



**Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería en Medioambiente  
Ingeniería Ambiental**

**Evaluación de la calidad del agua en el Área de vigilancia AC-4 del río  
Aconcagua a través de índices biológicos IM y ChBMWP, como  
complemento a su Norma secundaria.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO  
AMBIENTAL**

**AUTOR: BELÉN MARABOLÍ MURA  
PROFESOR GUÍA: JAVIER ARANCIBIA FORTES**

**VALPARAÍSO, 2025**

## RESUMEN

El agua es un recurso esencial para la vida y el desarrollo humano, pero su disponibilidad y calidad se encuentran cada vez más comprometidas por actividades antrópicas y los efectos del cambio climático. En Chile, esta situación se ha intensificado debido a la sequía prolongada y al uso intensivo del recurso en sectores agrícolas e industriales. En este contexto, el río Aconcagua es uno de los sistemas fluviales más importantes de la zona central, aunque sometido a una alta presión antrópica.

El área de vigilancia AC-4, definida por la Norma Secundaria de Calidad Ambiental (DS N° 41), corresponde al tramo medio-bajo del río, caracterizado por usos agrícolas, urbanos y de extracción de áridos. La zona posee un clima mediterráneo semiárido y, en los últimos años, ha presentado caudales reducidos debido a las bajas precipitaciones, condiciones que favorecen la acumulación de sales y sedimentos, aumentando su vulnerabilidad al deterioro de la calidad del agua.

Frente a esta problemática, el estudio tuvo por objetivo evaluar la calidad del agua en el área AC-4 mediante la aplicación de índices de Macrófitas (IM) y Macroinvertebrados bentónicos (ChBMWP), complementando el análisis físico-químicos bajo los criterios establecidos en la NSCA N° 41. Para ello, la metodología combinó la caracterización ecológica del área de estudio con mediciones en terreno y análisis de laboratorio. En tres estaciones de muestreo se aplicaron ambos índices biológicos y se registraron parámetros físico-químicos como pH, oxígeno disuelto, conductividad, temperatura y sólidos disueltos totales, los cuales fueron posteriormente contrastados con los límites normativos vigentes.

La evaluación realizada en un sector del área de vigilancia AC-4 mostró que la calidad del agua es generalmente mala (clase V), ya que dos de las tres estaciones presentaron dicha clasificación, mientras que solo una alcanzó la clase III (aceptable) para ambos índices. El índice de Macrófitas obtuvo valores entre 9 y 20 puntos, indicando mala calidad en estaciones 1 y 3 debido a baja diversidad y predominio de especies tolerantes, mientras que la estación 2 evidenció una condición aceptable gracias a la presencia de los Grupos Funcionales II, III y IV, dominada por *Cladophora*. A su vez, el índice ChBMWP registró valores entre 33 y 42 puntos, clasificando la estación moderadamente contaminada y las estaciones 2 y 3 como muy contaminadas. Los parámetros físico-químicos respaldaron estos resultados; la conductividad eléctrica y los TDS presentaron un aumento progresivo aguas abajo, con excedencias normativas en la conductividad; el oxígeno disuelto se encontró bajo del mínimo normado en dos estaciones y la temperatura aumentó hacia la desembocadura. En síntesis, los resultados reflejaron un estado de calidad deteriorado, influido principalmente por actividades agrícolas, urbanas y de extracción de áridos.

Este trabajo permitió evidenciar que los índices biológicos constituyeron herramientas eficaces para complementar los análisis tradicionales, al ofrecer una visión más integral del estado ecológico del río. Asimismo, la estimación de costos entregó antecedentes clave sobre los requerimientos operativos y económicos necesarios para aplicar estos métodos en futuros monitoreos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco profundamente a todas las personas que confiaron en mi durante este proceso y que, de una u otra forma, me brindaron su apoyo. Gracias por creer en mis capacidades, por acompañarme en los momentos de mayor exigencia y por estar presentes tanto física como emocionalmente a lo largo de esta etapa.

A quienes me acompañaron en la campaña de muestreo, les expreso mi sincero reconocimiento por su disposición, compañía y compromiso. Su apoyo en terreno fue fundamental para el desarrollo de esta investigación y para enfrentar los desafíos propios del trabajo en campo.

A mis docentes, quienes me brindaron orientación cuando surgieron dudas y me acompañaron con disposición y profesionalismo, les agradezco profundamente por su guía, sus consejos y por contribuir a mi formación académica. Su apoyo fue clave para avanzar con seguridad y claridad en cada etapa del proceso.

A mis compañeros y compañeras, gracias por acompañarme en uno de los momentos más vulnerables de mi vida, por brindarme apoyo sincero, por hacerme sentir acompañada y sostenida cuando más lo necesitaba. Su presencia, comprensión y generosidad marcaron una diferencia invaluable en este camino.

A mi familia, mi pilar más firme, gracias por su amor incondicional, su paciencia y, especialmente por todos esos mensajes de apoyos que me brindaron cuando estaba estresada, saturada o insegura. Cada palabra de ánimo y cada gesto de cariño fue un impulso para seguir adelante. Haber llegado hasta aquí es también fruto del respaldo constante que siempre me han entregado,

A mi pareja, gracias por ser un sostén fundamental, por su comprensión en los momentos más intensos, por animarme cuando las fuerzas escaseaban y por acompañarme con cariño y constante durante todo este proceso.

Finalmente, me agradezco a mi misma. Por el esfuerzo sostenido a lo largo de los años y momentos de duda, por persistir incluso cuando el camino se volvía complejo y por superarme constantemente.

Gracias por ser parte de este recorrido, por sostenerme en los momentos difíciles y por celebrar conmigo cada avance. Me llevo en el corazón cada gesto y cada palabra que hicieron este camino más llevadero.

# ÍNDICE

1.	<i>INTRODUCCIÓN</i> .....	1
1.1.	<b>Importancia del agua a nivel Nacional</b> .....	1
1.2.	<b>Problemática Hídrica Global y Nacional</b> .....	1
1.3.	<b>Contexto Local</b> .....	3
1.3.1	Cuenca Aconcagua.....	3
1.3.2	Caracterización abiótica .....	5
1.3.3	Caracterización biótica .....	7
1.4.	<b>Evaluación de la calidad del agua</b> .....	7
1.5.	<b>Marco Legal Ambiental en Chile</b> .....	8
1.5.1	Ley N° 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente .....	8
1.5.2	Decreto Supremo N° 41 Norma Secundaria de Calidad Ambiental .....	8
1.5.3	Norma Chilena 1333 .....	10
1.5.4	Código de Aguas y Derechos de Aprovechamiento de Aguas en Chile.....	11
1.6.	<b>Indicadores Biológicos</b> .....	12
1.5.5	Macroinvertebrados bentónicos .....	13
1.5.6	Macrófitas acuáticas.....	13
1.7.	<b>Índices Biológicos</b> .....	14
1.5.7	Índice de Macrófitas (IM) .....	15
1.5.8	Índice de macroinvertebrados (BMWP).....	15
2.	<i>PROBLEMA</i> .....	16
3.	<i>OBJETIVOS</i> .....	18
3.1.	<b>General</b> .....	18
3.2.	<b>Específicos</b> .....	18
4.	<i>METODOLOGÍA</i> .....	19
4.1.	<b>Área de estudio</b> .....	19

<b>4.2.</b>	<b>Caracterización del área de estudio</b>	<b>20</b>
4.2.1	Caracterización abiótica	20
4.2.1.1	<i>Clima</i>	21
4.2.1.2	<i>Hidrografía</i>	21
4.2.1.3	<i>Suelos</i>	21
4.2.1.4	<i>Calidad del agua</i>	21
4.2.2	Caracterización biótica	21
4.2.2.1	<i>Flora acuática</i>	21
4.2.2.2	<i>Fauna acuática</i>	22
<b>4.3.</b>	<b>CAMPAÑA DE MUESTREO</b>	<b>22</b>
4.3.1	Aplicación de índices biológicos	23
4.3.1.1	<i>Índice de Macrófitas (IM)</i>	23
4.3.1.2	<i>Índice de Macroinvertebrados (ChBMWP)</i>	25
4.3.2	Medición de parámetros físicos y químicos	28
4.3.2.1	<i>Análisis comparativo</i>	29
<b>4.4.</b>	<b>Análisis de costos</b>	<b>30</b>
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>33</b>
<b>5.1.</b>	<b>Área de vigilancia AC-4</b>	<b>33</b>
5.1.1	Caracterización Abiótica	34
5.1.1.1	<i>Clima</i>	34
5.1.2	Uso del suelo	37
5.1.2.1	<i>Hidrografía</i>	40
5.1.2.2	<i>Calidad del agua</i>	44
5.1.3	Caracterización Biótica	49
5.1.3.1	<i>Flora acuática</i>	49
5.1.3.2	<i>Fauna acuática</i>	50

<b>5.2. CAMPAÑA DE MUESTREO</b> .....	<b>51</b>
5.2.1 Aplicación de índices biológicos .....	53
5.2.1.1 <i>Índice de macrófitas</i> .....	54
5.2.1.2 <i>Índice de Macroinvertebrados bentónicos</i> .....	57
5.2.2 Medición de parámetros físico y químicos.....	59
5.2.3 Análisis comparativo .....	60
<b>5.3. Análisis de costo</b> .....	<b>62</b>
6. <i>DISCUSIÓN</i> .....	64
7. <i>Conclusión</i> .....	67
9. <i>BIBLIOGRAFÍA</i> .....	69
<i>ANEXOS</i> .....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.1. Subcuencas de la cuenca del río Aconcagua.....</i>	<i>4</i>
<i>Tabla 1.2. Criterios de excedencia .....</i>	<i>9</i>
<i>Tabla 1.3a. Requisitos de calidad del agua según su uso.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 1.4a. Ventajas y desventajas del uso de distintos grupos biológicos como bioindicadores en monitoreo de calidad del agua.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 1.4b. Continuación tabla 1.4a.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 4.5. Coordenadas del área de vigilancia AC-4.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 4.5. Estaciones de muestreo propuestas en el sector de estudio.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 4.6. Equipos y materiales estimados para la campaña de muestreo .....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 4.7. Clases de calidad definidas para el índice de macrófitas (IM).....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 4.8. Orden y/o clase de los valores de tolerancia para macroinvertebrados bentónicos .....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 4.9. Información geográfica área de vigilancia AC-4.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 4.10a. Parámetros físico-químicos normados del área de vigilancia AC-4.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 4.10b. Continuación Parámetros físico-químicos normados del área de vigilancia AC-4.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 4.11. Cuadro comparativo de resultados con normativas aplicables.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 4.12. Costos estimados para Escenario 1.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 4.13. Costos estimados para Escenario 2.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 4.14. Comparación general de costos totales.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 5.15. Características de la estación meteorológica.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 5.16. Promedio históricos mensuales de temperatura mínima, media y máxima (1977-2017)..</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 5.17. Precipitación mensual promedio histórica en la Estación Quillota (1978 - 2025). .....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 5.18. Usos de suelos por comuna dentro del área de vigilancia AC-4. ....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 5.19. Estaciones fluviométricas de la DG ubicadas en el área AC-4 y sus periodos de registro histórico.....</i>	<i>41</i>

<b>Tabla 5.20.</b> Estaciones de la DGA utilizadas para el monitoreo histórico de calidad del agua en el tramo AC-4 del río Aconcagua. ....	44
<b>Tabla 5.21.</b> Flora acuática registrada a nivel de cuenca del Río Aconcagua. ....	49
<b>Tabla 5.22.</b> Macroinvertebrados bentónicos registrados en el río Aconcagua en Quillota (DGA,2004b). ....	50
<b>Tabla 5.23.</b> Coordenadas UTM y altitud de las estaciones de muestreo en el área de vigilancia AC-4. ....	51
<b>Tabla 5.24.</b> Equipos y materiales utilizados para la campaña de muestreo.....	53
<b>Tabla 5.25</b> Macrofitas acuáticas identificadas por grupo funcional en las tres estaciones de muestreo. ....	54
<b>Tabla 5.26</b> coberturas de macrófitas acuáticas en cada estación.....	56
<b>Tabla 5.27.</b> Calidad del agua según el índice de Macrófitas acuáticas (IM).....	56
<b>Tabla 5.28.</b> Familias de macroinvertebrados bentónicos identificadas en las estaciones de muestreo. ....	57
<b>Tabla 5.29.</b> Resultados del índice ChBMWP y calidad del agua estimada por estación.....	59
<b>Tabla 5.30.</b> Parámetros físicos y químicos del agua en las tres estaciones de muestreo.....	59
<b>Tabla 5.31.</b> Comparación de parámetros físico-químicos medidos en la campaña 2025 con valores normativos de referencia. ....	61
<b>Tabla 5.32.</b> Costos estimados para el Escenario 1.....	62
<b>Tabla 5.33.</b> Costos estimados para el Escenario 2.....	62
<b>Tabla 5.34.</b> Comparación general de costos totales entre ambos escenarios.....	62
Macroinvertebrados bentónicos registrados en el río Aconcagua en Quillota (DGA,2004b) .....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Mapa de elevaciones y unidades geomorfológicas de la cuenca del río Aconcagua. ....	6
<b>Figura 1.2.</b> Niveles de calidad ambiental por área de vigilancia en la cuenca del río Aconcagua. ....	9
<b>Figura 1.4.</b> Tipos de Macrófitas acuáticas. ....	14
<b>Figura 4.5.</b> Delimitación de la Cuenca del Río Aconcagua y su área de vigilancia AC-4. ....	19
<b>Figura 4.6.</b> Tabla de puntuación del índice de macrófitas para evaluación de cuerpos de agua. ....	24
<b>Tabla 4.7.</b> Clases de calidad definidas para el índice de macrófitas (IM). ....	25
<b>Figura 4.7.</b> Valores de tolerancia para macroinvertebrados bentónicos dulceacuícola en ríos mediterráneos de Chile. ....	26
<b>Figura 4.8.</b> Calidad del agua basada en los valores del índice ChBMWP. ....	27
<b>Figura 5.9.</b> Área de vigilancia AC-4 en la cuenca del río Aconcagua. ....	34
<b>Figura 5.10.</b> Temperaturas medias, máximas y mínimas mensuales registradas en la Estación Quillota durante el período de 1977-2017. ....	35
<b>Figura 5.11.</b> Comportamiento promedio mensual de las precipitaciones en la Estación Quillota (1978-2025). ....	36
<b>Figura 5.12.</b> Usos de suelo, área de vigilancia AC-4. ....	38
<b>Figura 5.13.</b> Red hidrográfica y principales afluentes del área de vigilancia AC-4. ....	40
<b>Figura 5.14.</b> Régimen promedio mensual del caudal medio en la estación río Aconcagua en Romeral (1960 – 2025). ....	42
<b>Figura 5.15.</b> Régimen promedio mensual del caudal medio en la estación río Aconcagua en Romeral (2020-2025). ....	43
<b>Figura 5.16.</b> Comparación de la menor concentración de parámetros entre las estaciones Romeral y Puente de Colmo. ....	45
<b>Figura 5.17.</b> Comparación de los parámetros de media concentraciones registrados en estaciones Romeral y Puente Colmo. ....	46
<b>Figura 5.18.</b> Comparación de los parámetros de mayor concentraciones registrados en estaciones Romeral y Puente Colmo. ....	47

<b>Figura 5.19.</b> Comparación concentraciones de coliformes fecales y conductividad con los límites de la NSCA en cada estación. ....	48
<b>Figura 5.20.</b> Mapa de localización de las estaciones de monitoreo del río Aconcagua (tramo AC-4)...	51
<b>Figura 5.21.</b> Registro fotográfico estación 1 “Puente Boco”. ....	52
<b>Figura 5.23.</b> Registro fotográfico estación 3 “Puente Colmo”. ....	53
A continuación (Tabla 5.24), se detallan, los equipos y materiales que se utilizaron en la campaña de muestreo: .....	53
<b>Figura 5.24.</b> Registro fotográfico de macrófitas identificados en campaña de muestreo. ....	55
<b>Figura 5.25.</b> Macroinvertebrados bentónicos observados. ....	58

## LISTADO DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

- BNA: Banco Nacional de Aguas.
- BMWP: Biological Monitoring Working Party.
- ChBMWP: Biological Monitoring Working Party adaptado a Chile.
- CIREN: Centro de Información de Recursos Naturales.
- CONAF: Corporación Nacional Forestal.
- DAA: Derechos de Aprovechamiento de aguas.
- DGA: Dirección General de Aguas.
- DMA: Directiva Marco del Agua.
- DPA: División Política Administrativa.
- GIRH: Gestión Integrada de los Recursos Hídricos.
- HH azul: Huella hídrica azul.
- IDE: Infraestructura de Datos Geoespaciales.
- IM: Índice de Macrófitas.
- INN: Instituto Nacional de Normalización.
- IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change (Panel intergubernamental sobre cambio climático).
- MMA: Ministerio del Medio Ambiente.
- MINAGRI: Ministerio de Agricultura.
- MOP: Ministerio de Obras Públicas.
- Msnm. Metros sobre el nivel del mar.
- NCh: Norma Chilena.
- NSCA: Norma Secundaria de Calidad Ambiental.
- ODS: Objetivo de Desarrollo Sostenible.

- ONU: Organización de las Naciones Unidas.
- PLADECO: Plan de Desarrollo Sostenible.
- PMCCA: Programa de Medición y Control de la Calidad Ambiental del Agua.
- PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- RCA: Resolución de calificación Ambiental.
- SEA: Servicio de Evaluación Ambiental.
- SEIA: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
- SIT: Sistema de información Territorial.
- SMA: Superintendencia del Medio Ambiente.
- SST: Solidos Suspendidos Totales
- TDS/SDT: Solidos Disueltos Totales
- UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura).

## GLOSARIO

- **Acuíferos:** Capas de roca o suelo bajo la tierra que almacenan agua. Funcionan como esponjas subterráneas que podemos aprovechar para extraer agua mediante pozos.
- **Área de vigilancia AC-4:** Es un tramo específico del río Aconcagua que se monitorea regularmente para ver su calidad ambiental, establecido en la NSCA de la cuenca del río Aconcagua.
- **Clase:** Es un grupo más amplio en la clasificación de los seres vivos. Agrupa varios órdenes que comparten rasgos generales.
- **Corredores ecológicos:** Franjas o zonas de territorio que conectan diferentes áreas naturales, permitiendo que animales y plantas se muevan entre ellas. Ayudan a mantener la biodiversidad.
- **Escurrimiento agrícola:** Movimiento de agua sobre la superficie del suelo agrícola, que arrastra nutrientes y sedimentos hacia cuerpos de agua.
- **Estrés hídrico:** Situación en la que la demanda de agua es mayor que la cantidad disponible. Ocurre cuando no hay suficiente agua para las personas, la agricultura y la naturaleza.
- **Eutrofización:** Problema que ocurre cuando hay demasiados nutrientes en el río, causando exceso de algas y reduciendo el oxígeno para los peces.
- **Filo:** Categoría grande en la clasificación de los seres vivos. Agrupa clases que comparten características importantes
- **Geomorfología:** Estudio de las formas del relieve y los procesos que las modelan.
- **Huella hídrica azul:** Es la cantidad de agua dulce que se extrae de ríos, lagos o acuíferos para un uso humano, como regar cultivos o producir bienes.
- **Orden:** Es una categoría que se usa para clasificar seres vivos. Agrupa familias que tienen características parecidas. Por ejemplo, el orden Díptera incluye todas las moscas y mosquitos.
- **Redes tróficas:** Son las relaciones de alimentación entre los seres vivos de un ecosistema. Muestran quién se come a quién y cómo fluye la energía en la naturaleza.
- **Sistema interdependiente:** Un conjunto de elementos que están conectados y se afectan entre sí.
- **Taxa/taxón:** Taxa: se refiere a cualquier grupo de organismos que comparten características comunes y que se agrupan dentro de una categoría de clasificación, como especie, género, familia, orden o clase.
- **Uso consuntivo:** Tipo de utilización del agua en que no retorna a su fuente original tras ser utilizada.

- Perennes: plantas que mantienen sus hojas durante todo el año. Les permite realizar fotosíntesis de forma continua y resistir condiciones extremas. En los bosques esclerófilos, las especies perennes presentan hojas duras y resistentes a la pérdida de agua.
- Shapefiles: Archivos digitales utilizados en los Sistemas de información geográfica que almacenan información geoespacial.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Importancia del agua a nivel Nacional

El agua es un recurso esencial para la vida en la Tierra. Todos los seres vivos dependen de ella para sobrevivir y, a su vez, cumple un rol fundamental en el desarrollo socioeconómico. Permite la producción de alimentos, la generación de energía, el funcionamiento de ecosistemas y la satisfacción de las necesidades humanas básicas, como el consumo, la higiene y el saneamiento. A medida que la población mundial crece, también aumenta la demanda por este recurso, generando nuevos desafíos en su uso, conservación y distribución. Según el Banco Mundial (2025), “aunque la Tierra está cubierta por agua, solo el 2,5% corresponde a agua dulce y menos del 1% es fácilmente accesible para uso humano” (párr. 3). De igual forma, la Organización de las Naciones Unidas (s.f) señala que “sólo el 0,5% del agua presente en la tierra es agua dulce, utilizable y disponible”.

En este contexto, el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) N° 6, impulsado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), busca garantizar el acceso universal y equitativo al agua potable y al saneamiento. El cumplimiento de este objetivo es clave para avanzar en otras metas relacionadas con la salud, la educación, la equidad de género y el desarrollo económico. Asimismo, para el ODS 6 se establecieron ocho metas asociadas que pueden agruparse en dos grandes temas: agua potable, saneamiento e higiene, y gestión integrada de los recursos hídricos junto a sus medidas de implementación. Estos componentes representan una oportunidad fundamental para avanzar en el logro de las metas planteada en el ODS 6 (Saravia Matus *et al.*, 2020).

## 1.2. Problemática Hídrica Global y Nacional

De acuerdo con el *Programa Conjunto de Monitoreo del Abastecimiento de Agua, Saneamiento e Higiene*, más de 2.200 millones de personas en el mundo no tienen acceso a servicios de agua potable de forma segura (WHO & UNICEF, 2019). Además, un análisis realizado por el World Resources Institute (Green, Willoughby, & Marston, 2023), en colaboración con el Pacto Mundial de las Naciones Unidas (PNUMA), reveló que 17 países enfrentan un nivel de estrés hídrico extremadamente alto. Chile, si bien no se encuentra entre los países más críticos, ocupa el puesto 18 a nivel mundial, siendo uno de los más afectados de América Latina.

Esta situación se ve acentuada por la mega sequía que ha afectado al país desde hace más de 15 años. A esto se añade gran parte del recurso se destina a actividades productivas altamente demandantes, como la agricultura, la minería y la acuicultura, las cuales generan impactos ambientales significativos. Broschek (2020):

Según los datos oficializados de la Dirección General de Aguas (DGA), correspondientes al año 2015, el uso consuntivo (sin devolución al cauce) de este recurso en Chile es liderado por la agricultura (72,3%), seguido de lejos por la producción de agua potable (11,8%), el consumo industrial (6,7%), eléctrico (4,5%) y minero (3,9%). (p. 48)

Por su parte, el informe *Radiografía del agua: Brecha y riesgo hídrico* indica que, del consumo de agua proveniente de fuentes superficiales y subterráneas (huella hídrica azul), el sector agrícola representa

el 88% del consumo a nivel nacional, seguido del sector de agua potable y saneamiento con un 6,3% y del sector minero con un 3,8% (Escenarios Hídricos 2030, 2018, p. 124). A nivel global, esta tendencia también se refleja, ya que más del 70% de los recursos hídricos del mundo se destinan a la producción de alimentos (Santibáñez Quezada, 2017, p. 147).

A ello se suma el cambio climático, que ha intensificado estos desafíos y provocado transformación en el ciclo hidrológico, provocando alteraciones en la disponibilidad, distribución y calidad del recurso hídrico. De acuerdo con el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2008), el calentamiento observado durante las últimas décadas ha provocado modificaciones en la dinámica del ciclo del agua, reflejadas en el aumento del vapor atmosférico, variaciones en los patrones de precipitación, mayor frecuencia de eventos extremos, reducción de la nieve y el hielo. Estos procesos evidencian los impactos del calentamiento global sobre los componentes esencial del sistema hídrico.

Frente a este escenario, el manejo integrado de cuencas se ha consolidado como una estrategia esencial para enfrentar la crisis hídrica desde una perspectiva territorial, participativa y multisectorial. Su relevancia radica en reconocer que el agua es parte de toda la cuenca. Para gestionarla eficazmente, es necesario planificar considerando todas las interacciones del agua con su entorno natural y sus usos humanos, desde su origen hasta su desembocadura, y diseñar estrategias específicas para cada cuenca en función de sus características, involucrando a todos los actores sectoriales, públicos y privados, en distintos niveles de gobernanza (Dourojeanni A. *et al.*, 2002; Global Water Partnership [GWP], 2009; Peña, 2016). Además, la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) surge como un enfoque clave para la adaptación al cambio climático y la administración sostenible de un recurso que es cada vez más escaso y presionado. Este enfoque busca coordinar de manera equilibrada los aspectos económicos, sociales, ambientales y culturales relacionados con el agua, la tierra y los recursos asociados, garantizando un uso equitativo y sustentable (UNESCO, 2020).

En este contexto, los sistemas fluviales cumplen un rol esencial, ya que estos ecosistemas, conformados por redes de ríos, arroyos y sus cuencas, desempeñan funciones fundamentales como la recarga de acuíferos, la regulación del clima local, el transporte de nutrientes y el sostenimiento de la biodiversidad. Asimismo, constituyen una fuente directa de agua para millones de personas en todo el mundo. Actúan como corredores biológicos que conectan hábitats, sostienen una alta diversidad biológica y facilitan el ciclo de nutrientes y sedimentos, al permitir la conectividad longitudinal, lateral y vertical entre ecosistemas, lo que favorece el movimiento de especies (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Desde una perspectiva socioeconómica, los sistemas fluviales son vitales para el abastecimiento de agua potable, la producción agrícola, la generación hidroeléctrica y el desarrollo de actividades económicas como la pesca, el turismo y la recreación. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (OMS, 2023) estima que cerca de 2.000 millones de personas en el mundo dependen directamente de los ríos para su abastecimiento de agua potable.

Sin embargo, estos sistemas se encuentran cada vez más presionados por la intervención humana, como la expansión urbana, la agricultura intensiva, la minería, la construcción de represas y canales, y

la extracción indiscriminada de agua (Le Maire *et al.*, 2006). A ello se suman los efectos del cambio climático, que, como se mencionó anteriormente, intensifica fenómenos como las sequías e inundaciones, alteran el régimen natural de los ríos y reducen su capacidad de resiliencia (Grill *et al.*, 2019). De igual manera, la contaminación por nutrientes, metales pesados, residuos domésticos e industriales deterioran la calidad del agua y afecta la biota acuática (Salomons & Stigliani, 1995). Un riesgo adicional proviene de la acumulación de contaminantes en los sedimentos fluviales, los cuales actúan como reservorios de largo plazo con alto potencial de liberación hacia la columna de agua, favoreciendo su reincorporación y eventual ingreso a las redes tróficas acuáticas (Macklin *et al.*, 2006).

Ante este panorama, la protección y gestión sostenible de los sistemas fluviales adquiere un carácter prioritario, siendo el manejo integrado de cuencas hidrográficas una herramienta clave para equilibrar el uso del recurso hídrico con la conservación de sus funciones ecosistémicas. En el caso chileno, la situación presenta una complejidad particular debido a la estructura legal e institucionalidad proveniente del Código de Aguas de 1981 y de la Constitución de 1980, que priorizan la propiedad privada de los derechos de aprovechamiento por sobre la función pública del agua. Esto ha derivado en una gobernanza fragmentada y en la ausencia de organismos de cuenca, lo que contrasta con los lineamientos internacionales en torno a la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. Diversos estudios advierten que, sin un cambio profundo en la institucionalidad y sin avanzar hacia una política hídrica de largo plazo, Chile difícilmente logrará garantizar la seguridad hídrica para las próximas generaciones (Leiva-Zelada & Zelada-Muñoz, 2023).

### **1.3. Contexto Local**

#### **1.3.1 Cuenca Aconcagua**

Uno de los sistemas hídricos más importantes en la zona central de Chile es el río Aconcagua. Este nace en la cordillera de los Andes a partir de la confluencia de los ríos Juncal y Blanco. Desde ese punto, el río Aconcagua recorre aproximadamente 142 km hasta su desembocadura en el océano Pacífico, en la bahía de Concón, atravesando las provincias de Los Andes, San Felipe, Quillota, Marga Marga y Valparaíso. Su cuenca abarca más de 7.200 km<sup>2</sup>, lo que representa una parte considerable de la Región de Valparaíso. Aguas abajo de San Felipe, el río Aconcagua recibe al río Putaendo y, antes de su desembocadura en Concón, se le une el estero Limache (Dirección General de Aguas [DGA], 2004b)

El río no sólo abastece de agua a una parte importante de la población, sino que también sostiene actividades productivas de alta demanda hídrica como la agricultura, la extracción de áridos y la generación de energía. Estas intervenciones, junto a la variabilidad climática, han provocado transformaciones en los procesos naturales del ecosistema fluvial y en la calidad de sus aguas. Según el *Inventario de Cuencas, Subcuencas y Subsubcuencas de Chile* (DGA, 2014), el río Aconcagua corresponde a la cuenca hidrográfica número 054, la cual se divide en tres subcuencas: Aconcagua Alto (0540), Aconcagua Medio (0541) y Aconcagua Bajo (0542). Este inventario fue elaborado por la DGA con el objetivo de reemplazar el antiguo *Inventario de Cuencas de Chile*, también conocido como el *Banco Nacional de Aguas* (BNA), publicado en 1978.

Según la Dirección General de Aguas (DGA, 2004a), la cuenca se organiza administrativamente en cinco secciones, incluyendo una sección independiente correspondiente al río Putaendo. La primera sección se extiende desde la cordillera de los Andes hasta el acceso sur de San Felipe (Puentes del Rey) y se alimenta de los ríos Juncal, Blanco y Colorado, además de varios esteros como Riecillos, Vilcuya y Los Chacayes. La gestión de las aguas en este tramo está a cargo de la Junta de Vigilancia de la Primera Sección del río Aconcagua, establecida mediante el Decreto Supremo N° 51 de 1995.

La segunda sección se extiende desde el Puente del Rey hasta la Puntilla de Romeral y recibe aportes del río Putaendo, así como de los esteros Quilpué, Catemu, Lo Campo y Los Loros, además de afloramientos subterráneos y retornos de riego. La tercera sección se ubica entre la Puntilla de Romeral y el puente ferroviario posterior a la confluencia con el estero San Isidro, siendo abastecida por sobrantes y afluentes como El Melón y Rabuco. La cuarta sección se prolonga hasta la desembocadura del río en el océano Pacífico, recibiendo aguas de los tramos anteriores, de los canales de riego y de los esteros Rautén y Limache.

Finalmente, la sección correspondiente al río Putaendo comprende su subcuenca completa, desde su origen en la cordillera de los Andes hasta su confluencia con el río Aconcagua. Esta se forma por la unión del río Rocín y el estero Chalaco, con aportes adicionales de esteros y quebradas menores. (DGA, 2004a, p. 11-15). En la Tabla 1.1. se presentan las secciones de la cuenca del río Aconcagua y las subcuencas asociadas a cada una de ellas.

**Tabla 1.1.** Subcuencas de la cuenca del río Aconcagua.

Sección	Subcuenca
I	Río Colorado
	Río Juncal
	Río Blanco
	Estero Pocuro
	Río Aconcagua 1
II	Estero Lo Campo
	Estero Las Vegas o Los Loros
	Estero Catemu
	Río Aconcagua 2
III	Estero Rabuco
	Estero San Isidro o Pocochay
	Estero El Melón o Los Litres
	Río Aconcagua 3
IV	Estero Rautén
	Estero Limache
	Río Aconcagua 4
Río Putaendo	Río Putaendo
	Estero Quilpué o san Francisco

Fuente. Dirección General de Aguas. (2004a). *Evaluación de los recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Aconcagua.*

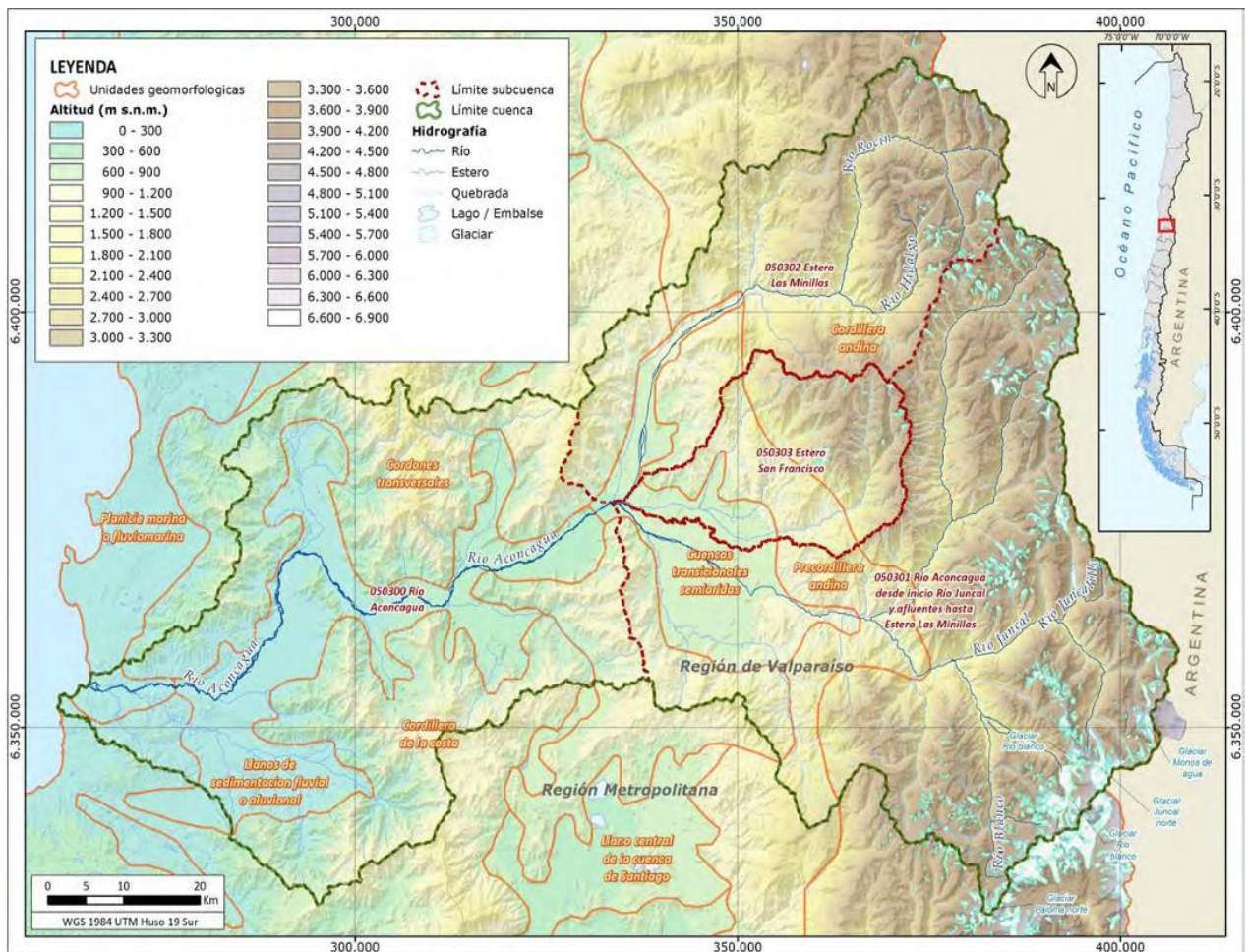
### **1.3.2 Caracterización abiótica**

Según la Dirección General de Aguas (2004b), en el informe *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad*, la cuenca del río Aconcagua presenta un clima templado mediterráneo, caracterizado por una estación seca prolongada en una gran parte de su extensión y un invierno con temperaturas que pueden alcanzar los 0 °C. En la zona andina se registra una temperatura media anual de 15,2 °C, mientras que en verano los valores superan los 27 °C. En el sector costero de la cuenca, la precipitación media anual alcanza aproximadamente 395 mm/año, con una temperatura promedio de 14,5 °C. Las mayores precipitaciones se concentran entre los meses de junio y agosto, correspondientes a la temporada invernal.

La cuenca presenta una marcada diversidad geomorfológica, influenciada por la interacción de procesos marinos, fluviales y tectónicos. En esta zona, la cordillera de la Costa alcanza altitudes significativas a nivel nacional, aunque dentro del área predominan cerros de elevaciones aisladas y menores. Entre las cumbres más destacadas se encuentran: Aconcagua (728 m s.n.m.), Colorado y Buitre (496 m s. n. m.).

La planicie costera se extiende desde aproximadamente los 500 m de latitud hasta la línea de costa, con una pendiente general de este a oeste. Esta zona contiene terrazas formadas por procesos de erosión marina, parcialmente cubiertas por sedimentos. Por otro lado, la llanura aluvial del río Aconcagua corresponde a una terraza de ancho variable con promedio de 1000 m. Siendo resultado de la acción erosiva del río, ya que ha cambiado la llanura continua y ha depositado sedimentos más recientes. El cauce actual del río presenta un comportamiento meandrante y una divagación constante (DGA, 2004b).

En la Figura 1.1 se ilustran las elevaciones y las unidades geomorfológicas correspondientes a la cuenca del río Aconcagua.



**Figura 1.1.** Mapa de elevaciones y unidades geomorfológicas de la cuenca del río Aconcagua.

Fuente. Dirección General de Aguas (2020).

La Dirección General de Aguas (2004b) señala que el principal uso del suelo en la cuenca del río Aconcagua corresponde a la actividad agrícola, destacándose el desarrollo de agricultura bajo riego en terrenos destinados al cultivo de hortalizas, frutales, cereales y chacras. Las zonas con mayor superficie agrícola se concentran en las provincias de Quillota, San Felipe de Aconcagua y Los Andes, donde esta actividad representa un componente fundamental de la economía local y del uso del recurso hídrico. En segundo lugar, se encuentra el uso forestal, aunque con una menor representación, cubriendo aproximadamente un 0,5 % de la superficie total de la cuenca. Esta actividad se localiza principalmente en las provincias de Quillota y Valparaíso, y se basa en la plantación de especies como eucalipto, destinadas a fines productivos. El uso urbano representa cerca del 0,8 % de la superficie total e incluye áreas urbanizadas como ciudades, pueblos y zonas industriales, ubicadas principalmente en los valles interiores, donde se concentra la población. Por su parte, el uso asociado a la actividad minera e industrial cubre alrededor del 0,1 % de la superficie de la cuenca. En este ámbito destacan la Compañía Minera Disputada de Las Condes (Anglo American), con operaciones como la fundición Chagres, la Planta El Soldado y la Mina Los Bronces, enfocadas en la extracción de cobre; asimismo, opera Cemento

Melón, con faenas como Cantera 71 y Mina Navío, dedicadas a la explotación de caliza. También existen faenas mineras de menor escala, principalmente orientadas a la minería del cobre.

En cuanto a los usos del agua, estos abarcan diversas actividades extractivas, siendo el riego agrícola el principal consumidor, con una alta demanda por parte de cultivos frutales y hortícolas. Otro uso relevante corresponde a la captación para consumo humano, donde el río Aconcagua constituye una fuente esencial del abastecimiento. Además, el recurso hídrico se utiliza para la generación de energía eléctrica, principalmente a través de pequeñas centrales hidroeléctricas (DGA, 2004b, p. 20-22).

### **1.3.3 Caracterización biótica**

En relación con la flora acuática, se destaca la presencia de diversos taxa. Entre ellos, la familia *Chlorophyceae*, que incluye algas microscópicas y filamentosas con capacidad fotosintética, comúnmente presentes en cuerpos de agua eutrofizados. También se registran Macrófitas como *Myriophyllum sp.*, planta sumergida de hojas divididas que favorece la oxigenación del agua; *Potamogeton sp.*, planta sumergida o flotante común en ríos y lagunas; *Azolla sp.*, helecho flotante que se asocia con cianobacterias fijadoras de nitrógeno, típico de aguas poco profundas y ricas en nutrientes; *Cladophora sp.*, alga filamentosa verde que puede proliferar en condiciones de eutrofización, *Jussiaea sp.*, planta acuática flotante o emergente que forma colonias densas y compete con especies nativas; y *Ceratophyllum sp.*, macrófitas sumergida sin raíces que se encuentra en aguas estancadas o de flujo lento. (DGA, 2004b, pp 14-15)

En relación fauna acuática, está compuesta principalmente por macroinvertebrados bentónicos, entre las cuales destacan insectos acuáticos de los órdenes *Díptera*, *Ephemeroptera*, *Coleóptera* y *Trichoptera*. Las familias más representativas son *Chironomidae*, *Culicidae*, *Tipulidae* y *Simuliidae*, las cuales se encuentran en la mayoría de los tramos monitoreados. Además, se han observado taxones como Leptoceridae y Hydropsychidae, así como anélidos como *Oligochaeta*, platelmintos (*Turbellaria*) y crustáceos como *Ostracoda* (DGA, 2004b, pp. 15-17).

## **1.4. Evaluación de la calidad del agua**

Históricamente, la calidad del agua ha sido evaluada principalmente a través de parámetros físico-químicos. Estos análisis entregan resultados rápidos y específicos, ya que reflejan el estado inmediato del agua y son fundamentales para detectar contaminantes puntuales (Chapman, 1996). Sin embargo, presentan algunas limitaciones, pues reflejan únicamente el estado del cuerpo de agua al momento del muestreo, y su representatividad puede verse afectada por la alta variabilidad del medio acuático. Además, no permiten inferir con claridad los impactos y efectos sobre los organismos que habitan en el ecosistema, ni identificar tendencias a largo plazo sin un monitoreo continuo.

La aplicación de estos parámetros, así como la interpretación de sus resultados en función de los niveles de contaminantes detectados, debe basarse en un marco normativo que establezca criterios claros. Este respaldo está contenido en la legislación ambiental vigente, la cual define los valores máximos permitidos, los procedimientos de control y las exigencias asociadas al resguardo de la calidad del agua y la protección de los ecosistemas acuáticos (Ministerio del Medio Ambiente, 2023).

La calidad del agua en el río Aconcagua se evalúa mediante una combinación de índices biológicos y análisis físico-químicos, que permiten un diagnóstico más completo del estado ecológico del ecosistema acuática. El informe de la *Red de Observación de la NSCA* (AquaExpert, 2025) utiliza estas herramientas para identificar excedencias de parámetros normativos y determinar el impacto de las actividades humanas en la cuenca.

## **1.5. Marco Legal Ambiental en Chile**

### ***1.5.1 Ley N° 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente***

Esta ley fue promulgada en 1994 y constituye la base del derecho ambiental en Chile. Define ciertos principios como la prevención, la responsabilidad ambiental y la participación ciudadana. Además, dispone una serie de instrumentos de gestión ambiental que permiten evaluar, controlar y mitigar los impactos ambientales de distintas actividades, entre estos instrumentos destaca:

- **Normas de Calidad Ambiental:** Establece los niveles máximos permisibles de contaminantes que pueden estar presentes en distintos componentes del entorno, como el aire, el agua y los suelos. Para el caso del recurso hídrico, estas normas son esenciales porque fijan límites para proteger tanto aguas superficiales como las subterráneas. De esta manera, se garantiza que la calidad del agua permita el desarrollo de los usos establecidos, como el consumo humano, el riego o la conservación de la vida acuática.

### ***1.5.2 Decreto Supremo N° 41 Norma Secundaria de Calidad Ambiental***

El Decreto Supremo N° 41, promulgado en 2021 por el Ministerio del Medio Ambiente, establece la Norma Secundaria de Calidad Ambiental (NSCA) para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Aconcagua. Su objetivo principal es conservar y preservar los ecosistemas acuáticos asociados a estas aguas, mediante el mantenimiento o mejoramiento de su calidad.

La norma define 16 áreas de vigilancia distribuidas a lo largo de la cuenca y establece niveles de calidad ambiental para 28 parámetros (véase Figura 1.2). Su cumplimiento debe verificarse anualmente a través de un informe técnico elaborado por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), el cual incluye los resultados, la validación de los datos obtenidos y una evaluación del estado actual del cuerpo de agua monitoreado.

Parámetro	Unidades	FU-1	FU-2	JU-1	CO-1	BL-1	AC-1	AC-2	AC-3	AC-4	AC-5	QUI-1	PO-1	CA-1	LO-1	LI-1	LIT-1
Aluminio total	mg/l	8,2	0,8	8,2	8,2	2,1	8,2	8,2	2,1	2,1	-	14,2	8,2	0,8	2,1	2,1	2,1
Arsénico total	mg/l	0,020	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,005	0,005	0,005	0,013	0,013	0,002	0,005	0,005	0,005
Aceites y Grasas	mg/l	-	-	-	10	10	10	10	-	10	10	-	-	-	-	-	-
Coliformes Fecales	NMP/100ml	-	-	-	240	240	240	1320	-	240	1320	-	-	-	-	-	-
Conductividad Eléctrica	µS/cm	635	284	985	635	750	750	635	635	635	-	635	635	635	635	635	635
Cloruros	mg/l	30	11	30	49	66	66	30	30	49	-	49	11	30	30	49	49
Cromo total	mg/l	0,05	0,036	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	-	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,036
Cobre total	mg/l	0,30	0,07	0,07	0,30	0,48	0,48	0,48	0,07	0,07	0,07	0,48	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	mg/l	4	4	4	4	8	4	4	4	4	4	4	4	4	6	6	4
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	21	8	8	8	21	21	21	8	21	-	21	8	8	21	21	21
Hierro total	mg/l	7,95	7,95	7,95	13,77	2,12	7,95	7,95	2,12	2,12	7,95	13,77	13,77	2,12	2,12	2,12	2,12
Hierro disuelto	mg/l	0,204	0,204	0,204	0,354	0,054	0,204	0,204	0,054	0,054	0,204	0,354	0,354	0,054	0,054	0,054	0,054
Mercurio total	mg/l	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	-	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Manganeso total	mg/l	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	-	0,48	0,48	0,09	0,48	0,48	0,48
Molibdeno total	mg/l	0,05	0,05	0,05	0,05	0,13	0,13	0,05	0,05	0,05	0,13	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Níquel total	mg/l	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	-	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
N-Amonio	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,68	-	-	-	-	-	-
N-Nitrato	mg/l	2,0	2,0	0,8	2,0	2,0	2,0	2,0	3,7	3,7	-	2,0	2,0	3,7	3,7	2,0	3,7
Nitrógeno total	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,4	-	-	-	-	-	-
Oxígeno Disuelto	mg/l	5,3	5,3	5,3	7,1	5,3	7,1	5,3	7,1	7,1	7,1	7,1	5,3	7,1	5,3	5,3	7,1
Plomo total	mg/l	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	-	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070
pH máximo	-	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
pH mínimo	-	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Fósforo de fosfatos	mg/l	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	-	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
Fósforo Total	mg/l	-	-	-	0,9	0,9	0,9	0,9	-	0,9	0,9	-	-	-	-	-	-
Sulfatos	mg/l	100	100	413	257	257	257	257	257	257	257	257	257	257	257	257	257
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-	388	32	388	388	-	32	-	-	-	-	-	-	-
Zinc total	mg/l	0,08	0,020	0,08	0,137	0,08	0,08	0,08	0,020	0,010	-	0,08	0,020	0,020	0,020	0,010	0,020
Clorofila "a"	µg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-

**Figura 1.2.** Niveles de calidad ambiental por área de vigilancia en la cuenca del río Aconcagua.

*Fuente.* Extraído de Norma secundaria de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Aconcagua (DS N° 41/2021), Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2021.

Además, el decreto define criterios que permiten determinar cuándo un parámetro excede los límites normados establecidos. En la Tabla 1.2, se resumen dichos criterios de excedencia, conforme a lo dispuesta en la NSCA.

**Tabla 1.2.** Criterios de excedencia

Tipo de parámetro	Criterio de excedencia
Generales	Percentil 85 > valor normado
Metales pesado y conductividad en año húmedo	Percentil 75 > valor normado
Nutrientes	Promedio > valor normado
Oxígeno disuelto	Percentil 15 < valor mínimo normado
pH	Percentil 15 o 85 fuera del valor normado
Parámetro general repetitivo	Excede 3 veces consecutivas en un año

*Fuente.* Extraído de Propuesta de un plan de monitoreo para la evaluación del estado ecológico del humedal Estero Quilpué, en la comuna de Villa Alemana (Yáñez Oyarzun, 2024).

Las muestras se consideran representativas cuando reflejan condiciones normales del sitio. En caso de discrepancia, corresponde a la SMA justificar fundadamente la falta de representatividad. Asimismo, se establece la creación de un Programa de Medición y Control de la Calidad Ambiental del Agua (PMCCA), el cual debe ser dictado por la SMA y publicado en un plazo máximo de seis meses desde su

entrada en vigencia. Este programa debe especificar los parámetros a controlar, los puntos de medición, la frecuencia mínima (al menos cuatro veces al año), los criterios de validación de las muestras y los responsables de su ejecución. Además, contempla la realización de dos ensayos ecotoxicológicos y dos muestreos de bioindicadores por año, con el fin de evaluar los efectos reales de la calidad del agua sobre los ecosistemas.

Finalmente, la norma considera que existe excedencia cuando, durante un mismo año de muestreo, más de dos parámetros superan el límite normado en tres o más ocasiones consecutivas, lo que constituye un incumplimiento de los estándares de calidad ambiental establecidos.

### 1.5.3 Norma Chilena 1333

La Norma Chilena NCh 1333 publicada en 1978 bajo el título *Calidad del agua: Requisitos de calidad de las aguas para diferentes usos* (véase Tabla 1.3), fue elaborada por el Instituto Nacional de Normalización (INN). Esta norma establece criterios para la calidad del agua en función de su uso final, definiendo valores máximos permisibles de contaminantes y parámetros físico-químicos.

Aunque su aplicación es de carácter voluntario, la NCh 1333 puede adquirir validez legal cuando se incorpora expresamente en decretos o resoluciones. Además, clasifica el agua en distintas categorías según su uso, entre las que se incluyen:

- Agua para consumo humano
- Agua para bebida de animales
- Agua para Riego
- Recreación y estética
  - Estética
  - Recreación con contacto directo
  - Recreación sin contacto directo
- Vida acuática

**Tabla 1.3a. Requisitos de calidad del agua según su uso.**

Uso del agua	Parámetro	Requisitos
Consumo humano	-	Cumplir con NCh409
Bebida de animales	-	Cumplir con NCh409
Riego	pH	Entre 5,5 y 9,0
	Elementos químicos*	0,001 – 250,000
	Conductividad específica	≤ 750 μmhos/cm a 25°C (sin efectos perjudiciales)
	Sólidos disueltos totales	≤ 500 mg/l a 105 °C (sin efectos perjudiciales)
Recreación con contacto directo	pH	6,5 a 8,3
	Temperatura máxima	30°C
	Aceites y grasas	Flotantes 5 mg/l máx. Emulsificadas 10 mg/l
	Claridad	Disco Secchi a 1,20 m de profundidad
	Turbiedad	50 escala sílice máximo
	Coliformes fecales	1000 /100 ml

**Tabla 1.3b.** Continuación de la Tabla 1.3

Uso del agua	Parámetro	Requisitos
Recreación sin contacto directo	Sólidos flotantes visibles y espumas no naturales	Debe cumplir con los mismos requisitos que se indican para recreación con contacto directo
	Aceite flotante y grasas	
	Aceites y grasas emulsionadas	
	Sustancias que produzcan olor o sabor inconvenientes	
Vida acuática	pH	6,0 a 9,0
	Oxígeno disuelto	5 mg/l min
	Alcalinidad total	20 mg/l de CaCO <sub>3</sub>
	Temperatura	No debe aumentar en más de 3°C su valor natural
	Sustancias tóxicas*	1/10 a 1/100 de la LTm96

\*significa que varía según tipo

Fuente. Extraído de Yáñez Oyarzun, F. C. (2024). *Propuesta de un plan de monitoreo para la evaluación del estado ecológico del humedal Estero Quilpué, en la comuna de Villa Alemana [trabajo de titulación, Universidad de Valparaíso]*.

La NCh 1333 resulta fundamental para evaluar la calidad del agua según el uso que se le asigne. Sirve como una herramienta de apoyo en la toma de decisiones en materia de gestión del recurso hídrico. relacionadas con la gestión del recurso hídrico y complementa el análisis técnico de cualquier estudio ambiental y complementa el análisis técnico de los estudios ambientales.

#### **1.5.4 Código de Aguas y Derechos de Aprovechamiento de Aguas en Chile**

El código de aguas constituye el marco legal que regula la administración, distribución y uso del recursos hídricos en Chile. Fue promulgado en 1891 y estableció que las aguas son bienes nacionales de uso público, mediante el cual se otorgan Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) a particulares. Estos derechos, que pueden ser de carácter consuntivo o no consuntivo, son otorgados y administrados por la Dirección General de Aguas (DGA). Posteriormente, el código fue reformado mediante la Ley N° 21.435 de 2022, que reafirmó el carácter público de las aguas y reconoció de manera explícita el acceso al agua potable y al saneamiento como un derecho humano esencial e irrenunciable. La reforma también estableció las prioridades de uso, situando en primer lugar el consumo humano y doméstico, seguido de la preservación de los ecosistemas y, finalmente, los usos productivos.

Un aspecto clave de esta reforma fue que los DAA dejaron de tener carácter perpetuo, transformándose en concesiones temporales de 30 años, prorrogables únicamente si se acredita un uso efectivo y sustentable. Asimismo, se incorporó la extinción por no uso, fijando un plazo de cinco años para derechos consuntivos y diez años para no consuntivos. La normativa también dispone que los DAA deben inscribirse tanto en el Conservador de bienes raíces como en el Catastro Público de Aguas, a fin de mantener su validez legal.

## 1.6. Indicadores Biológicos

Frente a las limitaciones de los análisis físico-químicos, surge la necesidad de incorporar herramientas complementarias que permitan evaluar de manera más integral la salud y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, con mayor sensibilidad frente a los efectos acumulativos de las perturbaciones ambientales. En este contexto, los indicadores biológicos destacan como una alternativa práctica, sensible y rentable para la evaluación y monitoreo ambiental, especialmente en zona sometidas a presiones antrópicas que alteran el medio natural.

Este enfoque es respaldado por la Directiva Marco del Agua (DMA 2000/60/CE) del parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea, la cual establece que el “buen estado ecológico” de una masa de agua debe evaluarse no sólo mediante parámetros físico-químicos, sino también con indicadores biológicos. Según dicha directiva, las masas de agua deben clasificarse en cinco categorías: muy buena, buena, moderada, deficiente o mala, considerando la composición y abundancia de grupos como macroinvertebrados, fitobentos y macrófitas acuáticas como parte fundamental del análisis (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2000).

Los indicadores biológicos son organismos vivos, tales como plantas, animales, hongos o microorganismos, que entregan información sobre el estado de un ecosistema mediante su presencia, abundancia o ausencia. Estos permiten detectar alteraciones que los parámetros físico-químicos no siempre logran evidenciar, ya que reflejan tanto condiciones actuales como efectos acumulativos, proporcionando una visión más representativa sobre la calidad del agua y el estado ecológico del sistema. Entre los grupos más utilizados se encuentran los macroinvertebrados bentónicos y las macrófitas acuáticas, debido a su sensibilidad a las condiciones del entorno, su relativa facilidad de muestreo en terreno y la existencia de metodologías validadas para su análisis.

En la Tabla 1.4 se presentan las ventajas y desventajas del uso de distintos grupos biológicos como bioindicadores en el monitoreo de la calidad del agua.

**Tabla 1.4a.** Ventajas y desventajas del uso de distintos grupos biológicos como bioindicadores en monitoreo de calidad del agua.

<b>Grupo</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Bacterias	Metodología de rutina bien desarrollada. Rápida respuesta a los cambios ambientales, incluida la contaminación. Indicadores de contaminación fecal, facilidad para obtener muestras.	Las poblaciones se recuperan rápidamente de la contaminación intermitente. Se requiere equipamiento especializado para el procesamiento de las muestras.
Protozoos	Son conocidos los valores de tolerancia a la contaminación con materia orgánica. Facilidad para obtener muestras.	Se requiere un buen conocimiento taxonómico.

**Tabla 1.4b. Continuación tabla 1.4a**

Algas	Las toleraciones a la contaminación están bien documentadas en la bibliografía. Indicadores útiles de eutrofización y aumento de la turbidez.	Se requiere de un buen conocimiento taxonómico. Pueden presentarse algunos problemas vinculados con la forma de coleccionar las muestras.
Macroinvertebrados	Diversidad de formas y hábitos. Muchas de las especies son sedentarias. Ciclos de vida largos que facilitan la interpretación de los efectos de contaminación en periodos prolongados. Muestreo cualitativo fácil y sencillo. Se dispone de buenas claves taxonómicas.	El muestreo cuantitativo es difícil. El tipo de sustrato y la preferencia de algunas especies sobre otras condicionan la extracción de la muestra. Las especies pueden derivar con el movimiento del agua. Se deben conocer los ciclos de vida para interpretar la ausencia de especies.
Macrófitas	Especies generalmente arraigadas. Facilidad para visualizarlas e identificarlas. Buenas indicadoras del enriquecimiento con nutrientes y sólidos suspendidos.	Las respuestas a la contaminación pueden ser ambiguas. A menudo toleran la contaminación intermitente. Alta dependencia de la estacionalidad.
Peces	Métodos de muestreo bien desarrollados. Respuestas fisiológicas inmediatas. Pueden indicar cambios en la cadena alimentaria. Facilidad para identificarlos.	Las especies pueden movilizarse para evitar la contaminación.

Fuente. Extraído de Chapman, D. (Ed.). (1996). *Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring* (2.ª ed.). UNESCO/WHO/UNEP.

Diversos estudios han demostrado que, cuando ocurre una perturbación, ya sea de origen natural o antrópico, las condiciones naturales de un ecosistema acuático se ven alteradas, generando cambios en las comunidades biológicas, cuya magnitud depende de la duración, intensidad y naturaleza del disturbio (Chapman, D. 1996).

### **1.5.5 Macroinvertebrados bentónicos**

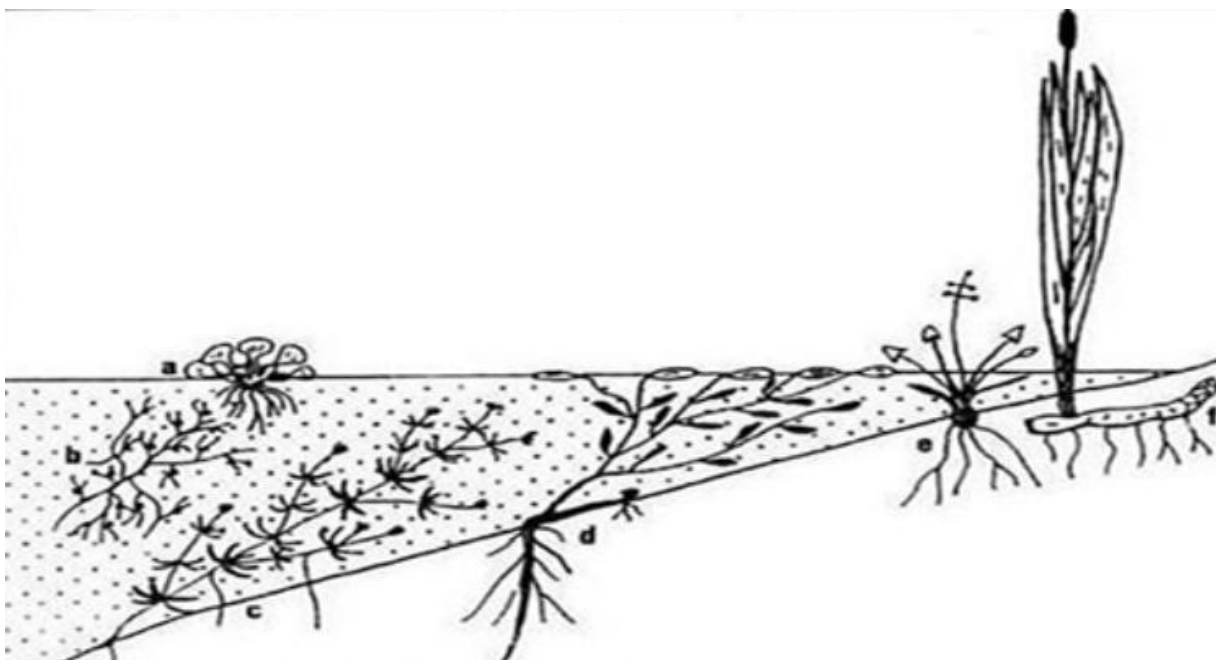
Los macroinvertebrados bentónicos son organismos invertebrados de tamaño superior a 3 mm que habitan en el fondo de ríos y cuerpos de agua dulce. Este grupo incluye moluscos, crustáceos, anélidos, ácaros e insectos acuáticos, los cuales suelen encontrarse bajo las piedras, entre los sedimentos o asociados a la vegetación sumergida. Estos organismos desempeñan un papel fundamental en las redes tróficas acuáticas, ya que vinculan a los productores primarios con los niveles superiores de la cadena alimentaria. Su alta sensibilidad a los cambios ambientales, su amplia distribución y su carácter sedentario los convierten en excelentes bioindicadores. Además, su estudio requiere equipamiento básico, y existen diversos índices que facilitan la interpretación de los datos (Rosenberg & Resh, 1993).

### **1.5.6 Macrófitas acuáticas**

Las Macrófitas son plantas acuáticas que cumplen diversas funciones ecológicas relevantes en los ecosistemas de agua dulce (silva *et al.*, 2008). Su desarrollo depende de la disponibilidad de luz y

nutrientes, lo que las convierte en indicadores sensibles de los procesos como la eutrofización o alteraciones hidrológicas (Hauenstein, 2006).

Además, estas plantas aportan servicios ecosistémicos al proveer hábitat y refugio para invertebrados y peces, contribuyen a la estabilización de sedimentos por medio de sus raíces y ayudan a mantener la calidad del agua al reducir el florecimiento de fitoplancton (Dogan *et al.*, 2009). La presencia, ausencia o dominancia de Macrófitas acuáticas puede entregar señales claras sobre el estado del cuerpo de agua y el grado de intervención antrópica en el sistema. Según su forma de crecimiento, las Macrófitas pueden clasificarse en diferentes tipos, los cuales se muestran en la Figura 1.4.



**Figura 1.4.** Tipos de Macrófitas acuáticas.

*Nota.* Extraído de Ramírez et al., (2006).

- a. Flotante libre en superficie
- b. Flotante libre a media agua
- c. Sumergida
- d. Natante
- e. Emergida pequeña
- f. Emergida grande

## 1.7. Índices Biológicos

Los índices biológicos permiten obtener información clave sobre la calidad del agua a partir del análisis de las comunidades biológicas, considerando tanto perturbaciones puntuales como acumulativas. A diferencia de los parámetros físico-químicos, estos índices proporcionan una evaluación más integral del ecosistema acuático.

Un estudio chileno realizado por Figueroa, Palma, Ruiz y Niell (2007) concluyó que la caracterización físico y química de los ríos presenta limitaciones para detectar cambios temporales o efectos acumulativos. Por ello, se recomienda complementar dicho análisis con indicadores biológicos, en particular macroinvertebrados bentónicos, por su capacidad para representar múltiples niveles tróficos.

De manera similar, Fierro *et al.* (2012) demostraron la efectividad de los índices biológicos adaptados a las condiciones ecológicas de Chile para evaluar la calidad del agua. En su investigación, aplicada a una cuenca costera del sur del país, el uso de un índice basado en macroinvertebrados permitió identificar variaciones tanto estacionales como espaciales en la calidad ecológica del agua. Estos resultados respaldan la utilidad que existe al incorporar herramientas biológicas en los programas de monitoreo ambiental, especialmente en contextos donde se requiere una evaluación más integral del ecosistema.

### **1.5.7 Índice de Macrófitas (IM)**

El índice de Macrófitas (IM) fue desarrollado para evaluar la calidad ecológica de los ríos mediterráneos, como la cuenca del Segura, en España. Este índice considera el valor indicador de cada taxón, la diversidad funcional y morfológica y la cobertura relativa de las especies, la cual se evalúa en tres categorías: < 5%, 5-50 % y > 50 %. El IM permite estimar el grado de alteración ecológica del sistema fluvial en función de la composición y abundancia de la vegetación acuática.

### **1.5.8 Índice de macroinvertebrados (BMWP)**

El Biological Monitoring Working Party (BMWP), en su versión adaptada a Chile (ChBMWP), asigna puntuaciones a las familias de macroinvertebrados según su sensibilidad a la contaminación. La suma total de las puntuaciones refleja el nivel o grado de alteración del ecosistema (Figueroa *et al.*, 2003). Este índice se basa en datos cualitativos, ya que solo requiere identificar organismos hasta el nivel taxonómico de familia, registrando únicamente su presencia o ausencia. El índice biótico ChBMWP corresponde a una adaptación del índice IBF (Índice biótico de Familias) propuesto por AlbaTercedor (1988), y elimina aquellas familias que no se encuentran en Chile.

## 2. PROBLEMA

Como se mencionó en la introducción, el río Aconcagua es uno de los recursos hídricos más importantes de la Región de Valparaíso, al ser la principal fuente de abastecimiento de agua. Además, sustenta actividades económicas esenciales como la agricultura, la generación de energía, la extracción de áridos y la minería no metálica, desempeñando un papel clave en el desarrollo socioeconómico regional. Sin embargo, este sistema fluvial enfrenta una fuerte presión antrópica producto de actividades productivas intensivas, especialmente la agricultura de riego y la extracción de áridos, que alteran su dinámica natural. Estas intervenciones modifican la morfología del cauce, aumentan la carga de sedimentos y nutrientes y favorecen procesos de eutrofización, reduciendo los niveles de oxígeno disuelto, generando una degradación progresiva del hábitat acuático y una disminución en la diversidad biológica.

El presente estudio se centra en el área de vigilancia AC-4, ubicada en la parte media de la cuenca, correspondiente a la provincia de Quillota, donde se concentran las principales presiones antrópicas. Este tramo se caracteriza por el uso intensivo del suelo agrícola y la presencia de faenas extractivas de áridos, las cuales influyen directamente en la calidad de agua y en los ecosistemas asociados. Por ello, resulta prioritario evaluar el estado ambiental del río en este sector, considerando su importancia ecológica y su rol en el abastecimiento de agua para la población local.

Tradicionalmente, la calidad del agua se ha evaluado mediante parámetros físico-químicos, los cuales permiten identificar contaminantes y variaciones puntuales en el recurso. No obstante, estos análisis presentan limitaciones metodológicas, ya que reflejan únicamente la condición del agua en el momento del muestreo y no evidencian los efectos acumulativos ni la respuesta biológica del ecosistema frente a las perturbaciones ambientales. Ante esta limitación, surge la necesidad de complementar las evaluaciones físicos y químicas con herramientas biológicas, como los índices de Macrófitas (IM) y el Índice de Macroinvertebrados Bentónicos (ChBMWP), los cuales permiten interpretar de maneras más integral la calidad ecológica del agua y detectar alteraciones a largo plazo mediante la respuesta de la biota.

A pesar de su reconocida utilidad científica, en Chile no existe una normativa que exija el uso de índices biológicos en la evaluación de la calidad del agua. Si bien la Norma Secundaria de calidad Ambiental (D.S N° 41/2023) del río Aconcagua incorpora el uso de bioindicadores en el Programa de Medición y Control de la Calidad Ambiental del Agua (PMCCA), esta obligación recae solamente en las autoridades ambientales. En la práctica, los programas de monitoreo y los estudios del SEIA continúan aplicando normativas basadas en parámetros físico-químicos, sin integrar los componentes biológicos del ecosistema.

Esta situación refleja un vacío legal y metodológico que limita la evaluación integral del estado ecológico del agua, al no combinar de manera complementaria indicadores físico-químicos y biológicos. Como consecuencia, se dificulta la obtención de diagnósticos precisos sobre la condición de los cuerpos de agua y reduce la capacidad de detectar a tiempo procesos de degradación ambiental.

En este contexto, se vuelve fundamental incorporar los índices biológicos como herramienta complementaria obligatoria en la evaluación de la calidad del agua, especialmente en áreas sometidas a alta presión antrópica como el área de vigilancia AC-4 del río Aconcagua. La integración de estos enfoques permitirá obtener una visión más del estado ecológico del sistema fluvial, mejorar las estrategias de monitoreo y fortalecer a una gestión sustentable del recurso hídrico en la cuenca.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. General**

Evaluar la calidad del agua del tramo medio-bajo del área de vigilancia AC-4 del río Aconcagua mediante la aplicación del índice de macrófitas (IM) y el índice de Macroinvertebrados Bentónicos (BMWP) como complemento a la Norma Secundaria de Calidad Ambiental.

#### **3.2. Específicos**

- Caracterizar ecológicamente el área de vigilancia AC-4 del río Aconcagua.
- Aplicar los índices de macrófitas (IM) e índices de macroinvertebrados bentónicos (BMWP) en un sector del cauce del río Aconcagua como complemento a las mediciones físicas y químicas del cuerpo de agua.
- Identificar los parámetros físicos y químicos (temperatura, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y sólidos disueltos totales), dentro del área de vigilancia del cauce del río Aconcagua y contrarrestar con los parámetros indicados en la norma secundaria de calidad ambiental.
- Determinar los costos involucrados en la implementación de métodos de evaluación de la calidad del agua en la cuenca.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. Área de estudio

El área de estudio correspondió a un tramo medio-bajo del río Aconcagua, ubicado dentro del área de vigilancia AC-4, definida en la Norma Secundaria de Calidad Ambiental para la cuenca del río Aconcagua. Este tramo se extiende desde la estación de monitoreo de a DGA en Romeral hasta el límite con el estuario, con una longitud aproximada de 60 km. Las coordenadas que limitan este sector se presentan en la Tabla 4.5, donde se indican los puntos de inicio y término del área de vigilancia AC-4 definidos por la DGA.

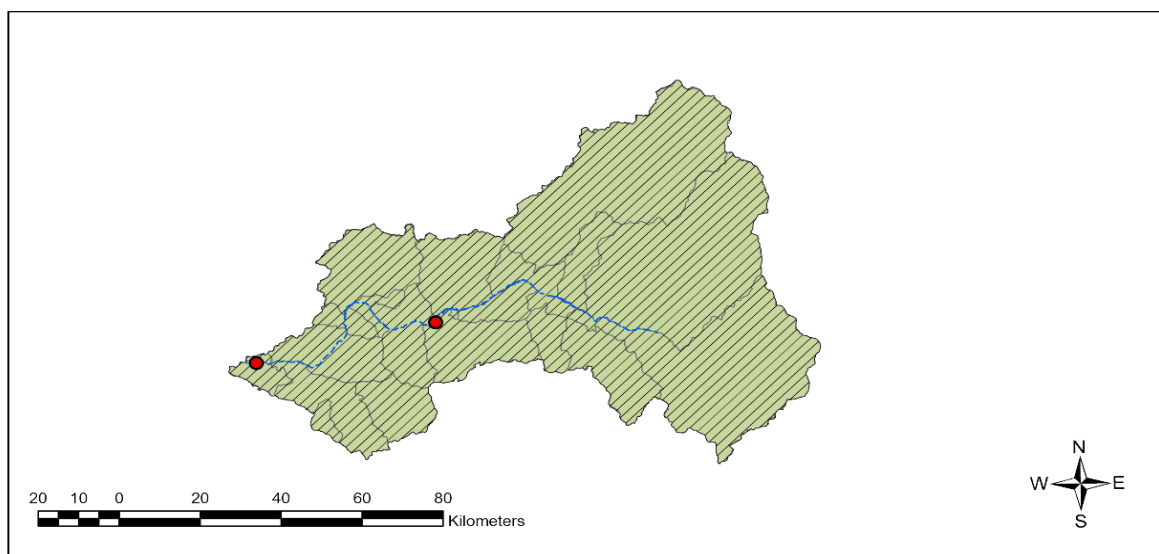
Tabla 4.5. Coordenadas del área de vigilancia AC-4.

Área de vigilancia AC-4	Coordenadas UTM	
	N	E
Est. DGA en Romeral	6365625	312329
Límite con estuario	6354774	268042

Fuente. Información extraída de (MMA, 2021).

En la Figura 4.5 se presenta la delimitación de la cuneca del río Aconcagua y su área de vigilancia AC-4, mostrando la extensión del tramo analizado y su ubicación dentro de la Región de Valparaíso.

### Delimitación de la Cuenca del Río Aconcagua y su Área de vigilancia AC-4



#### Leyenda

- Coordenadas AC-4
- Comunas Aconcagua
- Río Aconcagua
- ▨ Cuenca Aconcagua

Autor: Belén Marabolí, 2025  
Fuente: Elaboración Propia con datos de IDE Chile, capas Cuenca\_BNA (2023), Comunas DPA (2023), Red hidrográfica (2023)

Figura 4.5. Delimitación de la Cuenca del Río Aconcagua y su área de vigilancia AC-4.

Nota. Elaboración propia con datos de IDE, capas Cuenca BNA (2023), Comunas DPA (2023), Red Hidrográfica (2023).

Como se ilustra en la figura, el tramo AC-4 corresponde a la sección media-baja del río Aconcagua, ubicada principalmente en la provincia de Quillota. Esta zona se caracteriza por una combinación de usos agrícolas, urbanos y rurales, lo que la convierte en un sector representativo para la evaluación de la calidad del agua, mediante el análisis de parámetros físico-químicos y la aplicación de índices biológicos (IM y ChBMWP).

## **4.2. Caracterización del área de estudio**

La caracterización del área de estudio se llevó a cabo mediante una revisión bibliográfica y documental, con el fin de recopilar y organizar la información existente que permitiera comprender en detalle las condiciones ambientales del sector. Sin embargo, durante esta etapa no se identificaron estudios específicos que abordaran de manera detallada las características bióticas y abióticas del área de vigilancia AC-4, ni antecedentes actualizados que evaluaran la presencia de macroinvertebrados y macrófitas en dicho tramo.

Debido a esta limitación, la caracterización se fundamentó principalmente en fuentes técnicas oficiales, destacando el informe *Diagnostico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad* de la Dirección General de Aguas (DGA, 2004b), el cual ofrece información a nivel de cuenca. Complementariamente, se utilizaron otros informes y bases de datos institucionales como el *Centro de Información de Recursos Naturales* (CIREN, 2019) y el *Servicio de Evaluación Ambiental* (SEA, 2024), los cuales aportaron información reciente sobre el uso del suelo y la composición biológica del tramo.

Ante la ausencia de información específica, se complementó el análisis con una etapa cartográfica utilizando el software ArcGIS para generar representaciones territoriales ajustadas al área de vigilancia AC-4. Para ello, se descargaron y procesaron capas geoespaciales (Shapefiles) de fuentes oficiales como IDE Chile, DGA y CIREN, las cuales fueron recortadas y delimitadas a nivel de cuenca y de área de vigilancia, con el propósito de representar el clima, la red hidrográfica y el uso de suelo.

Este procedimiento permitió ajustar la escala del análisis y comprender de forma más precisa la dinámica del río Aconcagua en su tramo medio-bajo, proporcionando una base técnica sólida para la aplicación de los índices biológicos (IM y ChBMWP) y la evaluación integral de la calidad del agua en el área de vigilancia AC-4.

### **4.2.1 Caracterización abiótica**

La caracterización abiótica del área de estudio se desarrolló a partir de la información recopilada en la revisión bibliográfica, documental y cartográfica, complementada con el análisis espacial en ArcGIS. Esta etapa tuvo por como objetivo identificar y describir los principales componentes físicos y ambientales del área, considerando los aspectos climáticos, hidrológicos y edáficos, que incluyen directamente en la dinámica del río.

#### **4.2.1.1 Clima**

La caracterización climática se realizó a partir de la información recopilada en el informe de la Dirección General de Aguas (DGA, 2004b) y del Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO) de Quillota 2022-2026 (Ilustre Municipalidad de Quillota, 2022), los cuales proporcionaron antecedentes generales sobre las condiciones climáticas del valle, y particularmente, de la comuna de Quillota.

Esta información fue complementada con registros histórico de estaciones meteorológicas ubicadas en el sector, obtenidos desde la base de datos de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas (MOP). Dichos registros incluyeron series de temperatura y precipitación que fueron utilizadas para caracterizar el régimen climático general y establecer las tendencias temporales en el área.

#### **4.2.1.2 Hidrografía**

La caracterización hidrológica del estudio se realizó utilizando la información contenida en el informe de la DGA, 2004b y de manera complementaria, se emplearon capas hidrográfica y de red de drenaje obtenidas desde la Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile (IDE Chile), dentro de la categoría “Aguas Continentales”. Este recurso, con fecha de publicación 2022, fue procesado en el software ArcGIS para delimitar la red hidrográfica principal y sus afluentes.

#### **4.2.1.3 Suelos**

La caracterización del uso de suelo en el área AC-4 se realizó a partir de la Cartografía del Catastro y Actualización de los Recursos Vegetaciones y Uso de la Tierra elaborada por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), disponible en el portal Planificación Catastral de la IDE Minagri (CONAF 2019, IDE Minagri). Debido a la ausencia de datos específicos a nivel de área de vigilancia, esta fuente permitió contar con información actualizada y homogénea sobre la cobertura terrestre.

#### **4.2.1.4 Calidad del agua**

Para el caso de la caracterización del agua dentro del área de vigilancia de interés, se realizó mediante recopilación y análisis de información secundaria provenientes de las estaciones oficiales de monitoreo administradas por la DGA. Esta información corresponde a registros históricos de parámetros físico-químicos obtenido del Banco Nacional de Aguas disponible en el Sistema Nacional de Información de Aguas (SINIA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP – Chile, s.f) y complementada con la base cartográfica e hidrométrica del visualizador de información Territorio de la DGA (Visualizadores – DGA, s.f) que permiten evaluar la calidad ambiental del río Aconcagua según lo establecido en la NSCA (DS N° 41/2023).

### **4.2.2 Caracterización biótica**

#### **4.2.2.1 Flora acuática**

La caracterización de la flora acuática se realizó mediante una revisión bibliográfica y documental, con el fin de recopilar información técnica y científica sobre la composición y distribución de macrófitas en el río Aconcagua.

Se utilizó en primer lugar la información proveniente del informe *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad* elaborado por la DGA (2004b). De manera complementaria, con el objetivo de contar con antecedentes más recientes y específicos del área, se incorporaron los resultados del estudio desarrollado por Muñoz y Silva (2010) de la Universidad de Valparaíso, quienes evaluaron el *estado ecológico del río Aconcagua mediante la aplicación del Índice de Macrófitas (IM) y el índice de Calidad del Bosque de Ribera (QBR)*.

#### 4.2.2.2 Fauna acuática

Para el caso de la caracterización de la fauna acuática del área AC-4 se desarrolló mediante metodología documental y comparativa, orientada a recopilar y analizar información existente sobre los organismos presentes en el tramo del río Aconcagua.

Se consideraron dos fuentes principales de información. En primer lugar, se utilizó el registro general de macroinvertebrados bentónicos disponible en el Informe *Diagnostico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad* (DGA, 2004b). Adicionalmente, se incorporaron antecedentes más recientes proveniente del estudio de línea de base biológica elaborado en el marco del proyecto *Modificación RCA 96/2013 por Ampliación y Continuidad Operacional de Extracción de Áridos con Rehabilitación Ambiental en Cauce de Río Aconcagua, Quillota* (SEA, 2024).

### 4.3. CAMPAÑA DE MUESTREO

La campaña de muestreo tuvo como propósito aplicar los índices biológicos seleccionados (IM y ChBMWP) y complementar esta información con la medición de parámetros físicos y químicos del agua. Se llevó a cabo durante una única estación del año, correspondiente al invierno. Aunque diversos estudios ambientales recomiendan realizar muestreos en épocas contrastantes (invierno – verano), para capturar la variabilidad estacional del sistema, este estudio se limitó a una sola campaña debido a limitaciones de tiempo.

Previo a la ejecución de la campaña, se definieron las estaciones de muestreo, procurando abarcar distintos sectores del tramo estudiado y diferentes grados de intervención antrópica. Para su selección, se consideraron criterios como la representatividad del tramo, la accesibilidad y la proximidad a fuentes de actividades antrópicas. Con base a estos criterios, se preseleccionaron tres puntos a lo largo del sector de estudio, y se registraron sus coordenadas para su verificación posterior en terreno. En la Tabla 4.5 se presentan las estaciones seleccionadas, junto con las coordenadas registradas.

**Tabla 4.5.** Estaciones de muestreo propuestas en el sector de estudio

Estaciones de muestreo	Coordenadas UTM 19H		Altura
	X	Y	
E1			
E2			
E3			

Se planificó previamente la evaluación de rutas de acceso hacia las estaciones de muestreo, utilizando herramientas digitales como Google Earth PRO, con el fin de evaluar la accesibilidad de los sitios y las condiciones del terreno.

En cuanto a los equipos y materiales, se estimaron los elementos básicos necesarios para la recolección de macrófitas acuáticas y macroinvertebrados bentónicos, junto con los instrumentos para medir los parámetros físico-químicos del agua. La Tabla 4.6, que se presenta a continuación, se elaboró con el propósito de estimar los equipos y materiales proyectados para la campaña de muestreo.

**Tabla 4.6.** Equipos y materiales estimados para la campaña de muestreo

Categoría	Elemento	Uso

### **4.3.1 Aplicación de índices biológicos**

Con el fin de complementar el análisis físico-químico del agua, se aplicaron dos índices biológicos ampliamente utilizados en el monitoreo ambiental: el índice de Macroinvertebrados Bentónicos (ChBMWP) y el Índice de Macrófitas acuáticas (IM). Estos índices permitieron evaluar la calidad del río considerando la respuesta biológica frente a presión antrópicas. Para su aplicación, se utilizaron las mismas estaciones de muestreo empleadas para los parámetros físico y químicos. La metodología utilizada para la aplicación se detalla a continuación.

#### **4.3.1.1 Índice de Macrófitas (IM)**

Para la evaluación de la calidad del agua mediante macrófitas acuáticas, se utilizó el índice de Macrófitas propuesto por Suárez *et al.* (2005). Este índice asigna valores de sensibilidad a las especies de macrófitas, en función de su presencia y cobertura dentro del cauce, considerando que su composición y abundancia refleja el estado ecológico del sistema.

Se establecieron tres puntos de muestreo dentro del área de vigilancia. En cada estación, se delimitó un tramo continuo de 100 metros, siguiendo la dirección del cauce y procurando incluir la mayor diversidad de hábitats posibles. Para ello se consideraron distintos microhábitats acuáticos, tales como zonas con vegetación sumergida, orillas con vegetaciones emergente, sectores de corriente lenta con acumulación de sedimentos. Esta selección permitió abarcar la heterogeneidad del río y asegurar la representatividad de las comunidades presentes.

Dentro de cada transecta se aplicaron cuadrantes de muestreo de 2 metros de largo por 1 metro de ancho. Los cuadrantes se dispusieron de manera sistemática, priorizando los sectores con mayor desarrollo vegetal y distribuyéndose entre los diferentes microhábitats identificados. Para cada taxón registrado, se estimó su cobertura mediante una escala de tres rangos: < 5 %, 5-50 %, > 50 %. Los

valores de sensibilidad y cobertura utilizados para determinar el índice se basaron en la tabla de puntuación propuesta por Suárez et al. (2005), presentada en la Figura 4.6.

Estación:		N° / Código			
Fecha		Muestreador			
Taxa/Grupos Funcionales		Cobertura %			Puntuación Total
		< 5	5-50	> 50	
Grupo I	Musgos, Hepáticas	9	10	8	
	Rodoficeas: (p.e Batrachospermum)	9	10	8	
	Nostoc, Rivulariaceas, Chaetophorales	9	10	8	
Grupo II	Ranunculus, Myriophyllum	6	7	5	
	Potamogeton ( excepto P. pectinatus)	6	7	5	
	Zannichellia	6	7	5	
	Ruppia	6	7	5	
	Charales	6	7	5	
	Cloroficeas filamentosas	6	7	5	
Grupo III	Nasturtium, Apium, Verónica	3	4	2	
	Xanthophyceas : (Vaucheria)	3	4	2	
	Zygnematales	3	4	2	
	Tapetes continuos de perifiton pardo amarillento de diatomeas	3	4	2	
	Cloroficeas incrustantes	3	4	2	
Grupo IV	Oscillatoriales	1	2	0	
	Cladophora	1	2	0	
	Enteromorpha	1	2	0	
	Potamogeton pectinatus	1	2	0	
	Lemna	1	2	0	
<b>Total Índice:</b>					

**Figura 4.6.** Tabla de puntuación del índice de macrófitas para evaluación de cuerpos de agua.  
Fuente. Suárez, M. L., Vidal-Abarca, M. R., & Sánchez-Montoya, M. M. (2005). *Biological indices for ecological status Assessment of Mediterranean streams based on macrophytes: the Macrophyte Index (IM)*.

A cada especie identificada se le asignó un valor indicador de sensibilidad, el cual se asocia con el porcentaje de cobertura observado. A partir de esta información, se obtuvo una puntuación parcial por taxon, conforme a la escala presentada en la Figura 4.6. El índice final por estación se calculó como la suma de todas las puntuaciones parciales obtenidas en los cuadrantes de esa transecta de 100 metros. El valor total obtenido se comparó con una escala de calidad definida para el índice de macrófitas (Tabla 4.7).

**Tabla 4.7.** Clases de calidad definidas para el índice de macrófitas (IM).

Clases de Calidad	Nivel de calidad	Valor del IM	Color
I	Muy buena	>30	Azul
II	Buena	21-30	Verde
III	Aceptable	13-20	Amarillo
IV	Mala	5-12	Naranja
V	Muy mala	<5	Rojo

Fuente. Extraído de Suárez, M. L., Vidal-Abarca, M. R., & Sánchez-Montoya, M. M. (2005). *Biological indices for ecological status assessment of Mediterranean streams based on macrophytes: The Macrophyte Index (IM)*.

#### 4.3.1.2 Índice de Macroinvertebrados (ChBMWP)

Para la evaluación mediante macroinvertebrados bentónicos, se aplicó el índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), también conocido como ChBMWP, adoptado a las condiciones chilenas. Este índice permite evaluar la calidad del agua mediante la presencia y tolerancia de macroinvertebrados bentónicos frente a la contaminación.

Para la aplicación del índice ChBMWP, se realizó muestreos cualitativos en tres puntos previamente definidos del río, seleccionando, en cada caso, un tramo representativo de aproximadamente 10 – 20 metros de longitud. En cada sitio se realizó un recorrido visual para identificar los diferentes microhábitats presentes, tales como orillas con o sin vegetación, fondos de piedra, grava y arena, además de sectores con y sin corriente. Esta estrategia asegura la representatividad de las muestras obtenidas.

La recolección de los organismos se llevó a cabo mediante redes de arrastre tipo D o Surber, dependiendo de las características del hábitat. En cada punto se realizaron tres redadas, abarcando los distintos microhábitats, hasta que no se registren nuevas familias en redadas adicionales. En las réplicas de cada muestra se consideraron diversos sustratos y condiciones. Se incluyeron organismos bajo y adheridos a piedras, restos de vegetación, sectores con mayor profundidades con sustratos arenosos o fangosos, así como áreas cercanas a la orilla. Para asegurar la diversidad de las muestras se incorporó el levantamiento de sustratos en cada microhábitat, lo que permitió obtener una representación amplia de las comunidades presentes en el sistema fluvial.

El material biológico obtenido en cada muestra se reunió en frascos, los cuales se conservaron en alcohol etílico al 70% y se transportaron al laboratorio para su posterior análisis. En el laboratorio, los organismos fueron separados cuidadosamente con pinzas y observados al estereomicroscopio. La identificación se realizó hasta nivel de familia, a cada familia identificada se le asignó un valor de tolerancia para macroinvertebrados bentónicos dulceacuícolas, el cual se presenta en la Figura 4.7.

Familias presentes		Puntuación
P	Austroperlidae, Diaphnoidae, Eustheniidae, Notonemouridae, Perlidae	10
E	Nesameletidae, Ameletopsidae, Oligoneuriidae, Coloburiscidae	
T	Anomalopsychidae, Calamoceratidae, Helicophidae, Kokriidae, Philopotamidae, Sericostomatidae, Stenopsychidae	
D	Blephariceridae	
C	Limnichidae, Psephenidae	9
E	Leptophlebiidae	
D	Glossosomatidae, Limnephilidae	
T	Athericidae, Dixidae	8
E	Oniscigastridae	
T	Phylorheytiidae, Polycentropodidae, Tasiimidae	
O	Calopterygidae, Libellulidae	
Cr	Parastacidae	
P	Gripopterygiidae	7
T	Ecnomidae, Hydrobiosidae, Leptoceridae,	
O	Lestidae, Gomphidae, Corduliidae, Coenagrionidae	
T	Hydroptilidae	6
D	Ceratopogonidae	
O	Petaluridae, Aeshnidae	
C	Elmidae	
Cr	Aegliidae, Hyallelidae	
M1	Ancylidae, Chilinidae, Hyriidae	
E	Baetidae	
T	Hydropsychidae	
Mg	Corydalidae	
D	Tipulidae, Simuliidae	
C	Dryopidae, Gyrinidae	
Tu	Turbellaria*	
M1	Amnicolidae	
E	Caenidae	4
Mg	Sialidae	
D	Tabanidae, Stratiomyidae, Empididae, Limoniidae, Psychodidae	
C	Haliplidae, Curculionidae, Psephenidae	
H	Belostomatidae	
A	Acari*	
C	Hydrophilidae, Dytiscidae	
H	Gerridae, Notonectidae, Corixidae	
M1	Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae, Sphaeriidae	
Cr	Janiiridae	
Hi	Hirudinea*	
D	Chironomidae, Culicidae, Ephydriidae	2
D	Syrphidae	1
Ol	Oligochaeta	

**Figura 4.7.** Valores de tolerancia para macroinvertebrados bentónicos dulceacuícola en ríos mediterráneos de Chile.

Fuente. Extraído de Alba-Tercedor, J. (1996). *Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos.*

Para facilitar la revisión e identificación de los contenidos en las guías de identificación y aclarar la figura anterior, se presenta la Tabla 4.7.

**Tabla 4.8.** Orden y/o clase de los valores de tolerancia para macroinvertebrados bentónicos

Letras	Nombre
P	Plecóptera
E	Ephemeroptera
T	Tricoptera
D	Díptera
C	Coleóptera
O	Odonata
M	Megaloptera
H	Hemiptera
A	Acarí
Cr	Crustácea
MI	Mollusa
Mg	Megaloptera
Tu	Turbellaria
Hi	Hirudinea
OI	Oligochaeta

Una vez identificadas las familias por punto, se les asignó un valor de sensibilidad según la escala ChBMWP. La suma de estos valores entregó el puntaje total del índice (Ec.1), el cual se interpretó según los rangos establecidos para determinar la clase de calidad del agua (Figura 4.8).

$$ChBMWP = \sum ti$$

**Ec. 1:** Índice ChBMWP

- Donde ti es el puntaje de tolerancia de cada familia.

Clase	Calidad	ChBMWP	Significado
1a 1b	Muy Buena	150 101-120	Aguas muy limpias no contaminadas o poco alteradas
2	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas
3	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas
4	Critica	16-35	Aguas muy contaminadas
5	Muy crítica	≤ 15	Aguas fuertemente contaminadas

**Figura 4.8.** Calidad del agua basada en los valores del índice ChBMWP.

Fuente. Extraído de Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos.

Para la determinación taxonómica, se utilizaron las siguientes fuentes: *Macroinvertebrates.org* (s.f), la *Guía para la identificación de invertebrados acuáticos* de Palma (2013), y la *Guía de identificación de macroinvertebrados bentónicos de la zona central de Chile* (Universidad de Chile, 2018).

### 4.3.2 Medición de parámetros físicos y químicos

Para cumplir con el tercer objetivo específico, que consiste en evaluar la calidad del agua en el tramo del río Aconcagua mediante parámetros físicos y químicos, se aplicó una metodología que combinó la revisión de información secundaria y trabajo de campo. Se utilizaron registros provenientes de estaciones de monitoreo cercanas al área de estudio, priorizando aquellos validados y que contaban con continuidad temporal, los cuales fueron contrastados con los límites establecidos en la NSCA para el río Aconcagua (véase Tabla 4.9 y 4.10).

**Tabla 4.9.** Información geográfica área de vigilancia AC-4.

Área de vigilancia	Límites	Coordenadas	
		N	E
AC-4	De: Est. DGA en romeral	6365625	312329
	Hasta: límite con estuario	6354774	268042

**Tabla 4.10a.** Parámetros físico-químicos normados del área de vigilancia AC-4.

Parámetro	Unidades	AC-4
Aluminio total	mg/l	2,1
Arsénico total	mg/l	0,005
Aceite y grasas	mg/l	10
Coliformes fecales	NPM/100 ml	240
Conductividad eléctrica	μS/cm	635
Cloruros	mg/l	49
Cromo total	mg/l	0,05
Cobre total	mg/l	0,07
DBO	mg/l	4
DQO	mg/l	21
Hierro total	mg/l	2,12
Hierro disuelto	mg/l	0,054
Mercurio total	mg/l	0,002
Manganeso total	mg/l	0,48
Molibdeno total	mg/l	0,05
Níquel total	mg/l	0,05
N-nitrato	mg/l	3,7
Oxígeno disuelto	mg/l	7,1
Plomo total	mg/l	0,070
PH máx.	-	9
pH min	-	6
Fosforo de fosfatos	mg/l	0,89
Fosforo total	mg/l	0,9

**Tabla 4.10b.** Continuación Parámetros físico-químicos normados del área de vigilancia AC-4.

Parámetro	Unidades	AC-4
Sulfatos	mg/l	257
Solidos suspendidos totales	mg/l	32
Zinc total	mg/l	0,010

Para la campaña de terreno, se aplicó una medición directa de variables físico-químicas utilizando un equipo multiparámetro portátil, previamente calibrado. Las variables a registradas in situ fueron las siguientes.

- Temperatura
- pH
- conductividad eléctrica
- Oxígeno disuelto
- Solidos disueltos totales

Estas mediciones permitieron caracterizar las condiciones locales del cuerpo de agua y complementar los datos disponibles de la información secundaria. Durante la campaña de terreno, se siguieron protocolos establecidos para asegurar la calidad y trazabilidad de datos recolectados. La medición se efectuó conforme a lo dispuesto en la Norma Chilena NCh 411.

#### 4.3.2.1 Análisis comparativo

Los valores obtenidos en terreno fueron comparados con los límites establecidos por la NSCA N° 41 y la Norma Chilena NCh 1333, según el uso del recurso hídrico, además de los datos obtenidos desde la estación de monitoreo seleccionada (véase Tabla 4.11). Estas dos normativas fueron seleccionadas debido a que proporcionan referencias claras y estandarizadas para evaluar la calidad del agua en Chile. La NSCA N° 41 establece los límites de contaminantes específicos para la protección de las aguas del río Aconcagua, mientras que la NCh 1333 clasifica la calidad del agua en función de su uso, lo que permite una evaluación más contextualizada del recurso hídrico según su destino. Se aseguró la comparabilidad técnica considerando estacionalidad de los datos.

**Tabla 4.11.** Cuadro comparativo de resultados con normativas aplicables.

Parámetro	Resultado campaña	Resultado Estación de monitoreo DGA Pte Colmo	NSCA 41	NCh 1333
Temperatura				
pH				
Conductividad				
Oxígeno Disuelto				
Solidos disueltos totales				

El análisis comparativo tuvo como propósito evaluar de manera referencial la calidad del agua en el área de estudio, utilizando los parámetros medidos in situ durante la campaña 2025 y contrastándolos con los registros de la estación de la DGA en el periodo 2024.

Dado que la NSCA para la cuenca del río Aconcagua exige contar con al menos dos años consecutivos de monitorio para identificar el cumplimiento o excedencia normativa, la cual está basada en el cálculo de percentiles y promedios bianuales, este estudio adopto un enfoque de carácter referencial. En este contexto, los valores obtenidos del estación de la DGA 2024 se utilizan de manera referente para el 2025, complementando los parámetros que no se pudieron medir en la campaña 2025, permitiendo compararlo con la norma secundaria.

Así mismo, los parámetros físicos y químicos registrados in situ se contrastaron con los valores guías de la Norma Chilena 1333, en sus categorías de vida acuática, permitiendo una evaluación puntual complementaria.

#### **4.4. Análisis de costos**

Con el objetivo de dar cumplimiento al último objetivo específico, se realizó una estimación de los costos involucrados en la implementación de los métodos utilizados para la evaluación de la calidad del agua en el área de vigilancia AC-4 del río Aconcagua. Este análisis tuvo como finalidad identificar y cuantificar los gastos que conlleva las actividades de monitoreo de parámetros físico-químicos y la aplicación de índices biológicos.

Los costos fueron estimados en base a valores obtenidos desde mercado público, las cotizaciones desde laboratorios certificados, estimaciones de honorarios para personal calificado que podría ejecutar este tipo de estudios y consultas a profesionales. Específicamente, se utilizaron las listas de precios de análisis de agua proporcionados por el Laboratorio AGROLAB y el Laboratorio de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV), Laboratorio AGROLAB, basado en cotizaciones de AGROLAB (s.f.), y el Laboratorio de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (2021).

El análisis de costos se estructuró considerando dos escenarios que permiten visualizar los costos asociados a cada tipo de metodología aplicada:

- Escenario 1: Evaluación con parámetros físico-químicos, incluye los costos relacionados con:
  - Muestreo y preservación de muestras, servicios de laboratorios para análisis fisicoquímicos exigidos por la NSCA, personal de apoyo en terreno y gastos operacionales (Transporte, insumos, equipos, entre otros), (véase Tabla 4.12).
- Escenario 2: Evaluación con parámetros fisicoquímicos e índices biológicos, incorpora además de los elementos del escenario 1:
  - Muestreo de macroinvertebrados bentónicos y macrófitas acuáticas, identificación taxonómica de las muestras, honorarios de especialistas en biota acuática, materiales, (véase Tabla 4.13).

**Tabla 4.12. Costos estimados para Escenario 1.**

<b>Categoría</b>	<b>Total UF</b>	<b>Total CLP</b>
Muestreo de agua		
Asistente de terreno		
Gastos laboratorio		
Gastos Operaciones		

El muestreo de agua considera la recolección de muestras para el análisis físico-químicos del recurso, incluyendo lo siguiente:

- Participación de un profesional certificado responsable de la toma, preservación y traslado de las muestras.
- Elaboración de un informe técnico con los resultados y análisis correspondientes.

En el caso de los macroinvertebrados bentónicos y macrófitas, se contemplan los siguientes costos:

- Gestión y obtención del permiso de pesca requerido para el muestreo.
- Participación de un profesional especializado en biología acuática.
- Elaboración del informe técnico, que incluye los resultados, interpretación y análisis de los datos obtenidos.
- Reuniones de revisión y corrección del informe.

Los gastos de laboratorio consideraron las actividades analíticas y de identificación realizadas en instalación especializadas, incluyen:

- Identificación taxonómica de los macroinvertebrados y macrófitas acuáticas.
- Análisis de parámetros físicos y químicos del agua.
- Procesamiento y validación de resultados.

Los gastos operaciones corresponden a los costos asociados a la logística general del estudio, tanto en terreno como en laboratorio. Se consideran los siguientes ítems:

- Publicación en el diario oficial, según los requerimientos institucionales del proyecto.
- Equipos e insumos necesarios para el trabajo de campo y las actividades de laboratorio.
- Envío y transporte de muestras hacia los laboratorio de análisis.
- Arriendo de vehículo, combustible, peajes y viáticos asociados a la salida a terreno.

**Tabla 4.13. Costos estimados para Escenario 2.**

<b>Categoría</b>	<b>Total UF</b>	<b>Total CLP</b>
Muestreo de agua		
Asistente de terreno		
Macroinvertebrados bentónicos		
Macrófitas acuáticas		
Gastos Laboratorio		
Gastos operaciones		

Finalmente, se presentó una tabla comparativa con los costos totales estimados para los dos escenarios (véase tabla 4.14), lo que permitió describir las variaciones en los costos entre ambos escenarios.

**Tabla 4.14.** *Comparación general de costos totales*

<b>Escenario</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo total estimado</b>
1		
2		

## 5. RESULTADOS

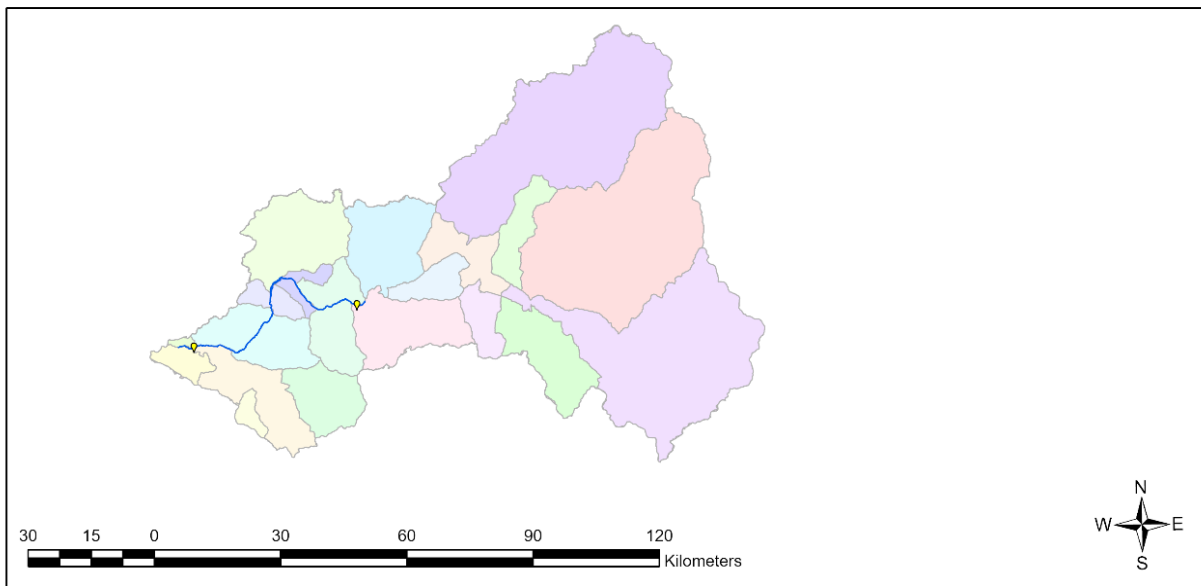
### 5.1. Área de vigilancia AC-4

El área de vigilancia AC-4 corresponde a uno de los tramos definidos en la cuenca del río Aconcagua, en el marco de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA), establecidas mediante el Decreto Supremo N°41 del Ministerio del Medio Ambiente. Estas áreas de vigilancia dividen el curso del río en segmentos representativos, con el propósito de regular las concentraciones de parámetros físicos y químicos, garantizando así la protección de la calidad del recurso hídrico y de los ecosistemas acuáticos asociados.

El río Aconcagua cuenta con cinco áreas de vigilancia (AC-1 a AC-5), de las cuales el área AC-4 constituye uno de los tramos más relevantes dentro del sistema. Esta área dispone de dos estaciones de monitoreo administradas por la dirección General de Aguas (DGA), encargadas de registrar y analizar las condiciones físico-químicas del agua para el seguimiento de su calidad ambiental. Esta área se extiende aproximadamente 60 km, desde la estación de monitoreo de la DGA en Romeral hasta el límite con el estuario del río Aconcagua, abarcando principalmente la provincia de Quillota y alcanzando parte de la provincia de Valparaíso, atravesando las comunas de Quillota, La Cruz, La Calera e Hijuelas, y se extiende aguas abajo hacia la provincia de Valparaíso, donde comprende sectores de las comunas de Concón principalmente, correspondiente al tramo final del río.

En la Figura 5.9 se presenta un mapa elaborado en el software ArcGIS, en el cual se delimita la cuenca del río Aconcagua y se representa gráficamente el tramo correspondiente al área de vigilancia AC-4. Además, se muestran las principales comunas que se encuentran dentro de los límites de la cuenca.

# Cuenca Aconcagua, Área de Vigilancia AC-4



**Figura 5.9.** Área de vigilancia AC-4 en la cuenca del río Aconcagua.

*Nota.* Elaboración propia a partir de información DPA, 2023

## 5.1.1 Caracterización Abiótica

### 5.1.1.1 Clima

El sector presenta un clima templado con estación seca prolongada. Según la clasificación climática de Köppen-Geiger, predomina un clima templado cálido con lluvias invernales (Csb), característico de los valles interiores de la zona central de Chile. En la zona media de la cuenca, la precipitación media anual alcanza los 261 mm/año, de acuerdo con los registros hidrometeorológicos disponibles (DGA, 2004b).

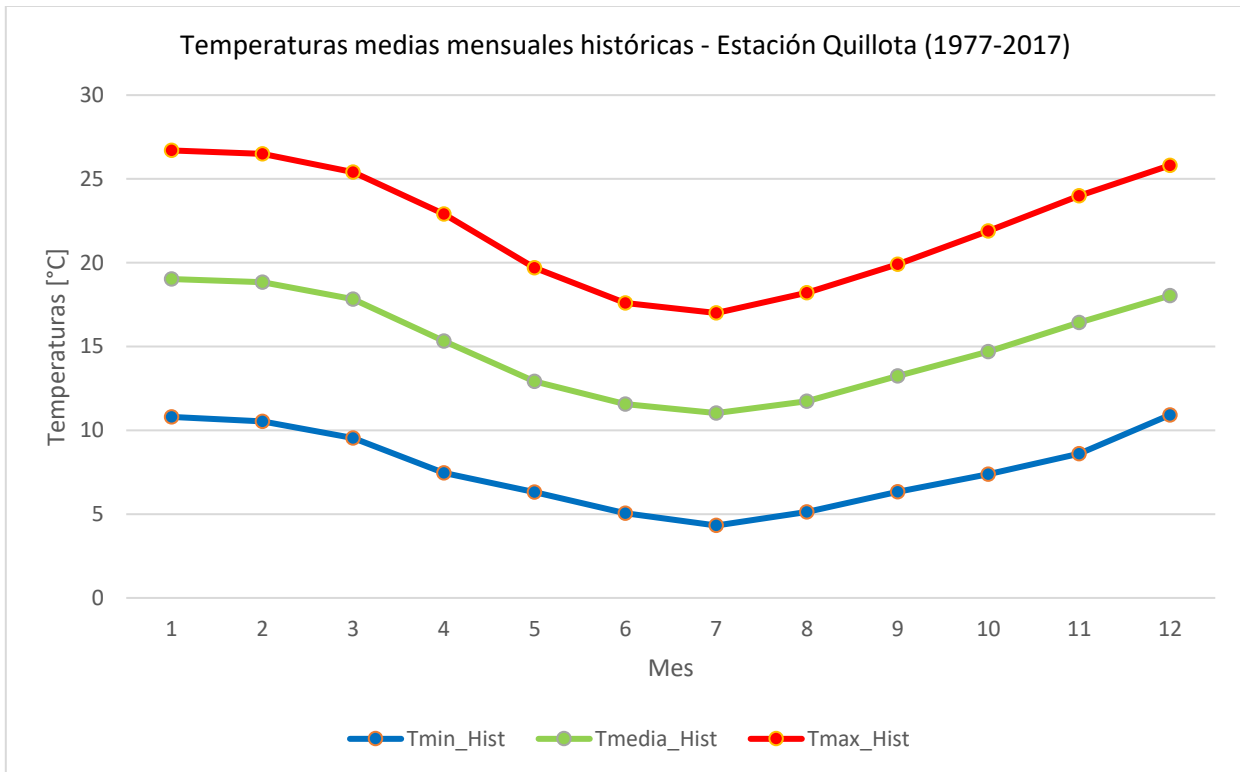
La temperatura media anual en la zona es de aproximadamente 15,5 °C, mientras que las precipitaciones anuales varían entre 250 y 300 mm, aumentando progresivamente con la altitud hacia la cordillera (Insunza, 2006). Además, las precipitaciones desempeñan un papel importante como agente externo, induciendo procesos erosivos y de remoción en masa, evidencia la estrecha relación entre el clima y los procesos geomorfológicos superficiales (Morgan, 1997).

Para complementar la caracterización climatológica, se utilizó información proveniente de la estación meteorológica de la DGA en Quillota, véase Tabla 5.15.

**Tabla 5.15. Características de la estación meteorológica.**

Estación	Coordenadas UTM	
	Este	Norte
Quillota	293.618	6.358.074

Se extrajo información histórica de la estación desde 1977 hasta el 2017 y se calcularon las temperaturas medias mensuales. Estos datos fueron graficados y se presentan en la Figura 5.10.



**Figura 5.10. Temperaturas medias, máximas y mínimas mensuales registradas en la Estación Quillota durante el período de 1977-2017.**

Fuente. Elaboración con datos de la DGA.

Los registros analizados permiten identificar un comportamiento térmico característico del clima templado cálido con lluvias invernales (Csb). Este tipo de clima presenta una marcada estacionalidad, con veranos secos y cálidos e inviernos fríos y lluviosos. Las temperaturas medias mensuales varían entre 11 °C en julio y 19 °C en enero, alcanzando una temperatura media anual cercana a 15,5 °C. Esta amplitud térmica anual de aproximadamente 8 °C es típico de los climas mediterráneos del valle del Aconcagua.

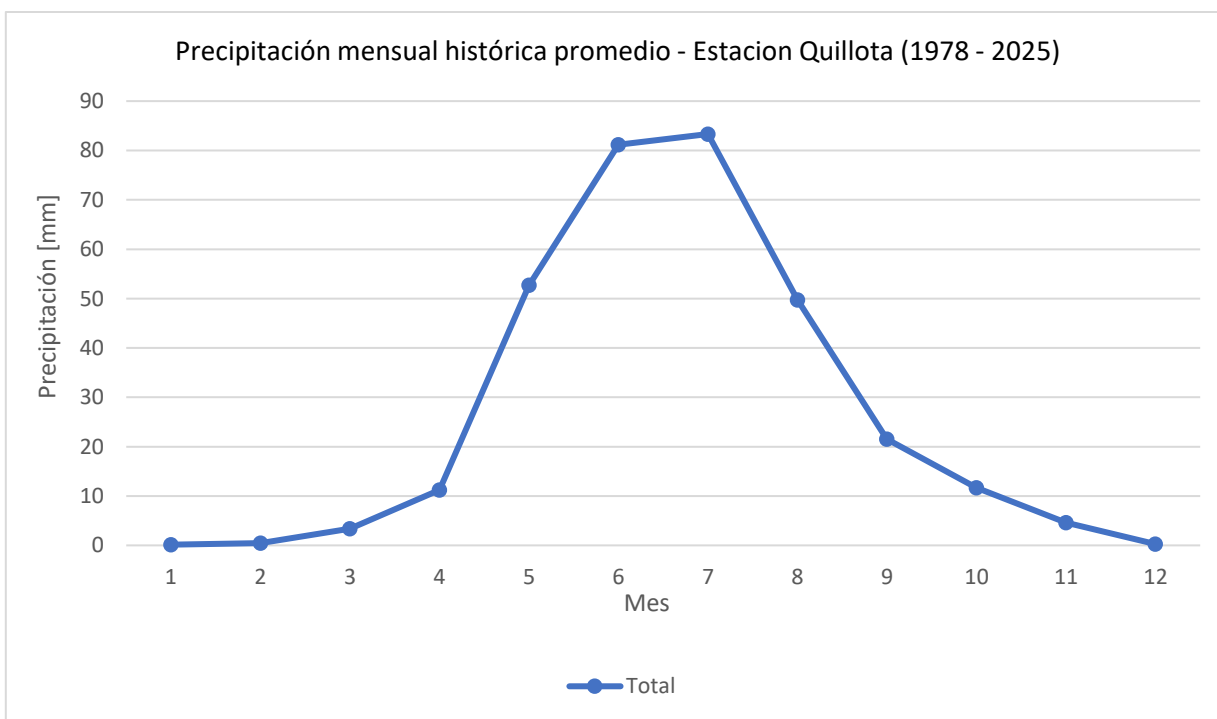
En cuanto a las temperaturas máximas promedio, los valores más altos se registran durante el verano, con 26,7 °C en enero y 26,5 °C en febrero, mientras que los más bajos se observan en junio y julio, entre 17,6 °C y 17 °C, respectivamente. En el caso de las temperaturas mínimas disminuyen gradualmente

desde marzo, alcanzando su valor en julio 4,3 °C, para luego aumentar progresivamente hacia diciembre. Este patrón térmico evidencia una transición estación muy marcada, donde los inviernos fríos y húmedos contrastan con los veranos cálidos y secos (véase Tabla 5.16)

**Tabla 5.16.** Promedio históricos mensuales de temperatura mínima, media y máxima (1977-2017).

Mes	TMín	TMedia	TMáx
Enero	10,8	19,0	26,7
Febrero	10,5	18,8	26,5
Marzo	9,5	17,8	25,4
Abril	7,5	15,3	22,9
Mayo	6,3	12,9	19,7
Junio	5,1	11,6	17,6
Julio	4,3	11,0	17,0
Agosto	5,1	11,7	18,2
Septiembre	6,3	13,2	19,9
Octubre	7,4	14,7	21,9
Noviembre	8,6	16,4	24,0
Diciembre	10,9	18,0	25,8

Además del comportamiento térmico del sector, otro elemento fundamental para caracterizar el clima del área corresponde al régimen de precipitaciones. La Figura 5.11 muestra la distribución promedio mensual de la precipitación registrada en la estación Quillota durante el periodo 1978 – 2025.



**Figura 5.11.** Comportamiento promedio mensual de las precipitaciones en la Estación Quillota (1978-2025).

Nota. Elaboración con datos de la DGA.

Se evidencia un régimen pluviométrico típicamente mediterráneo, con lluvias concentrada en los meses de invierno y una marcada sequía durante la temporada estival.

Según los datos obtenidos, las precipitaciones comienzan a incrementarse gradualmente a partir de abril, alcanzando su máximo valor entre junio y julio, con un 81,18 mm y 83,33 mm respectivamente, los cuales representan los meses más lluviosos del año. Posteriormente, las precipitaciones disminuyen progresivamente hacia septiembre y octubre con un 21,5 mm y 11,7 mm, hasta alcanzar valores nulos durante verano, especialmente en enero y febrero.

El promedio anual de precipitación asciende a aproximadamente 270 mm de agua acumulada durante todo un año. Esto indica que el área de vigilancia AC-4 recibe poca precipitación anual, lo que confirma su condición semiárida, típica de los climas mediterráneos cálidos del valle Aconcagua. Esta distribución evidencia una alta estacionalidad hídrica, donde la mayoría de las precipitaciones anual se concentra entre los meses de mayo y agosto (véase Tabla 5.17).

**Tabla 5.17.** Precipitación mensual promedio histórica en la Estación Quillota (1978 - 2025).

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Precipitación [mm]	0,14	0,45	3,40	11,23	52,69	81,18	83,33	49,73	21,50	11,67	4,63	0,24

### 5.1.2 Uso del suelo

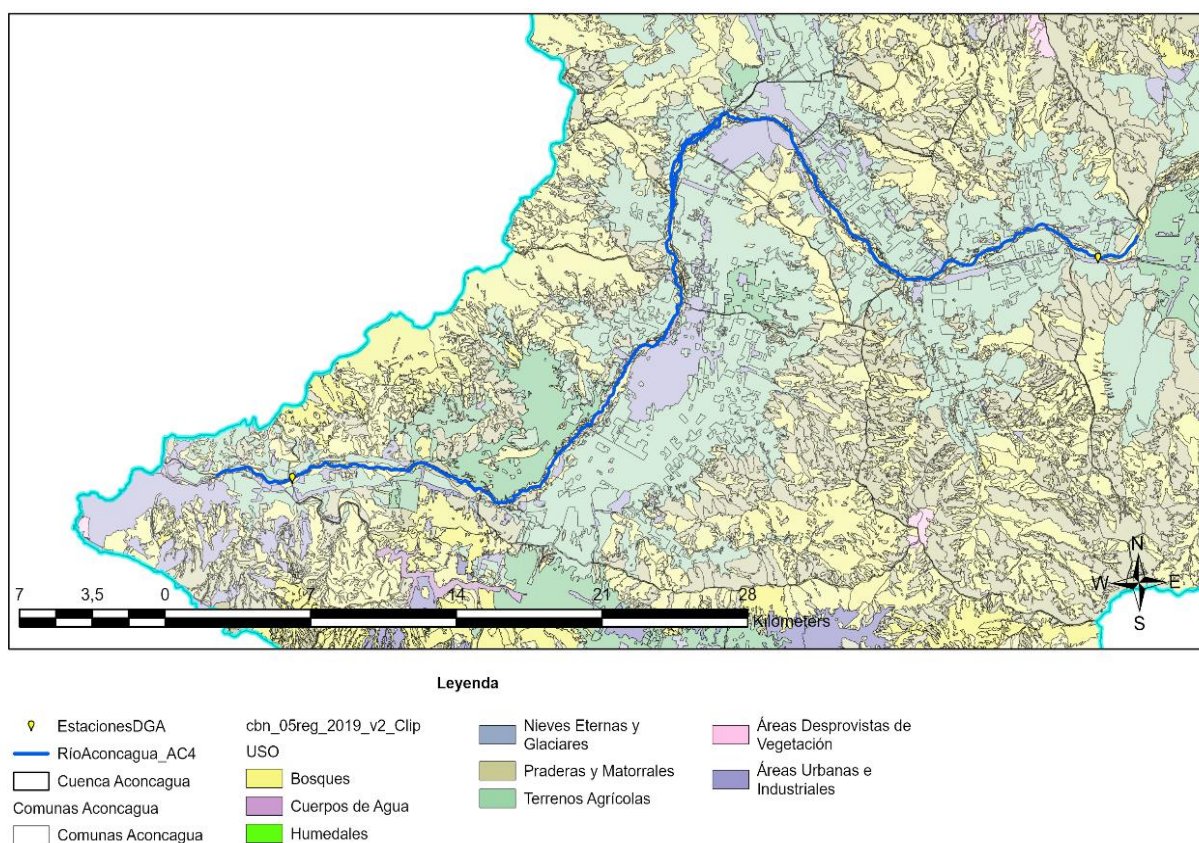
De acuerdo con diversas fuentes bibliográficas (DGA, 2004b), los principales usos del suelo en la cuenca del río Aconcagua corresponden principalmente a la actividad agrícola, con algunos terrenos destinados a rotación cultivo–pradera. Este uso cumple un rol relevante dentro de la cuenca, tanto por su gran extensión como por su impacto ambiental y económico. Las zonas agrícolas más extensas y productivas se localizan en las provincias de Quillota, San Felipe y Los Andes, donde predominan los cultivos de cereales y chacras, especialmente trigo y porotos

En cuanto al uso forestal, este se desarrolla de manera significativa en determinadas zonas de la cuenca. Las plantaciones de bosque abarcan una superficie de 3.394 hectáreas, equivalentes aproximadamente al 0,5% del total, mientras que el bosque nativo ocupa 29.226 hectáreas. Las provincias con mayor superficie destinada a la actividad forestal son Quillota y Valparaíso, concentrando un 64% y un 35%, respectivamente, de este tipo de uso del suelo

El uso urbano del suelo se concentra principalmente en el sector poniente de la cuenca, donde se ubica la mayor parte de la población. Las ciudades más pobladas son Quillota, San Felipe, Los Andes y La Calera, que en conjunto alcanzan un total de 227.009 habitantes, según el censo del año 2002. (DGA, 2004b)

Cabe señalar que esta información corresponde a un análisis general a nivel de cuenca. Dado que no se dispone de datos específicos para caracterizar los usos del suelo en las áreas de vigilancia del río Aconcagua, se utilizó la cartografía del Catastro y Actualización de los Recursos Vegetacionales y Uso de la Tierra elaborada por CONAF, disponible en el portal de Planificación Catastral de la IDE Minagri. (CIREN, 2019). Para este estudio se empleó la edición 2019 correspondiente a la Región de Valparaíso y, mediante el programa ArcGIS, se recortó el tramo del río Aconcagua que abarca el área de vigilancia AC-4. En este análisis se distinguieron diversas clases de uso del suelo, tales como terrenos agrícolas, áreas urbanas e industriales, praderas y matorrales, bosques, humedales, cuerpos de agua, áreas desprovistas de vegetación y zonas con nieve. En la Figura 5.12 se presentan los usos identificados en el tramo AC-4.

## Uso de suelo en área de vigilancia AC-4, cuenca del río Aconcagua



**Figura 5.12.** Usos de suelo, área de vigilancia AC-4.

En el tramo AC-4 de la cuenca del río Aconcagua, la cobertura dominante son bosques y terrenos agrícolas. Estos últimos se extienden casi de forma continua, interrumpidos solo por zonas urbanas e industriales.

Las comunas que abarca el área de vigilancia, junto con el uso de la superficie correspondiente a cada una, se presentan en la Tabla 5.17. De acuerdo con la información del Sistema de Información

Territorial (SIT) de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) (CONAF, 2019), se extrajo la información sobre los usos de superficie de cada comuna de la Región de Valparaíso, mostrando en la Tabla 5.18 únicamente aquellas que forman parte del AC-4.

**Tabla 5.18.** Usos de suelos por comuna dentro del área de vigilancia AC-4.

Tipo de uso	Quillota	Calera	Hijuelas	La Cruz	Limache
Áreas urbanas e industriales	1.447 ha	917 ha	476 ha	218 ha	3.153 ha
Terrenos agrícolas	11.256 ha	1.875 ha	8.323 ha	4.201 ha	5.898 ha
Praderas y matorrales	5.305 ha	708 ha	7.541 ha	425 ha	5.414 ha
Bosques	12.060	2.458 ha	10.097 ha	2.926 ha	14.694 ha
Áreas sin vegetación	64 ha	2,5 ha	328 ha	16 ha	4,7 ha
Cuerpos de aguas	118 ha	18 ha	41 ha	5,1 ha	404 ha

*Fuente.* Información extraída de CONAF, 2019

Cabe mencionar que los tipos de usos del suelo que no aparecen en la tabla, como humedales o zonas de nieve, no presentan superficie en ninguna de las comunas. Es decir que, según los datos obtenidos del Sistema de Información Territorial (SIT), no se registran hectáreas correspondientes a esos usos en este tramo de la cuenca.

En este tramo de la cuenca se observa en general, que las categorías con mayor superficie corresponden a bosques y terrenos agrícolas, seguidas por praderas y matorrales, mientras que las áreas urbanas e industriales y los cuerpos de aguas presentan superficies más reducidas.

La comuna de Limache concentra la mayor superficie de bosques (14.694 ha), seguida por Quillota (12.060 ha) e Hijuelas (10.097 ha). Esto refleja un importante componente forestal dentro de estas comunas, lo que podría estar asociado tanto a la presencia de bosque nativo como de plantaciones. En cuanto a los terrenos agrícolas, Quillota destaca con 11.256 hectáreas, manteniendo su carácter fuertemente agrícola, mientras que hijuelas (8.323 ha) y Limache (5.898 ha) también presentan una proporción considerable dedicada a este uso.

Las praderas y matorrales muestran una distribución más equilibrada entre comunas, aunque sobresalen Hijuelas (7.541 ha) y Quillota (5.305 ha), lo que indica áreas de vegetación secundaria o zonas de uso ganadero y de transición. Las áreas urbanas e industriales se concentran principalmente en Limache (3.153 ha) y Quillota (1.447 ha), ambas comunas con mayor desarrollo urbano dentro del área de estudio. En contraste, La Cruz e Hijuelas presentan superficies mucho menores, lo que evidencia un uso del suelo más rural.

Si se analiza la zona ribereña del río Aconcagua, los bosques y las praderas y matorrales adquieren una mayor presencia. En varios sectores, la agricultura y las áreas urbanas se extienden muy cerca del cauce, lo que sugiere una fragmentación del corredor ribereño y posible presiones sobre la calidad del agua.



conexión con otros ecosistemas. Asimismo, su gran longitud, que es característico de los ríos principales, le permite conectar con diferentes ecosistemas.

Los ríos y esteros secundarios cumplen un papel determinante en la dinámica hidrológica de la cuenca, ya que aporten volumen de agua al cauce principal, influyendo directamente en su caudal, longitud y comportamiento estacional. Entre los afluentes más relevantes se identifican los esteros San Isidro, Rautén, Limache, Rabuco, Los Loros, El Melón y Los Litres, además de diversas quebradas menores, como La Leona, Las Masas, Las Pataguillas, Las Canteras y Agua Santa, entre otras. Estos afluentes conforman un patrón de drenaje de tipo dendrítico, de acuerdo con Perez-Pons (2015), indica que el patrón dendrítico es la forma más común de los sistemas de drenaje, donde muchas corrientes contribuyen al río principal, con forma análoga a las ramas de un árbol.

Con el fin de comprender de manera más precisa la dinámica del río, se analizó la cantidad de agua que circula por su cauce, lo que permitió identificar variaciones estacionales asociadas a las precipitaciones y al deshielo. A lo largo del área de vigilancia AC-4 se ubican diversas estaciones fluviométricas administradas por la Dirección General de Aguas (DGA). Los datos históricos correspondientes a estas estaciones fueron obtenidos desde el portal del Ministerio de Obras Públicas, a través del Visualizador de Estadísticas Hidrométricas (DGA-visualizadores, s.f), que permite consultar y descargar información oficial sobre registros meteorológicos, pluviométricos y de calidad de agua, organizados por región, tipo de estación y estado de transmisión.

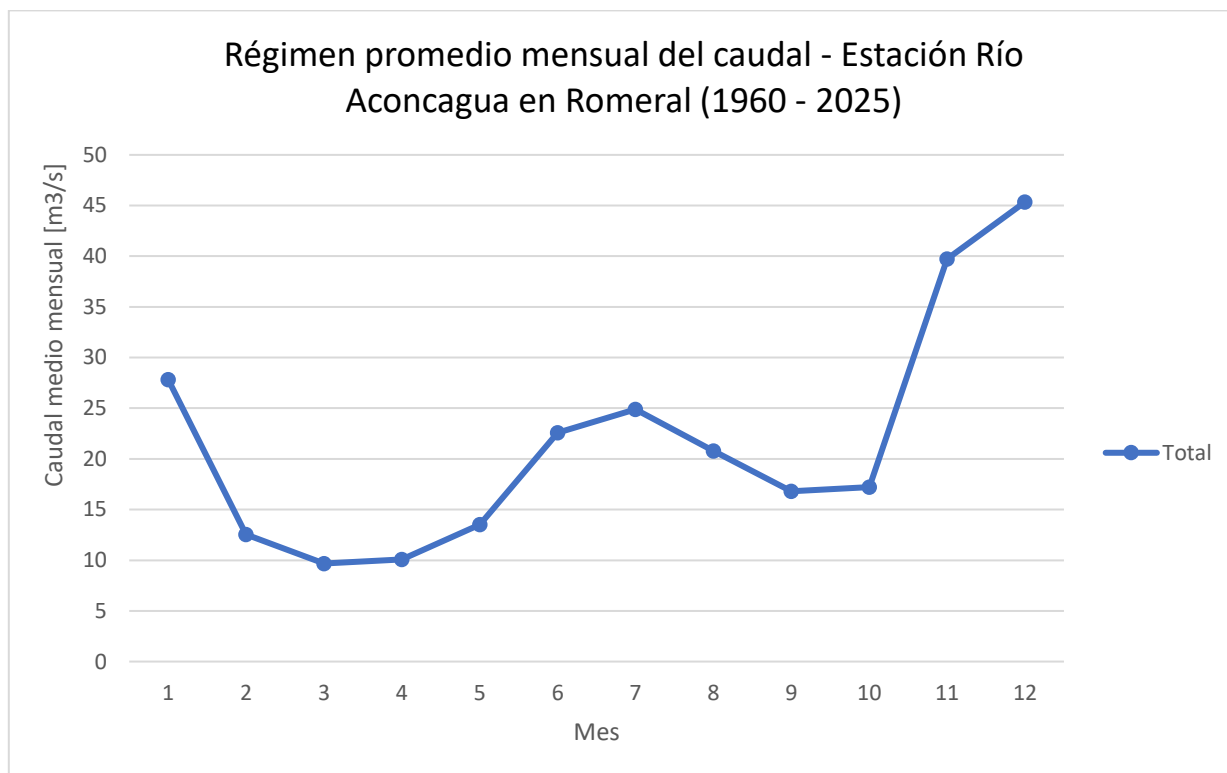
La Tabla 5.19 muestra las principales estaciones fluviométricas localizadas dentro del área de vigilancia AC-4 del río Aconcagua, indicando su ubicación, altitud y periodo de registro histórico según la información proporcionada por la Dirección General de Aguas (DGA).

**Tabla 5.19.** Estaciones fluviométricas de la DG ubicadas en el área AC-4 y sus periodos de registro histórico.

Comuna	Estación	Código	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)	Periodo de datos
			Este	Norte		
Quillota	RIO ACONCAGUA EN PUENTE BOCO (CA)	05426001	289286	6360820	120	1962-1966
	RIO ACONCAGUA EN PUENTE FERROVIARIO	05426030	282077	6353569	68	2021-2024
Hijuelas	RIO ACONCAGUA EN ROMERAL	05423003	310429	6364620	365	1960-1972 1976-1978 1994-2025
	RIO ACONCAGUA EN PANAMERICANA	05423005	303094	6364006	210	1962-1965 1979-1980 1982-1983 1988-1990
La Cruz	RIO ACONCAGUA EN PUENTE LO ROJAS	05425002	289957	6366746	170	1962-1965 2021-2022

Fuente. Información extraída de DGA, (s.f) – Visualizadores.

La estación Río Aconcagua en Romeral, ubicada en la comuna de Hijuelas, fue seleccionada como punto de referencia principal debido a que presenta la serie histórica más extensa y continua (1960–2025), lo que la convierte en la más representativa del comportamiento hidrológico del tramo medio del río Aconcagua, el comportamiento del caudal en cada estacionalidad se visualiza en la Figura 5.14.

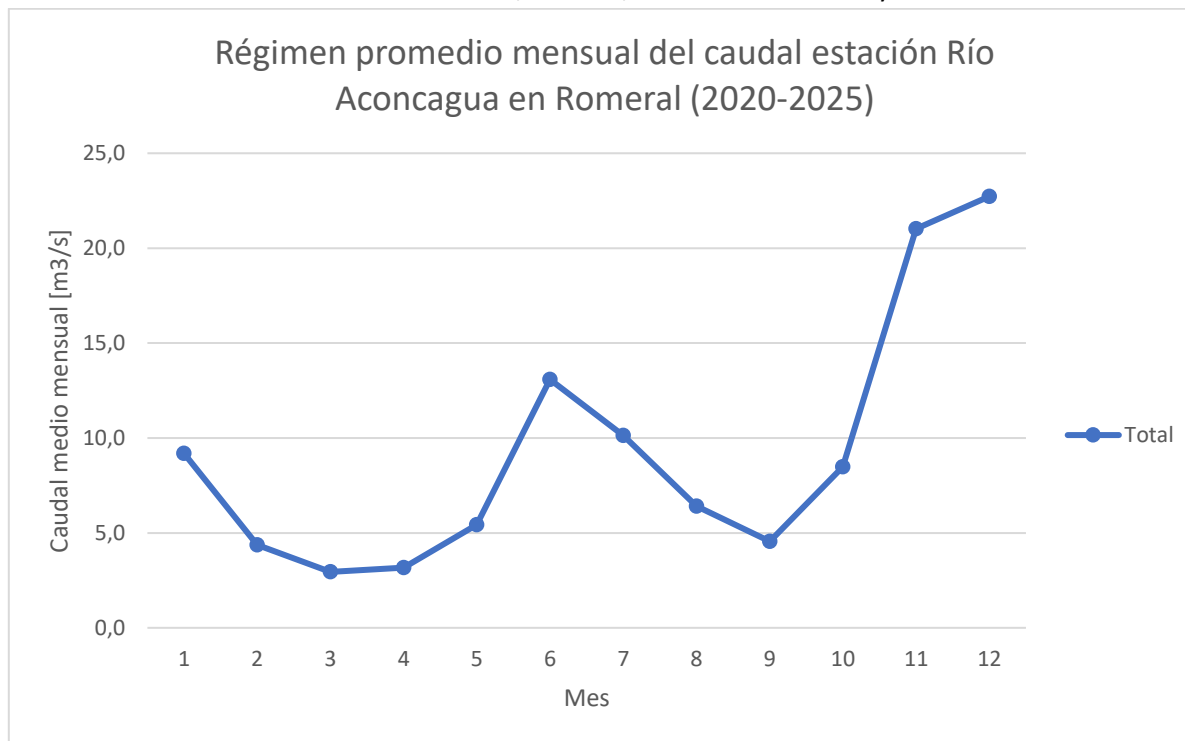


**Figura 5.14.** Régimen promedio mensual del caudal medio en la estación río Aconcagua en Romeral (1960 – 2025).

El análisis del régimen promedio mensual histórico del caudal en la estación Río Aconcagua en Romeral evidencia que el río ha presentado históricamente un régimen pluvio-nival, caracterizado por el aumento del caudal durante los meses de invierno debido a las precipitaciones y por un máximo más marcado hacia finales de primavera y comienzos de verano, asociado al deshielo cordillerano, donde las precipitaciones invernales se acumulan en forma de nieve y posteriormente, con el aumento de las temperaturas en primavera y verano, se liberan, incrementando el caudal del río.

En cambio, las estaciones Puente Lo Rojas (La Cruz) y Puente Ferroviario (Quillota) presentan registros fragmentados o recientes, por lo que no fueron consideradas como base del análisis (Anexo 1). La primera muestra un régimen pluvial invernal con mayores caudales en julio y una disminución hacia el verano; sin embargo, sus registros son fragmentados lo que limita su representatividad. La estación Quillota, por su parte, evidencia caudales más bajos y con menor estacionalidad, lo que indica una reducción progresiva del caudal en la zona baja. Esto puede asociarse al uso intensivo del recurso hídrico para riego y consumo humano, así como los efectos del cambio climático.

A continuación, se muestra en la figura 5.15 el régimen promedio mensual del caudal medio en la misma estación durante los 5 últimos años, es decir, entre los años 2020 y 2025.



**Figura 5.15.** Régimen promedio mensual del caudal medio en la estación río Aconcagua en Romeral (2020-2025).

El régimen promedio mensual del caudal del río en Romeral para el periodo 2020-2025 sigue mostrando su comportamiento pluvio-nival característico con dos aportes: incremento invernal debido a precipitaciones entre junio y julio, y otro incremento entre noviembre y diciembre producto del deshielo cordillerano.

Sin embargo, los registros de los últimos 5 años, se ha observado una reducción significativa de los caudales en ambas temporadas, invierno y verano. El caudal máximo registrado en invierno fue de 13,1 m³/s, mientras que en verano alcanzó los 22,7 m³/s. En comparación con el régimen histórico (1960 - 2025) presentaba caudales mucho mayores, con 24,9 m³/s en invierno y 45, 3 m³/s en verano. Esta disminución refleja la baja intensidad de las precipitaciones invernales y los efectos de la mega sequía que ha afectado al país, un fenómeno que ha reducido el aporte hídrico de las cuencas.

Los efectos del cambio climático han modificado los ciclos hidromorfológicos de los sistemas fluviales, como la variación estacional de los caudales y la dinámica del cauce, se han visto alterados por factores como el aumento de la temperatura media, la disminución de las precipitaciones y el deshielo acelerado en las zonas altas de la cuenca (IPCC, 2018); alterando la dinámica del caudal debido a una menor acumulación de nieve, afectando a su vez, la recarga hídrica de la cuenca ocasionando que el sistema fluvial se vuelva mas vulnerable a eventos extremos, afectando la capacidad del río para el transporte y regulación de nutrientes y sedimentos, implicando una alteración en la biota acuática.

### 5.1.2.2 Calidad del agua

La caracterización de la calidad del agua en el área de vigilancia AC-4 se realizó a partir de antecedentes históricos y monitoreos oficiales de la Dirección General de Aguas (DGA), con el objetivo de contextualizar el estado ambiental del tramo, antes de la campaña de muestreo ejecutado en septiembre de 2025.

Los datos analizados provienen de las estaciones de monitoreo de la DGA, estos se obtuvieron desde la base de datos pública del Sistema Nacional de Información de Aguas (DGA – SNIA, s.f). No existen aún registros oficiales para el año 2025, ya que los datos deben ser previamente procesados y validados ante de su publicación oficial. Las estaciones de la DGA que se encuentran dentro del tramo del área de vigilancia AC-4, se muestran en la Tabla 5.20.

**Tabla 5.20.** Estaciones de la DGA utilizadas para el monitoreo histórico de calidad del agua en el tramo AC-4 del río Aconcagua.

Área de Vigilancia	Estación de Monitoreo	Código BNA	Coordenadas UTM		Altitud msnm
			X	y	
AC-4	DGA en Romeral	05423003-6	310429	6364620	365 msnm
	DGA Pte. Colmo	05426003-2	271692	6354605	20 msnm

*Nota.* Datos obtenidos del *Listado de estaciones activas de la Dirección General de Aguas*, Actualizado al 30 de abril del 2025 (DGA, 2025)(Anexo 2)

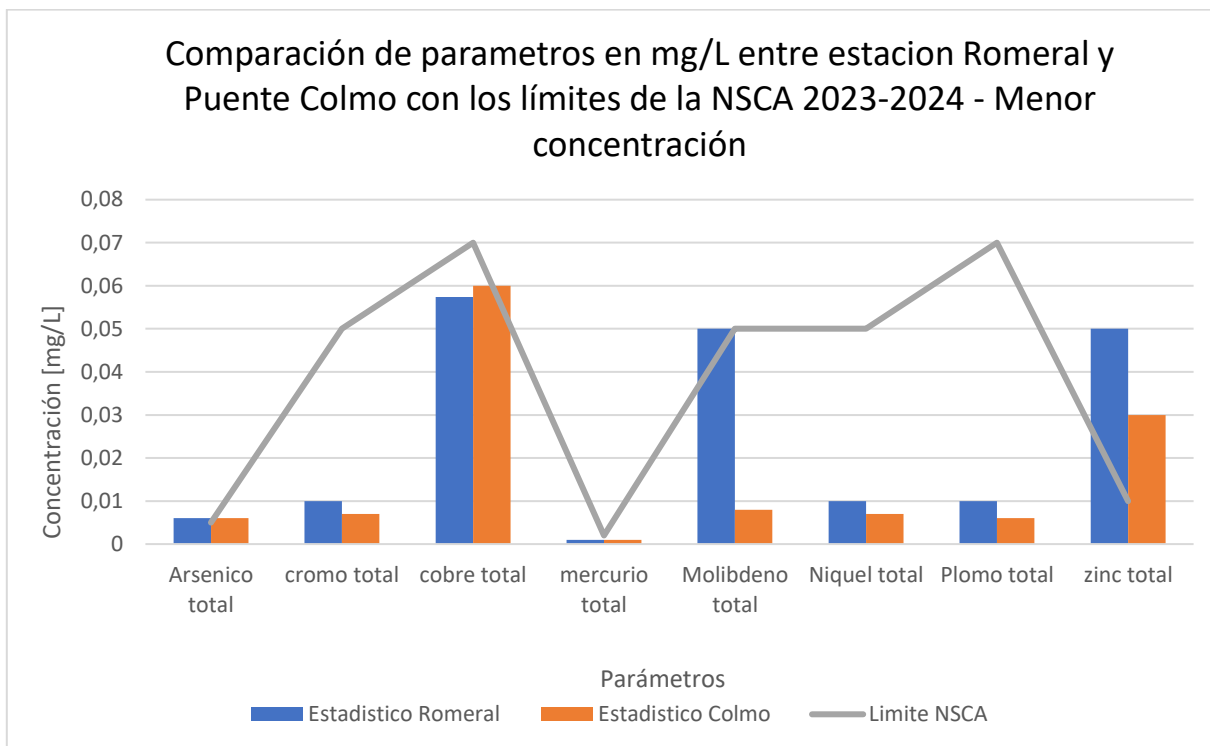
Las estaciones Romeral y Puente Colmo cuentan con información histórica para la mayoría de los parámetros físico y químicos establecidos en la Norma Secundaria de Calidad Ambiental del río Aconcagua (DS N° 41/2023). Sin embargo, se observó la ausencia de dos parámetros normados, hierro total y hierro disuelto, los cuales no presentan registros en ninguna de las estaciones.

Entre los años 2015–2023, los registros de monitoreo presentan una distribución discontinua, con un mayor número de mediciones realizadas en otoño y primavera (véase Anexo 3 y 4), lo que dificulta la realización de comparaciones consistentes con los valores de referencia definidos en la Norma. En cambio, el año 2024 corresponde al primer ciclo con continuidad estacional completa, ya que se dispone de registros en las cuatros estaciones del año. Por este motivo, se realizó una evaluación referencial del cumplimiento normativo considerando los datos de los años 2023 y 2024, con la finalidad de obtener un diagnóstico general de la calidad del agua en el tramo de estudio.

Durante el periodo 2023-2024, se realizaron siete campañas, no cumpliendo con el requisito de la NSCA, la cual exige ocho mediciones (4 estaciones por año). Por lo que, los percentiles y promedios calculas se presenta con carácter referencial, orientados a identificar tendencias generales y posibles superaciones puntuales.

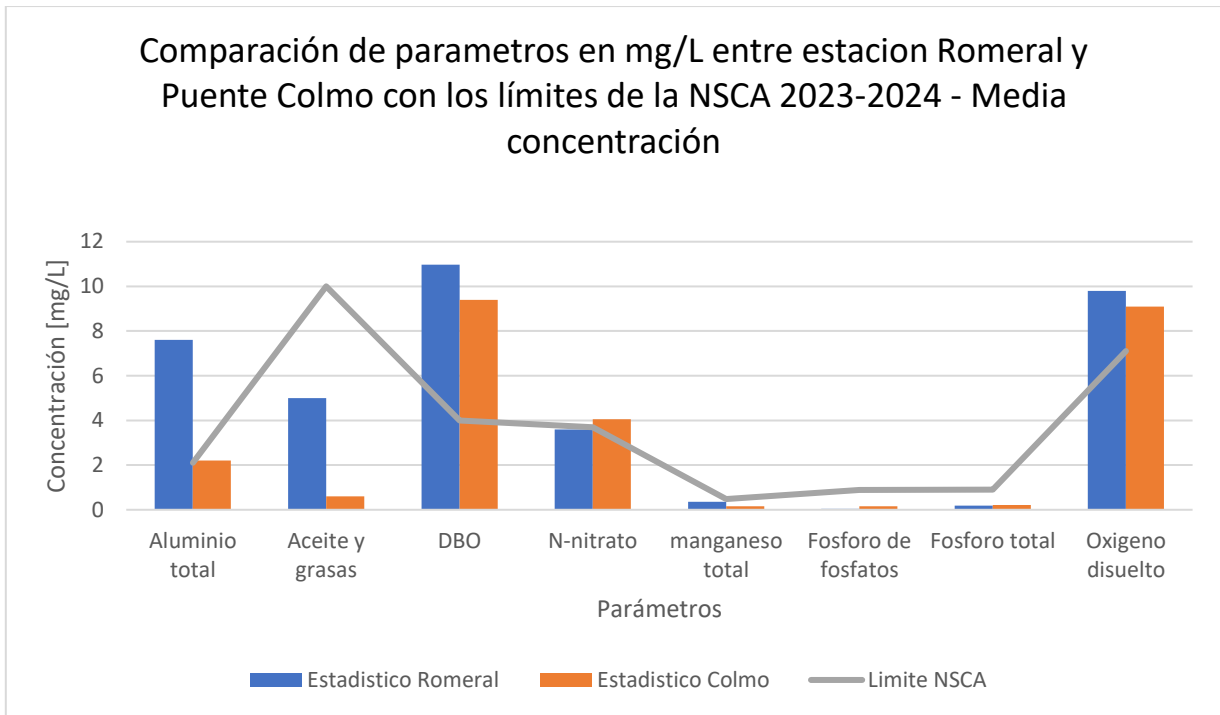
Los resultados muestran que, en general, los parámetros traza medidos en ambas estaciones se mantienen por debajo de los límites establecidos por la NSCA. Los valores más elevados corresponden a manganeso y fósforo total, aunque sin superar los niveles normativos permitidos (Figura 5.16). Los

parámetros incluidos en esta figura corresponden a aquellos que la NSCA define con valores normados bajos, es decir, parámetros que normalmente presentan en menores concentraciones.



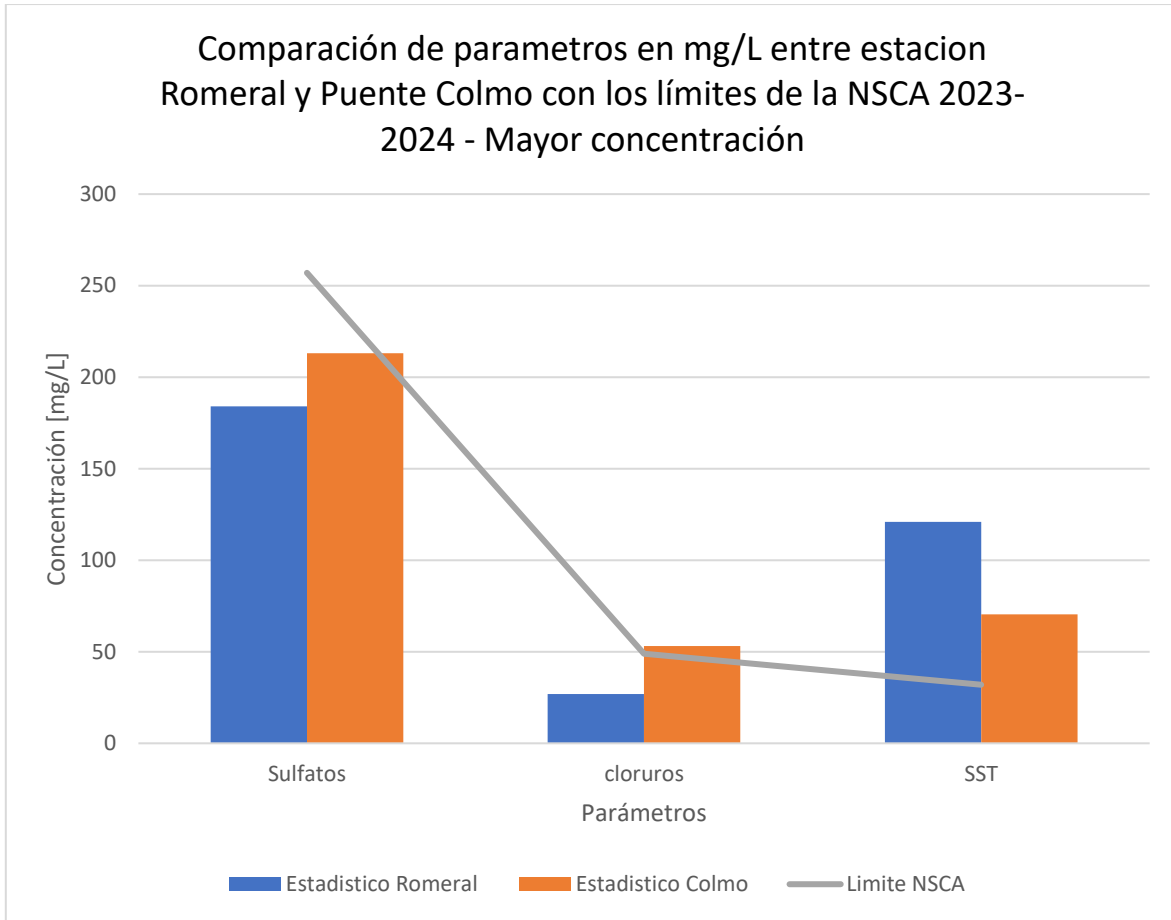
**Figura 5.16.** Comparación de la menor concentración de parámetros entre las estaciones Romeral y Puente de Colmo.

En la Figura 5.17 se presentan los parámetros con concentraciones medias registrados en las estaciones Romeral y Puente Colmo, comparados con los valores establecidos por la NSCA. Estos corresponden a los parámetros que poseen los valores normados medios.



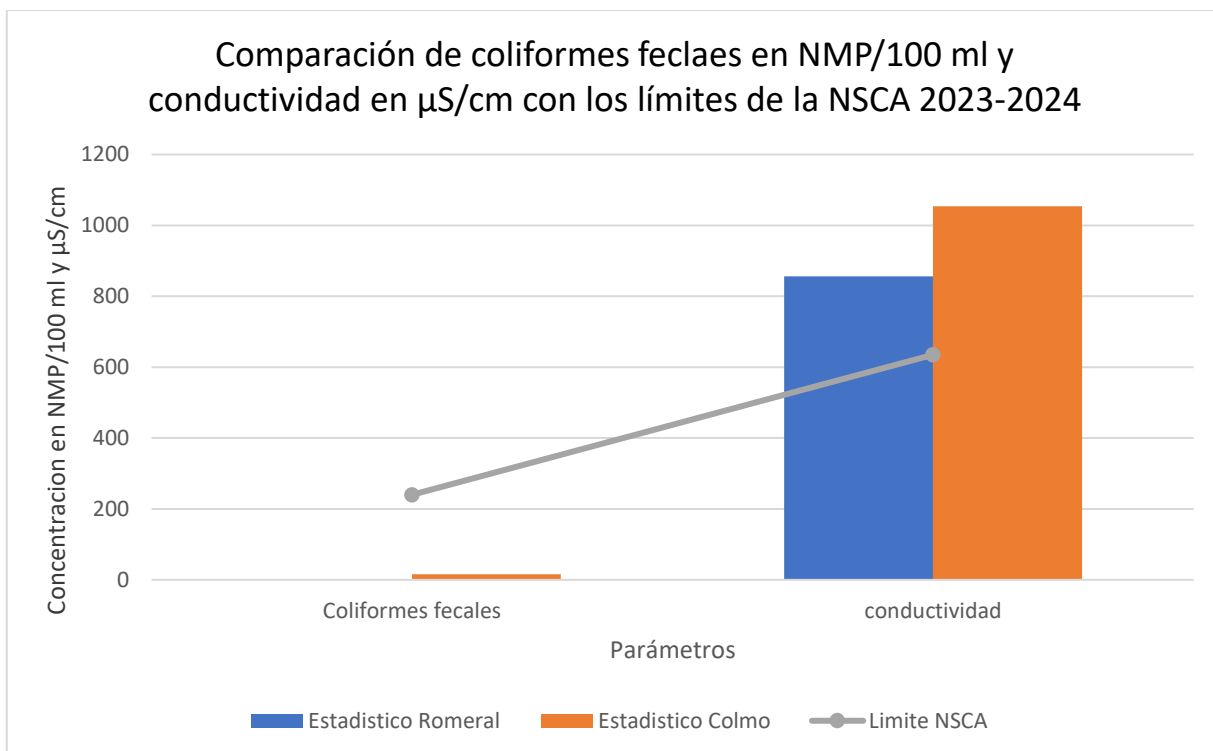
**Figura 5.17.** Comparación de los parámetros de media concentraciones registrados en estaciones Romeral y Puente Colmo.

En la siguiente figura 5.18 se observan los parámetros en mg/L de mayor concentración.



**Figura. 5.18.** Comparación de los parámetros de mayor concentraciones registrados en estaciones Romeral y Puente Colmo.

Por último, la figura 5.19 muestra las concentraciones de coliformes fecales y conductividad eléctrica con sus respectivas unidades.



**Figura 5.19.** Comparación concentraciones de coliformes fecales y conductividad con los límites de la NSCA en cada estación.

Se observa que la conductividad eléctrica y los sulfatos alcanzan concentraciones más elevadas, pero sin superar los valores normados. Las diferencias entre ambas estaciones son mínimas, lo que refleja condiciones físico-químicas casi homogéneas.

Los resultados muestran que ambas estaciones presentan excedencias en varios de los parámetros normados. En la estación Puente Colmo, se registraron superaciones de la norma para aluminio y arsénico total, este último apenas sobre el valor normativo. Además de conductividad eléctrica, cloruros, DBO y DQO, nitrato, oxígeno disuelto y zinc total. Para el caso de estación Romeral, se identificaron excedencias en aluminio y arsénico total, conductividad eléctrica, DBO, oxígeno disuelto y zinc total.

En resumen, Puente Colmo presenta 10 parámetros excedidos y Romeral 8, lo que refleja una variabilidad de las condiciones físico-químicas del agua a lo largo del tramo, posiblemente debido a factores naturales y antrópicas.

Además, de acuerdo con lo establecido en el artículo 8 del D.S. N° 41, se considera que la NSCA se encuentra sobrepasada cuando, en un año de monitoreo, uno o más parámetros superan al menos en tres oportunidades consecutivas los límites establecidos en la norma. Al analizarlo para Puente Colmo año 2024, exceden DBO, Nitrato, Oxígeno Disuelto y Conductividad. Para el caso de la estación en

Romeral, excede Conductividad, DBO, Oxígeno Disuelto. Excediendo con las dos metodologías normadas en el Decreto Supremo.

### 5.1.3 Caracterización Biótica

#### 5.1.3.1 Flora acuática

La caracterización de la flora acuática del área de vigilancia AC-4 del río Aconcagua, se basó en la recopilación y análisis de información secundaria disponible, complementada con antecedentes y estudios más recientes. En primera instancia, se consideró la información del Diagnóstico de la Dirección General de Aguas (DGA, 2004b), que describe de manera general la composición florística a nivel de cuenca. Se identifica la presencia de diversas especies de macrófitas acuáticas, tanto nativas como exóticas (Tabla 5.21). Sin embargo, al tratarse de un levantamiento a escala de cuenca y con una desactualización, su representatividad es restringida.

**Tabla 5.21.** Flora acuática registrada a nivel de cuenca del Río Aconcagua.

Nombre científico	Nombre común	Origen
<i>Algas de la familia cloroficæ</i>	-	-
<i>Cladophora sp.</i>	Peste de agua	Exótica
<i>Zannichellia sp.</i>	-	-
<i>Potamogeton sp.</i>	Huiro /Potamogeton	Nativa
<i>Myriophyllum sp.</i>	-	-
<i>Azolla sp.</i>	Flor de pato	Nativa
<i>Jussiaea sp.</i>	-	-
<i>Ceratophyllum sp.</i>	-	Exótica

De manera complementaria, se incorporaron los resultados del estudio desarrollado por Muñoz y Silva (2010) de la Universidad de Valparaíso, quienes evaluaron el estado ecológico del río Aconcagua mediante el Índice de Macrófitas (IM) y el índice de Calidad del Bosque de Ribera (QBR). Este trabajo incluyó nueve estación de monitoreo, de las cuales tres (E6, E7 y E8) se ubican dentro del área de vigilancia AC-4, por lo que constituye la fuente más reciente y específica disponible del sector.

Los registros obtenidos de dichas estaciones muestran una composición florística dominada por especies introducidas como nativas, como *Cotula coronopifolia*, *Rumex crispus L.*, *Apium nodiflorum*, *Veronica anagallis aquatica*, *Galega officinalis L.* y *Ludwigia peploides*, *Potamogeton bertereanus, L.*, *Polygonum hidropiperoides Michx.*, *Salix chilensis Mol.*, *Foeniculum vulgare Millm*, *Salix babylonica L.*, *Agrostis capillaris L.*, entre otras. (Anexo 5)

Considerando ambas informaciones, se infiere que la flora acuática del tramo del río Aconcagua del tramo AC-4 está conformada por algunas especies que suelen proliferar en ambientes con concentraciones elevadas de nutrientes, permite la función como bioindicadores. Su presencia puede sugerir sectores con alto riesgo de eutrofización, especialmente en las zonas influenciadas por actividades agrícolas.

### 5.1.3.2 Fauna acuática

Para la caracterización de la fauna acuática en el área de vigilancia AC-4 del río Aconcagua, se realizó con base en antecedentes secundarios. Como antecedente inicial se utilizó la información proveniente del Diagnóstico elaborado por la Dirección General de Aguas (DGA, 2004b). Esta fuente entrega una caracterización general de la fauna bentónica a nivel de cuenca. A pesar de que los datos no se refieren exclusivamente al tramo AC-4, resulta pertinente su consideración, ya que contiene estaciones localizados en sectores de Quillota y Puente Colmo.

En dichas estaciones (Tabla 5.22) se identificaron representantes de los órdenes Díptera, familias como *Chironomidae*, *Tendipedidae*, *Tipulidae*, y *Culicidae*, Orden Ephemeroptera, Trichoptera incluyendo familias como *hydroptilidae* y *Leptoceridae* y la clase Oligochaeta. Aunque se trata de información desactualizada, este levantamiento sirve como referencia valiosa sobre presencia de las comunidades de macroinvertebrados que pueden encontrar en el río.

**Tabla 5.22.** Macroinvertebrados bentónicos registrados en el río Aconcagua en Quillota (DGA,2004b).

Cauce	Orden/clase	Familias
Río Aconcagua en Quillota	Orden Díptera	Fam. Chironomidae
		Fam. Tendipedidae
	Orden Ephemeroptera	Sp1
	Orden Trichoptera	Fam. Hydroptilida
		Fam. Leptoceridae
Clase Oligochaeta	Sp1	

*Nota.* Datos adaptados de *Diagnóstico y Clasificación de los Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad* (DGA, 2004b).

Con el fin de disponer de información más reciente y específica, se incorporaron los resultados del estudio de línea de base de biota acuática desarrollado para en el marco del proyecto *Modificación RCA 96/2013 por Ampliación y Continuidad Operacional de Extracción de Áridos con Rehabilitación Ambiental en cauce de Río Aconcagua. Quillota* (SEA 2024). Este estudio, efectuado entre 2018 y 2019, incluyó monitoreos biológicos en puntos ubicados dentro del tramo correspondiente al área de vigilancia AC-4, registrando una mayor diversidad de macroinvertebrados bentónicos. Los taxones identificados pertenecen a los filos de Arthropoda, Mollusca, Annelida y Platyhelminthes, con familias representativas tales como Chironomidae, Hydropsychidae, Hyallelidae, Baetidae, Athericidae, Physidae, Turbellaria como se detalla en el Anexo 6

La consideración de ambos antecedentes permite obtener una visión más completa y actualizada de la comunidad bentónica presente en el tramo del río. Observándose familias con distintos niveles de tolerancia a la contaminación, como *Chironomidae* y *Baetidae*, lo que evidencia una variabilidad en la calidad del agua.

## 5.2. CAMPAÑA DE MUESTREO

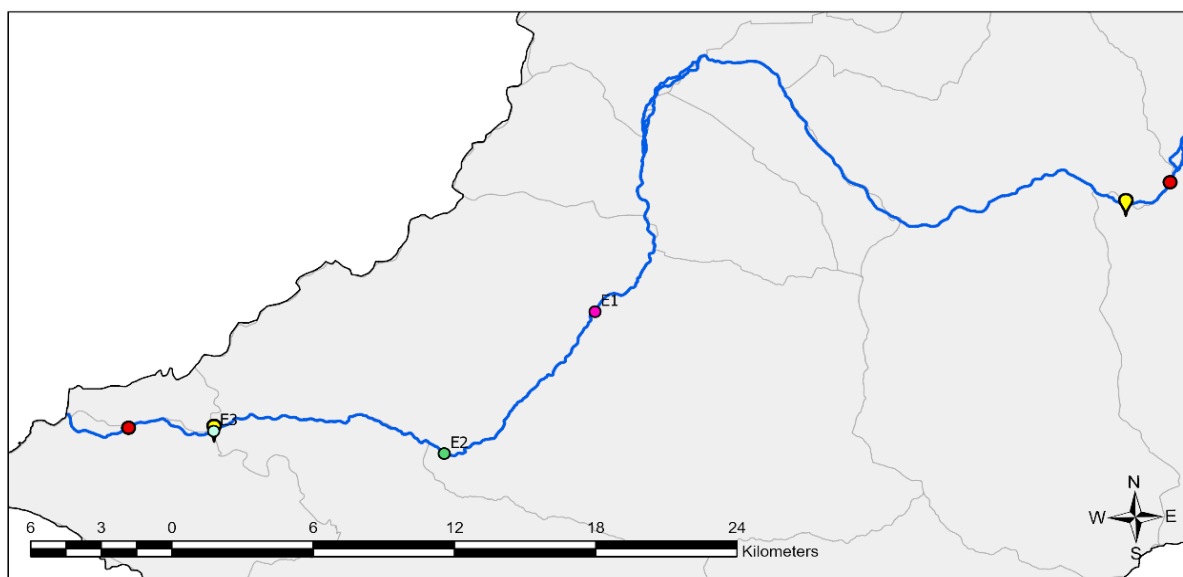
La campaña de terreno se llevó a cabo el lunes 15 de septiembre del 2025, con el objetivo de realizar el muestreo en tres estaciones ubicadas dentro del área de vigilancia AC-4 del río Aconcagua, donde se aplicaron índices biológicos (IM y ChBMWP) junto con la medición de parámetros físicos y químicos. Las coordenadas geográficas y altitudes correspondientes a cada punto de muestreo se presentan en la Tabla 5.23, mientras que la Figura 5.18 muestra la ubicación espacial de las estaciones dentro del área de vigilancia AC-4.

**Tabla 5.23.** Coordenadas UTM y altitud de las estaciones de muestreo en el área de vigilancia AC-4.

Estaciones de muestreo	Coordenadas UTM 19H		Altura	Observación
	X	Y		
E1: "Puente Boco"	0287872	6359892	114 m	Acceso por zona urbana, pendiente suave para ingreso.
E2: "Carolmo"	0281473	6353590	65 m	Ingreso por predios agrícolas, autorización de residentes requerida.
E3: "Puente Colmo"	0271680	6354596	22 m	Acceso por camino no pavimentado.

Asimismo, en el Anexo 7, 8 y 9 se detallan las rutas de acceso seguidas por el equipo de trabajo para llegar a cada estación de monitoreo, información que complementa la caracterización del terreno y las condiciones logísticas del trabajo de campo.

### Ubicación Estaciones de muestreo en el área de vigilancia AC-4.



**Leyenda**

Estaciones DGA	Cuenca Aconcagua	Nombre Estacion	Puente Colmo
Coordenadas AC-4	Comunas Aconcagua	Carolmo	Puente Balmaceda
Río Aconcagua AC4	Comunas Aconcagua		

**Figura 5.20.** Mapa de localización de las estaciones de monitoreo del río Aconcagua (tramo AC-4).

Las Figuras 5.21, 5.22 y 5.23 presentan las fotografías de las estaciones de muestreo E1, E2 y E3, donde se aprecian las condiciones del cauce y su entorno ribereño.



**Figura 5.21.** Registro fotográfico estación 1 "Puente Boco".



**Figura 5.22.** Registro fotográfico estación 2 "Carolmo".



**Figura 5.23.** Registro fotográfico estación 3 “Puente Colmo”.

A continuación (Tabla 5.24), se detallan, los equipos y materiales que se utilizaron en la campaña de muestreo:

**Tabla 5.24.** Equipos y materiales utilizados para la campaña de muestreo

<b>Categoría</b>	<b>Elemento</b>	<b>Uso</b>
Parámetros físico-químicos	Multiparámetro portátil Hanna HI98130	Medición in situ de parámetros básico del agua
	Oxígeno portátil Hanna HI98193	Medición de oxígeno disuelto
Muestreo biológico	Red, pinzas, alcohol etílico al 70 %, cinta métrica.	Muestreo de las muestras, preservación de estas
Registro y localización	GPS <i>Garmin eTrex 10</i>	Georreferenciación de puntos de muestreo.
Seguridad	Waders	Protección personal durante el trabajo en el cauce.

### **5.2.1 Aplicación de índices biológicos**

Ambos índices se aplicaron en las tres estaciones de muestreo seleccionadas, en cada estación se realizaron tres replicas independientes dentro del cauce, con el propósito de abarcar el mayor microhábitats de la estación, garantizando así una mejor representatividad.

### 5.2.1.1 Índice de macrófitas

Como se comentó anteriormente, para la identificación de macrófitas acuáticas se utilizaron cuadrantes de 2 metros de largo y 1 metro de ancho, dispuesto a lo largo de una transecta.

Durante el trabajo en terreno se registró tanto flora ribereña como macrófitas acuáticas. Entre las especies ribereñas o semiacuáticas observadas se encuentran Romaza (*Rumex crispus*), Llantén (*Plantago major*), Cortadera, Botón de oro (*Ranunculus repens*) y sauce llorón (*salix babylonica*). Sin embargo, estas especies no fueron consideradas dentro del análisis del índice de macrófitas, ya que corresponden a terrestres de borde o semiacuáticas. Cabe mencionar que no se registró una alta variedad de macrófitas acuáticas identificadas en las tres estaciones, lo que se relaciona en el periodo de muestreo que se realizó (final de invierno e inicio de primavera), momento en el que muchas especies aun no presentan un desarrollo vegetativo completo. En la Tabla 5.25 se presentan los grupos funcionales de macrófitas acuáticas identificadas en las tres estaciones de muestreos.

**Tabla 5.25** Macrófitas acuáticas identificadas por grupo funcional en las tres estaciones de muestreo.

Grupo funcional	Taxa	E1	E2	E3
Grupo II	<i>Ranunculus, Myriophyllum</i>	x	x	
	<i>Potamogeton</i> (Excepto <i>P. pectinatus</i> )			x
	<i>Clorofíceas filamentosas</i>		x	
Grupo III	<i>Nasturtium, Apium, Verónica</i>	x	x	x
Grupo IV	<i>Cladophora</i>		x	x

A continuación, se presentan fotografías de algunas macrófitas identificadas durante la campaña de muestreo (Figura 5.24).

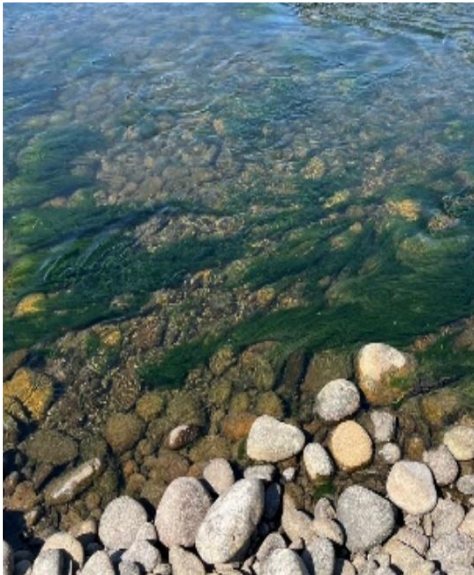
*Cloroficea filamentosa*



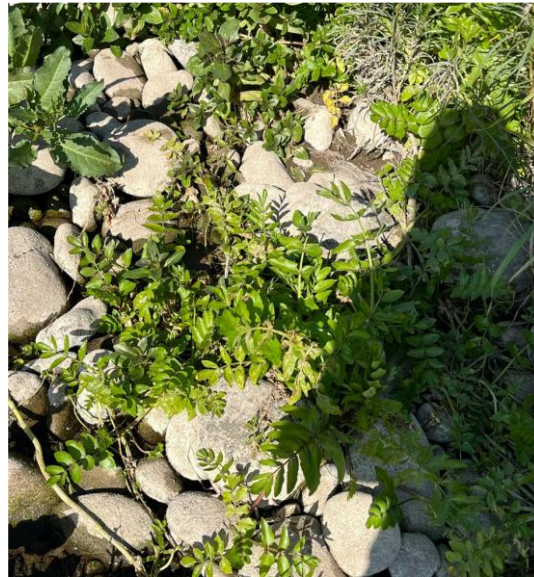
*Potamogeton*



*Cladophora*



*Apium nodiflorum, veronica.*



**Figura 5.24.** Registro fotográfico de macrófitas identificados en campaña de muestreo.

Como se presenta en la Tabla 5.26, las coberturas de macrófitas acuáticas variaron entre estaciones y grupos funcionales, destacando diferencias relevantes para la aplicación del índice.

**Tabla 5.26** coberturas de macrófitas acuáticas en cada estación.

Grupo funcional	Taxa	Cobertura E1	Cobertura E2	Cobertura E3
Grupo II	<i>Ranunculus,</i> <i>Myriophyllum</i>	5%	9,7%	
	<i>Potamogeton (Excepto</i> <i>P. pectinatus)</i>			76,7%
	<i>Cloroficeas</i> <i>filamentosas</i>		1,3%	
Grupo III	<i>Nasturtium, Apium,</i> <i>Verónica</i>	40%	13,3%	3,3%
Grupo IV	<i>Cladophora</i>		40%	1,3%

Con base en las especies identificadas y sus valores de cobertura, se aplicó el Índice de Macrófitas Acuáticas (IM) para cada estación de muestreo. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 5.27, donde se resumen los valores y la categoría de calidad.

**Tabla 5.27.** Calidad del agua según el índice de Macrófitas acuáticas (IM).

Estación	Puntaje IM	Calidad	Color
E1 "Puente Balmaceda"	11	Mala	Naranja
E2 "Carolmo"	20	Aceptable	Amarillo
E3 "Puente Colmo"	9	Mala	Naranja

En la Estación 1, el índice indicó una calidad del agua mala, lo que reflejó una baja diversidad de especies. Aunque se registró la presencia de un grupo funcional algo sensible (Grupo II), su cobertura fue reducida, lo que limita su influencia en la evaluación general. También se identificaron especies pertenecientes del Grupo III, consideradas moderadamente tolerantes a la contaminación. Esta condición podría estar asociada al alto caudal del sector y a la influencia de zonas urbanas cercanas, donde existen asentamientos humanos ubicados en la ladera del río y la presencia de microbasurales distribuido a lo largo de sus riberas.

Para el caso de la Estación 2, el índice mostró una calidad del agua aceptable, lo que representó una mejor condición en comparación con las otras estaciones. Allí se registró la presencia de especies pertenecientes a los grupos funcionales II, III y IV. Las especies del grupo II presentaron coberturas bajas a medianas (<5-10%), mientras que las del Grupo III alcanzaron coberturas cercanas a 14%. En el Grupo IV destacó *Cladophora* con una cobertura del 40%, siendo la más dominante dentro de la estación. Este sector se encuentra influenciado por actividades como agricultura, extracción de áridos y microbasurales, lo que pudo afectar la composición y abundancia de las macrófitas. A pesar de lo anterior, se observó la coexistencia de especies algo sensibles y tolerantes.

En la última estación, el índice indicó una calidad del agua mala, evidenciando una baja diversidad de especies y el predominio de taxones tolerantes a contaminación. Se registró la presencia de especies pertenecientes al Grupo II, como *Potamogeton*, con una cobertura mayor (> 50 %), cuya presencia

refleja cierta sensibilidad. Sin embargo, la baja cobertura de especies del Grupo III y Cladophora (Grupo IV) mostró que la diversidad general fue reducida, reforzando el predominio de especies tolerantes.

Según el catálogo de plantas indicadores de San Martín et al. (2003), tres de las especies registradas durante la campaña (*Potamogeton*, *Veronica* y *Nasturtium*) ayudaron a comprender el estado de la calidad del agua. *Potamogeton* y *Nasturtium* crecen en agua con mayor concentración de nitrógeno, lo que coincidió con la estaciones clasificadas con mala calidad. En cambio *Veronica* se desarrolla en condiciones más moderadas de nutrientes. Sumándole la presencia de *Cladophora*, que según Hauenstein (2006) aparece frecuentemente en aguas eutrofizadas en Chile, siendo un claro indicador de exceso de nutrientes.

### 5.2.1.2 Índice de Macroinvertebrados bentónicos

La identificación de los macroinvertebrados bentónicos recolectados en las tres estaciones de muestreo se realizó en el Laboratorio de Ecología de la Universidad de Valparaíso, utilizando una lupa estereoscópica modelo Stemi DV4. El proceso de identificación se llevó a cabo durante los días 23, 24, 25 y 26 de septiembre clasificando los organismos hasta el nivel taxonómico de familia.

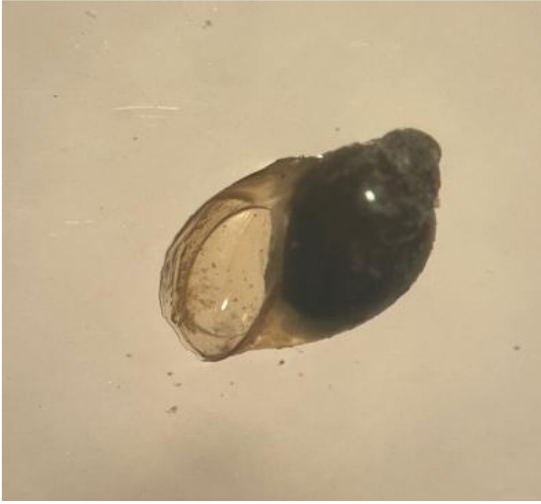
En la Tabla 5.28 se presentan las familias identificadas en cada estación, junto con su grupo taxonómico correspondiente. Se observa la presencia de representantes de ordenes Trichoptera, Díptera, Ephemeroptera, Coleóptera, Hemiptera, Mollusca, Oligochaeta, Crustácea y Turbellaria, evidenciando una comunidad bentónica diversa, pero con predominio de taxones tolerantes a la contaminación.

**Tabla 5.28.** Familias de macroinvertebrados bentónicos identificadas en las estaciones de muestreo.

Grupo	Familia	E1	E2	E3
Trichoptera	<i>Hydropsychidae</i>	x	x	x
Díptera	<i>Chironomidae</i>	x	X	
	<i>Simuliidae</i>	x		x
	<i>Culicidae</i>	x		x
	<i>Ceratopogonidae</i>		x	
	<i>syrphidae</i>	x		
Ephemeroptera	<i>Baetidae</i>	x	x	x
Coleóptera	<i>Imiidae</i>	x	x	x
Mollusca	<i>Physidae</i>	X	x	x
	<i>Lymnaeidae</i>	x		
	<i>Hyriidae</i>			x
Oligochaeta		x		x
Hemiptera	<i>Belostomatidae</i>	x		
Crustácea	<i>Hyalellidae</i>		x	
Turbellaria	<i>Tricladia</i>	x	x	x

A continuación, se muestran algunas familias de macroinvertebrados bentónicos obtenidas en la campaña y posteriormente identificadas en laboratorio (véase Figura 5.25)

Mollusca, Physidae



Trichoptera, Hydropsychidae



Coleoptera, Elmidae



Amphipoda, Hyalellidae



**Figura 5.25.** Macroinvertebrados bentónicos observados.

En la Tabla 5.29 se resumen los resultados obtenidos a partir de la aplicación del índice, mostrando lo puntaje asignados a cada estación, su clasificación de calidad y el significado que estos valores representan.

**Tabla 5.29.** Resultados del índice ChBMWP y calidad del agua estimada por estación.

Estación	Puntaje ChBMWP	Calidad	Significado
E1 "Puente Boco"	42	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas
E2 "Carolmo"	33	Crítica	Aguas muy contaminadas
E3 "Puente Colmo"	35	Crítica	Aguas muy contaminadas

Los valores obtenidos mediante la aplicación del índice evidenciaron una tendencia general hacia condiciones de deterioro, que variaron desde alteración moderada a crítica en las tres estaciones de muestreo. La Estación 1, con un puntaje de 42, presentó una calidad dudosa, lo que sugiere aguas con un nivel moderado de contaminación y la presencia de taxones tolerantes, como *Chironomidae* y *Physidae*, con algunos grupos más sensibles, como *Baetidae* y *Elmidae*.

En las estaciones 2 y 3 se registraron los valores más bajos del índice, con 33 y 35 puntos, respectivamente, clasificados como críticos. Ello reflejó aguas altamente contaminadas, probablemente influenciadas por descargas de origen agrícola y acumulación de materia orgánica. En ambas estaciones predominaban Dípteros y moluscos tolerantes, junto con la ausencia de grupos más sensible.

### 5.2.2 Medición de parámetros físico y químicos

Para la medición de los parámetros físicos y químicos del agua se emplearon diversos instrumentos especializados. El oxígeno disuelto se determinó con el equipo Hanna Instruments HI 98193, mientras que el pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales (TDS) y temperatura fueron medidos mediante un equipo multiparámetro Hanna HI98130 – Combo. Además, la ubicación geográfica de cada estación de muestreo se registró con un GPS GARMIN eTrex 10, lo que permitió una correcta georreferenciación de los puntos de estudio.

Los resultados obtenidos en las tres estaciones de muestreo se presentan en la Tabla 5.30, que resume los valores medios de pH, conductividad eléctrica, velocidad del flujo, TDS (Total Dissolved Solids), oxígeno disuelto y temperatura, permitiendo observar las variaciones entre los distintos puntos de muestreo del cauce del río.

**Tabla 5.30.** Parámetros físicos y químicos del agua en las tres estaciones de muestreo.

Parámetros	Unidad	E1	E2	E3
pH		8,1	8,1	8,9
Conductividad eléctrica	µS/cm	996,7	1053,3	1130
Velocímetro	rpm	340	287	76
TDS	Ppm	480	540	516,7
Oxígeno Disuelto	mg/L	6,7	6,5	11,5
Temperatura	°C	15,6	19,5	19,6

Los resultados obtenidos en relación con las estaciones de muestreo y el análisis físico-químico evidenciaron diferencias en la calidad del agua, atribuibles principalmente a las condiciones del sector y a la presencia de actividades antrópicas. Los valores de pH se mantuvieron estables y dentro de los límites establecidos por la NSCA, fluctuando entre 8,1 y 8,9, lo que indicó aguas ligeramente alcalinas. La conductividad eléctrica mostró un aumento progresivo aguas abajo, reflejando una mayor concentración de sales disueltas, posiblemente asociadas a aportes de sedimentos agrícolas, descargas difusas y actividades de extracción de áridos.

En cuanto al oxígeno disuelto, se registraron valores bajos en las estaciones 1 y 2, mientras que en la estación 3 se alcanzaron 11,5 mg/L, cumpliendo con la NSCA. Finalmente, la temperatura presentó un aumento aproximado de 4 °C a medida que se iba descendiendo por el cauce, lo que se relacionó principalmente con la mayor exposición a la radiación solar.

El oxígeno disuelto en el agua depende fuertemente de la temperatura; a valores cercanos a 20 °C, la concentración de equilibrio con la atmósfera suele ser aproximadamente 9 mg/L. Sin embargo, en la última estación se registraron 11,5 mg/L, un valor superior al de equilibrio, lo que indicó un estado de sobresaturación asociado a una producción biológica elevada de oxígeno. Este fenómeno se explicó por una intensa actividad fotosintética, favorecida por la elevada radiación solar, la menor velocidad del agua observada en este tramo y la alta proliferación de *Potamogeton* que se logra ver en la Figura 5.24, condiciones que suelen presentar en ambiente enriquecidos en nutrientes. Este comportamiento podría sugerir un posible estado de eutrofización, cuya confirmación requeriría mediciones complementaria de nitratos y fósforo.

### **5.2.3 Análisis comparativo**

Dado que no se contó con series temporales consecutivas ni con los datos oficiales de la estación de monitoreo de la DGA del presente año, los resultados presentados corresponden a una evaluación de carácter referencial.

Para contar con información comparativa, se utilizaron los registros de la estación Puente Colmo, correspondientes al año 2024. Esta estación fue seleccionada por considerarse la más representativa del estado actual del río, dado que se ubica en la parte baja del tramo y recibe las concentraciones de las distintas actividades antrópicas que se desarrollan a lo largo del cauce, a diferencia de la estación Romeral, situada aguas arriba.

Con el fin de respaldar esta situación, se realizó un análisis de variabilidad interanual de los registros de la estación Puente Colmo entre los años 2015 y 2024, enfocado en la temporada de invierno. Los resultados mostraron que la mayoría de los parámetros presenta una alta fluctuación temporal (CV > 30%), lo que limita la posibilidad de realizar comparaciones directas entre años.

En la Tabla 5.31 se presenta la comparación entre los resultados obtenidos durante la campaña de muestreo 2025 en la estación Puente Colmo y los valores del 2024, junto con los límites de la NSCA y la

NCh 133 para la protección de la vida acuática. La estación 3 (Puente Colmo) fue seleccionada como punto de comparación puntual por su representatividad del área AC-4, y al estar en la misma ubicación que la estación de monitoreo de la DGA (Puente Colmo), por lo que se considera que refleja de manera más integrada el estado del tramo.

**Tabla 5.31.** Comparación de parámetros físico-químicos medidos en la campaña 2025 con valores normativos de referencia.

Parámetro	Unidades	Resultado Campaña E3 (Pte Colmo)	Resultado Estación de monitoreo Pte Colmo, DGA	NSCA N° 41	NCh 1333 Vida acuática
Temperatura	°C	19,6	12,4	-	No debe aumentar más de 3°C sobre su valor natural.
pH	-	8,9	7,94	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Conductividad	µS/cm	1130	1043	635	-
Oxígeno Disuelto	mg/L	11,5	10,39	7,1	5
Sólidos disueltos totales	ppm	516,7	-	-	-

En la comparación puntual de los datos obtenidos durante la campaña, se observó que la conductividad superó los límites establecidos en la NSCA. En cuanto al oxígeno disuelto, se registraron 11,5 mg/L, valor que se encontró por sobre el mínimo exigido por la norma, por lo que se consideró como cumplimiento. No obstante, al analizar las demás estaciones (E1 y E2), se evidenció que no alcanzaron dicho mínimo según la NSCA, aunque se mantuvieron dentro de los rangos permitidos por la NCh 1333 para la protección de la vida acuática.

Respecto a la temperatura, se registraron diferencias importantes al comparar los promedios de esta campaña con los datos oficiales del año anterior. Esto se explica porque el muestreo de 2024 se realizó a comienzos del invierno, mientras que el de 2025 se efectuó a fines de invierno, en transición hacia primavera. Cabe señalar que la NSCA no establece límites para este parámetro, ya que no se encuentra normado en el Decreto correspondiente. No obstante, la NCh 1333 establece que la temperatura no debe aumentar más de 3 °C sobre su valor natural. Considerando registros históricos de la estación Puente Colmo, la temperatura media invernal (mes 9) es de 13,2 °C, al compararla con los valores de la campaña 2025, se observó un incremento superior a 3°C. Sin embargo, si se utiliza como referencia la media obtenida en las tres estaciones de muestreo (18,2 °C) y esta se considera como valor natural para el tramo evaluado, el parámetro se mantendría dentro del límite permitido.

En cuanto a los sólidos disueltos totales, no fue posible realizar una comparación normativa directa, debido a que las regulaciones vigentes consideran sólidos suspendidos totales (SST). Es importante destacar que la NCh 133 para la vida acuática tampoco establece un límite para conductividad ni TDS.

### 5.3. Análisis de costo

Con el fin de evaluar la factibilidad económica de implementar distintos métodos para la evaluación de la calidad del agua en el área de estudio, se realizó una estimación comparativa de costos entre dos escenarios: uno basado exclusivamente en parámetros físicos y químicos, y otro que incorporó además índices biológicos. En ambos casos se consideraron los mismos costos base asociados al muestreo de agua, transporte, análisis de laboratorio para parámetros físico-químicos, y logística.

El escenario 1 correspondió el enfoque tradicional utilizado en la mayoría de los monitoreos, el cual incluyó las actividades de terreno, transporte y análisis en laboratorio acreditado. La Tabla 5.32 presenta el detalle de los costos estimados para este escenario.

**Tabla 5.32.** Costos estimados para el Escenario 1.

Categoría	Total UF	Total CLP
Muestreo de agua	9	356.379
Asistente de terreno	3,6	142.552
Gastos laboratorio	30,3	1.199.809
Gastos Operaciones	13,7	542.844

El escenario 2 correspondió a una alternativa más completa, ya que contempló gastos adicionales asociados a permisos, materiales de campo, especialistas en biomonitoreo. La Tabla 5.33 detalla los costos estimados para el segundo escenario.

**Tabla 5.33.** Costos estimados para el Escenario 2.

Categoría	Total UF	Total CLP
Muestreo de agua	9	356.379
Asistente de terreno	3,6	142.552
Macroinvertebrados bentónicos	28,8	1.140.413
Macrófitas acuáticas	25,6	1.013.700
Gastos Laboratorio	50,1	1.983.843
Gastos operacionales	23,4	925.002

Para el análisis detallado de ambos escenarios, véase Anexo 10 y 11, donde se especifican los costos asociados a cada componente. Finalmente, la Tabla 5.34 presenta la comparación general entre ambos escenarios, permitiendo visualizar el costo total de realizar una evaluación basada únicamente en parámetros físico-químicos o de complementarla con la aplicación de índices biológicos.

**Tabla 5.34.** Comparación general de costos totales entre ambos escenarios.

Escenario	Descripción	Costo total estimado
Escenario 1	Evaluación mediante parámetros físicos y químicos.	\$ 2.241.624
Escenario 2	Evaluación integrada con métodos físico-químicos y biológicos.	\$5.561.889

Los resultados económicos mostraron que la incorporación de índices biológicos generó un aumento significativo en los costos de evaluación. La diferencia entre el Escenario 1, basado únicamente en parámetros físico-químicos, y el Escenario 2, que integró los índices IM y ChBMWP, correspondió a aproximadamente \$3.320.265. considerando que cada índice presenta estructuras de trabajo y requerimiento similares, se estimó que la implementación individual de un solo índice biológico alcanzaría un costo cercano a \$1.660.132, resultando considerablemente más económico que un análisis fisicoquímico completo. No obstante, desde el enfoque planteado en este estudio, que destaca la necesidad de complementar estos análisis tradicionales con índices biológicos para obtener una evaluación ecológica más integral, la incorporación de estos métodos implica un aumento esperado en los costos totales de monitoreo.

## 6. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio evidenciaron un estado de calidad del agua deficiente en el tramo correspondiente al área de vigilancia AC-4 del río Aconcagua. Esta condición quedó respaldada tanto por los análisis físico-químico como por los índices biológicos aplicados. La calidad del agua en esta área reflejó la influencia de diversas presiones antrópicas, como las actividades agroindustriales, la extracción de áridos y la expansión urbana presentes en las comunas que abarca el tramo del río.

Al comparar los valores registrados durante la campaña de muestreo de invierno 2025 con los límites establecidos en la Norma Secundaria de Calidad Ambiental (D.S N° 41), se identificaron incumplimientos en parámetros como conductividad eléctrica y oxígeno disuelto. Asimismo, al considerar los registros históricos de la estación Puente Colmo, aplicando la metodología establecida por la NSCA, se observaron superaciones en parámetros como aluminio, arsénico, cloruros, DBO, DQO, nitrato, SST y zinc total. Estos resultados evidenciaron la presencia de contaminantes asociados al escurrimiento agrícola, descargas difusas y extracción de áridos. En conjunto, los parámetros físico-químicos reflejaron condiciones compatibles con un sistema sometido a una presión sobre la calidad del agua, lo que posteriormente se ve reforzado por los resultados obtenidos mediante los índices biológicos.

En concordancia con lo anterior, los índices biológicos también respaldaron este diagnóstico. El índice de Macrófitas (IM) indicó una calidad del agua entre mala y aceptable, marcada por la presencia de especies que toleran altos niveles de nutrientes y baja condiciones de oxigenación. Esta situación se alinea con las excedencias de parámetros como el nitrato, asociado al uso de fertilizantes agrícolas, aguas residuales domésticas y efluentes industriales. A ello se suma una DBO elevada, asociada al aumento de materia orgánica que favorece la actividad bacteriana, y un oxígeno disuelto reducido en dos de las tres estaciones evaluadas, consecuencia de la descomposición de materia orgánica que consume oxígeno disponible. Además, la conductividad eléctrica se mantuvo por sobre los límites normativos, aumentando conforme crece la concentración de sales disueltas, mientras que los SST está relacionado principalmente con la erosión y el escurrimiento agrícola, así como la extracción de áridos.

Los resultados del índice de Macrófitas (IM) obtenidos en este estudio fueron coherentes con los hallazgos reportados por el trabajo de título "Evaluación del estado ecológico del río Aconcagua A través del índice IM y QBR" de Muñoz y Silva (2010), en el cual se observó que en los tramos intervenidos del río presentaban valores del IM asociados a una calidad del agua mala o regular, dominados por especies tolerantes como *Potamogeton* y *Cladophora*. En concordancia con este antecedente, la campaña realizada en el área AC-4 registró una composición vegetal similar, caracterizada por la proliferación de macrófitas vinculadas al incremento de nutrientes, conductividad elevada y condiciones de oxigenación reducida. Esto reforzó la interpretación de que la presencia de estas especies constituye un indicador de procesos de eutrofización y de alteración hidro morfológica del cauce.

Por su parte, en el índices de macroinvertebrados bentónicos (ChBMWP), se registraron valores asociados a condiciones o dudosas, lo que reforzó el diagnóstico general del tramo. La predominancia de familias tolerantes y la limitada presencia de organismos sensibles reflejaron un ambiente de baja diversidad biológica, condición que podría corresponder a una etapa intermedia de degradación o un proceso de recuperación temprana.

Estas observaciones son consistentes con los resultados obtenidos por el Informe de la red de Observación de la NSCA para el tramo AC-4 del río Aconcagua, que también evidenció condiciones de calidad intermedia a mala. En la campaña de otoño de 2025, el área de vigilancia AC-4 reflejó excedencias en parámetros como DBO, sulfatos, cloruro y conductividad eléctrica, lo que corroboró la influencia de las actividades agroindustriales sobre la calidad del agua. Además, el informe de la consultoría también presentó un análisis de la aplicación del índice de macroinvertebrados bentónicos (ChBMWP), el cual mostró que en el área de vigilancia AC-4 la diversidad de macroinvertebrados era baja, con una dominancia de familias tolerantes a la contaminación, es decir calidad mala, indicando un ambiente con baja diversidad biológica, y por ende, un deterioro progresivo del ecosistema acuático.

Estos hallazgos coinciden con investigaciones realizadas en ríos mediterráneos de la zona central de Chile, donde se han documentado procesos de deterioro similares, vinculados principalmente a la intensificación agrícola y al uso de fertilizantes. Figueroa et al., (2003) aplicaron el índice BMWP y el índice de Familias de Macroinvertebrados (IBF) en distintos ríos de la zona central, demostrando que los tramos ubicados en sectores agrícolas presentaban una reducción significativa en la riqueza taxonómica y una dominancia de familias tolerantes, como *Chironomidae* y *Oligochaeta*. Finalmente, concluyeron que la agricultura intensiva y el aporte difuso de nutrientes generan procesos de eutrofización y disminución del oxígeno disuelto, afectando la estructura de las comunidades bentónicas.

Del mismo modo, Fierro et al., (2012) evaluó la calidad ecológica en ríos de la zona centro-sur mediante índices de macroinvertebrados adaptados al contexto chileno, observando una relación directa entre la carga agrícola y la degradación biológica del ecosistema fluvial. En su estudio, los ríos con mayor cobertura agrícola y concentración de nutrientes mostraron valores bajos de los índices biológicos y condiciones ecológicas de moderadas a malas.

Ambos trabajos mencionados, refuerzan la importancia del uso de índices biológicos como herramientas complementarias a los análisis físico-químicos, demuestran que la intensificación agrícola y el uso excesivo de fertilizantes constituyen factores determinantes en el deterioro del recurso hídrico, al alterar las condiciones físicoquímicas del agua y por consecuencia la composición y diversidad de las comunidades acuáticas.

En este contexto, los resultados del presente estudio no solo confirman estas tendencias, sino que también ponen en evidencia la utilidad práctica de incorporar los índices biológicos en los programas de monitoreo ambiental. Permitiendo complementar la información obtenida mediante análisis físico-químicos y entregar un diagnóstico ecológico más integral del sistema.

Desde el punto de vista económico, el análisis comparativo de costos demuestra que la incorporación de métodos biológicos representa una inversión significativamente mayor en comparación con el monitoreo mediante análisis físico-químicos, alcanzando aproximadamente \$5.500.000 CLP. No obstante, este incremento se justifica por el valor agregado que aportan estos métodos, ya que permiten una información más representativa del ecosistema fluvial.

Sin embargo, es importante reconocer algunas limitaciones del estudio que pudieron influir en los resultados. La campaña de muestreo se realizó en una sola temporada, lo que impidió capturar la variabilidad estacional del río, limitando la posibilidad de obtener una visión mas amplia de los cambios temporales que influyen en la calidad del agua. Asimismo, el numero reducido de estaciones restringió el análisis espacial del tramo. Por otra parte la disponibilidad de datos históricos de la DGA presento vacíos temporales y falta de continuidad en los registros, dificultando la aplicación completa de los criterios de la NSCA y evidenciando la necesidad de fortalecer la red de monitoreo y de calidad del agua en la cuenca.

En cuanto al análisis económico, los costos estimados se calcularon en función de los valores de mercado vigentes al momento del estudio y consultas a profesionales, por lo que podría variar dependiendo de las condiciones logísticas y la disponibilidad de profesionales especializados. No obstante, los resultados permiten destacar la necesidad de implementar acciones orientadas para mejorar la calidad del agua.

## 7.CONCLUSIÓN

El estudio desarrollado en el área de vigilancia AC-4 del río Aconcagua, favoreció comprender de manera más concreta el estado actual de sus aguas y el grado de presión que ejerce las actividades humanas sobre el ecosistema. Los resultados obtenidos muestran un río con signos evidentes de deterioro, donde la calidad del agua se ve afectada por el uso intensivo del suelo agrícola, extracción de áridos y la expansión urbana. Afectando directamente a la biota que habita en este ecosistema fluvial.

La aplicación de índices biológicos de Macrófitas (IM) y Macroinvertebrados bentónicos (ChBMWP) permitió confirmar que el tramo presenta una calidad baja, caracterizada por el predominio de especies con alta tolerancia a la contaminación y una baja diversidad biológica. Ambos índices demostraron ser herramientas eficaces para complementar los análisis físicos y químicos, al reflejar procesos acumulativos que los parámetros tradicionales no logran evidenciar. Gracias a esta integración metodológica fue posible identificar con mayor claridad los efectos del escurrimiento agrícola, el aumento de sales disueltas y la carga orgánica en distintos puntos del río.

En términos de gestión ambiental, este trabajo reafirma la importancia de incorporar los indicadores biológicos dentro de los programas de monitoreo de calidad del agua. Su aplicación no solo entrega una visión más real del estado del sistema fluvial, sino que también permite anticipar procesos de degradación antes de que se vuelvan irreversibles. Pese a que su implementación representa un costo mayor que los métodos como convencionales, los beneficios que aporta en precisión y profundidad de la información justifica plenamente su incorporación en evaluaciones futuras.

En síntesis el estudio presento limitaciones, como la realización de una única campaña de muestreo y la falta de continuidad en algunos registros oficiales, los resultados son suficientes para señalar una tendencia preocupante en el tramo del AC-4 del río Aconcagua . La persistencia de contaminantes junto con la pérdida de hábitats ribereños refuerza la necesidad de fortalecer los programas de monitoreo y avanzar hacia una gestión más integrada de recursos hídricos en la Cuenca. En este contexto, se plantea la incorporación obligatorio de monitoreos que incluyen índices biológicos, de manera que la evaluación del estado ecológico no dependa exclusivamente de parámetros físico-químicos. Así lo propone la Directiva Marco del Agua (DMA, 2000/60/CE), establece que la evaluación del estado ecológico de un río debe considerar no solo índices biológicos, sino también indicadores hidromorfológicos y parámetros físico-químicos de soporte. La integración de estos elementos permite obtener un mejor diagnóstico y subsanar las limitaciones que conlleva evaluar únicamente en parámetros físico-químicos.

En definitiva, la experiencia obtenida demuestra que el uso conjunto de indicadores biológicos y análisis físico-químicos permite una evaluación más integral del estado del río. Incorporar este enfoque en los programas y normativas de gestión hídrica fortalecería la protección y recuperación de los sistemas

fluviales del país, garantizando no solo la disponibilidad del recurso, sino también la conservación de los ecosistemas que dependen de él.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Alba-Tercedor, J. (1988). Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell 1978. *Limnetica* (4): 51-56.

<https://doi.org/10.23818/limn.04.06>

AGROLAB (s.f.). *Lista de precios de análisis de agua*. Recuperado de [lista\\_agua.pdf](#)

AquaExpert (2025). Consultoría Red de Observación de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental (NSCA) de la cuenca Río Aconcagua 2024-2025 [resources.get](#)

Banco Mundial (2025). *Panorama General del agua (Water Overview)*. Banco Mundial.

[Agua: Panorama general](#)

Broschek, U. (2020). *Consejos hídricos y gestión del agua*. *InduAmbiente*, (163), 48–49. [REVISTA INDUAMBIENTE Ed. N°163 / Mar-Abr 2020 by Revista InduAmbiente - Issuu](#)

Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). (2019) *Planificación catastral* [Capa geoespacial shapefile]. Infraestructura de Datos Espaciales del Ministerio de Agricultura (IDE Minagri). Recuperado de [Planificación Catastral | IDE minagri](#)

Chapman, D. (1996). *A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. Second ed.

<https://doi.org/10.1201/9781003062103>

Corporación Nacional Forestal (CONAF). (2019). *Sistema de Información Territorial (SIT)* [Portal web]. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. Recuperado de [Sistema de Informacion Territorial - CONAF 2020](#)

DGA, (s.f) Visualizadores [visualizadores | Dirección General de Aguas](#)

Dirección General de Aguas. (2004b). *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del río Aconcagua*. Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.

[Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Informe final, año 2004.](#)

Dirección General de Aguas (2014). *Inventario de cuencas, subcuencas y Subsubcuencas de Chile* (Informe Técnico N° 364)

[Inventario de cuencas, subcuencas y subsubcuencas de Chile.](#)

Dirección General de Aguas. (2020). *Plan estratégico de gestión hídrica cuenca del río Aconcagua*. Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.

[Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca de Aconcagua](#)

Dirección General de Aguas (DGA, 2023a). *Hidrografía de Arica a la Región de Los Lagos* [Capa geoespacial shapefile]. Geoportal Chile, Ministerio de Obras Públicas. Recuperado de [Geoportal de Chile](#)

Dirección General de Aguas (DGA, 2023b). *Cuencas – Banco Nacional de Aguas (BNA)* [Capa geoespacial shapefile]. Geoportal Chile, Ministerio de Obras Públicas. Recuperado de [Geoportal de Chile](#)

Dirección General de Aguas (DGA). (2025). Listado de estaciones vigentes – Nacional (actualización 30 de abril de 2025) [Archivo Excel]. Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. Recuperado de <https://dga.mop.gob.cl/uploads/sites/13/2025/05/Listado-estaciones-vigentes-Nacional-300425.xlsx>

Dogan, O. K., Akyurek, Z., & Beklioglu, M. (2008). Identification and mapping of submerged plants in a shallow lake using quickbird satellite data. *Journal Of Environmental Management*, 90(7), 2138-2143. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.06.022>

Dourojeanni, A., Jouravlev, A., & Chávez, G. (2002). *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica* (Serie Recursos Naturales e Infraestructura N° 47). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

[Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica](#)

Escenarios Hídricos 2030. (2018). *Radiografía del agua: Brecha y riesgo hídrico en Chile*. Fundación Chile. [radiografia-del-agua-1.pdf](#)

Fierro, P., Beltrán, C., Mercado, M., Peña-Cortés, F., Tapia, J., Hauenstein, E., & Vargas-Chacoff, L. (2012). *Benthic macroinvertebrate assemblages as indicators of water quality applying a modified biotic index in a spatio-seasonal context in a coastal basin of Southern Chile*

[Benthic macroinvertebrate assemblages as indicators of water quality applying a modified biotic index in a spatio-seasonal context in a coastal basin of Southern Chile](#)

Figueroa, R., Palma, A., Ruiz, V., & Mercado, R. (2003). *Validación de índices bióticos basados en macroinvertebrados para evaluar la calidad del agua en ríos del centro-sur de Chile*. *Revista Chilena de Historia Natural*, 76, 625–638.

Figueroa, R., Palma, A., Ruiz, V., & Niell, X. (2007). *Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: río Chillán, VIII Región*.

[Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: río Chillán, VIII Región](#)

Global Water Partnership (GWP), (2009). A Handbook for Integrated Water Resources Management In Basins Published 2009 by the Global Water Partnership (GWP) and the International Network of Basin Organizations (INBO).

<https://www.inbo-news.org/IMG/pdf/GWP-INBOHandbookForIWRMinBasins.pdf>

Green T., Willoughby, R., & Marston, L. (2023). *These are the world's most water-stressed countries. World Resources Institute.* [25 países enfrentan un estrés hídrico extremadamente alto | Instituto de Recursos Mundiales](#)

Grill, G., Lehner, B., Thieme, M., Geenen, B., Tickner, D., Antonelli, F., Babu, S., Bharati, L., Chaudhry, S., Sindorf, N., & Zarfl, C. (2019). *Mapping the world's free-flowing rivers. Nature*, 569(7755), 215–221. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1111-9>

Hauenstein, E. (2006). Visión sinóptica de los macrófitos dulceacuícolas de Chile. *Gayana (Concepción)*, 70(1), 16–23.

[https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-65382006000100004](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-65382006000100004)

Ilustre Municipalidad de Quillota. (2022). *Plan de Desarrollo Comunal de Quillota 2022–2026 (Versión final)*. Municipalidad de Quillota. Recuperado de [Pladeco Quillota 2022 -2026 V.Final.pdf](#)

Instituto Nacional de Estadísticas (INE) (2023). *División Política Administrativa 2023 (DPA 2023)* [Capa geoespacial shapefile]. Geoportal Chile, Ministerio de Bienes Nacionales. Recuperado de [Geoportal de Chile](#)

Insunza, Juan. (2006). Capítulo 15. *Climas de Chile*.

[Microsoft Word - cap15.doc](#)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2008). *Climate change and water*.

[CLIMATE CHANGE ESP.indb](#)

LeMaire, E, Blanc, G, Schäfer, J, Coynel, A, Etcheber, H. (2006). *Dissolved Trace Metal-Organic Complexes in the Lot-Garonne River System Determined Using the C18 Sep-Pak System*. *Aquatic Geochemistry*;1:21-38.

<https://doi.org/10.1007/s10498-005-0908-3>

Leiva-Zelada, G., & Zelada-Muñoz, S. (2023). *Gestión integrada de cuencas hidrográficas en Chile: Brechas y oportunidades en la propuesta constitucional*. *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research*, 13(1). <https://doi.org/10.7770/safer-V13N1-art652>

Macklin, M. G., Brewer, P. A., Hudson-Edwards, K. A., Bird, G., Coulthard, T. J., Dennis, I. A., Lechler, P. J., Miller, J. R., & Turner, J. N. (2006). *A geomorphological approach to the management of rivers*

contaminated by metal mining. *Geomorphology* 2006;7:423–447.  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.024>

Macroinvertebrates.org. (s.f.). *Macroinvertebrates.org: Aquatic insect identification for science and education* [Sitio web]. Carnegie Mellon University, Stroud Water Research Center, Clemson University y University of Pittsburgh. Recuperado de [Macroinvertebrates.org](http://Macroinvertebrates.org)

Ministerio del Medio Ambiente. (2021). Decreto Supremo N.º 41: Establece normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Aconcagua. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

[Ley Chile - Decreto 41 22-FEB-2023 MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE - Biblioteca del Congreso Nacional](#)

Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis report*. Island Press. [\(PDF\) Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: synthesis](#)

MOP – CHILE, (s.f). *Información oficial Hidrometeorológica y de calidad de agua en línea*.  
[MOP - Chile](#)

Morgan, R. P. C. (1997). *Soil erosion and conservation* (2nd ed.). Longman.  
[Soil Erosion and Conservation](#)

Muñoz Vergara, B. C., & Silva Espejo, M. J. (2010). *Evaluación del estado ecológico del río Aconcagua (Chile central) a través del índice de macrófitas (IM) e índice de calidad de bosque de ribera (QBR)* [Tesis de Ingeniería Ambiental, Universidad de Valparaíso].

Organización Mundial de la Salud (2023) *Agua para consumo Humano*.  
[Agua para consumo humano](#)

Palma A. 2013. Guía para la identificación de invertebrados acuáticos. 1era Edición. 122 pp.

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2000). *Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas*. Diario Oficial de las Comunidades Europeas  
[BOE.es - DOUE-L-2000-82524 Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.](#)

Peña H. (2016). Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina. CEPAL - Serie Recursos Naturales e Infraestructura N° 178.  
<https://www.cepal.org/es/publicaciones/40074-desafios-la-seguridad-hidrica-america-latina-caribe>

Perez Pons, P.I. 2015. *Visualización de Mallas de Terreno e Identificación de Patrones de Drenaje en Cuencas*. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil en Computación, U. de Chile.

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (2021). Lista de precios de análisis de agua. Recuperado de [1 lista precios.pdf](#)

Rosenberg, D. M., & Resh, V. H. (Eds.). (1993). *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman & Hall.

Salomons, W, Stigliani, W. *Biogeodynamics of pollutants in soils and sediments*. Heidelberg: Springer-Verlag, 1995. p. 352.

Santibáñez Quezada, F. (2017). *El cambio climático y los recursos hídricos de Chile*. En Oficina de Estudios y Políticas Agrarias [ODEPA] (Ed.), *Agricultura chilena: Reflexiones y desafíos al 2030* (pp. 147–178). Ministerio de Agricultura.

Saravia Matua, S., Gil, M., Blanco, E., LLavona, A., & Naranjo, L. (2020). *Desafíos hídricos en Chile y recomendaciones para el cumplimiento del ODS 6 en América Latina y el Caribe* (Serie Recursos Naturales y Desarrollo N° 198, LC/TS.2020/134). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

[Desafíos hídricos en Chile y recomendaciones para el cumplimiento del ODS 6 en América Latina y el Caribe | CEPAL](#)

Servicio de Evaluación Ambiental. (2024). [Modificación RCA96/2013 por Ampliación y Continuidad Operacional de Extracción de Áridos con Rehabilitación Ambiental en Cauce de Río Aconcagua, Quillota]. Recuperado de <https://infofirma.sea.gob.cl/DocumentosSEA/MostrarDocumento?docId=2024/04/19/b93e-e8be-4c84-ac53-01bbb5f62744>

Silva, T. S. F., Costa, M. P. F., Melack, J. M., & Novo, E. M. L. M. (2008). Remote sensing of aquatic vegetation: Theory and applications. *Environmental Monitoring and Assessment*, 140(1–3), 131–145. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9855-3>

San Martín, C., C. Ramírez, M. Álvarez. 2003. Macrófitos como bioindicadores: una propuesta metodológica para caracterizar ambientes dulceacuícolas. *Rev. Geográfica de Valparaíso*. 34: 243-253.

Suárez Alonso, S., Martínez, A., & Llamas, M. E. (2005). Índice de macrófitas como indicador de la calidad ecológica de ríos mediterráneos. *Limnetica*, 24(2), 305–316. [Propuesta de un índice de macrófitos \(IM\) para evaluar la calidad ecológica de los ríos de la cuenca del Segura](#)

UNESCO. (2020). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2020: El agua y el cambio climático*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).

[Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: agua y cambio climático, resumen ejecutivo - UNESCO Biblioteca Digital](#)

UNESCO, ONU-Agua (2020). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y Cambio Climático*, París, UNESCO. <https://es.unesco.org/themes/water-security/wwap/wwdr/2020>

Universidad de Chile. (2018). Guía de identificación de macroinvertebrados bentónicos de la zona central de Chile

[guia de identificacion de macroinvertebrados bentonicos de la zona central de chile.pdf](#)

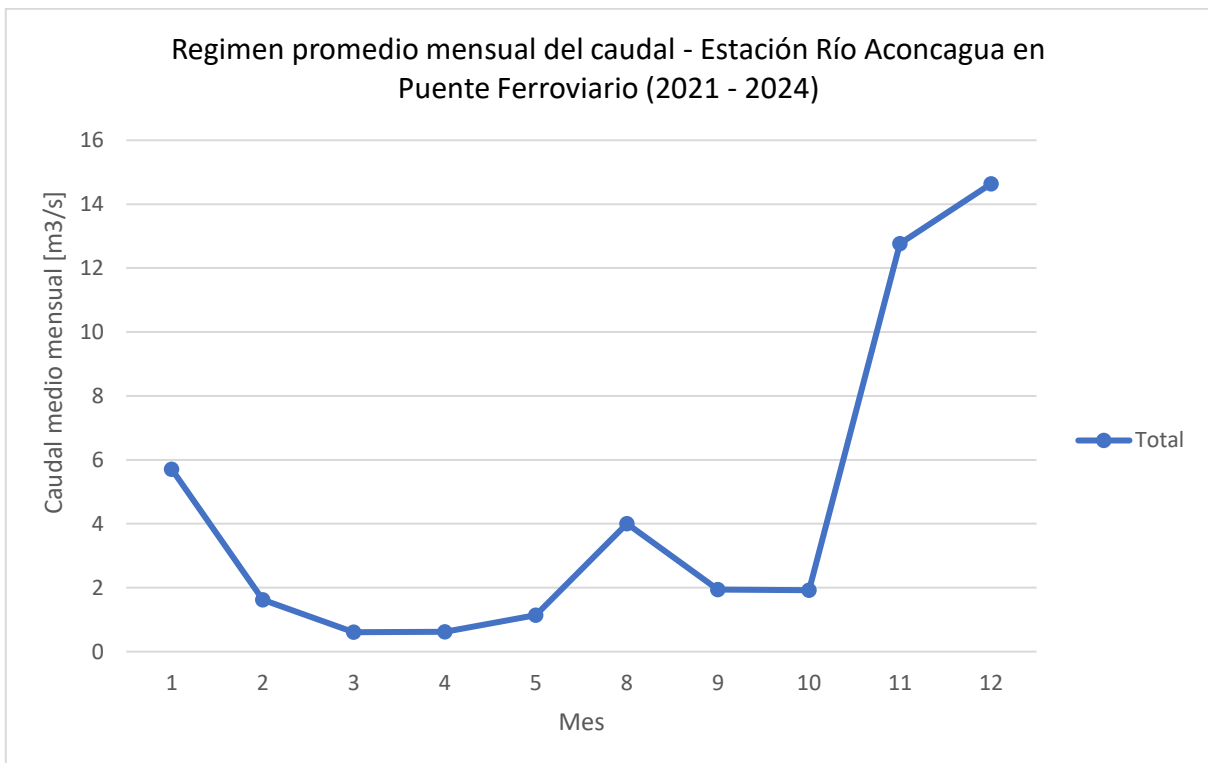
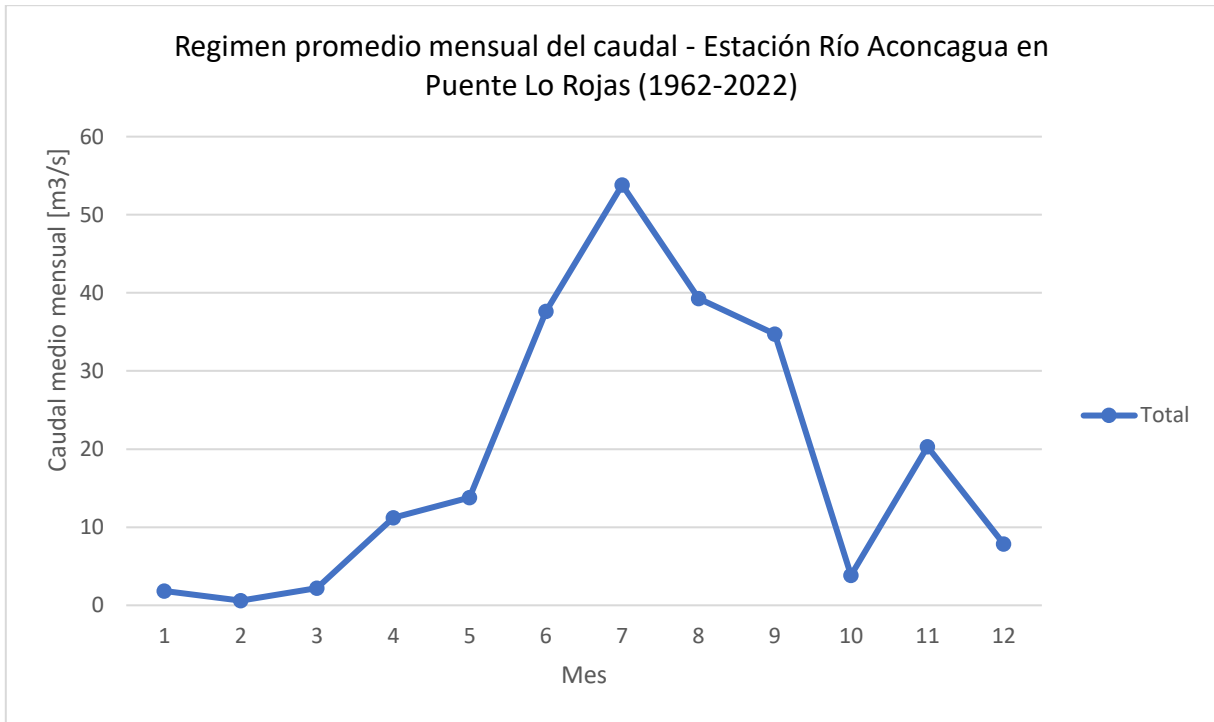
World Health Organization (WHO) & United Nations Children's Fund (UNICEF). (2019).

*Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: Special focus on inequalities*. WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme (JMP) for Water Supply, Sanitation and Hygiene.

Yáñez Oyarzún, F. C. (2024). Propuesta de un plan de monitoreo para la evaluación del estado ecológico del humedal Estero Quilpué, en la comuna de Villa Alemana [Trabajo de titulación para optar al título de Ingeniera Ambiental, Escuela de Ingeniería en Medio Ambiente, Facultad de Ingeniería]. Universidad de Valparaíso

# ANEXOS


## ANEXO 1



## ANEXO 2

Listado-estaciones-vigentes-Nacional-300425

93

B	C	D	E	F	G	
	<b>MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS</b> <b>DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS</b>					
	Tipo	Informe Nacional				
	Región Consultada	Todas				
	Estado de la Estación Consultado	Activas				
	Tipos de Estación Consultados	FLUVIOMETRICA - METEOROLOGICA - SEDIMENTOMETRICA - CALIDAD DE AGUA - NIVOMÉTRICAS - GLACIARES - CONTROL DE NIVEL - LAGOS Y				
	Fuentes Consultadas	DTL-FOR-GPR-SAT				
	Total de Estaciones	3635				
	Código	Estación	Fecha Instalación	Región Responsable	Cuenca	SubCuenca
	01000005	VISVIRI	02/01/1970	DE ARICA Y PARINACOTA	ALTIPLANICAS	Eentre Limite Peru-Bolivia y Rio Lauca
	01001002	RIO CAQUENA EN VERTEDERO	01/01/1970	DE ARICA Y PARINACOTA	ALTIPLANICAS	Eentre Limite Peru-Bolivia y Rio Lauca
01001003	RIO COLPACAGUA EN DESEMBOCADURA	01/12/1985	DE ARICA Y PARINACOTA	ALTIPLANICAS	Eentre Limite Peru-Bolivia y Rio Lauca	
01001005	CAQUENA	01/11/1971	DE ARICA Y PARINACOTA	ALTIPLANICAS	Eentre Limite Peru-Bolivia y Rio Lauca	
01010001	LAGO CHUNGARA	01/01/1959	DE ARICA Y PARINACOTA	ALTIPLANICAS	Lago Chungara	
01010002	RIO CHUNGARA EN DESEMBOCADURA	01/01/1961	DE ARICA Y PARINACOTA	ALTIPLANICAS	Lago Chungara	
01010007	CHUNGARA RETEN	01/06/1962	DE ARICA Y PARINACOTA	ALTIPLANICAS	Lago Chungara	

### ANEXO 3

Registro histórico de campañas de monitoreo en la estación DGA puente Colmo (2015-2024)

Año	Fecha registrada	Estación
2015	03-07-2015	Invierno
2015	20-10-2015	primavera
2016	23-02-2016	Verano
2016	10-06-2016	invierno
2016	07-12-2016	verano
2017	17-02-2017	Primavera/verano
2017	16-05-2017	otoño
2017	21-08-2017	invierno
2017	10-10-2017	primavera
2018	16-02-2018	verano
2018	24-05-2018	otoño
2018	28-09-2018	primavera
2018	26-10-2018	primavera
2019	22-02-2019	Verano
2019	24-05-2019	otoño
2021	09-12-2021	Primavera/verano
2022	24-11-2022	primavera
2023	16-05-2023	otoño
2023	06-09-2023	invierno
2023	23-11-2023	primavera
2024	18-03-2024	verano
2024	14-05-2024	Otoño
2024	19-08-2024	Invierno
2024	14-10-2024	primavera

#### ANEXO 4

Registro histórico de campañas de monitoreo en la estación DGA en Romeral (2015-2024)

Año	Fecha registrada	Estación
2015	03-07-2015	Invierno
2015	19-10-2015	primavera
2016	17-06-2016	otoño
2016	02-11-2016	primavera
2017	14-02-2017	Verano
2017	23-08-2017	Invierno
2017	18-10-2017	Primavera
2018	22-02-2018	Verano
2018	21-06-2018	Otoño
2018	28-09-2018	primavera
2019	14-06-2019	Otoño
2020	26-08-2020	invierno
2021	04-02-2021	verano
2021	10-06-2021	Otoño
2021	16-11-2021	primavera
2022	14-02-2022	Verano
2022	24-11-2022	Primavera
2023	15-05-2023	otoño
2023	05-09-2023	invierno
2023	21-11-2023	primavera
2024	20-03-2024	Verano
2024	15-05-2024	Otoño
2024	28-08-2024	invierno
2024	15-10-2024	primavera

ANEXO 5

Tabla N°7: Catalogo de árboles y arbustos encontrados en las estaciones de muestreo en el río Aconcagua y su presencia por estación.

N°	Nombre Científico	Familia	Nombre Común	O	FV	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
SPERMATOPHYTA: ANGIOSPERMAE. CLASE MAGNOLIOPSIDA													
1	<i>Schinus polygamus</i>	Anacardiaceae	Huingán	E	NA	*	*						
2	<i>Baccharis marginalis</i>	Asteraceae	Chilca	N	NA	*	*			*	*	*	*
3	<i>Baccharis pingraea</i>		Chilquilla	N	NA					*		*	
4	<i>Baccharis linearis</i>		Romerillo	E	NA	*							
5	<i>Tessaria Absinthioides</i>		Brea	E	NA		*			*	*	*	*
6	<i>Proustia ilicyfolia</i>		Huañil	E	NA			*					
7	<i>Maytenus boaria</i>	Celastraceae	Maitén	E	F	*	*	*		*			
8	<i>Ricinus communis</i>	Euphorbiaceae	Ricino	A	NA						*		
9	<i>Escallonia illinita</i>		Barraco	N	NA		*						
10	<i>Colliguaja odorifera</i>		Colliguay	E	NA			*					
11	<i>Marubium vulgare</i>	Labiatae	Toronjil cuyano	A	H		*						
12	<i>Acacia caven</i>	Mimosaceae	Espino	E	F			*					
13	<i>Acacia sp</i>		Aromo	A	NA			*					
14	<i>Prosopis chilensis</i>		Algarrobo	E	F		*	*					
15	<i>Psoralea glandulosa</i>		Culén	N	F		*	*		*	*		
16	<i>Muehlenbeckia hastulata</i>	Polygonaceae	Quilo	E	NA	*					*		
17	<i>Crata oxyacantha</i>	Rosaceae	Peumo extranjero	A	NA		*	*					
18	<i>Rubus ulmifolius</i>		Zarzamora	A	NA		*				*		*
19	<i>Quillaja saponaria</i>		Quilay	N	F	*	*	*					
20	<i>Salix babylonica</i>	Salicaceae	Sauce llorón	A	F	*	*	*	*	*	*	*	*
21	<i>Salix chilensis</i>		Sauce chileno	E	F			*			*	*	
22	<i>Populus sp</i>		Alamo	A	F	*	*	*	*	*	*	*	*
23	<i>Cestrum palqui</i>		Palqui	E	NA		*	*			*		
24	<i>Solanum ligustrinum</i>		Natri	N	NA	*	*						
25	<i>Eucaliptus globulus</i>	Myrtaceae	Eucaliptus	A	F				*	*			
26	<i>Aristolelia chilensis</i>	Elaeocarpaceae	Maqui	N	F	*	*			*			
27	<i>Schinus latifolius</i>	Anacardiaceae	Molle	E	F				*				
28	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Fabaceae	Robinia	A	F	*	*						
29	<i>Vinca sp</i>	Apocynaceae	Vinca	A			*						

Continuación de tabla N°7

SPERMATOPHYTA: GIMNOSPERMA. CLASE PINOPSIDA													
30	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Cupressaceae	Ciprés	A	F		*						
SPERMATOPHYTA: ANGIOSPERMAE. CLASE GNETOPSIDA													
31	<i>Ephedra andina</i>	Ephedraceae	Pingo-pingo	N	NA			*					
SPERMATOPHYTA: ANGIOSPERMAE. CLASE LILIOPSIDA													
32	<i>Cortaderia radialiscula</i>	Poaceae	Cola de Zorro	N	H	*	*	*	*			*	

Fuente: Elaboración propia

O: origen, N: nativo, E: endémico, A: adveno FV: forma de vida: F: fanerófito, Na: nanofanerófito, H: hierbas.

## ANEXO 6

Macroinvertebrados bentónicos registrados en el río Aconcagua en Quillota (DGA,2004b)

Cauce	Orden/clase	Familias
Río Aconcagua en Quillota	Orden Díptera	Fam. Chironomidae
		Fam. Tendipedidae
	Orden Ephemeroptera	Sp1
	Orden Trichoptera	Fam. Hydroptilida
		Fam. Leptoceridae
	Clase Oligochaeta	Sp1

Cauce	Orden/clase	Familias
Río Aconcagua en Pte. Colmo	Orden Díptera	Fam. Chironomidae
		Fam. Tipulidae
		Fam. Culicidae
	Orden Ephemeroptera	Sp1
	Orden Trichoptera	Fam. Hydroptilida
		Fam. Leptoceridae
	Clase Oligochaeta	Sp1

## ANEXO 7

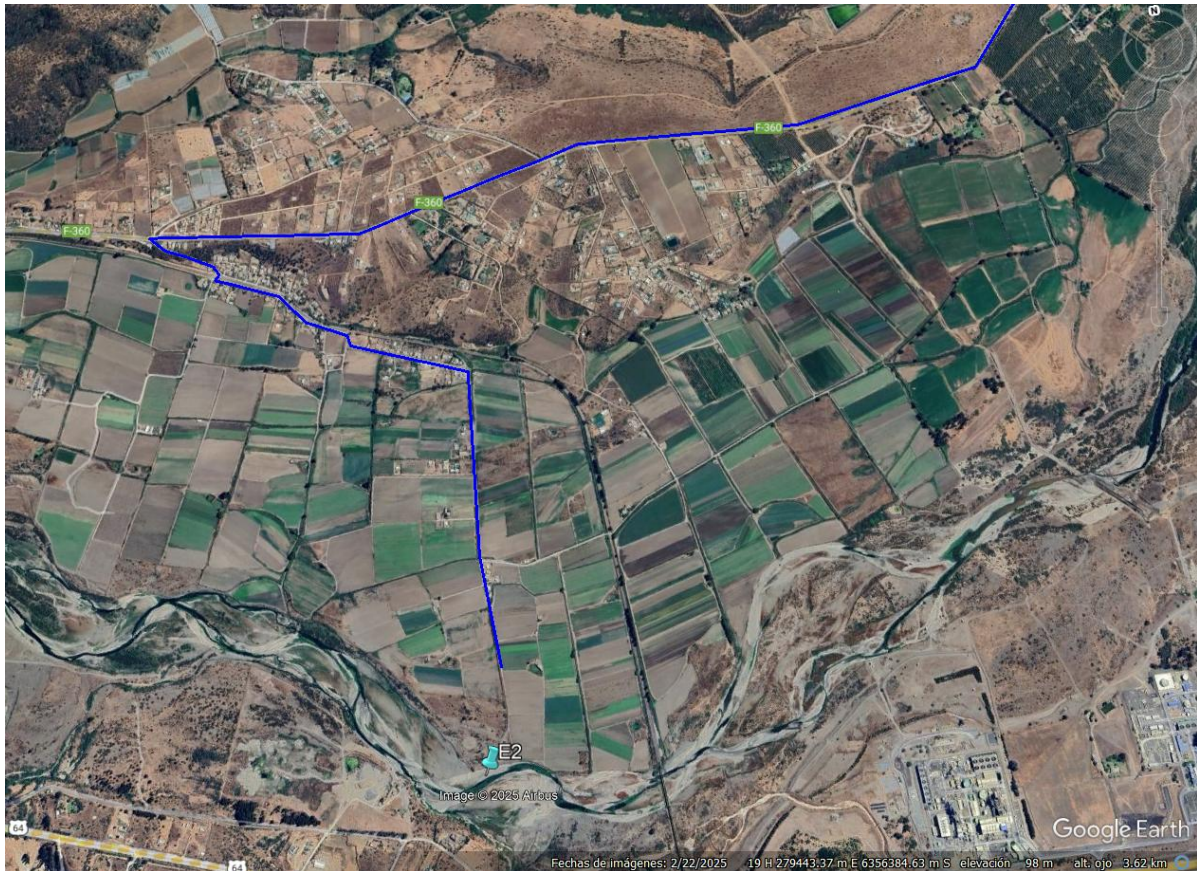


### Ruta acceso estación 1

El acceso a la estación 1 (Puente Balmaceda) se realizó tomando la ruta 64, continuando posteriormente por la ruta F-62 y, finalmente, por la calle Valparaíso, hasta llegar al sector del puente Balmaceda. Desde este punto se ingresó a un área donde se encuentran canchas de fútbol, y en el estacionamiento fue posible continuar el desplazamiento hacia el río.

Para acceder al río, fue necesario descender y caminar un breve tramo, debido a la pendiente del terreno.

## ANEXO 8



### Ruta acceso estación 2

El acceso a la estación 2 se efectuó tomando la ruta F-360 en dirección al sector Carolmo, ingresando luego a una zona poblada de carácter rural, donde predominan predio agrícolas y viviendas dispersas. Para acceder al punto de muestreo fue necesario solicitar autorización a los residentes locales, ya que el ingreso al río se realizó a través de propiedades privadas. El recorrido final se completó caminando un corto tramo hasta alcanzar la zona ribereña del río, donde se efectuaron las mediciones correspondientes.

## ANEXO 9



### Ruta acceso estación 3

El acceso a la Estación 3 se realizó tomando la Ruta F-360, que conecta la zona urbana del sector norte con la Ruta F-190. Desde esta última, se continuó en dirección sur hasta alcanzar el Puente Colmo, punto de referencia principal sobre el cauce del río. Desde el puente se ingresó por un camino lateral de ripio que bordea el margen sur del río, permitiendo descender hasta el área de muestreo.

## ANEXO 10

### Costos análisis físico-químico

<b>UF (31/10/2025)</b>					
	39.597,67				
<b>ITEM</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>COSTOS UNIT.</b>	<b>COSTO (UF)</b>	<b>COSTO (\$)</b>
<b>Muestreo de agua</b>					
Profesional cetificado en toma de muestras de agua	6	jornada	1	6	237586
Informe (Resultados y analisis de parámetros físico y quimicos)	3	estaciones (muestras triplicadas)	1	3	118793
Subtotal (UF)				9	356.379
<b>Asistente en terreno</b>					
1 asistente de terreno	6	horas	0,6	3,6	142.552
Subtotal (UF)				3,6	142.552
<b>Gastos (laboratorios)</b>					
Laboratorio parametros fisico-quimicos	3	estaciones (muestras triplicadas)	10,1	30,3	1.199.809
Subtotal (UF)				30,3	1.199.809
<b>Gastos (operaciones)</b>					
Equipos (surber, draga, otros)	1	días	9,8	9,8	388.057
Insumos de laboratorio y terreno	1	varios	0,65	0,7	25.738
Vehículo	1	vehiculo	1,5	1,5	59.397
Combustibles y peajes	95	Km.	0,008	0,8	30.094
Viáticos	2	personas/día	0,5	1,0	39.598
Subtotal (UF)				13,7	542.884
<b>TOTAL</b>				<b>53,0</b>	<b>2.241.624</b>

## ANEXO 11

Costos estimados en análisis físico-químicos e índices biológicos

ITEM	CANTIDAD	UNIDAD	COSTOS UNIT.	COSTO (UF)	COSTO (\$)
<b>Muestreo de agua</b>					
Profesional certificado en toma de muestras de agua	6	jornada	1	6	237586
Informe (Resultados y análisis de parámetros físico y químicos)	3	estaciones (muestras triplicadas)	1	3	118793
Subtotal (UF)				9	356.379
<b>Asistente en terreno</b>					
1 asistente de terreno	6	horas	0,6	3,6	142.552
Subtotal (UF)				3,6	142.552
<b>Macroinvertebrados bentónicos</b>					
Elaboración permiso de pesca	4	horas	0,8	3,2	126.713
Profesional terreno	6	horas	0,8	4,8	190.069
Informe (resultados y análisis de calidad de agua en función de indicadores bióticos cualitativos)	24	horas	0,8	19,2	760.275
Reuniones y correcciones	2	horas	0,8	1,6	63.356
Subtotal (UF)				28,8	1.140.413
<b>Macrófitas Acuáticas</b>					
Profesional terreno	6	horas	0,8	4,8	190.069
Informe (resultados y análisis de calidad de agua en función de indicadores bióticos cualitativos)	24	horas	0,8	19,2	760.275
Reuniones y correcciones	2	horas	0,8	1,6	63.356
Subtotal (UF)				25,6	1.013.700
<b>Gastos (laboratorios)</b>					
Laboratorio macroinvertebrados	3	estaciones (muestras triplicadas)	3,3	9,9	392.017
Laboratorio parámetros físico-químicos	3	estaciones	10,1	30,3	1.199.809
Laboratorio Macrófitas acuáticas	3	estaciones (muestras triplicadas)	3,3	9,9	392.017
Subtotal (UF)				50,1	1.983.843
<b>Gastos (operaciones)</b>					
Publicación diario oficial	1	publicación	1	1,0	39.598
Equipos (surber, draga, otros)	1	días	15,4	15,4	609.804
Insumos de laboratorio y terreno	1	varios	1,7	1,7	67.316
Envío muestras	2	courier	0,5	1,0	39.598
Vehículo	1	vehículo	1,5	1,5	59.397
Combustibles y peajes	95	Km.	0,008	0,8	30.094
Viáticos	4	personas/día	0,5	2,0	79.195
Subtotal (UF)				23,4	925.002
<b>TOTAL</b>				<b>98,3</b>	<b>5.561.889</b>