n,$$

Donde  $N_{i,n}$  es el número de especies adscritas a la categoría de conservación  $i$  presentes en el tramo  $n$ ,  $k_i$  es la ponderación de la categoría de conservación  $i$  (Tabla 6) y  $S_n$  es el índice de presencia de áreas protegidas (AP) en la vecindad del tramo  $n$ , con valores:

$$S_n = \begin{cases} 32 & \text{si existe AP en tramo } n \\ 0 & \text{si no existe AP en tramo } n \end{cases}$$

Tabla 6. Valores de ponderación de cada categoría de conservación de especies (Fuente: elaboración propia).

<b>Categoría de conservación <math>i</math></b>	<b><math>k_i</math></b>
En peligro	8
Vulnerable	4
Casi amenazada	2
Preocupación menor	1
Sin categoría	0

Los puntajes asignados a cada categoría de conservación fueron propuestos por esta consultoría con el objeto de darle mayor importancia (puntaje) a aquellos tramos con especies de mayor sensibilidad e importancia para su conservación biológica (e.g. en peligro). Al igual que los puntajes anteriores, éste sigue una serie geométrica.

#### *Orden de Strahler*

Corresponde a una medida de la complejidad hidrográfica del sistema de tributarios del tramo focal. Nuestra experiencia indica que los tramos con menor orden (ríos de cabecera) albergan *per se* mayor biodiversidad que tramos de mayor orden, y por tanto los primeros poseen un mayor valor como potenciales fuentes de restauración ecológica. El valor del índice de orden de Strahler del tramo  $n$ ,  $O_n$ , lo calculamos como  $2^{-x}$ , donde  $x \in \{1, 2, 3, 4\}$  es el orden de Strahler.

La literatura clásica señala que la mayor biodiversidad se encuentra en ríos de órdenes de Strahler mayores (e.g. Vannotte *et al.* 1980), lo cual concuerda con estudios realizados en nuestras aguas para el conjunto de peces, diatomeas y macrófitas, y no así para macroinvertebrados bentónicos que prefieren órdenes menores (Palma *et al.* 2013). Sin embargo en lo referente a biodiversidad nativa para nuestro país, principalmente en los estudios realizados en peces y también en macroinvertebrados, los trabajos revelan que es en ríos, canales y esteros de bajos órdenes que corresponden a sistemas de cabecera y cursos secundarios donde se encontraría la mayor biodiversidad nativa (Habit *et al.* 1998, Habit *et al.* 2003, Habit *et al.* 2005, Habit *et al.* 2010, Palma 2013, Palma *et al.* 2013), al encontrarse mejores condiciones de refugio ante amenazas externas como

contaminantes (los cuales por lo general son vertidos sobre cursos principales de alto orden), especies introducidas (como salmónidos) y otras situaciones de estrés. Los estudios que reportan el patrón señalado han sido desarrollados principalmente en las cuencas del Loa, Huasco, Maipo, Cachapoal y Mataquito para macroinvertebrados bentónicos e Itata, Andalién, Bio-Bio y Aysén para peces. Por esta razón es que para fines de conservación de la biodiversidad nativa se consideran como prioritarios en este trabajo aquellos sistemas de bajo orden por sobre los de orden superiores, por ser los sitios documentados como los hábitats de mayor diversidad y conservación en fauna nativa.

Integrando los tres subcomponentes, el valor del índice de importancia biológica se computa:

$$B_n = \frac{E'_n + V'_n + O'_n}{3},$$

Donde  $x'$  indica valores normalizados de  $x$ . La normalización se realiza:

$$x' = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)},$$

Siendo  $x$  el valor de la variable a normalizar ( $E'$ ,  $V'$ ,  $O'$ ) y  $\min(x)$  y  $\max(x)$  los valores mínimo y máximo de la misma variable entre todos los nodos (tramos) del sistema.

### Componente económico

Denominamos importancia económica para fines de vigilancia al grado de intervención y amenaza ambiental de un tramo producto de la concentración de actividades humanas. Este componente incluye a) presencia de fuentes de contaminación puntuales, medida a través del índice  $P_n$  y b) presencia de fuentes de contaminación difusas, medidas de acuerdo al tipo de uso de suelo. El índice  $P_n$  se calcula:

$$P_n = \sum_{i=1}^m d_i I_{i,n},$$

Donde  $I_{i,n}$  es cada una de las  $m$  fuentes (actividades económicas) de contaminación puntual asociadas (por proximidad) al tramo  $n$  y  $d_i$  es el factor de peligrosidad superficial de la fuente  $i$ , definido como  $10^{IP}$ . El valor de IP (Índice de Peligrosidad) se determinó junto con la contraparte técnica de esta licitación, y se basó en la asignación de puntajes según grado esperado o potencial de contaminación a la cuenca. Se consideraron dos grandes grupos de actividades económicas: i) actividades mineras, con puntajes entre 1 y 5, ii)



actividades no mineras (industriales, agrícola-ganadero, sanitarias, áridos, principalmente) con puntaje entre 0 y 3. Ver el listado completo de las industrias y su Índice de Peligrosidad en Anexo I, Tablas a, b y c.

Por otro lado, el indicador  $D_n$  de contaminación difusa del tramo  $n$  se asigna según el uso del suelo de acuerdo a la Tabla 7.

Tabla 7. Valores de contaminación difusa de acuerdo al uso del suelo (Fuente: elaboración propia).

Uso	Valor $D$
Nieves y glaciares	1
Humedales	2
Praderas y matorrales	4
Bosques	4
Terrenos agrícolas	8
Áreas urbanas e industriales	16

Estos valores fueron propuestos por el equipo consultor en base al grado de potencialidad de contaminación difusa que tiene un uso respecto del otro. El puntaje sigue una serie geométrica.

En el caso de existir dos usos de suelo para un nodo, se utiliza para el cálculo aquel de mayor puntaje.

La importancia para la vigilancia del componente económico da cada tramo  $n$  se computa:

$$E_n = \frac{P'_n + D'_n}{2},$$

Donde  $x'$  indica valores normalizados de  $x$ , como se explica más arriba.

### Categorización de los tramos

Finalmente, para cada capa de información los tramos han sido priorizados en cuatro categorías (1 – 4 desde baja hasta máxima, Tabla 8), en base al valor correspondiente de su importancia física, biológica y económica. La categorización se realiza en base a percentiles, de tal manera que las dos categorías superiores (3-4, Altas y Máxima) agrupe en total al 35% de los datos (percentiles 65-100), permitiendo discriminar (o categorizar) los tramos más importantes de aquellos menos relevantes:

Tabla 8. Categorías de priorización para los tramos de la red hidrográfica (Fuente: elaboración propia).

<b>Categoría</b>	<b>Descripción</b>	<b>Límites (percentiles)</b>	<b>Porcentaje de tramos incluidos en la categoría</b>
1	Baja	0 - 40	40 %
2	Media	40 - 65	25 %
3	Alta	65 - 85	20 %
4	Máxima	85 - 100	15 %

### 3. Delimitación de las áreas de vigilancia

La delimitación geográfica de cada una de las áreas de vigilancia se basó en el principio hidrológico que define a una subcuenca; esto es que cierto conjunto de tramos de una red hidrográfica recoge el agua lluvia, el derretimiento de los glaciares y el escurrimiento de las afloraciones subterráneas de un área geográfica en particular, la cual está delimitada por las cotas máximas que se destaquen en toda la cuenca. Así mismo, las actividades económicas y sociales desarrolladas y las características ecológicas serán también propias de esa área geográfica.

Debido a la ventaja de tener espacializada toda la información que se ha tomado en cuenta para este estudio, las áreas de vigilancia se delimitaron geográficamente en el *software* ArcGis de acuerdo al resultado de priorización física, biológica y económica y a través de un Modelo digital de elevaciones (DEM), el cual sirvió para identificar las cotas máximas de acuerdo a los tramos y áreas previamente acotadas.

#### 4. Selección de parámetros a normar

A. Físicoquímicos: La selección de parámetros físicoquímicos se realizó en un proceso de cuatro pasos:

1. Se confeccionó una lista preliminar de parámetros candidatos a incluirse en la NSCA del Aconcagua, a partir de tres fuentes: a) el conjunto de parámetros con historia de mediciones in situ, obtenidos a partir del Objetivo específico A de este estudio, b) recomendaciones a partir de experiencia internacional, c) conjunto de parámetros sujetos al Decreto Supremo 90 y Decreto Supremo 609 que aplican al listado de empresas presentes en la cuenca, determinadas en el análisis de información espacial (Anexo I).

Con esta información se construyeron paquetes de parámetros físicoquímicos que responden a las principales actividades económicas desarrolladas en la cuenca, las materias primas utilizadas en los procesos productivos y los principales desechos obtenidos.

2. En base a los usos del suelo y el listado de empresas registradas en cada área de vigilancia propuesta en este estudio, se establecieron las actividades económicas realizadas en cada área de vigilancia. El conjunto de actividades económicas se clasificó en seis categorías de actividades económicas, que fueron identificadas para cada área de vigilancia. Las categorías de actividades económicas fueron: 1) Agricultura y ganadería, 2) Urbano e industrial, 3) Minería, 4) Extracción de áridos, 5) Industria de alimentos, 6) Generación eléctrica. Además se calculó el potencial demográfico en base a proyecciones poblacionales. De esta forma se creó una caracterización de cada una de las áreas de vigilancia para un mejor manejo de la información contenida en cada una de ellas.

3. En base a la información de literatura y criterio experto se asignaron los parámetros del paso 1 a una o más de las categorías de actividades económicas (paso 2). Paso seguido, se redujo el conjunto de parámetros asociados a cada categoría de actividad económica a un mínimo necesario de acuerdo a relevancia, toxicidad y concentraciones observadas en datos históricos.

4. De este modo obtenemos, para cada área de vigilancia, un conjunto de parámetros de interés que están asociados a las categorías de actividades económicas preponderantes desarrolladas en cada área de vigilancia.

Los parámetros seleccionados se clasificaron en dos tipos: I) parámetros para norma, consistentes en aquellos sobre los que se tiene información suficiente para establecer límites permitidos para la protección de las aguas y su biota, II) parámetros para vigilancia, que comprenden aquellos parámetros necesarios de conocer y vigilar, pero respecto de los cuales no se posee información confiable suficiente para fijar límites

permitidos. Los parámetros para vigilancia deberán ser medidos rutinariamente al igual que los parámetros para norma, a fin de obtener la información suficiente para incluirlos en el siguiente proceso de revisión de la NSCA del Aconcagua.

B. Biológicos: Mediante análisis de literatura especializada y el criterio experto del equipo consultor en materias de biodiversidad acuática de Chile, se estableció un número mínimo de indicadores biológicos que mejor puedan ser utilizados para registrar el estado de la biota acuática en su conjunto, así como seguir su evolución temporal, de manera que sirvan como instrumentos de decisión y gestión a la autoridad. Los criterios para la selección de los parámetros biológicos fueron: facilidad y rapidez en la toma de datos y en su interpretación, importancia ecológica, utilización a nivel mundial, nivel de desarrollo en Chile en cuanto a disponibilidad de especialistas y disponibilidad de índices aceptados que deriven del parámetro en cuestión. Consideramos esencial el registro de parámetros biológicos, debido a que el espíritu principal de la NSCA es preservar la estructura y funcionamiento de la biota acuática presente en la cuenca, y el uso de parámetros fisicoquímicos únicamente brinda una visión parcial e indirecta de los potenciales peligros para la biota.

**OBJETIVO ESPECIFICO C:** Realizar el o los análisis estadísticos respectivos que permitan definir los valores de calidad ambiental para todos los parámetros propuestos.

A partir de la información recopilada y validada, se estableció luego de evaluar distintas ventanas temporales y en acuerdo con la contraparte técnica, utilizar la base de datos correspondiente al periodo 2000-2014 por ser el periodo correspondiente a la entrada en vigencia del decreto supremo 90, y que refleja los parámetros de los últimos 15 años en la cuenca.

En base a lo anterior, se establecieron 5 clases de calidad para la cuenca y para cada parámetro seleccionado. Esto se realizó en base al cálculo de percentiles 50 y 95 de la estación de mejor calidad (“mejor caso”, Figura 8) y percentil 95 de la estación de peor calidad registrada (“peor caso”, Figura 8). La clasificación resultante fue contrastada con la información biológica disponible en un trabajo de bioensayos (Encina 2014) y literatura general (Parra et al 2004, Cortes & Montalvo 2010) y de Bioindicadores (CENMA 2012). Una vez definidas las clases de calidad por parámetro, los valores fueron utilizados para calcular los niveles de calidad actuales (últimos 3 años, periodo 2012-2014) de cada parámetro en cada área de vigilancia. Finalmente, en base al registro histórico de información se establecieron los niveles esperados por parámetro y por área de vigilancia, de acuerdo a los objetivos ambientales planteados en el Objetivo D, procedimientos que fueron ajustados en acuerdo con la contraparte técnica.

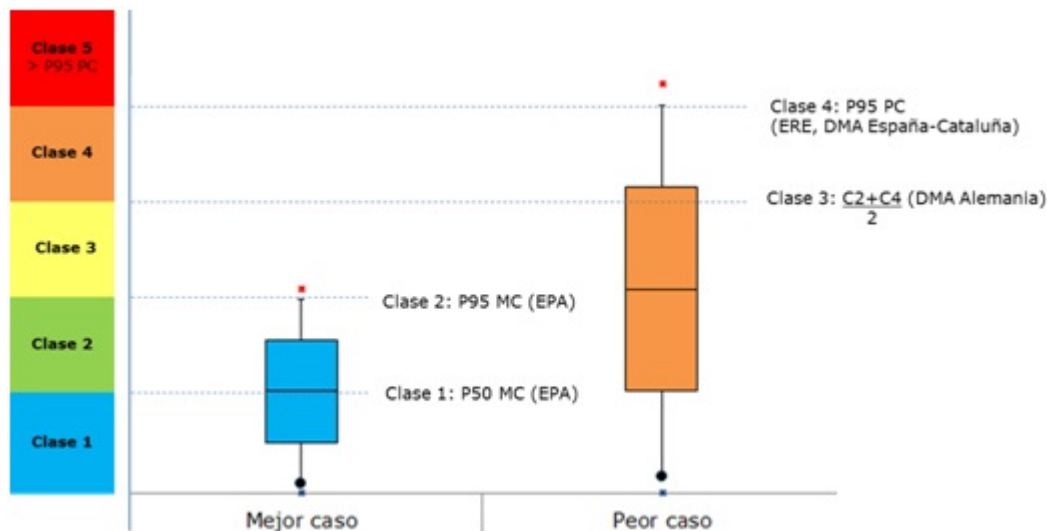


Figura 8. Metodología de determinación mediante percentiles de mejor y peor caso (Fuente: EPA, DMA).

## OBJETIVO ESPECIFICO D: Definir los objetivos ambientales de cada área de vigilancia.

La definición de objetivos ambientales, por cada parámetro y para cada área de vigilancia, corresponde a establecer una decisión política sobre bases técnico-científicas. Dicha decisión corresponde a optar entre promover la conservación de la clase de calidad actual definida para el elemento  $p_a$  (parámetro  $p$  en el área de vigilancia  $a$ ) o el mejoramiento de la calidad actual definida para  $p_a$ . Adicionalmente, si se opta por mejorar la calidad, debe decidirse cuánto mejorarla.

Para tal definición, se estableció un procedimiento de dos pasos: 1) definir una "estrategia de gestión de calidad ambiental" para cada área de vigilancia y 2) definir la conversión desde cada estrategia de gestión a un objetivo ambiental por parámetro.

### Estrategia de gestión de calidad ambiental

En base al valor biológico de cada área de vigilancia (Tabla 9), a su importancia económica (Tabla 9) y al potencial de crecimiento poblacional futuro, se propuso asignar a cada área de vigilancia una de tres estrategias de gestión de calidad ambiental: 1) conservadora, b) moderada, c) agresiva. Se asigna una estrategia más *agresiva* a áreas con mayor valor biológico y menor potencial demográfico y económico (y por lo tanto con mayor facilidad de protección debido a sus condiciones actuales) y una estrategia más *conservadora* a atributos opuestos. El concepto utilizado es que áreas con mayor valor biológico deben gestionarse con mayor estándar ambiental, pero áreas con alto valor económico o potencial demográfico son más difíciles y costosas de restaurar.

Para este fin, se categorizó el valor biológico de un área de vigilancia entre alto y bajo, de acuerdo a si contenía (alto) o no contenía (bajo) tramos con importancia biológica de categoría 4 (máxima) (según los resultados obtenidos en la categorización de tramos realizada anteriormente, siguiendo lo descrito en la Tabla 8). Similarmente, se categorizó el valor económico entre alto y bajo, de acuerdo a si contenía (alto) o no contenía (bajo) tramos con importancia económica de categoría 4 (máxima). Finalmente, se categorizó el potencial demográfico de acuerdo a la población proyectada dentro del área, de acuerdo al crecimiento poblacional registra entre los censos de 1992 y 2002 y a partir de la estimación de número de habitantes actuales. Así, las categorías de potencial demográfico de cada área de vigilancia fueron: a) alta (> 50.000 hab.), b) media (entre 25.000 y 50.000 hab.) y baja (< 25.000 hab.).

La asignación específica según las categorías de valor biológico, económico y potencial demográfico de cada área de vigilancia se basó en el siguiente criterio:

Tabla 9. Paso 1: Estrategia de gestión de calidad ambiental para las áreas de vigilancia. Este cuadro muestra la asignación de estrategias asociados al nivel de exigencia ambiental que se puede aplicar (C = conservadora, M = moderada, A = agresivo) para áreas de vigilancia según su valor biológico (alto/bajo), valor económico (alto/bajo) y potencial demográfico (alto/medio/bajo).  
 (Fuente: elaboración propia).

		VALOR BIOLÓGICO			
		Bajo		Alto	
VALOR ECONÓMICO	Bajo	P. DEMOGRÁFICO		P. DEMOGRÁFICO	
		Alto	<b>C</b>	Alto	<b>M</b>
		Medio	<b>M</b>	Medio	<b>A</b>
	Bajo	<b>M</b>	Bajo	<b>A</b>	
	Alto	P. DEMOGRÁFICO		P. DEMOGRÁFICO	
		Alto	<b>C</b>	Alto	<b>C</b>
Medio		<b>C</b>	Medio	<b>M</b>	
Bajo	<b>M</b>	Bajo	<b>M</b>		

### Desde la estrategia de gestión al objetivo ambiental

Una vez definida la estrategia de gestión de un área de vigilancia, el segundo paso consiste en traducir dicha estrategia a objetivos ambientales parámetro por parámetro, de acuerdo al nivel de calidad que presenten los parámetros actuales (últimos tres años), en el área de vigilancia.

Para una estrategia *Agresiva* (es decir alto valor biológico y bajos valores económicos y demográficos) es deseable llevar la norma a una clase de calidad Clase 2 o “Buena” para todos los parámetros normados a fin de asegurar la protección de la biota, para una estrategia *Moderada*, es deseable que a lo menos las calidades más deficientes (Clases 4 y 5) sean llevadas a Clase 3 o “Regular”, mientras un parámetro que actualmente se encuentre en Clase 3 sea llevado a Clase 2. Finalmente en una estrategia *Conservadora*, es deseable mantener aquellos parámetros buenos en Clase 2, y aquellos regulares y malos (Clases 3 a 5) sean normados y llevados solo a Clase 3, que es lo mínimo considerado como tolerable por la biota (dado que las Clases 4 y 5 no aseguran la protección de ninguna especie moderadamente tolerante o sensible).

En caso que no exista información de la calidad actual (últimos tres años), se asume una estrategia agresiva. Tal conversión se propone en la tabla siguiente:



Tabla 10. Paso 2: Establecimiento de objetivos de calidad. Conversión de estrategia de gestión de calidad ambiental del área de vigilancia a objetivo de calidad del parámetro dentro del área, en base al nivel de calidad actual del parámetro en el área (Fuente: elaboración propia).

Estrategia de gestión		Clase de calidad actual					
		1	2	3	4	5	?
Conservadora	Objetivo ambiental	2	2	3	3	3	2
Moderada		2	2	2	3	3	2
Agresiva		2	2	2	2	2	2

### Análisis de Coherencia

Como paso final, se efectuó un análisis de coherencia entre los valores propuestos como norma para cada parámetro/área de vigilancia. Este análisis se basó en la red de AV (Figura 18), y persigue confirmar si la exigencia normativa aguas arriba es igual o menor que la exigencia aguas abajo, debido a que ser más permisivos aguas arriba alteraría los valores aguas abajo. Sin embargo, en el caso que la propuesta de norma mantenga las clases de calidad actual (últimos 3 años), no se considera incoherencia aunque la exigencia sea en efecto mayor aguas abajo, debido a que se considera como una condición natural al sistema.

**OBJETIVO ESPECIFICO E: Efectuar una nueva propuesta de anteproyecto de NSCA para la cuenca del río Aconcagua.**

Definidas las áreas de vigilancia del Aconcagua y los parámetros a normar y vigilar en cada una de ellas, así como las clases de calidad actuales de cada parámetro en cada área de vigilancia, y definidas las estrategias de gestión de calidad ambiental en cada área, se aplica la regla de conversión de la Tabla anterior para obtener los valores a normar por parámetro en cada área de vigilancia.

El resultado final considera un estándar de calidad del agua mínimo para la protección de la vida acuática local, entendida como la protección y restauración de la estructura y el funcionamiento de organismos, poblaciones, comunidades y ecosistemas acuáticos del Aconcagua.

## RESULTADOS

Los resultados del presente informe abarcan reuniones con la contraparte técnica, y el desarrollo de los Objetivos de la metodología desarrollada para esta consultoría.

### **Reunión con la contraparte técnica**

Se realizaron cuatro reuniones con la contraparte técnica, donde se expuso la metodología utilizada en el desarrollo de la presente NSCA. En la primera reunión la contraparte presentó la metodología para otras cuencas en las que se ha trabajado durante el presente año (Maipo, Biobío y Valdivia). Esto permitió tener una visión global de lo que se esperaba y necesitaba para el desarrollo de esta propuesta y que está contenida en la metodología de este documento. En la segunda reunión se realizó la revisión del informe de avance conducente a la aprobación del objetivo A, se acordó la metodología para establecer clases de calidad y criterios para la definición de los objetivos ambientales. En la tercera reunión se presentó y aprobó la propuesta metodológica para el cumplimiento del objetivo B y se revisaron los detalles metodológicos para cumplir con el objetivo C. En la cuarta y última reunión se presentó, discutió y aprobó la propuesta metodológica para cumplimiento de los objetivos D y E, además se les presentó una propuesta de inclusión de parámetros biológicos, la cual fue aprobada.

**OBJETIVO ESPECIFICO A:** Revisar, actualizar y validar las bases de datos históricos de calidad de agua disponible según requerimientos de la propuesta de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental, en adelante (NSCA) para la cuenca del río Aconcagua.

## 1. Recopilación y sistematización de información relevante

### Base de dato DGA

El MMA facilitó una base de datos de las estaciones monitoreadas por la DGA para la cuenca del río Aconcagua, información que fue complementada con la disponible en la página web de la DGA para los últimos 10 años, incluyendo el 2014. Sin embargo la información entregada para el 2014 solo contiene el mes de febrero (verano). Tres estaciones monitoreadas por DGA han sido descontinuadas según los datos obtenidos, registrándose el último dato el mes y año que se presenta entre paréntesis seguida de la estación: LLI-10 (8/2013), QU-10 (8/2013), PU-10 (8/2010).

### Otras bases de datos

La búsqueda en otras bases de datos se presenta en la Tabla 11

Adicional a los criterios de búsquedas por las palabras claves utilizadas, se consideraron relevantes aquellos trabajos que tuvieran contenida la información de biota y/o parámetros fisicoquímicos de la cuenca del río Aconcagua.

Tabla 11. Resultados de búsqueda y recopilación de información relevante para este proyecto en buscadores científicos vía internet. Total se refiere al total de artículos relacionados en la búsqueda respectiva, y útil se refiere a artículos relevantes y descargados para complementar la información respecto de búsquedas anteriores realizadas (Fuente: elaboración propia).

Keyword	Buscador									
	ISI		Scopus		SciELO		Google Académico		Base de datos CENMA	
	total	útil	total	útil	total	útil	total	útil	total	útil
Aconcagua AND river	33	6	47	1	28	0	2550	0	4	4
Aconcagua AND basin	28	1	42	0	25	0	1830	0	4	0
Aconcagua AND ríos	25	0	43	0	11	1	7680	0	4	0

De la búsqueda realizada se seleccionó un total de 13 artículos relevantes entre ellos publicaciones en revistas científicas (9), informes de consultorías (3) y tesis de grado (1), según se describen a continuación en la Tabla 12.

Del total de material recopilado (base de datos DGA más búsqueda CENMA) se trabajó con los siguientes documentos por aportar datos relevantes que cumplieran con los criterios para estandarizar y validar la información obtenida, de acuerdo a los objetivos de este estudio:

- Base de datos histórica de la DGA para el Aconcagua periodo 1980 – 2014.
- Estudio CENMA: Campaña de monitoreo y Evaluación del Estado Ecológico de 10 Cuencas hidrográficas de Chile. 2012.
- Estudio CENMA: Análisis de la composición fisicoquímica de los sedimentos fluviales y sus relación con la disponibilidad de metales en el agua, cuenca del río Aconcagua. 2010.
- Tesis para optar al grado académico de Magister, Universidad de Chile. Valdovinos, C: Bases de un sistema de gestión ambiental para mitigar la contaminación de las aguas superficiales de la cuenca del río Aconcagua, V región, Chile. 2006.

La ubicación espacial de las estaciones de monitoreo provenientes de la información recopilada en esta etapa, se muestra en la Figura 9. El *shape* con esta información será adjuntado en el CD correspondiente a este informe.

Tabla 12. Desglose de los resultados de búsqueda y recopilación de información relevante para este proyecto en buscadores científicos vía internet (Fuente: elaboración propia).

<b>Autor/es</b>	<b>Título</b>	<b>Tipo de documento</b>	<b>Año</b>	<b>Cita completa</b>	<b>Utilidad por (criterio)</b>
Aguilar R, C Hormazabal, H Gaete & A Neaman	Spatial distribution of copper, organic matter and pH in agricultural soils affected by mining activities	Publicación Científica	2011	Journal of Soil Science and Plant Nutrition 11:125-145.	Datos fisicoquímicos
Copaja SV, G Diaz, R toro, R Tessada, P Miranda & JR Morales.	Determination of mining activity of river sediments of three Chilean basins by particle induced x-ray emission (PIXE).	Publicación Científica	2012	Journal of the Chilean Chemical Society 57: 1400-1403.	Datos fisicoquímicos
Gaete H, F Aranguiz & G Cienfuegos	Metales pesados y toxicidad de aguas del río Aconcagua en Chile.	Publicación Científica	2007	Química Nova 30: 885-891.	Datos fisicoquímicos
Clarvis MH & A Allan	Adaptive capacity in a Chilean context: A questionable model for Latin America	Publicación Científica	2014	Environmental Science & Policy 43: 78-90.	Datos fisicoquímicos
Waylen PR & CN Caviedes	Annual and seasonal fluctuations of precipitation and streamflow in the Aconcagua River Basin, Chile	Publicación Científica	1990	Journal of Hydrology 120: 79-102.	Datos Hidrológicos
Prendez M & V Calderon	Análisis de contaminantes en la Cuenca del río Aconcagua en Chile. Evaluación de Riesgo Humano y Ambiental	Publicación Científica	2013	Información Tecnológica 24: 3-14.	Datos fisicoquímicos

Tabla 12. Desglose de los resultados de búsqueda y recopilación de información relevante para este proyecto en buscadores científicos vía internet (Fuente: elaboración propia).

<b>Autor/es</b>	<b>Título</b>	<b>Tipo de documento</b>	<b>Año</b>	<b>Cita completa</b>	<b>Utilidad por (criterio)</b>
Martinez C, A Fernandez & P Rubio	Flow and climatic variability on a Southamerican mid-Latitude basin: río Aconcagua, Central Chile (33°S)	Publicación Científica	2012	Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles 58: 481-485.	Datos Hidrológicos
Zunino C, C Aliaga & P Da Venezia	Comunidades de peces en desembocaduras de ríos y esteros de la Región de Valparaíso, Chile central	Publicación Científica	2009	Revista de Biología Marina y Oceanografía 44(1): 123-130	Datos Biológicos
DGA	Base de datos histórica de la DGA para el Aconcagua periodo 1980 – 2014	Documento de datos	2014		Datos fisicoquímicos & Datos Hidrológicos
CENMA	Campaña de monitoreo y Evaluación del Estado Ecológico de 10 Cuencas hidrográficas de Chile. 2012	Documento técnico	2012		Datos fisicoquímicos & Datos Biota
CENMA	Análisis de la composición fisicoquímica de los sedimentos fluviales y sus relación con la disponibilidad de metales en el agua, cuenca del río Aconcagua	Documento técnico	2010		Datos fisicoquímicos & Datos Biota

Tabla 12. Desglose de los resultados de búsqueda y recopilación de información relevante para este proyecto en buscadores científicos vía internet (Fuente: elaboración propia).

<b>Autor/es</b>	<b>Título</b>	<b>Tipo de documento</b>	<b>Año</b>	<b>Cita completa</b>	<b>Utilidad por (criterio)</b>
CADE-IDEPE	Diagnóstico y clasificación de los cuerpos de agua según objetivos de calidad: cuenca del Aconcagua	Documento técnico	2004		Datos fisicoquímicos & Datos Biota
Valdivinos C	Bases de un sistema de gestión ambiental para mitigar la contaminación de las aguas superficiales de la cuenca del río Aconcagua, V región, Chile	Tesis para optar al grado académico de Magister, Universidad de Chile	2006		Datos fisicoquímicos



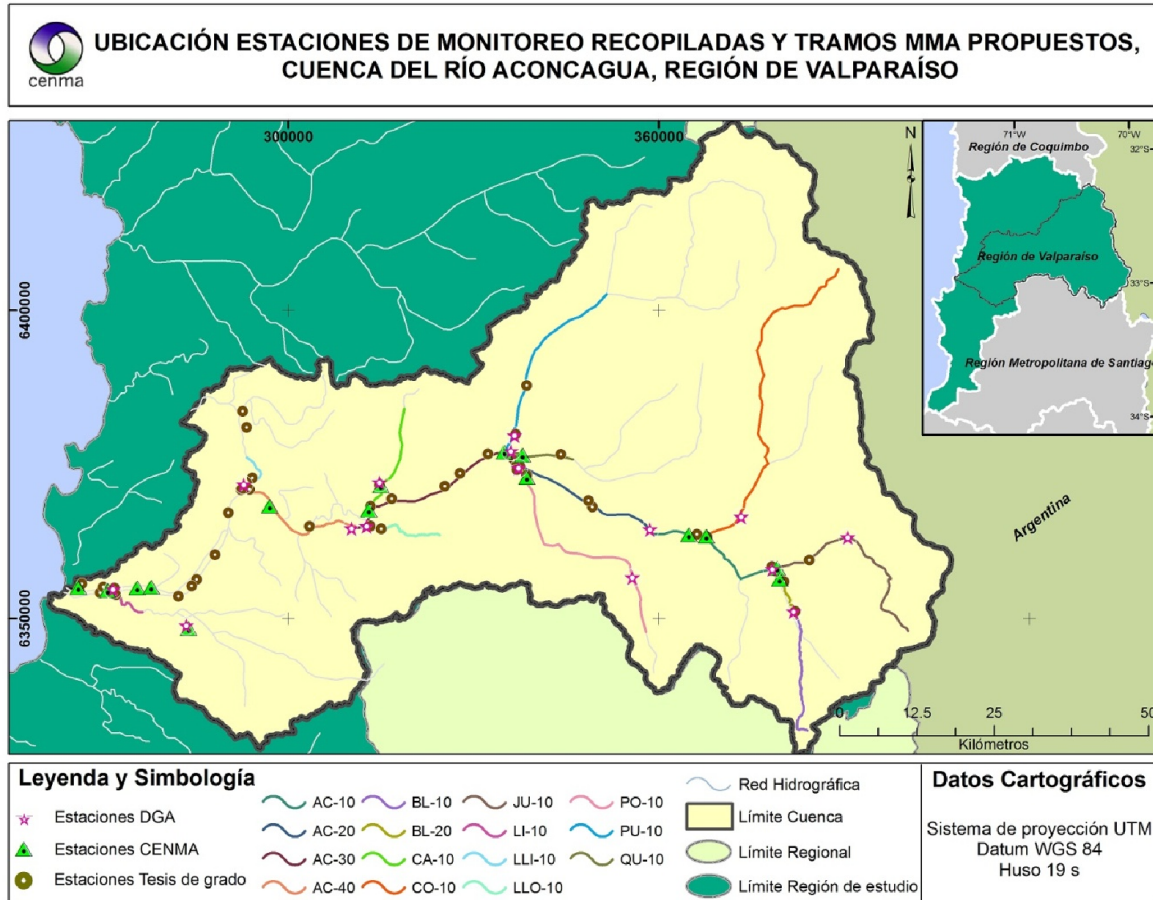


Figura 9. Ubicación espacial de los tramos propuestos por el CONAMA (hoy Ministerio del Medio Ambiente) y las distintas estaciones de monitoreo desde donde se obtuvieron datos fisicoquímicos para esta etapa del estudio (Fuente: elaboración propia).

## 2. Validación de la información sistematizada

Se recopilaron un total de 34513 registros, de los cuales se validaron un total de 31282 registros para 42 parámetros de calidad de agua en la cuenca del Aconcagua observados entre los años 1980 y 2014. A continuación se presentan los resultados de la validación:

### Comparación entre valores medidos por DGA y otros estudios

Comparación DGA-Tesis años 2001-2002: Se encontraron diferencias significativas entre los valores informados por DGA y los valores informados por la tesis de Valdovinos (Test U de Mann Withney,  $p < 0,05$ ) para los siguientes parámetros: Conductividad Eléctrica, Cloruro, DQO, Sulfatos y Hierro.

Una mirada a los datos muestra que los valores informados por DGA siempre son superiores a los informados por la tesis, excepto para Hierro.

En base a estos resultados, proponemos no considerar para la propuesta normativa los parámetros Conductividad Eléctrica, Cloruro, DQO, Sulfatos y Hierro del estudio de C. Valdovinos. Esta propuesta es conservadora (poco riesgosa) además, puesto que los dichos valores fueron menores a los registrados por DGA, lo cual puede deberse a que la técnica analítica de Valdovinos era menos sensible.

Comparación DGA-CENMA años 2008, 2012: No se encontraron diferencias significativas entre los valores informados por DGA y los valores informados por CENMA (Test U de Mann Withney,  $p > 0,05$ ) en ningún parámetro. Por tanto, se incluyen los datos CENMA para la propuesta normativa.

Un resumen del recuento básico del total de datos recopilados y aquellos que fueron validados se presenta en el anexo.

### Cumplimiento normativa vigente últimos tres años (Anteproyecto de norma 2006)

La revisión de la normativa vigente para los últimos tres años (periodo 2012-2014, Tabla 13) reveló lo siguiente:

- a) La estación PU-10 no monitorea valores desde 2011 (último monitoreo es del año 2010)
- b) La estación BL-10 no presenta datos para el 2013, mientras que las estaciones LI-10, LLI-10 y QU-10 no presentan datos para el 2014.
- c) Ninguna estación cumple en todos los parámetros analizados, existiendo siempre al menos uno donde incumple

- d) Los parámetros de mayor incumplimiento son: Conductividad Eléctrica, RAS, Sulfatos, Manganeso y Molibdeno.
- e) Los parámetros de mayor cumplimiento son: pH, temperatura, oxígeno disuelto, Cobre, Cloruro, Zinc, Aluminio y Arsénico.

Tabla 13. Análisis de cumplimiento de la normativa vigente para los últimos tres años, periodo comprendido entre 2012-2014. (si: sí cumple, no: no cumple; para la temperatura se especifica periodo de incumplimiento en caso respectivo)(Fuente: elaboración propia).

Estación	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40	BL-10	BL-20	CA-10	CO-10	JU-10
Parámetro	sin 2013								
Conductividad Eléctrica	si	si	no	no	si	no	no	si	no
DBO5	sin norma	sin valores	sin norma	sin norma	sin norma	sin norma	sin norma	sin norma	sin norma
Oxígeno Disuelto	si	si	si	si	si	si	si	si	si
pH	si	si	si	si	si	si	si	si	si
RAS	no	no	no	no	sin norma	no	no	no	si
SDT	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores
Temperatura	si	no otoño	no otoño	si	si	si	si	si	no verano
Cloruro	si	si	si	sin valores	si	sin valores	si	si	si
Nitrito	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	sin norma	sin valores	sin norma	sin valores	sin valores
Nitrato	no	si	no	si	si	si	si	no	no
Sulfato	no	no	no	no	si	no	no	no	si
Fosfato	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores
Aceites y grasas	sin norma	sin valores	sin norma	sin norma	sin norma	sin norma	sin norma	sin norma	sin norma
SAAM	sin norma	sin valores	sin norma	sin norma	sin norma	sin valores	sin norma	sin norma	sin norma
Cobre	si	si	si	si	si	si	si	si	si
Hierro	si	no	si	si	si	si	si	no	no
Manganeso	no	no	si	no	no	no	si	no	no
Molibdeno	no	no	no	no	no	si	no	no	no
Zinc	si	si	si	si	si	si	si	si	si
Aluminio	si	si	si	si	si	si	si	si	no
Arsénico	si	si	si	si	si	si	si	si	si
CF	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	sin norma	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores
CT	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	sin norma	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores

Tabla 13. Continuación

Estación	LI-10	LLI-10	LLO-10	PO-10	PU-10	QU-10
Parámetro	sin 2014	sin 2014			sin 2011-2014	sin 2014
Conductividad Eléctrica	no	no	no	si	sin valores	si
DBO5	sin norma	sin norma	sin norma	sin norma	sin norma	sin norma
Oxígeno Disuelto	si	si	no	si	sin valores	si
pH	si	si	si	si	sin valores	si
RAS	no	no	no	no	sin valores	no
SDT	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores
Temperatura	no primavera	no verano	si	si	sin norma	si
Cloruro	si	sin valores	si	si	sin valores	si
Nitrito	sin valores	sin valores	sin norma	sin norma	sin valores	sin valores
Nitrato	si	si	no	si	sin valores	si
Sulfato	no	no	no	si	sin valores	no
Fosfato	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores	sin valores
Aceites y grasas	sin norma	sin norma	sin norma	sin norma	sin norma	sin norma
SAAM	sin norma	sin norma	sin norma	sin norma	sin norma	sin norma
Cobre	si	si	si	si	sin valores	si
Hierro	si	si	si	si	sin valores	no
Manganeso	si	si	si	si	sin valores	no
Molibdeno	no	no	no	no	sin valores	no
Zinc	si	si	si	si	sin valores	si
Aluminio	si	si	si	si	sin valores	no
Arsénico	si	si	si	si	sin valores	si
CF	sin valores	sin valores	sin norma	sin valores	sin valores	sin norma
CT	sin valores	sin valores	sin norma	sin valores	sin valores	sin norma

### 3. Base de Datos Obtenida

Toda la información recopilada, seleccionada y sistematizada se encuentra en la planilla Excel "Planilla\_Datos\_Aconcagua2014.xls". En ella existen 15 hojas activas:

- Identificación: con la identificación de los símbolos utilizados en toda la planilla.
- FQ: datos fisicoquímicos obtenidos en esta etapa (1980 – 2014)
- FQ\_filtro1: datos con validación cualitativa aplicada
- Outliers: resultados de los métodos de eliminación de outliers.
- FQ\_filtro2: datos con métodos para detectar outliers aplicada
- Cumplimiento norma últimos 3 años: desarrollo cumplimiento anteproyecto por estación de monitoreo.
- Validación: entrega estadística de datos validados
- Id Biol: Total de datos biológicos recopilados para la cuenca
- BIOL\_1: datos biológicos asociados a algunos datos fisicoquímicos obtenidos en estudio CENMA (muestreo paralelo fisicoquímico y biológico en la misma estación). Matriz de presencia y ausencia
- BIOL\_2: datos biológicos que caracterizan la cuenca de manera general, expresados en un listado de especies y sin asociar a ningún dato fisicoquímico obtenido en esta etapa (no existe un muestreo paralelo fisicoquímico y biológico en la misma estación). Matriz de presencia y ausencia
- Industrias utilizadas de la base de datos de Riquelme (2003): Fuentes contaminantes cuenca: listado y ubicación de las fuentes puntuales de la cuenca.
- Faenas mineras de la cuenca del río Aconcagua
- FQ\_filtro3: validación estadística entre datos DGA/CENMA/Tesis C. Valdovinos. Base de datos final para usar en la determinación de las clases de calidad.
- Gráficos: contiene los gráficos según los mejores y peores casos para las clases de calidad.
- Bioensayo: con los valores obtenidos en la literatura y bioensayos para definir las distintas clases de calidad.

#### 4. Resumen de los datos encontrados

Se obtuvo un total de 1485 registros fisicoquímicos. El total de estaciones DGA, asociadas a las áreas de vigilancia del Anteproyecto de la NSCA del Aconcagua, se entregan en la Tabla 14, mientras que el total de parámetros fisicoquímicos de los que se tienen datos en estas estaciones y áreas, se entrega en la Tabla 15.

Tabla 14. Identificación de las estaciones vigentes de la DGA, donde se reportan datos de los distintos parámetros fisicoquímicos para este estudio (Fuente: elaboración propia).

<b>CODIGO B.N.A.</b>	<b>NOMBRE ESTACION</b>	<b>AREA</b>
05406001-7	Rio Colorado en Bocatoma Central Hidroeléctrica	CO-10
05402001-5	Rio Blanco en Rio Blanco	BL-20
05410002-7	Rio Aconcagua en Chacabuquito	AC-10
05426003-2	Rio Aconcagua en Puente Colmo	AC-40
05424002-3	Estero El Litre antes Rio Aconcagua	LLI-10
05423003-6	Rio Aconcagua en Romeral	AC-30
05421004-3	Estero Catemu en Catemu	CA-20
05411001-4	Estero Pocuro en el Sifón	PO-10
05410005-1	Rio Aconcagua en san Felipe	AC-20
05427001-1	Estero Limache entrada Embalse Los Aromos	LI-10
05401003-6	Rio Juncal en Juncal	JU-10
05422001-4	Estero Las Vegas en Desembocadura	LLO-10
05415001-6	Estero Quilpue antes Jta. Rio Aconcagua-Desembocadura	QU-10
05414003-7	Rio Putaendo en el Badem	PU-10
05402013-9	Rio Blanco en Bocatoma Central Hidroeléctrica	BL-10

Tabla 15. Parámetros obtenidos para las áreas de vigilancia del Aconcagua (Fuente: elaboración propia).

<b>Sigla</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>
CE	Conductividad	( $\mu$ S/cm)
OD	Oxígeno Disuelto	(mg/L)
pH	pH	-
T	Temperatura	(°C)
Cl-	Cloruro	(mg/L)
N(NO3-)	Nitrato	(mg/L)
SO4-2	Sulfato	(mg/L)
P(PO4-3)	Fosfato	(mg/L)
Cu	Cobre	(mg/L)
Fe	Hierro	(mg/L)
Mn	Manganeso	(mg/L)

<b>Sigla</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>
Mo	Molibdeno	(mg/L)
Zn	Zinc	(mg/L)
Al	Aluminio	(mg/L)
As	Arsénico	(mg/L)
Hg	Mercurio	(mg/L)
B	Boro	(mg/L)
Se	Selenio	(mg/L)
Pb	Plomo	(mg/L)
Ni	Níquel	(mg/L)
Cd	Cadmio	(mg/L)
Cr	Cromo	(mg/L)
Ca	Calcio	(mg/L)
CaCO3	Carbonato de Calcio	(mg/L)
Mg	Magnesio	(mg/L)
Na	Sodio	(mg/L)
Ni	Níquel	(mg/L)
N-NH4	N Amoniacal	(mg/L)
N-NO2	Nitrito	(mg/L)
RAS	Relación de Adsorción de Sodio	-
SDT	Sólidos Disueltos Totales	(mg/L)
Grasas	Grasas	(mg/L)
SAAM	Detergentes	(mg/L)
DBO5	Demanda Biológica de Oxígeno 5 días	(mg/L)
CF	Coliformes Fecales	(NMP/100 ml)
CT	Coliformes Totales	(NMP/100 ml)
SS	Sólidos suspendidos	(mg/L)
CA	Color Aparente	(Pt-Co)
SST	Sólidos Suspendidos Totales	(mg/L)
Cn-	Cianuro	(mg/L)
F-	Fluoruro	(mg/L)
Sulfuro	Sulfuro	(mg/L)
Sn	Estaño	(mg/L)

Los datos de metales se expresan en concentraciones totales.

## 5. Datos de fauna

En la bibliografía revisada se encuentra información de vegetación y fauna para la cuenca del río Aconcagua. De ella, se obtuvo una lista de especie, familias o clases para macrófitas, anfibios, peces y macroinvertebrados bentónicos (Tabla 16), donde solo estos últimos poseen datos que se relacionan a la fisicoquímica del lugar en 11 de las 15 estaciones consideradas áreas de vigilancia.



Tabla 16. Biota reportada para la cuenca del Aconcagua (Fuente: elaboración propia).

ESPECIE	FAMILIA o CLASE	NOMBRE COMÚN	ORIGEN	TIPO	Estado Conservación
<i>Myocastorcoypus</i>	Myocastoridae	Coipo	nativa	Mamífero	Vulnerable
<i>Basilichthysaustralis</i>	Atherinopsidae	Pejerrey	nativa	Pez	Vulnerable
<i>Carassiuscarassius</i>	Cyprinidae	Carpa Dorado	exótica	Pez	Sin información
<i>Cheridonpisciculus</i>	Characidae	Pocha	nativa	Pez	Vulnerable
<i>Cyprinuscarpio</i>	Cyprinidae	Carpa	exótica	Pez	Sin información
<i>Gambusiaaffinis</i>	Poeciliidae	Gambusia	exótica	Pez	Sin información
<i>Oncorhynchusmykiss</i>	Salmonidae	Trucha arcoiris	exótica	Pez	Sin información
<i>Salmo trutta</i>	Salmonidae	Trucha café	exótica	Pez	Sin información
<i>Trichomycterusaerolatus</i>	Trichomycteridae	Bagre chico	nativa	Pez	Vulnerable
<i>Azollafiliculoides</i>	Azollaceae	tembladerilla	nativa	Macrófita	Sin información
<i>Ceratophyllumsp.</i>	Ceratophyllaceae	Sin información	Sin información	Macrófita	Sin información
<i>Cladophorasp.</i>	Cladophoraceae	Sin información	Sin información	Macrófita	Sin información
<i>Eichorniacrassipes</i>	Pontederaceae	flor del pato	exótica	Macrófita	Sin información
<i>Elodea sp.</i>	Hydrocharitaceae	luchecillo	exótica	Macrófita	Sin información
<i>Jussiaeasp</i>	Onagraceae	Sin información	Sin información	Macrófita	Sin información
<i>Myriophyllumsp.</i>	Haloragaceae	hierba del sapo	nativa	Macrófita	Sin información
<i>Nasturtiumofficinale</i>	Brassicaceae	berro	exótica	Macrófita	Sin información
<i>Polygonumhydropiperoides</i>	Polygonaceae	duraznillo	exótica	Macrófita	Sin información
<i>Potamogetonsp.</i>	Potamogetonaceae	huero	nativa	Macrófita	Sin información
<i>Salviniaauriculata</i>	Salveniaceae	flor del pato	exótica	Macrófita	Sin información
Sin información	Cloróficeae	Sin información	Sin información	Macrófita	Sin información
<i>Typha angustifolia</i>	Typhaceae	tatora	nativa	Macrófita	Sin información
<i>Zannichelliasp</i>	Potamogetonaceae	Sin información	Sin información	Macrófita	Sin información
<i>Caudiverberacaudiverbera</i>	Calyptocephalellidae	Rana Chilena	nativa	Anfibio	Vulnerable
Sin información	Acari	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Aeglidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Ancylidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información

ESPECIE	FAMILIA o CLASE	NOMBRE COMÚN	ORIGEN	TIPO	Estado Conservación
Sin información	Athericidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Baetidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Blephariceridae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Caenidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Ceratopogonidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Chiliniidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Chironomidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Coleoptera	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Collembola	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Culicidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Dugesidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Dyctiscidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Elmidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Empididae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Ephemeroptera	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Gripopterygidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Hirudinea	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Hyalellidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Hydrobiosidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Hydrophilidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Hydropsichyidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Hydroptilidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Leptoceridae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Leptophlebiidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Mycetophilidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Oligochaeta	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Ostracoda	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Physidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información

<b>ESPECIE</b>	<b>FAMILIA o CLASE</b>	<b>NOMBRE COMÚN</b>	<b>ORIGEN</b>	<b>TIPO</b>	<b>Estado Conservación</b>
Sin información	Psychodidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Simulidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Sphaeridae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Stratiomyidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Tendipedidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Trichoptera	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Tipulidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Tipulidae	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información
Sin información	Turbellaria	Sin información	Sin información	Macroinvertebrado	Sin información

**OBJETIVO ESPECIFICO B:** Establecer y justificar técnicamente las áreas de vigilancia, así como también los parámetros a normar para la nueva propuesta normativa.

### 1. Recopilación y análisis de información espacial

La cartografía e imágenes recopiladas para el desarrollo de las áreas de vigilancia son las siguientes:

Tabla 17. Cartografía recopilada y utilizada en el estudio (Fuente: elaboración propia).

<b>Utilizadas en priorización de tramos</b>		
<b>Nombre</b>	<b>Formato</b>	<b>Fuente</b>
Tipología de ríos	shapefile	Fuster (2011)
SNASPE	shapefile	SINIA
Especies en categorías de conservación	shapefile	CENMA, 2013
Estado Ecológico	shapefile	CENMA, 2012
Industrias	shapefile	Riquelme, 2003. Proporcionado por contraparte técnica
Uso de suelo	shapefile	IDE ( <a href="http://ide.mma.gob.cl/">http://ide.mma.gob.cl/</a> )
<b>Utilizadas en diseño de áreas de vigilancia y selección de parámetros</b>		
<b>Nombre</b>	<b>Formato</b>	<b>Fuente</b>
Estaciones DGA	shapefile	DGA
Modelo Digital de Elevaciones (DEM)	raster	ASTER GDEM ( <a href="http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/">http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/</a> )
Descargas industriales	excel	Proporcionado por contraparte técnica
Faenas mineras	shapefile	Proporcionado por contraparte técnica

El análisis de la información espacial se realizó posterior a la entrega de resultados que priorizaron cada uno de los tramos de la red hidrográfica de acuerdo a los criterios físicos, biológicos y económicos.

## 2. Establecimiento/justificación de áreas de vigilancia

Para las tablas siguientes, los valores de las categorías (1-4) corresponden a lo descrito en la sección Métodos, Tabla 8: Categorías de priorización para los tramos de la red hidrográfica. En las Figuras siguientes (excepto Figura 10) estas Categorías se han representados con los siguientes colores: Rojo: categoría 4 o máxima; Amarillo: categoría 3 o alta; Verde: categoría 2 o media y celeste: categoría 1 o baja.

### Componente física:

Cartografía utilizada:

Siguiendo a Fuster et al. (2011) se definen tres tipos para el Aconcagua: Tipo 6 Andino semiárido, Tipo 7 Transición semiárido y Tipo 8 Desembocadura semiárido (Figura 10).

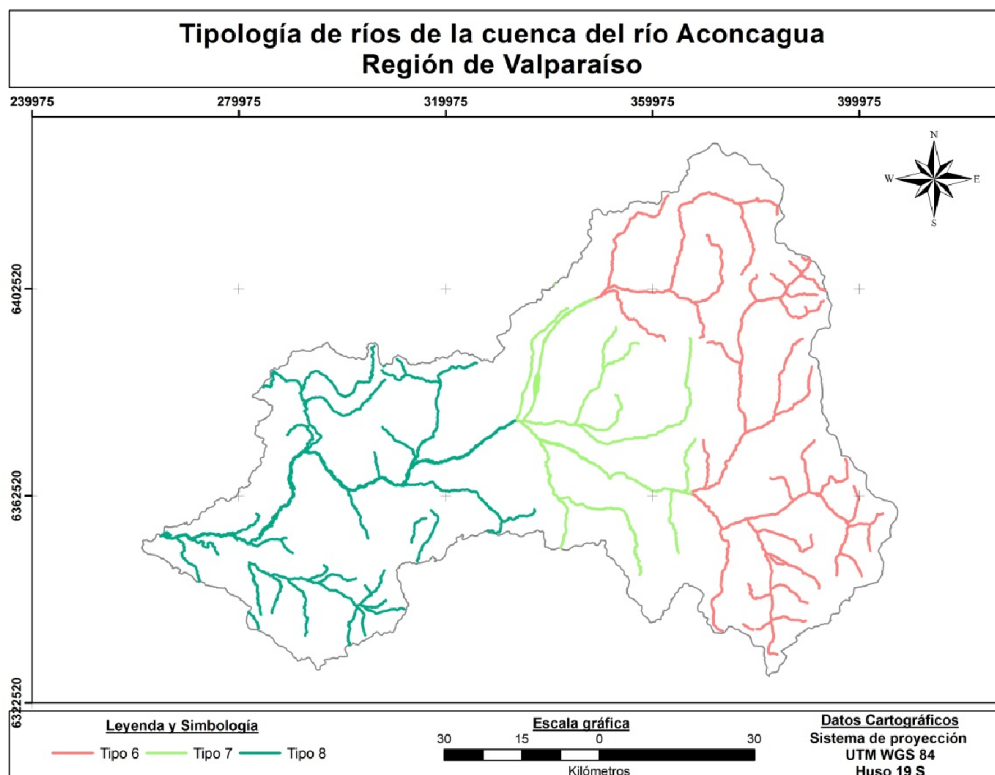


Figura 10. Tipología de ríos de la cuenca del río Aconcagua utilizada como insumo en el componente físico (Fuente: Fuster et al. 2011).

La siguiente Tabla muestra el resultado de nuestro procedimiento de priorización, considerando la capa de información física.

Tabla 18. Resultado del procedimiento de priorización física de tramos para la vigilancia ambiental del Aconcagua (Fuente: elaboración propia).

Tramo $n$	Nombre río	Valor $F'_n$	Categoría
1	Sin nombre	0.196	3
2	Sin nombre	0.067	2
3	Sin nombre	0.083	2
4	Sin nombre	0.432	4
5	Rio Aconcagua	0.587	4
6	Sin nombre	0.193	3
7	Sin nombre	0.088	2
8	Sin nombre	0.483	4
9	Rio Aconcagua	0.876	4
10	Sin nombre	0.042	1
11	Estero San Francisco	0.065	2
12	Sin nombre	0.141	3
13	Rio Blanco	0.119	3
14	Rio Aconcagua	0.421	4
15	Sin nombre	0.081	2
16	Sin nombre	0.536	4
17	Rio Pocuro	0.118	2
18	Estero Quilpue	0.231	3
19	Rio Aconcagua	1.000	4
20	Estero Catemu	0.023	1
21	Sin nombre	0.314	4
22	Sin nombre	0.009	1
23	Estero Las Vegas	0.014	1
24	Rio Aconcagua	0.273	3
25	Sin nombre	0.008	1
26	Sin nombre	0.008	1
27	Sin nombre	0.007	1
28	Sin nombre	0.040	1
29	Sin nombre	0.241	3

Tramo $n$	Nombre río	Valor $F'_n$	Categoría
30	Sin nombre	0.009	1
31	Rio Aconcagua	0.202	3
32	Sin nombre	0.005	1
33	Sin nombre	0.006	1
34	Sin nombre	0.022	1
35	Sin nombre	0.005	1
36	Sin nombre	0.005	1
37	Sin nombre	0.051	2
38	Estero Litre	0.072	2
39	Rio Aconcagua	0.190	3
40	Sin nombre	0.007	1
41	Rio Aconcagua	0.107	2
42	Sin nombre	0.006	1
43	Rio Aconcagua	0.084	2
44	Rio Limache	0.000	1
45	Sin nombre	0.003	1
46	Rio Limache	0.039	1
47	Sin nombre	0.003	1
48	Sin nombre	0.054	2
49	Rio Aconcagua	0.067	2

Las categorías de priorización de tramos del Aconcagua de acuerdo a la componente física pueden visualizarse en la siguiente figura.

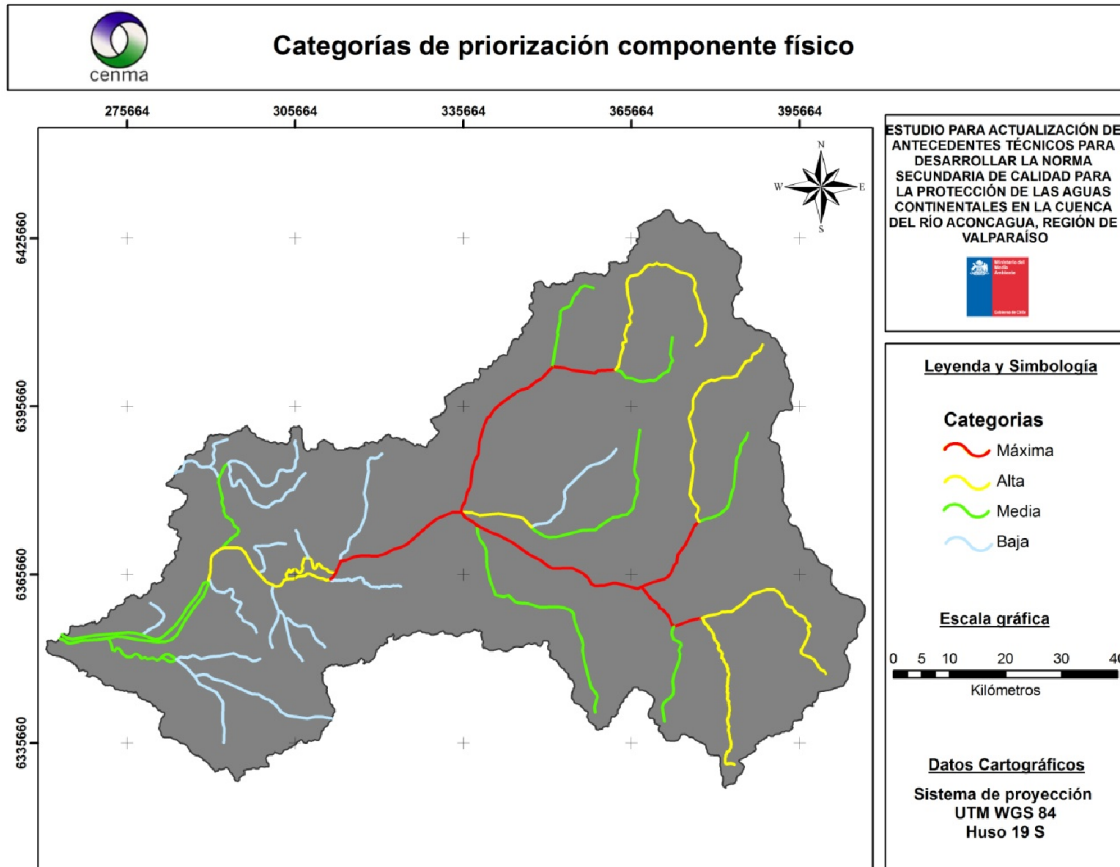


Figura 11. Tramos priorizados por importancia física para la vigilancia ambiental de la cuenca del Aconcagua, categorizados como sigue. Rojo: 4, máxima; Amarillo: 3, alta; verde: 2, media, celeste: 1, baja (ver Tabla 8) (Fuente: elaboración propia).



**Componente biológico:**

Siguiendo la metodología, se utilizó la cartografía obtenida de MMA (2012) y que se muestra a continuación:

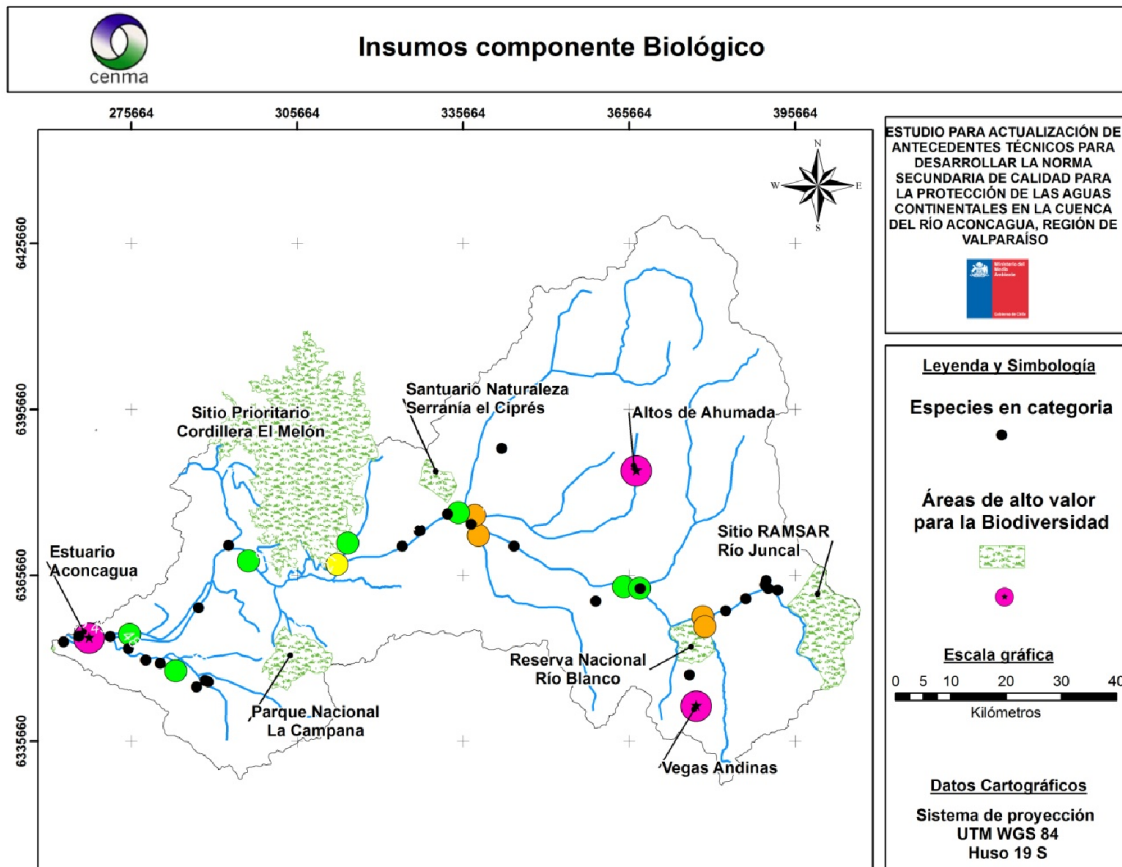


Figura 12. Información cartográfica utilizada para el componente biológico siguiendo a MMA 2012 (Fuente: elaboración propia).

La siguiente Tabla muestra el resultado de nuestro procedimiento de priorización, considerando la capa de información biológica.

Tabla 19. Resultado del procedimiento de priorización biológica de tramos para la vigilancia ambiental del Aconcagua (Fuente: elaboración propia).

Tramo $n$	Nombre río	Valor $B'_n$	Categoría
1	Sin nombre	0.786	4
2	Sin nombre	0.786	4
3	Sin nombre	0.786	4
4	Sin nombre	0.500	2
5	Rio Aconcagua	0.741	2
6	Sin nombre	0.786	4
7	Sin nombre	0.786	4
8	Sin nombre	0.500	2
9	Rio Aconcagua	0.398	1
10	Sin nombre	0.286	1
11	Estero San Francisco	0.286	1
12	Sin nombre	0.506	2
13	Rio Blanco	0.500	1
14	Rio Aconcagua	0.214	1
15	Sin nombre	0.786	4
16	Sin nombre	0.000	1
17	Rio Pocuro	0.286	1
18	Estero Quilpue	0.000	1
19	Rio Aconcagua	0.151	1
20	Estero Catemu	1.000	4
21	Sin nombre	0.237	1
22	Sin nombre	0.666	2
23	Estero Las Vegas	0.453	1
24	Rio Aconcagua	0.237	1
25	Sin nombre	0.786	4
26	Sin nombre	1.000	4
27	Sin nombre	1.000	4
28	Sin nombre	0.714	2
29	Sin nombre	0.571	2
30	Sin nombre	0.786	4
31	Rio Aconcagua	0.357	1

Tramo $n$	Nombre río	Valor $B'_n$	Categoría
32	Sin nombre	1.000	4
33	Sin nombre	0.786	4
34	Sin nombre	0.500	2
35	Sin nombre	1.000	4
36	Sin nombre	0.786	4
37	Sin nombre	0.714	2
38	Estero Litre	0.598	2
39	Rio Aconcagua	0.500	1
40	Sin nombre	0.786	4
41	Rio Aconcagua	0.313	1
42	Sin nombre	0.786	4
43	Rio Aconcagua	0.286	1
44	Rio Limache	0.786	4
45	Sin nombre	0.947	4
46	Rio Limache	0.500	2
47	Sin nombre	0.786	4
48	Sin nombre	0.581	2
49	Rio Aconcagua	0.353	1

Las categorías de priorización de tramos del Aconcagua de acuerdo al componente biológico pueden visualizarse en la siguiente figura.

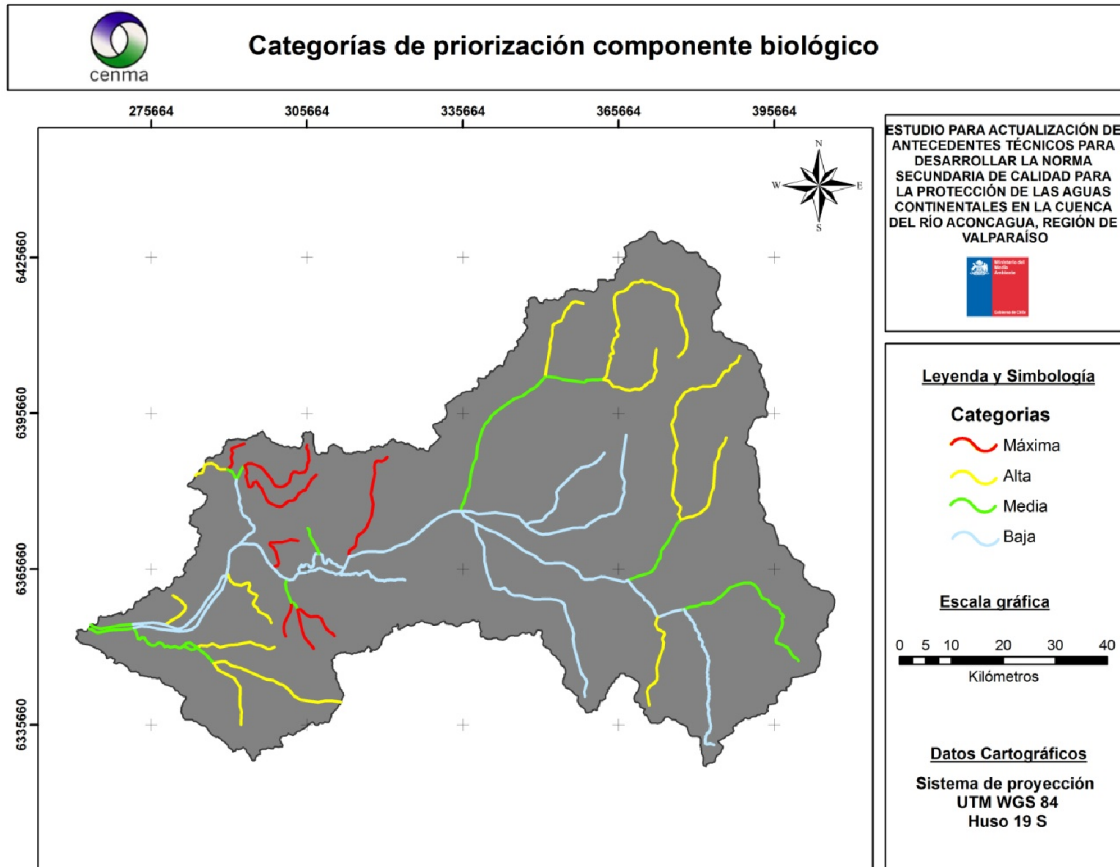


Figura 13. Tramos priorizados por importancia biológica para la vigilancia ambiental de la cuenca del Aconcagua, categorizados como sigue. Rojo: 4, máxima; verde: 2, media, celeste: 1, baja (Fuente: elaboración propia).

**Componente económica:**

Cartografía utilizada:

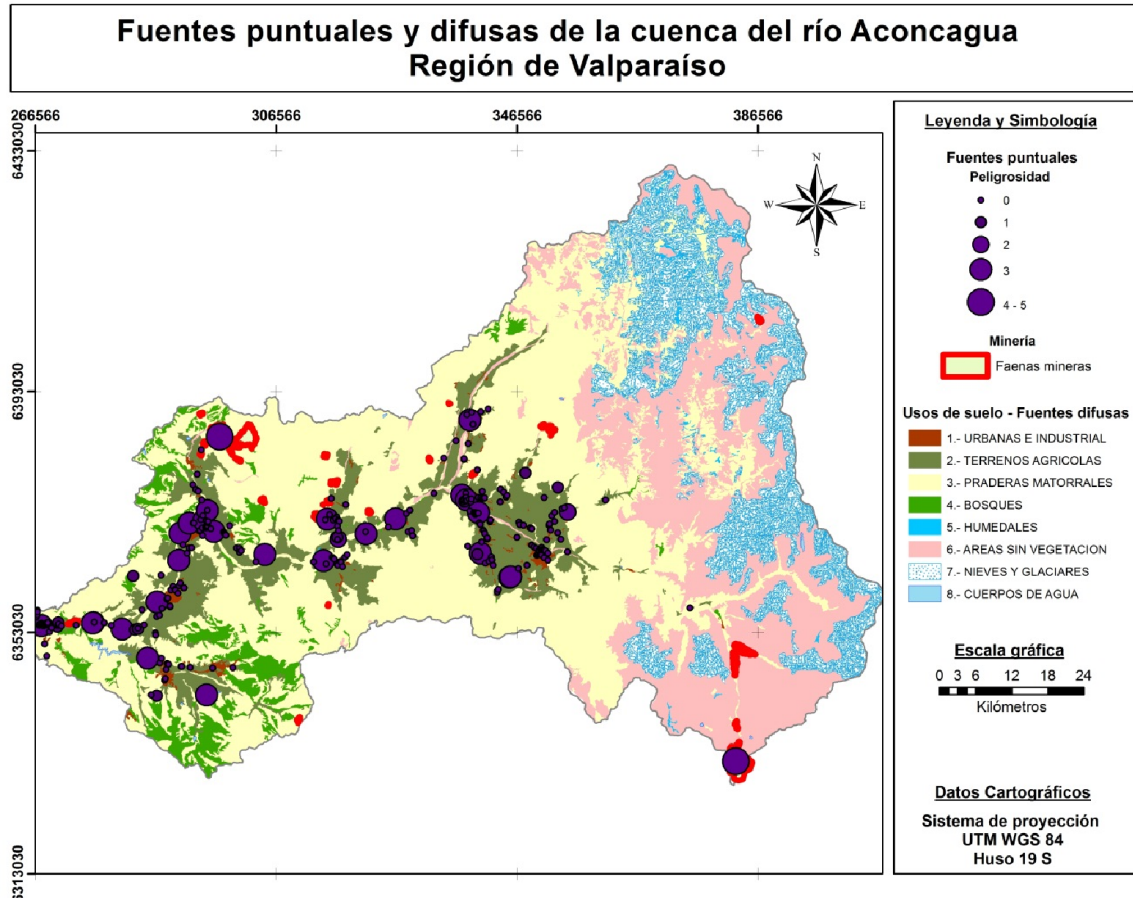


Figura 14. Fuentes puntuales, difusas y ubicación de faenas mineras en la cuenca del río Aconcagua (Fuente: elaboración propia).

La siguiente Tabla muestra el resultado de nuestro procedimiento de priorización, considerando la capa de información económica.

Tabla 20. Resultado del procedimiento de priorización económica de tramos para la vigilancia ambiental del Aconcagua. (Fuente: elaboración propia)

Tramo $n$	Nombre río	Valor $E'_n$	Categoría
1	Sin nombre	0.100	1
2	Sin nombre	0.100	1
3	Sin nombre	0.233	2
4	Sin nombre	0.100	1
5	Rio Aconcagua	0.325	2
6	Sin nombre	0.145	1
7	Sin nombre	0.100	1
8	Sin nombre	0.233	2
9	Rio Aconcagua	0.640	4
10	Sin nombre	0.324	2
11	Estero San Francisco	0.105	1
12	Sin nombre	0.000	1
13	Rio Blanco	1.000	4
14	Rio Aconcagua	0.233	2
15	Sin nombre	0.233	2
16	Sin nombre	0.233	2
17	Rio Pocuro	0.637	4
18	Estero Quilpue	0.547	3
19	Rio Aconcagua	0.687	4
20	Estero Catemu	0.728	4
21	Sin nombre	0.233	2
22	Sin nombre	0.279	2
23	Estero Las Vegas	0.546	3
24	Rio Aconcagua	0.279	2
25	Sin nombre	0.238	2
26	Sin nombre	0.233	2
27	Sin nombre	0.100	1
28	Sin nombre	0.233	2
29	Sin nombre	0.233	2
30	Sin nombre	0.500	3
31	Rio Aconcagua	0.546	3

Tramo $n$	Nombre río	Valor $E'_n$	Categoría
32	Sin nombre	0.100	1
33	Sin nombre	0.233	2
34	Sin nombre	0.233	2
35	Sin nombre	0.955	4
36	Sin nombre	0.324	2
37	Sin nombre	0.233	2
38	Estero Litre	0.637	4
39	Rio Aconcagua	0.591	3
40	Sin nombre	0.233	2
41	Rio Aconcagua	0.326	2
42	Sin nombre	0.234	2
43	Rio Aconcagua	0.415	3
44	Rio Limache	0.500	3
45	Sin nombre	0.546	3
46	Rio Limache	0.546	3
47	Sin nombre	0.100	1
48	Sin nombre	0.233	2
49	Rio Aconcagua	0.640	4

Las categorías de priorización de tramos del Aconcagua de acuerdo al componente económico pueden visualizarse en la siguiente figura.

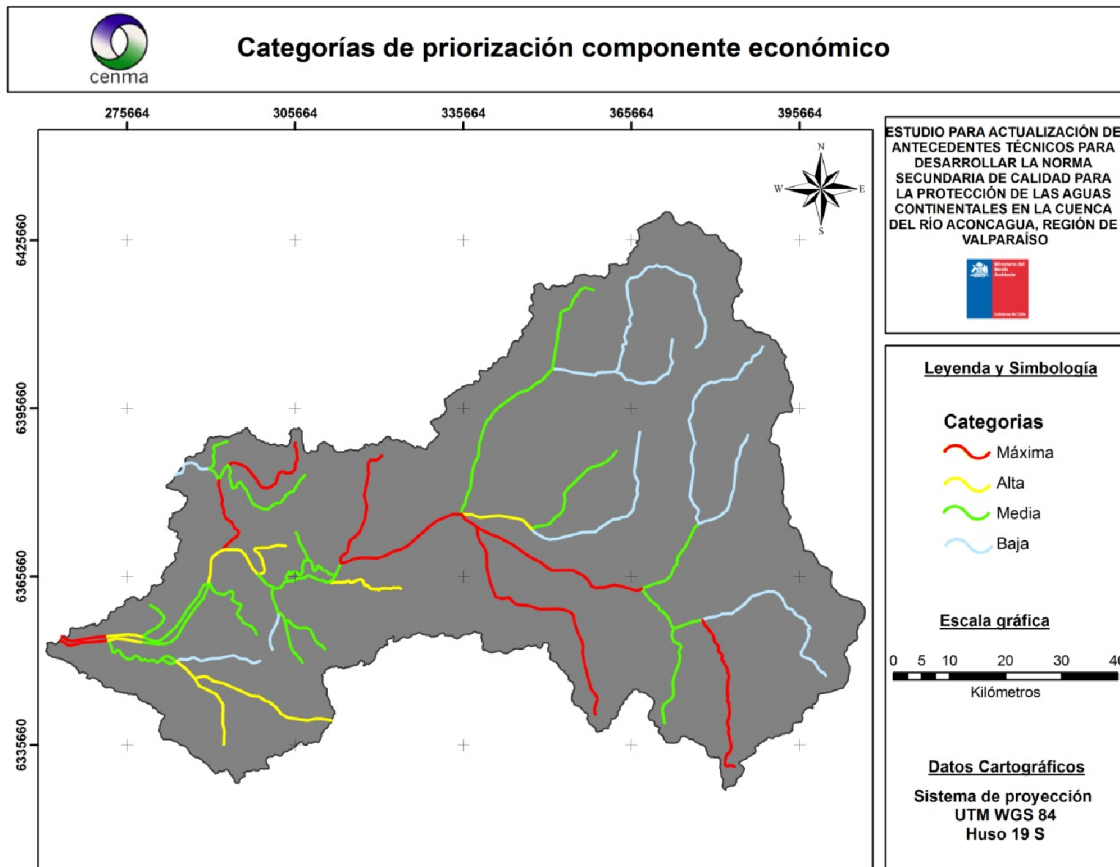


Figura 15. Tramos priorizados por importancia económica para la vigilancia ambiental de la cuenca del Aconcagua, categorizados como sigue. Rojo: 4, máxima; Amarillo: 3, alta; verde: 2, media, celeste: 1, baja. (Fuente: elaboración propia).



### 3. Delimitación geográfica y propuesta de áreas de vigilancia

Los tramos de mayor categoría de priorización física, biológica y/o económica fueron agrupados y encerrados en óvalos como lo muestra la Figura 16. Esta delimitación preliminar se utilizó como base posteriormente unirlos al modelo digital de elevaciones (DEM) y así obtener la delimitación geográfica de las áreas de vigilancia propuestas.

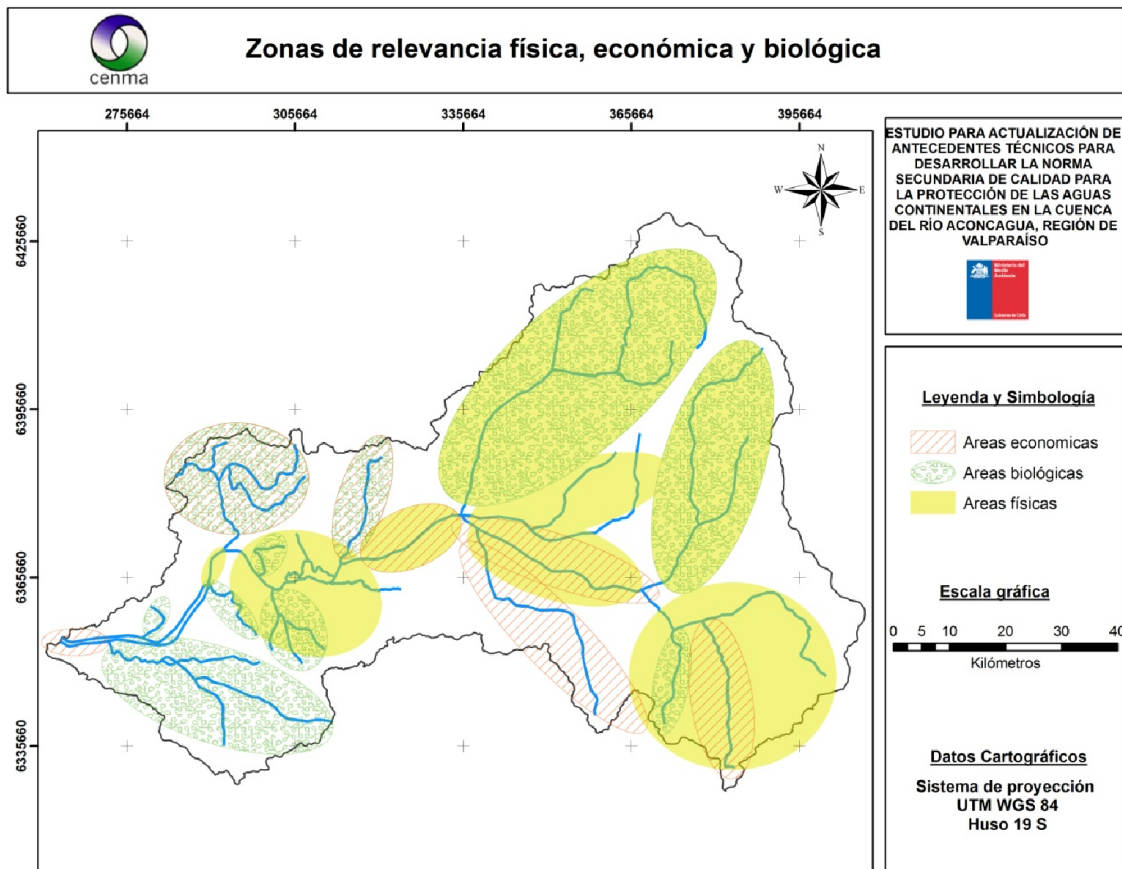


Figura 16. Zonas con relevancia por priorización económica, ecológica y física. (Fuente: elaboración propia).

### Propuesta de áreas de vigilancia

La Tabla 21y la Figura 17resumen nuestra propuesta de áreas de vigilancia ambiental para la cuenca del Aconcagua. Se propone establecer 14 áreas de vigilancia. De las 14 estaciones control (una por cada área de vigilancia), se propone seguir utilizando 11 de las estaciones DGA en operación y agregar 3 nuevas estaciones control. Se contempla además 10 estaciones para monitoreo, de las cuales 1 corresponden a estaciones DGA en operación y 9 corresponden a nuevas estaciones.

Tabla 21. Resultado del procedimiento de establecimiento de áreas de vigilancia para el Aconcagua. Se establecieron un total de 14 áreas de vigilancia, cada una de las cuales contiene la descripción numérica asignada a cada tramo de esa área, su justificación principal según importancia entregada por las categorías (1-4) de la Tabla 7 (nivel de respaldo), la estación DGA actual existente en el área de vigilancia (estación control oficial) y si se sugieren nuevas estaciones control oficiales requeridas, las que se designan N-x. Las estaciones de monitoreo adicional para observación se designan M-x. (Fuente: elaboración propia)

Área de vigilancia	Tramos	Justificación	Nivel de respaldo	Estación control	Estación de monitoreo adicional	Justificación monitoreo adicional
1	1-5	Físico Biológico	3+	PU-10		
2	10-11, 18	Físico Económico	3	QU-10		
3	6-8	Físico Biológico	3+	CO-10		
4	32-38	Biológico Económico	4	LLI-10	M-4	Económico
5	44-48	Biológico Económico	3	N-5	Li-10	
6	20	Biológico Económico	4	CA-20		
7	19, 21, 24	Físico Económico	4	AC-30		
8	39-43	Físico Biológico Económico	3	AC-40	M-8a, M-8b	Biológico
9	22, 24- 31	Físico Biológico Económico	3+	N-9	M-9a, M-9b	Biológico
10	23	Económico	3	LLO-10		
11	9	Físico Económico	4	AC-20		
12	17	Económico	4	N-12		
13	13	Físico Económico	3+	BL-20	BL-10	Económico

14	12, 14-16	Físico	4	N-14	JU-10, M-14	Biológico
----	-----------	--------	---	------	-------------	-----------

La justificación de la inclusión de estaciones de monitoreo adicionales para observación se basa en dos criterios: i) Económico: la ubicación de una estación de monitoreo adicional se justifica por la presencia de una industria de gran envergadura (i.e. gran minería, alto grado de índice de peligrosidad), y ii) Biológico: se justifica la ubicación de una estación de monitoreo adicional debido a que esos tramos tienen una alta priorización Biológica dada por la presencia de especies en categoría de conservación y/o cercanía a zonas de alto valor para la biodiversidad.

Adicionalmente, se propone la zona de la desembocadura (estuario) como un punto de monitoreo, a fin de coleccionar antecedentes suficientes que permitan establecer una NSCA para esta zona, en el siguiente proceso normativo.

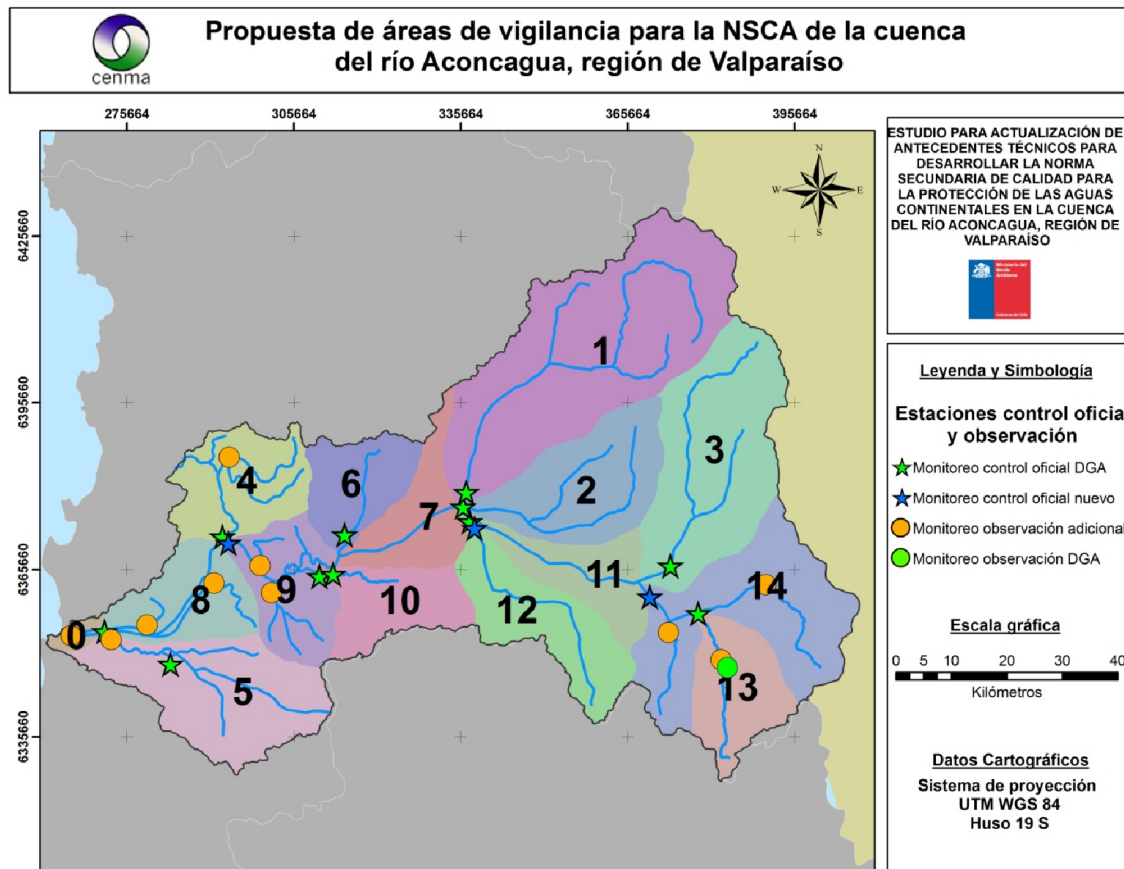


Figura 17. Propuesta de las 14 áreas de vigilancia ambiental para la cuenca del Aconcagua. Estación de Monitoreo control DGA se refiere a estaciones DGA vigentes que pueden ser utilizadas en las nuevas áreas de vigilancia. Estación de Monitoreo control nuevo son estaciones que se sugieren adicionales. Lo anterior es análogo para estaciones de vigilancia, las cuales se refieren a estaciones no normadas sino para recopilar información adicional (Fuente: elaboración propia).

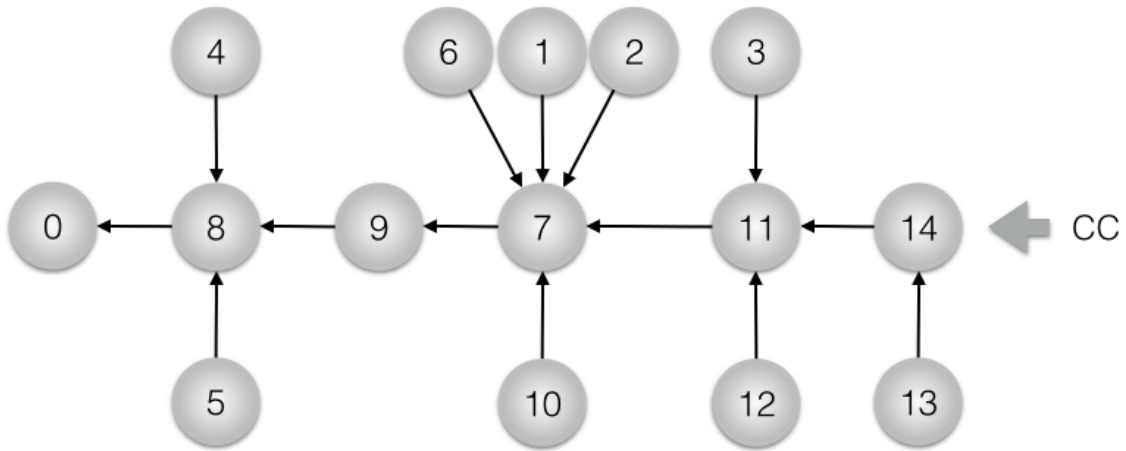


Figura 18. Diagrama lineal de la red de 14 áreas de vigilancia propuestas para la NSCA del Aconcagua. Cada nodo (círculo) representa un área de vigilancia y las flechas representan conexión fluvial existente. En la zona media se disponen las áreas de vigilancia que pertenecen al cauce central (principal) del Aconcagua (Denominado con CC y que corresponde a las áreas 0, 8, 9, 7, 11, 14) Las otras corresponden a áreas aportantes al cauce central o principal (Fuente: elaboración propia).

#### 4. Selección de parámetros a normar

##### Resultados paso 1:

En base a todas las fuentes de información detallada en la Metodología, conducente a la identificación de parámetros físico-químicos relevante para la NSCA del Aconcagua, se recopiló un total de 80 parámetros. El detalle por fuente de información se reporta en la siguiente tabla (

Tabla 22).

Tabla 22. Total de parámetros físico-químicos asociados a la cuenca del río Aconcagua. (DGA: parámetros asociados a la data histórica monitoreada por la Dirección general de aguas en la cuenca del río Aconcagua; Descargas: parámetros controlados en industrias de la cuenca del Aconcagua mediante DS90 y DS609) (Fuente: elaboración propia).

	DGA	Descargas	Experiencia Internacional/Literatura
Ag	1	1	1
Al	1	1	1
AOX		1	
As		1	1
AyG	1	1	1
Azufre		1	
B	1	1	1
Ba		1	
BTX		1	
Ca	1	1	
CaCo3	1	1	
Cd	1	1	1
CE	1		1
CF	1	1	1
Cl-	1	1	1
Clorofila		1	
Cn		1	
Co	1	1	1
CO3-2	1	1	
COD			1
COLOR		1	
COT			1
Cr	1	1	
Cr+6		1	
CT	1	1	1
Cu	1	1	1
DBO	1	1	1

	DGA	Descargas	Experiencia Internacional/Literatura
DQO	1	1	1
F		1	
Fe	1	1	1
Fenoles		1	
Fosfato	1	1	1
HCF		1	
HCO3-	1	1	
Hg	1	1	1
HT		1	
Ind Fen		1	
K+	1	1	
MES		1	
Mg	1	1	
Mn	1	1	
Mo	1	1	1
N(NO3-)	1	1	
Na	1	1	
NH3		1	
NH4	1	1	1
Ni	1	1	1
NKT		1	
N-NH4	1	1	
N-NO2	1	1	
NO3			1
NT			1
OD	1		1
PAH		1	
Pb	1	1	1
PCF		1	
PE		1	
Poder espumogeno		1	
Pesticidas organoclorados y organofosforados		1	
pH	1		1
PT		1	1
RAS	1	1	
SAAM	1	1	1
SD		1	
SDT	1	1	
Se	1	1	
Sn		1	

	DGA	Descargas	Experiencia Internacional/Literatura
SO2		1	
SO3		1	
SO4		1	
SO4-2	1		1
SS	1		1
TCE		1	
Temp	1		1
TOL		1	
TRCIM		1	
Turbidez			1
VT		1	
Xil		1	
Zn	1		1

El empaquetamiento de los parámetros recopilados de acuerdo a las principales categorías de actividades económicas desarrolladas en la cuenca se muestra a continuación (Tabla 23). En estos se consideraron sólo aquellos que provenían de recomendación por literatura (Experiencia internacional) y que se repetían por categoría de actividad económica.

Tabla 23. Parámetros agrupados en torno a las principales categorías de actividades económicas del Aconcagua (Fuente: elaboración propia).

Minería	Urbano-Industrial	Generación eléctrica	Agricultura y ganadería	Extracción de áridos	Alimentos
Ag	Al	Cd	Cl	Cl	Cl
As	As	Cr	CT	N(NO3)	CT
B	B	Cu	DQO	NT	D.Q.O
Cd	Cd	DQO	DBO5	PT	DBO5
Cl	Cl	DBO5	Grasas	PO4-3	Grasas
CT	Cn	Hg	NT	NO3	NT
Cu	Cr	Ni	N-NH4		PT
DQO	CT	Pb	PT		N-NH4
DBO5	Cu	SO4	PO4-3		PO4-3
Fe	D.Q.O	Zn	NO3		NO3
Grasas	DBO5	MES			
Hg	Grasas	NT			
Mn	Hg	PT			
Mo	Mn	PO4-3			
Ni	Ni	NO3			
Cn	N-NH4				

Minería	Urbano-Industrial	Generación eléctrica	Agricultura y ganadería	Extracción de áridos	Alimentos
PT	NT				
NT	Pb				
N-NH4	PT				
PO4-3	PO4-3				
NO3	NO3				

### Resultados paso 2:

Por otro lado, la caracterización de las áreas de vigilancia, según categoría de actividad económica y población, se resume en la siguiente Tabla 24.

Tabla 24. Caracterización de las áreas de vigilancia. (Fuente: elaboración propia).

AV	Categoría de actividad económica	Población actual 2002	Población futura 2026
0	Industrial, Urbano	12850.9	42828.7
1	Industrial, Minera	13580.2	19043.7
2	Industrial, Urbano	21859.7	30939.1
3	Minera	9110.2	13695.5
4	Agrícola-Ganadero, Minera	26075.7	36017.3
5	Urbano, Agrícola-Ganadero	128335.0	245441.7
6	Agrícola-Ganadero, Minera	9965.3	11800.9
7	Agrícola-Ganadero, Urbano, Minera	37086.0	52592.5
8	Urbano, Agrícola-Ganadero, Áridos, Minera, Otros (Electricidad)	80994.9	111237.8
9	Urbano, Industria Alimenticia, Agrícola-Ganadero	59153.7	74439.3
10	Agrícola-Ganadero	18659.6	21892.7
11	Urbano, Industrial, Agrícola-Ganadero	18176.5	27064.1
12	Urbano, Agrícola-Ganadero	25122.6	33471.9
13	Minera, Urbano	16775.2	26510.8
14	Otros (Electricidad)	35457.3	55957.5

El cálculo de la población futura 2026 se desarrolló con las siguientes formulas:

$$N_{2026} = N_{2002} * e^{24*r}$$



$$\text{Con } r = \ln\left(\frac{N_{2002}}{N_{2026}}\right) * 10^{-1}$$

### Resultados paso 3:

#### Parámetros seleccionados

##### A. Físicoquímicos

Se seleccionaron un total de 31 parámetros de importancia para norma y observación para la cuenca del Aconcagua (Tabla 26): nueve (9) parámetros obtenidos mediante literatura como fundamentales o básicos, y veinte y dos (22) que fueron considerados aquellos de mayor relevancia por ser emitidos desde fuentes externas (puntuales y difusas) ya sea de origen natural, antrópicas o de una combinación de ambos. Estos veinte y dos parámetros son el resultado de la combinación de diez (10) parámetros descargados por una amplio número de actividades en la cuenca, seis (6) de alta toxicidad, once (11) de elevada concentración y tres (3) que presentan niveles peligrosos según la literatura.

Las actividades consideradas como relevantes en la cuenca fueron: agrícola-ganadera (descarga de 12 parámetros), urbano-industrial (20), minería (17), producción de alimentos (10), extracción de áridos (6), y generación eléctrica (13) (Tabla 26).

El total de parámetros propuestos para cada área de vigilancia se presentan en la Tabla 27, donde se expone si este debe ser normado o propuesto para observación para ser incluido en la normativa a futuro.

##### Monitoreo físicoquímicos

Los muestreos físicoquímicos debieran ser realizados de manera paralela a los biológicos (ver más adelante) de modo de poder relacionar ambos y contar con información necesaria para un proceso futuro de mejoramiento y perfeccionamiento de la manera en que se concibe el monitoreo de la calidad ambiental de las aguas.

La calidad de un cuerpo de agua puede describirse a partir de parámetros que informan sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Para ello se utilizan uno o un conjunto de estos parámetros para determinar el estado y la variación de la calidad del agua, y de este modo estimar el nivel de alteración existente.

Los parámetros que se seleccionaron a través de la metodología desarrollada para la NSCA de la cuenca del río Aconcagua se presentan a continuación agrupados en 2 tablas. La primera da cuenta de los parámetros considerados fundamentales o básicos para el diagnóstico del estado general de la calidad de las aguas continentales. En la Tabla 25 se presentan los 10 parámetros básicos seleccionados y su justificación específica.

La evaluación de estos parámetros puede ser realizada de manera rápida y expedita con instrumental adecuado para realizarlo *in situ*, reduciendo los costos, agilizando los resultados y la toma de decisiones. Además, los parámetros: 4, 7, 8 y 11, pueden ser utilizados para el cálculo de un índice integrado de evaluación rápida propuesto por la EPA: el índice de contaminación fluvial (River Pollution Index)(EPA, 2010).

Tabla 25. Parámetros fundamentales para evaluar alteración de las aguas.

#	Parámetro	Justificación
1	CE	Evalúa la cantidad de iones y equilibrio químico existente en el agua y que puede afectar a la biota. Un exceso indica vertidos antrópicos por productos químicos como sales o metales.
2	COD	Evidencia la fracción disuelta de materia orgánica, alterando las propiedades ópticas del agua, provocando efectos en la visión de organismos, la capacidad de fotosíntesis del sistema y la penetración de radiación ultravioleta.
3	COT	Evalúa el contenido orgánico total en diversos estados de oxidación. Es un indicador de eutrofización, contaminación orgánica, exceso de microorganismos en suspensión, detritus.
4	OD	Es un indicador recurrente del estado de salud de un cuerpo de agua, debido a que la biota requiere de un mínimo para su adecuado desempeño. Su déficit indica un elevado metabolismo aeróbico, exceso de microorganismos, alta carga orgánica y eutrofización.
5	pH	Permite determinar la alcalinidad y acidez del agua, lo cual es fundamental para el desarrollo de la vida. Los valores adecuados se acercan a la neutralidad. Determina la biodisponibilidad de metales, de modo que aguas más ácidas pueden re-disponer metales existentes en los sedimentos.
6	SO4-2	En concentraciones elevadas es altamente tóxico para la actividad primaria, afectando la cadena trófica.
7	N-NH4	En concentraciones elevadas es altamente tóxico para la vida resultando en efectos perjudiciales para la flora y fauna.
8	SS	Diferentes tipos de sólidos en suspensión evidencian contaminación física de las aguas y alteración para la vida. Sus amplios efectos varían desde disminuir la visibilidad para encontrar refugio o alimento, hasta obstrucción de órganos vitales. Como indicador ambiental evidencia actividades que generan alteraciones físicas en el cauce (ej. extracción de áridos) o en ribera.
9	T	Parámetro básico determinante del metabolismo del sistema. Su alteración es evidencia de contaminación por fuentes generadoras de calor, con amplios efectos sobre los ritmos biológicos en distintas escalas temporales. Cambios moderados ocasionan graves efectos sobre los organismos.
10	Turbidez	Evalúa la transparencia de las aguas, al ser una expresión de la materia en suspensión (viva e inerte) y disuelta presente en el sistema. Determina las propiedades ópticas del agua y en conjunto con otros parámetros básicos permite un eficaz diagnóstico del grado de alteración del ecosistema.
11	DBO5	Mide el proceso de respiración aerobia en un lugar y tiempo determinado e indica la concentración de microorganismos, así como la contaminación orgánica del sistema.

Además de los parámetros básicos presentados anteriormente, seleccionamos un segundo conjunto de parámetros, que son específicos a las actividades económicas presentes en cada área de vigilancia de la cuenca del río Aconcagua. Estos se presentan en la Tabla 26 junto con su justificación particular, que corresponde al tipo de actividad económica asociada a cada parámetro en la cuenca y a la existencia/inexistencia de evidencia de altas concentraciones registradas en monitoreo de aguas de la DGA.

Parámetros 12 – 13 corresponden a los indicadores más utilizados para estimar contaminación microbiológica proveniente de humanos y animales. Parámetro 14 corresponde a un indicador del impacto de la contaminación química del agua sobre la disponibilidad de oxígeno en el sistema. Parámetros 15 – 16 son contaminantes prevalentes derivados de diversas actividades industriales. Tienen efectos visibles y persistentes sobre el ecosistema acuático, provocando fácilmente preocupación social. Parámetros 17 – 20 corresponden a las formas más comunes e informativas de macronutrientes para productores primarios. Su disponibilidad en el agua determina el potencial de productividad biológica del sistema completo, por ende su estado trófico. Parámetros 21 - 31 corresponden a metales. Estos elementos particulares fueron seleccionados por ser los más prevalentes entre los metales descargados de las actividades desarrolladas en la cuenca del río Aconcagua. Además, se dispone de un buen registro de monitoreo histórico de su concentración en el agua en la cuenca de estudio (Tabla 26).

Tabla 26. Propuesta de parámetros fisicoquímicos seleccionados según parámetros generados y/o controlados en actividades económicas de la cuenca. Las columnas señalan la justificación particular de la elección del respectivo parámetro seleccionado. (DA: descargado por múltiples actividades en la cuenca, EC: elevada concentración observada en la cuenca (últimos 3 años datos DGA), AG: descarga agrícola-ganadera, UI: descarga urbano-industrial, M: descarga minera, AL: descarga en producción alimentos, AR: descarga extracción de áridos, GE: descarga generación eléctrica) (Fuente: elaboración propia).

#	Parámetro	Justificación							
		DA	EC	AG	UI	M	AL	AR	GE
12	CF			x	x	x			
13	CT	x		x	x	x	x		
14	DQO	x		x	x	x	x		x
15	Aceite y Grasas	x		x	x	x	x		
16	SAAM			x	x				
17	N(NO3-)	x		x	x	x	x	x	x
18	NT	x		x	x	x	x	x	x
19	P(PO4-3)	x		x	x	x	x	x	x
20	PT	x		x	x	x	x	x	x
21	Al		x		x				
22	As		x		x	x			
23	Cl-	x	x	x	x	x	x	x	
24	Cr		x		x				x
25	Cu		x		x	x			x

26	Fe	x												
27	Hg	x		x										x
28	Mn	x		x										
29	Ni	x		x										x
30	Pb	x		x										x
31	Zn	x												x

Se propone realizar adicional a los monitoreos temporales a la columna de agua, un monitoreo a los sedimentos para cada área de vigilancia una vez al año, debido que allí se acumulan nutrientes y metales que pueden ser fácilmente liberados ante un proceso de remoción y re-suspensión del mismo, o ante una baja de pH, lo cual podría causar la mortalidad de toda la biota del lugar y de aguas abajo.

#### Resultados paso 4:

Tabla 27. Propuesta de parámetros fisicoquímicos seleccionados por área de vigilancia para la NSCA de la cuenca del río Aconcagua. Las columnas señalan las 14 áreas de vigilancia y si el parámetro propuesto debe ser incluido para la norma (n) o para observación (o). Espacios en blanco indica no necesidad de monitorear en esa área de vigilancia (Fuente: elaboración propia).

Parámetro/Área	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
CE	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
COD	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
COT	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
OD	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
pH	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
SO4-2	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
SS	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
T	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
Turbidez	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Cl-	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
CT	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
D.Q.O	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
DBO5	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
Aceite y Grasas	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
N-NH4	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
N(NO3-)	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
NT	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
P(PO4-3)	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
PT	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o

Parámetro/Área	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Al	n	n			n		n	n	n		n	n		
As	n	n	n	n	n	n	n	n	n		n	n	n	
CF	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
Cr	n	n	n	n	n	n	n	n	n		n	n	n	n
Cu	n	n	n	n	n	n	n	n	n		n	n	n	n
Fe	n	n	n	n	n	n	n	n	n		n	n	n	
Hg	n	n	n	n	n	n	n	n	n		n	n	n	n
Mn	n	n	n	n	n	n	n	n	n		n	n	n	
Ni	n	n	n	n	n	n	n	n	n		n	n	n	n
Pb	n	n	n	n	n	n	n	n	n		n	n	n	n
SAAM	n	n		n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
Zn	n	n	n	n	n	n	n	n	n		n	n	n	n

#### B. Biológicos:

Se establecieron cuatro indicadores biológicos para evaluar la calidad ecológica y fisicoquímica de la cuenca, de manera de detectar alteraciones peligrosas para el desarrollo de la biota en el sistema y sirvan como apoyo a la norma (Tabla 28), los que consideraran un protocolo rápido, de facilidad técnica y de amplio reconocimiento mundial para este fin.

Tabla 28. Parámetros biológicos seleccionados para monitoreo de impacto de actividades en la cuenca según literatura científica. Las columnas señalan la justificación de la elección del respectivo parámetro seleccionado.(fuente: elaboración propia)

Indicador	Método	Importancia ecológica	Uso a nivel mundial	Facilidad técnica	Desarrollo en Chile	Desarrollo de índices
Macroinvertebrados	Presencia Ausencia Familias	Alta (links entre productores y consumidores finales)	Alto	Alta	Alto	Si
Ribera y hábitat (QBR, IHF)	Suma ponderada de puntaje	Alta (sustrato para albergar la vida y aportar energía)	Medio	Alta	Medio	Si
Macrófitas	Cobertura en transectos	Alta (sustrato para albergar la vida y aportar energía)	Alto	Alta	Alto	No
Fitobentos	Medición de Clorofila	Alta (sustrato para albergar la vida y aportar energía)	Alto	Alta	Alto	No

### Monitoreo biológico

Los muestreos biológicos deben ser realizados de manera paralela a los fisicoquímicos de modo de poder relacionar ambos y contar con información necesaria para un proceso futuro de mejoramiento y perfeccionamiento.

En este contexto, se propone realizar un estudio de línea base de biodiversidad adicional cada 5 años al menos en las áreas de vigilancia 0, 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9 y 14, a fin de establecer el estado real de la biota y su evolución temporal. Las áreas de vigilancia propuestas para este fin corresponden a aquellas que, sobre la base de la visualización de la red de áreas de vigilancia (Figura 19), presentan tramos de alto o máximo valor de importancia biológica. No obstante lo anterior, la recomendación ideal es realizar esta línea de base adicional para toda la cuenca cada cinco años o menos.

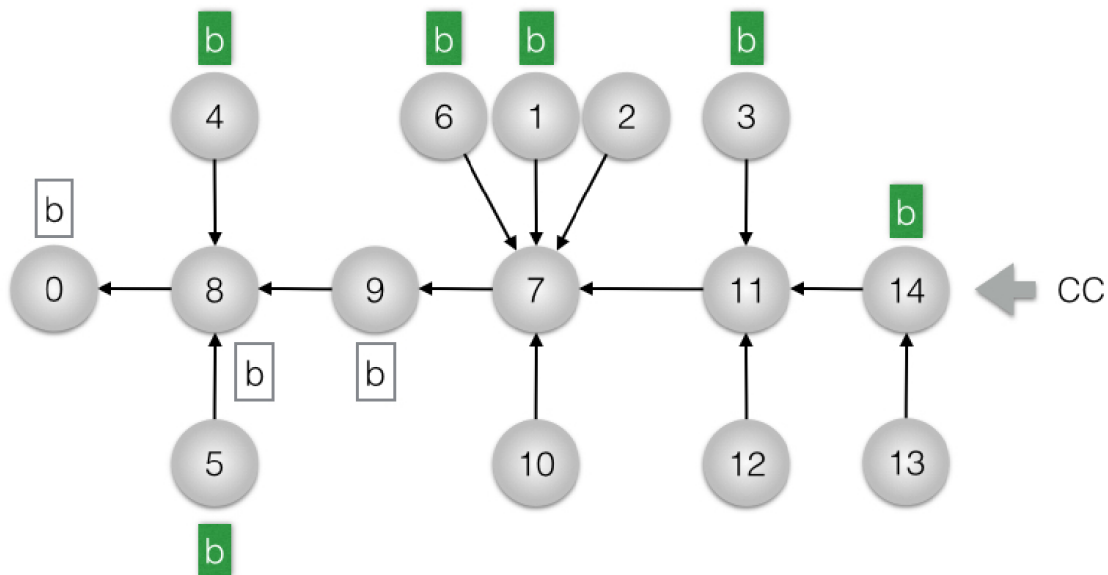


Figura 19. Red de áreas de vigilancia propuestas para la NSCA del Aconcagua. Cada nodo representa un área de vigilancia y los arcos representan conexión fluvial. En la zona media se disponen las áreas de vigilancia que pertenecen al cauce central del Aconcagua (CC). Las áreas con máximo o alto valor biológico se indican con una "b" en fondo blanco (en el cauce central) y con fondo verde (fuera del cauce central) (Fuente: elaboración propia).

**OBJETIVO ESPECIFICO C: Realizar el o los análisis estadísticos respectivos que permitan definir los valores de calidad ambiental para todos los parámetros propuestos.**

El resultado de las estaciones seleccionadas como mejor calidad o mejor caso y de peor calidad registrada o peor caso se presenta en la hoja “gráficos” del archivo anexo “Planilla\_Datos\_Aconcagua\_2014.xls”. El resultado final de las clases de calidad obtenidas y sus valores de calidad ambiental para todos los parámetros propuestos se muestran en la siguiente Tabla 29. Como valor a normar se propone el límite de la Clase 2 o “buena” por ser la clase que protege a la biota sensible en el sistema, asegurando la protección del total de la diversidad presente. Los valores obtenidos para cada parámetro resultan solo de la estadística de la base de datos histórica y no de los obtenidos por literatura o bioensayos. Estos resultados se muestran en Anexo A.V. para consulta.

Tabla 29. Clases de calidad ambiental según parámetros incluidos para vigilancia. Los intervalos se presentan en el formato]a,b ], es decir, solo el extremo superior del intervalo se incluye en éste. El valor a normar se sugiere sea el límite de la clase 2 (ver texto para más explicación). (Fuente: elaboración propia).

Parámetro	Unidad	clase1	clase2	clase3	clase4	clase5
Al	mg/L	≤ 0.4	0.4-2	2-11	11-20	> 20
As	mg/L	≤ 0.003	0.003-0.005	0.005-0.02	0.02-0.04	> 0.04
AyG	mg/L	≤ 5	5-6	7-14	15-27	> 27
CE	(μS/cm)	≤ 197	197-327	327-591	591-855	> 855
CF	NMP/100 ml	≤ 20	20-1000	1000-5000	5000-10500	> 10500
Cl <sup>-</sup>	mg/L	≤ 3.3	3.3-6.3	6.3-15.3	15.3-24.2	> 24.2
Cr	mg/L	≤ 0.008	0.008-0.01	0.01-0.02	0.02-0.03	> 0.03
CT	NMP/100 ml	≤ 50	50-2000	2000-7000	7000-17000	> 17000
Cu	mg/L	≤ 0.02	0.02-0.05	0.05-2.5	2.5-5.9	> 5.9
DQO	mg/L	≤ 7	7-38	38-54	54-70	> 70
DBO5	mg/L	≤ 1	1-5	5-10	10-15	> 15
Fe	mg/L	≤ 0.76	0.76-2.8	2.8-10.6	10.6-18	> 18
Hg	mg/L	≤ 0.001	0.001-0.0015	0.0015-0.002	0.002-0.003	> 0.003
Mn	mg/L	≤ 0.09	0.09-0.2	0.2-1.2	1.2-2.2	> 2.2
N(NO3)	mg/L	≤ 0.4	0.4-3.3	3.3-6.7	6.7-10	> 10
Ni	mg/L	≤ 0.01	0.015	0.015-0.02	0.02-0.03	> 0.03
N-NH4	mg/L	≤ 0.01	0.01-0.02	0.02-0.05	0.05-0.1	> 0.1
OD	mg/L	≥ 10	10-8	8-6	6-5	< 5
P(PO4-3)	mg/L	≤ 0.06	0.06-0.3	0.3-1.0	1.0-1.8	> 1.8
Pb	mg/L	≤ 0.01	0.015	0.015-0.05	0.05-0.08	> 0.08
pH	-	7-8	6.5-7 ó 8-8.5	6.3-6 ó 8.5-8.7	6-6.3 ó 8.7-9	< 6 ó > 9
SAAM	mg/L	≤ 0.001	0.001-0.002	0.002-0.006	0.006-0.03	> 0.03
SO4-2	mg/L	≤ 77	77-113	113-171	171-229	> 229
SS	mg/L	≤ 140	140-240	240-365	365-509	> 509
T	°C	≤ 18	18-21	21-25	25-27	> 27
Zn	mg/L	≤ 0.01	0.01-0.03	0.03-0.37	0.037-0.7	> 0.7



**OBJETIVO ESPECIFICO D: Definir los objetivos ambientales de cada área de vigilancia.**

Este objetivo se realizó en un proceso desarrollado en dos pasos. EL primero consiste en definir, para cada área de vigilancia propuesta, una estrategia de gestión de calidad ambiental (conservadora, moderada o agresiva), que es calculada en base a la combinación de valor biológico, económico y potencial demográfico calculado para cada área de vigilancia. Estos resultados se presentan en la Tabla 30.

Tabla 30. Estrategia de gestión de calidad ambiental para cada área de vigilancia propuesta para la cuenca del Aconcagua, según los valores Biológicos, Económicos y Potencial Demográfico, según métodos expuestos en Tabla 9 y Tabla 10 (Fuente: elaboración propia).

Área de vigilancia	Valor biológico	Valor económico	Potencial demográfico	Estrategia de gestión
1	Alto	Bajo	Bajo	<b>Agresiva</b>
2	Bajo	Bajo	Medio	<b>Moderada</b>
3	Alto	Bajo	Bajo	<b>Agresiva</b>
4	Alto	Alto	Medio	<b>Moderada</b>
5	Alto	Bajo	Alto	<b>Moderada</b>
6	Alto	Alto	Bajo	<b>Moderada</b>
7	Bajo	Alto	Alto	<b>Conservadora</b>
8	Alto	Bajo	Alto	<b>Moderada</b>
9	Alto	Bajo	Alto	<b>Moderada</b>
10	Bajo	Bajo	Bajo	<b>Moderada</b>
11	Bajo	Alto	Medio	<b>Conservadora</b>
12	Bajo	Alto	Medio	<b>Conservadora</b>
13	Bajo	Alto	Medio	<b>Conservadora</b>
14	Alto	Bajo	Alto	<b>Moderada</b>

Como paso segundo y final, se definen los objetivos ambientales para cada parámetro en cada área de vigilancia, en base a la estrategia de gestión de calidad ambiental calculada por área de vigilancia y la clase de calidad actual calculada para cada parámetro en cada área de vigilancia. Los objetivos ambientales propuestos se presentan en la Tabla 31, donde se puede observar que las clases de calidad obtenidas para cada parámetro y para cada área de vigilancia para los últimos tres años presentan parámetros que tienden a tener clases de calidad mala y/o muy mala: CE, SO4-2, Ar, CL-, Cr, Pb, A y G, SS, CF.

Tabla 31. Objetivos ambientales para cada parámetro y cada área de vigilancia en la cuenca del Aconcagua. El color blanco en la celda representa ausencia de dato. El color de la celda izquierda dentro de la matriz representa la clase de calidad actual y el color de la celda derecha el objetivo ambiental para la normativa. Los datos se obtuvieron a partir del cálculo del percentil 95 de los últimos tres años para ese parámetro en esa área de vigilancia, basados en las clases de calidad según leyenda antes de la tabla. AV: área de vigilancia, EG: estrategia de gestión de calidad ambiental, A: agresivo, M: moderado, C: conservador, DGA: estación DGA usada para el cálculo de clase de calidad. Celda tachada: parámetro no normado para área de vigilancia específica. Estaciones con encabezado en gris: no consideradas como estaciones control oficial. (Fuente: elaboración propia)

Leyenda de colores

Clase	1 Muy buena	2 Buena	3 Regular	4 Mala	5 Muy mala
-------	----------------	------------	--------------	-----------	---------------

		1	2	3	4	5	6	7
AV	EG	DGA	1	2	3	4	5	6
DGA	A	M	A	M	M	M	M	C
DGA	PU-10	QU-10	CO-10	LLI-10	LI-10	CA-10	CA-10	AC-30
Al								
As								
AyG								
CE								
CF								
Cl-								
Cr								
CT								
Cu								
DBO5								
DQO								
Fe								
Hg								
Mn								
N(NO3-)								
Ni								
N-NH4								
OD								
P(PO4-3)								
Pb								
pH								
SAAM								
SO4-2								
SS								
T								
Zn								

Tabla 31. (Continuación): Objetivos ambientales para cada parámetro y cada área de vigilancia en la cuenca del Aconcagua. . El color blanco en la celda representa ausencia de dato. El color de la celda izquierda dentro de la matriz representa la clase de calidad actual y el color de la celda derecha el objetivo ambiental para la normativa. Los datos se obtuvieron a partir del cálculo del percentil 95 de los últimos tres años para ese parámetro en esa área de vigilancia, basados en las clases de calidad según leyenda antes de la tabla. AV: área de vigilancia, EG: estrategia de gestión de calidad ambiental, A: agresivo, M: moderado, C: conservador, DGA: estación DGA usada para el cálculo de clase de calidad. Celda tachada: parámetro no normado para área de vigilancia específica. Estaciones con encabezado en gris: no consideradas como estaciones control oficial (Fuente: elaboración propia).

Leyenda de colores

Clase	1 Muy buena	2 Buena	3 Regular	4 Mala	5 Muy mala
-------	----------------	------------	--------------	-----------	---------------

	8 Y 9	10	11	11	12	13	13	14
AV	C	M	C	C	C	C	C	M
DGA	AC-40	LLO-10	AC-10	AC-20	PO-10	BL-10	BL-20	JU-10
Al								
As								
AyG								
CE								
CF								
Cl-								
Cr								
CT								
Cu								⊙
DBO5								
DQO								
Fe								
Hg								⊙
Mn								
N(NO3-)								
Ni								
N-NH4								
OD								
P(PO4-3)								
Pb								
pH								
SAAM	⊙							
SO4-2								
SS	⊙							
T								
Zn								

### **Análisis de Coherencia**

Se detectaron 4 casos de incoherencia, los cuales están indicados en la Tabla 31 con el símbolo  $\odot$ . Para solucionar estas incoherencias se proponen los siguientes cambios a la propuesta de norma.

- a) Parámetro SS en AV 8 y 9: cambio de clase de calidad desde Bueno (valor norma: 240 mg/L) a Regular (valor norma a 365 mg/L).
- b) Parámetro SAAM en AV 8 y 9: cambio de clase de calidad desde Bueno (valor norma: 0.002 mg/L) a Regular (valor norma a 0.006 mg/L).
- c) Parámetro Hg en AV 14: cambio de clase de calidad desde Bueno (valor norma: 0.015 mg/L) a Regular (valor norma a 0.02 mg/L).
- d) Parámetro Cu en AV 14: cambio de clase de calidad desde Bueno (valor norma: 0.05 mg/L) a Regular (valor norma a 2.5 mg/L).

**OBJETIVO ESPECIFICO E: Efectuar una nueva propuesta de anteproyecto de NSCA para la cuenca del río Aconcagua.**

Basados en el conjunto de resultados obtenidos en el desarrollo de los objetivos anteriores, la nueva propuesta de anteproyecto de NSCA para la cuenca del Aconcagua se presenta en la Tabla 32 a continuación:

Tabla 32. Propuesta de valores para la normativa de cada parámetro y para cada área de vigilancia en la cuenca del Aconcagua. Los valores representan el valor máximo permitido para cumplimiento de la norma, excepto para pH y OD, donde se indica el intervalo de cumplimiento. Espacios en blanco indica ausencia de norma para ese parámetro en esa área de vigilancia específica. (Fuente: elaboración propia).

Parámetro	Unidad	Áreas de vigilancias						
		1	2	3	4	5	6	7
Al	mg/L	2	2	-	-	2	-	2
As	mg/L	0.005	0.02	0.005	0.005	0.005	0.02	0.02
AyG	mg/L	6	6	6	6	6	6	14
CE	( $\mu$ S/cm)	327	591	327	591	591	591	591
CF	NMP/100 ml	1000	1000	1000	5000	5000	1000	1000
Cl-	mg/L	6.3	15.3	6.3	6.3	15.3	15.3	15.3
Cr	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
CT	NMP/100 ml	2000	2000	2000	7000	7000	2000	7000
Cu	mg/L	0.05	2.5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
DQO	mg/L	38	38	38	38	38	38	38
DBO5	mg/L	10	5	5	5	5	5	5
Fe	mg/L	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
Hg	mg/L	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.002
Mn	mg/L	0.2	1.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
N(NO3-)	mg/L	3.3	6.7	3.3	3.3	3.3	3.3	6.7
Ni	mg/L	0.015	0.015	0.015	0.015	-	0.015	0.02
N-NH4	mg/L	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
OD	mg/L	>8	>8	>8	>8	>8	>8	>8
P(PO4-3)	mg/L	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Pb	mg/L	0.015	0.05	0.015	0.05	0.05	0.05	0.05
pH	-	6.5-7 ó 8-8.5	6.3-6 ó 8.5-8.7	6.5-7 ó 8-8.5	6.5-7 ó 8-8.5	6.5-7 ó 8-8.5	6.5-7 ó 8-8.5	6.3-6 ó 8.5-8.7
SAAM	mg/L	0.002	-	0.002	0.002	0.006	0.002	0.006
SO4-2	mg/L	113	113	113	113	171	171	171
SS	mg/L	240	240	240	240	365	240	365
T	°C	21	21	21	25	25	21	25
Zn	mg/L	0.03	0.37	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03

Tabla 32 (continuación): Propuesta de valores para la normativa de cada parámetro y para cada área de vigilancia en la cuenca del Aconcagua. Los valores representan el valor máximo permitido para cumplimiento de la norma, excepto para pH y OD, donde se indica el intervalo de cumplimiento. Espacios en blanco indica ausencia de norma para ese parámetro en esa área de vigilancia específica (Fuente: elaboración propia).

Parámetro	Unidad	Áreas de vigilancias							
		8	9	10	11	12	13	14	
Al	mg/L	2	2	-	11	11	-	-	
As	mg/L	0.02	0.02	-	0.02	0.02	0.02	-	
AyG	mg/L	14	14	14	14	14	14	14	
CE	( $\mu$ S/cm)	591	591	591	591	591	591	591	
CF	NMP/100 ml	5000	5000	-	5000	1000	1000	1000	
Cl-	mg/L	15.3	15.3	15.3	15.3	6.3	15.3	15.3	
Cr	mg/L	0.02	0.02	-	0.02	0.02	0.02	0.02	
CT	NMP/100 ml	7000	7000	7000	7000	2000	2000	2000	
Cu	mg/L	0.05	0.05	-	2.5	2.5	2.5	2.5	
DQO	mg/L	38	38	38	38	38	38	38	
DBO5	mg/L	5	5	5	10	5	5	5	
Fe	mg/L	2.8	2.8	-	10.6	10.6	2.8	-	
Hg	mg/L	0.002	0.002	-	0.002	0.002	0.002	0.002	
Mn	mg/L	0.2	0.2	-	1.2	1.2	0.2	-	
N(NO3-)	mg/L	6.7	6.7	6.7	3.3	6.7	3.3	6.7	
Ni	mg/L	0.02	0.02	-	0.02	0.02	0.02	0.015	
N-NH4	mg/L	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
OD	mg/L	>8	>8	>8	>8	>8	>8	>8	
P(PO4-3)	mg/L	1	1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	
Pb	mg/L	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	
pH	-	6.5-7 ó 8-8.5	6.5-7 ó 8-8.5	6.5-7 ó 8-8.5	6.3-6 ó 8.5-8.7	6.3-6 ó 8.5-8.7	6.5-7 ó 8-8.5	6.5-7 ó 8-8.5	
SAAM	mg/L	0.006	0.006	0.002	0.006	0.002	0.002	0.002	
SO4-2	mg/L	171	171	171	171	171	171	171	
SS	mg/L	365	365	365	365	365	365	365	
T	°C	25	25	21	25	25	21	21	
Zn	mg/L	0.03	0.03	-	0.37	0.03	0.03	0.03	

## CONSIDERACIONES ADICIONALES Y RECOMENDACIONES

La cuenca del Aconcagua se encuentra inserta en un área con régimen de influencia de las ecorregiones mediterránea y semiárida, sectores definidos como de gran desarrollo económico. A pesar de la importancia de la cuenca en términos de actividades económicas y de biodiversidad, llama fuertemente la atención la escasez de estudios publicados asociados a la ecología fluvial y al medio ambiente en la zona.

Los procesos de desarrollo de NSCA son una experiencia nueva en Chile, por lo que no existe una metodología desarrollada y estandarizada para ello. Por tal razón, para caracterizar la cuenca y establecer las áreas de vigilancia fue necesario desarrollar una metodología adecuada por parte del equipo consultor. Esta metodología presenta las siguientes ventajas: a) es eventualmente utilizable para desarrollo de NSCA en cualquier cuenca hidrográfica del país. b) es primordialmente cuantitativa c) los elementos subjetivos de la metodología (límites de categorías, etc.) están claramente declarados y pueden ser modificados sin alterar el procedimiento general y c) por lo anterior, el uso de esta metodología es independiente del consultor; es decir, los resultados son replicables por cualquier equipo que repita los pasos del procedimiento de la forma especificada.

Debido a la intensidad y diversidad de actividades desarrolladas en la cuenca (agrícola-ganadera, urbano-industrial, minería, producción de alimentos, extracción de áridos, y generación eléctrica), existe un número importante de elementos de alta toxicidad que tienden a acumularse en los sedimentos, generando un banco de elementos potencialmente peligrosos que pueden resuspenderse por cambios en condiciones físicas y químicas, afectando la biota.

Por otro lado, actualmente no poseemos datos históricos de algunos parámetros muy relevantes para establecer el estado de salud de los ecosistemas hídricos. Por ello, hemos propuesto incorporar dichos parámetros en un programa de monitoreo, que sirva de base para normarlos en un futuro proceso de revisión de la NSCA.

Dado que el objetivo principal de la NSCA a la protección de la biota, resulta fundamental incorporar además algunos indicadores biológicos básicos para evaluar de forma directa la calidad ambiental de la cuenca para los sistemas vivos, de manera de detectar estados o alteraciones peligrosas para la estructura y funcionamiento de las comunidades y ecosistemas y sirvan como herramienta de apoyo a la toma de decisiones. Estos indicadores deben tener un protocolo rápido, de facilidad técnica, ser ampliamente informativos y de reconocimiento mundial para este fin. La incorporación de parámetros biológicos como parte del plan de monitoreo permitirá dar el primer paso hacia una NSCA que incluya dichos parámetros.

Desde una perspectiva científica, el adecuado manejo de los ecosistemas y la protección, conservación o restauración de la biodiversidad descansa en el entendimiento de los procesos que la modulan. Desde un punto de vista sistémico, estos procesos dependen de los componentes del sistema biológico focal y de la naturaleza y fuerza de las relaciones entre dichos componentes. Consecuentemente, el primer paso orientado a la comprensión del funcionamiento de los ecosistemas y su componente biológico (comunidades) es conocer la identidad de sus componentes dominantes (especies) y las relaciones ecológicas entre ellos (interacciones); es decir, conocer su estructura (Palma et



al. 2013). Basados en lo anterior, se recomienda realizar un estudio de línea base de biodiversidad al menos cada 5 años, a fin de establecer el estado real de la biota y su evolución temporal. Esto permitiría tener un catastro actualizado de las especies presentes, su diversidad y estado de conservación, así como medir directamente la eficacia de las medidas de gestión.

En síntesis, se proponen cuatro recomendaciones específicas que no estaban contempladas al inicio de la consultoría:

- 1) Realizar adicional a los monitoreos de parámetros fisicoquímicos estacionales en la columna de agua, un monitoreo a los sedimentos para cada área de vigilancia una vez al año, a fin de evaluar la concentración de los elementos químicos tóxicos (e.g. metales) que pudieran ser liberados ante un proceso de alteración química o mecánica del sistema, lo cual podría causar migraciones, disminución del desempeño biológico y específicamente mortalidad de elementos de la biota tanto en el lugar de impacto como aguas abajo hasta varios kilómetros.
- 2) Incorporar la medición de parámetros biológicos básicos, a fin de contar con indicadores directos del estado de la biota. Estos son a) los macroinvertebrados bentónicos, b) el fitobentos, c) las macrófitas, y d) los índices de ribera y hábitat fluvial.
- 3) Realizar un estudio de línea base de biodiversidad adicional cada 5 años (al menos) a fin de establecer el estado real de la biota fluvial y su evolución temporal, lo que permitiría tener un catastro actualizado de las especies presentes, su diversidad y estado de conservación, así como evaluar la efectividad de los instrumentos de gestión y control asociados a la normativa.
- 4) Medir, con fines de vigilancia, algunos parámetros fisicoquímicos y biológicos a fin de reunir una base de datos que permita su incorporación a la NSCA en el siguiente proceso de revisión de ésta.

## CONCLUSIONES

La revisión de la base de datos histórica de la calidad de agua de la DGA (años 1980-2014) permitió contar con un total de 34513 registros, de los cuales se ocuparon 31282 registros validados.

A fin de establecer las clases y niveles de calidad ambiental, se evaluó la utilización de distintas ventanas temporales de las series de tiempo de los parámetros fisicoquímicos. Tras discusión y acuerdo con la contraparte técnica, se utilizó la base de datos correspondiente al periodo 2000-2014, periodo correspondiente a la entrada en vigencia del decreto supremo 90, y que refleja los parámetros de los últimos 15 años en la cuenca.

En base al análisis de información espacial, se establecieron un total de 14 áreas de vigilancia para la cuenca del Aconcagua, que incluyen 9 sub-áreas de monitoreo adicionales.

Se identificaron como relevantes 6 categorías de actividades económicas en la cuenca: agrícola-ganadera, urbano-industrial, minería, producción de alimentos, extracción de áridos, y generación eléctrica.

A partir de estas actividades y sus descargas asociadas se seleccionaron un total de 31 parámetros fisicoquímicos para la nueva propuesta normativa, de los cuales 26 se proponen para norma y 5 para seguimiento o vigilancia.

Los valores para cada parámetro propuesto para norma fueron categorizados en cinco clases de calidad: Clase 1 o Muy buena, Clase 2 o Buena, Clase 3 o Regular, Clase 4 o Mala, y Clase 5 o Muy mala.

Se seleccionaron cuatro parámetros biológicos para evaluar la calidad ecológica y fisicoquímica de la cuenca, que sirvan de indicadores directos del estado de la biota en el sistema: a) los macroinvertebrados bentónicos, b) el fitobentos, c) las macrófitas, y d) los índices de ribera y hábitat fluvial. El registro de estos parámetros biológicos debe ser realizado de manera paralela al registro de los parámetros fisicoquímicos, de modo de incluirlos en la norma en el próximo proceso de revisión de ésta.

Se definió una estrategia de gestión de calidad ambiental (conservadora, moderada o agresiva) para cada área de vigilancia, calculada en base a la combinación de los valores biológico, económico y potencial demográfico. En base a la estrategia de gestión de calidad ambiental de cada área de vigilancia y a las clases de calidad actuales calculadas por parámetro fisicoquímico y área de vigilancia, se definieron de manera simple y directa los valores para la norma, para cada parámetro en cada área de vigilancia.

Finalmente se entregan cuatro recomendaciones relevantes: a) realizar un monitoreo de concentración de metales en los sedimentos para cada área de vigilancia una vez al año, adicional a los monitoreos estacionales en la columna de agua, b) incorporar parámetros biológicos al programa de vigilancia, c) realizar un estudio de línea base de biodiversidad adicional cada 5 años y d) vigilar los niveles de ciertos parámetros fisicoquímicos y biológicos con miras a su futura incorporación a la NSCA.

## REFERENCIAS

ALLAN, J.D. & CASTILLO, M.M. 2007. Stream ecology. Structure and function of running waters. Published by Springer, Dordrecht. 444 pp.

ANPHOS 2014. Generación de información base para la evaluación de normas de calidad ambiental y emisión: revisión y actualización sobre tecnologías de abatimiento de contaminantes en residuos líquidos. 391pp.

Base de datos histórica de la DGA para el Aconcagua periodo 1980 – 2012. [XLS software]

CADE-IDEPE (Estudio). 2004. Diagnóstico y clasificación de los cuerpos de agua según objetivos de calidad: cuenca del Aconcagua. [PDF software]

CENMA (Estudio). 2010. Análisis de la composición fisicoquímica de los sedimentos fluviales y sus relación con la disponibilidad de metales en el agua, cuenca del río Aconcagua. [DOC software]

CENMA (Estudio). 2012. Campaña de monitoreo y Evaluación del Estado Ecológico de 10 Cuencas hidrográficas de Chile. [DOC software]

CORTES I & MONTAVO S. 2010. Aguas: calidad y contaminación. Un enfoque químico ambiental. Ed. CENMA. 328pp. [Libro]

ENCINA F. 2014. Evaluación de riesgo ecológico crónico mediante una aproximación probabilística en cursos de agua de la cuenca del río Biobío. 85 pp.

ENVIRONMENTAL PROTECTION ADMINISTRATION (EPA). Environmental water quality information. Disponible en, <http://wq.epa.gov.tw/WQEPA/Code/Business/Standard.aspx?Languages=en>

EROS, T., D. SCHMERA, R. S. SCHICK. 2011. Network thinking in riverscape conservation – A graph-based approach. Biological Conservation 144: 184-192.

FUSTER R. 2011. Cartografía de tipología de ríos.

GUTI, G. 1995. Conservation status of fishes in Hungary. Opuscula Zoológica. Budapest 27-28: 153-158.

HABIT E, C BELTRÁN, S ARÉVALO & P VICTORIANO (1998) Benthonic fauna of the Itata river and irrigation canals (Chile). Irrigation Science 18: 91-99.

HABIT E, P PIEDRA, D RUZZANTE, S WALDE, M BELK, V CUSSAC, J GONZALEZ & N COLIN. 2010. Changes in distribution of native fishes in response to introduced species and other anthropogenic effects. Global Ecology and Biogeography 19:697-710.

HABIT E, P VICTORIANO & A RODRIGUEZ-RUIZ (2003) Variaciones espacio-temporales del ensamble de peces de un sistema fluvial de bajo orden del centro-sur de Chile. Revista Chilena de Historia Natural 76:3-14.

HABIT E, P VICTORIANO & H CAMPOS (2005) Ecología trófica y aspectos reproductivos de *Trichomycterus areolatus* (Pisces, Trichomycteridae) en ambientes lóticos artificiales. *Revista de Biología Tropical* 53(1-2): 195-210.

PALMA A, J GONZÁLEZ-BARRIENTOS, C. A. REYES & R. RAMOS-JILIBERTO. 2013. Biodiversidad y estructura comunitaria de ríos en las zonas árida, semiárida y mediterránea-norte de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 86: 1-14.

PALMA A. 2013. Importancia de las regiones Mediterránea, Templada y Patagónica en la diversidad de Ephemeroptera, Plecoptera, y Trichoptera: implicancias de futuros cambios ambientales en sus distribuciones. *Boletín de Biodiversidad de Chile* 8: 37-47.

PALMA A., J GONZÁLEZ-BARRIENTOS, C. A. REYES & R. RAMOS-JILIBERTO. 2013. Biodiversidad y estructura comunitaria de ríos en las zonas árida, semiárida y mediterránea-norte de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 86: 1-14.

PARRA O, DELLA N & VALDOVINOS C. 2004. Elementos de limnología aplicada y teórica. Ed. Centro EULA-CHILE. 295pp. [Libro]

SEO, S. 2006. A Review and Comparison of Methods for Detecting Outliers in Univariate Data Sets. M.Sc. thesis, Graduate School of Public Health, University of Pittsburgh, Pennsylvania, USA.

VALDOVINOS C. 2006. Tesis para optar al grado académico de Magister, Universidad de Chile. Bases de un sistema de gestión ambiental para mitigar la contaminación de las aguas superficiales de la cuenca del río Aconcagua, V región, Chile. [DOC software].

Vanderviere, E., Huber, M. An adjusted boxplot for skewed distributions. *Compstat 2004 graphics*.

VANNOTE R., G. MINSHALL, K. CUMMINS, J. SEDELL & C. CUSHING. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37:130-137.

WELCH EB & JM JACOBY. 2004. Pollutant effects in freshwater. *Applied limnology*. Cambridge University Press. 504pp. [Libro]