



Universidad de Concepción  
Facultad de Ciencias Ambientales



# Análisis de la coherencia entre Estudios de Impacto Ambiental y Programas de Seguimiento Ambiental de Centrales Hidroeléctricas de la Región del Ñuble:

## Impactos sobre ecosistemas acuáticos continentales.

Habilitación presentada para optar al título de  
Ingeniero Ambiental

Catalina Villarreal Figueroa  
Profesora Guía: Dra. Evelyn Habit

Concepción (Chile), 2025.

## **“ANÁLISIS DE LA COHERENCIA ENTRE ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL Y PSA DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE LA REGIÓN DEL ÑUBLE: ECOSISTEMAS ACUÁTICOS CONTINENTALES”**

**Profesor Guía: Dra. Evelyn Habit Conejeros**

**Profesor Comisión: Mg. Paula Nieto Pino**

**Profesor Comisión: Dr. Pedro Arriagada Sanhueza**

**CONCEPTO: APROBADO CON DISTINCIÓN MÁXIMA**

Conceptos que se indica en el Título

- ✓ Aprobado por Unanimidad : (En Escala de 4,0 a 4,9)
- ✓ Aprobado con Distinción (En Escala de 5,0 a 5,6)
- ✓ Aprobado con Distinción Máxima ( En Escala de 5,7 a 7,0)

**Concepción, noviembre 2025**

## Índice

1.	Resumen	2
2.	Marco Teórico	3
2.1.	Energía Hidroeléctrica	3
2.2.	Contexto hidroeléctrico mundial	6
1.	Objetivos.	12
2.	Metodología	13
5.	Contribución a los ODS	14
6.	Resultado y discusión	15
6.1	Análisis Mini central de Pasada Itata	15
6.1.4.	Determinación de la coherencia entre impactos ambientales previstos, las medidas de manejo y su verificación en el PSA	43
6.2.	Análisis Pequeña Central de Pasada El Pinar	47
6.2.4.	Determinación de la coherencia entre impactos ambientales previstos, las medidas de manejo y su verificación en el PSA	83
7.	Análisis Comparativo de los casos de estudio bajo la Guía de Cambio Climático del SEA “Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA”	86
8.	Conclusión	88
9.	Referencias	89

## 1. Resumen

La presente investigación evalúa la coherencia y efectividad de los Programas de Seguimiento Ambiental (PSA) implementados en dos centrales hidroeléctricas de pasada en la Región del Ñuble, la Minicentral Itata y la Central El Pinar, con un enfoque en los impactos sobre los ecosistemas acuáticos continentales. El objetivo principal es determinar si estos programas permiten verificar adecuadamente los impactos previstos en los Estudios de Impacto Ambiental, así como la eficacia de las medidas de manejo propuestas y la protección real de los componentes ambientales.

La metodología consistió en un análisis exhaustivo de los expedientes de evaluación ambiental de cada proyecto, incluyendo sus Estudios de Impacto Ambiental y Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA), seguido de una revisión crítica de los informes de seguimiento disponibles en la plataforma de fiscalización. Adicionalmente, se contrastó la gestión ambiental de ambos proyectos con los criterios técnicos actuales establecidos en la “Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA”, para evaluar cómo los nuevos estándares habrían modificado la evaluación y el manejo de los impactos.

Los resultados revelan una marcada incoherencia entre las obligaciones y compromisos ambientales establecidos en las RCA y su posterior verificación en la práctica. Se identificaron fallas estructurales en los planes de seguimiento, con medidas de mitigación que demostraron ser ineficaces. Ejemplo de ellos es que en la central Itata las barreras para peces no impidieron su ingreso al canal de aducción, mientras que en la central el Pinar, el acotado período de construcción en el cauce tampoco previno el deterioro del hábitat acuático. De manera similar, en ambas centrales se implementaron planes de rescate y relocalización de fauna íctica cuya efectividad no pudo ser comprobada. Consecuentemente, los seguimientos documentaron un deterioro ecológico significativo, incluyendo el colapso de las poblaciones de peces nativos y alteración de las comunidades de macroinvertebrados, sin que se activaran mecanismos de gestión adaptativa para corregir las deficiencias detectadas.

Asimismo, el análisis retrospectivo de ambos proyectos bajo los criterios de la “Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA” evidenció las insuficiencias de las evaluaciones originales. Se determinó que una aplicación de los estándares actuales habría modificado significativamente el proceso, imponiendo exigencias considerablemente más críticas que, al ponderar los efectos a largo plazo sobre los recursos hídricos, probablemente habrían puesto en duda la viabilidad de ambos proyectos.

Se concluye que los Programas de Seguimiento Ambiental, en los casos estudiados, funcionan principalmente como un requisito administrativo formal más que como una herramienta efectiva de gestión y protección ambiental. La investigación evidencia la necesidad de fortalecer el diseño, la implementación y la fiscalización de estos instrumentos para asegurar que el desarrollo de proyectos energéticos sea compatible con la conservación de los ecosistemas acuáticos, especialmente en un contexto de creciente vulnerabilidad hídrica por el cambio climático.

## 2. Marco Teórico

### 2.1. Energía Hidroeléctrica

La hidroelectricidad es una forma de energía renovable que se obtiene por medio de la operación centrales hidroeléctricas, las cuales utilizan el agua almacenada en embalses o el agua que fluye en los ríos para generar energía eléctrica. A través del movimiento del agua se activan turbinas que transforman la energía cinética en electricidad. Este tipo de energía es considerada una fuente renovable debido a que depende del ciclo hidrológico natural, y se caracteriza por su alta eficiencia y bajo costo operativo. Además, es una tecnología adaptable a diversas condiciones geográficas, lo que ha facilitado su implementación en múltiples regiones del mundo (Sanz, 2016).

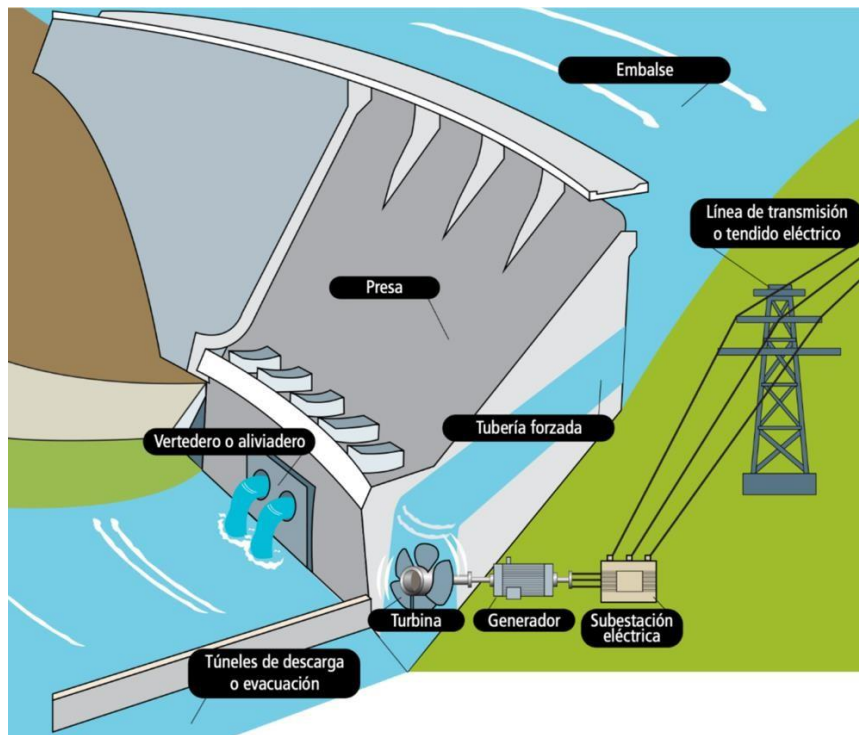
Una de las principales formas de clasificación de estas centrales es según su modo de operación (Servicio de Evaluación Ambiental, 2021). Principalmente destacan 2 tipos de centrales hidroeléctricas, las cuales se presentan a continuación.

#### Centrales de embalse

Este tipo de instalaciones acumulan agua mediante una presa para regular el flujo durante todo el año, permitiendo generar electricidad de forma constante, incluso en estaciones secas o en horarios de alta demanda. Su tamaño varía considerablemente, dependiendo de la topografía local, la altura de la presa y el servicio energético esperado (Egré & Milewski 2002). Estas centrales aprovechan la energía potencial y cinética del agua que es embalsada para generar electricidad. El recurso que es retenido por la presa es conducido, por medio de un sistema de tuberías a presión, hasta una turbina, la cual está conectada a un generador que se encarga de convertir la energía mecánica que se origina a partir de la rotación de la turbina, en energía eléctrica (SEA 2021; Fig. 2.1).

Las centrales de embalse experimentaron un aumento significativo desde mediados del siglo XX: entre 1920 y 2000 se construyeron aproximadamente 2.000 centrales hidroeléctricas a nivel mundial, dominando las grandes represas y marcando un crecimiento acelerado del desarrollo hidroeléctrico (Zarfl et al., 2015). Este auge respondió tanto a la necesidad de satisfacer la creciente demanda energética como a la visión de las represas como motores de desarrollo económico (Ansar et al., 2014).

Sin embargo, a lo largo de los años se observó que estas grandes infraestructuras causaban impactos ambientales significativos. Su operación altera los regímenes hidrológicos y sedimentarios, afectando la ecología de los ríos aguas abajo (Villablanca et al., 2022), transforman los ríos en ambientes lénticos, provocan fragmentación de hábitats, modifican la temperatura y la calidad del agua, y pueden inducir desplazamiento de comunidades humanas y pérdida de biodiversidad (Viteri-Garcés et al., 2017). Por ejemplo, en el embalse de la Central Hidroeléctrica Baba en Ecuador, se evidenció contaminación del agua y pérdida de especies endémicas debido a la presencia de especies introducidas más tolerantes a bajos niveles de oxígeno, y al cambio en procesos de erosión y transporte de sedimentos. Esto tuvo efectos negativos en los ciclos reproductivos, abundancia y migración de la fauna acuática (Viteri-Garcés et al., 2017).



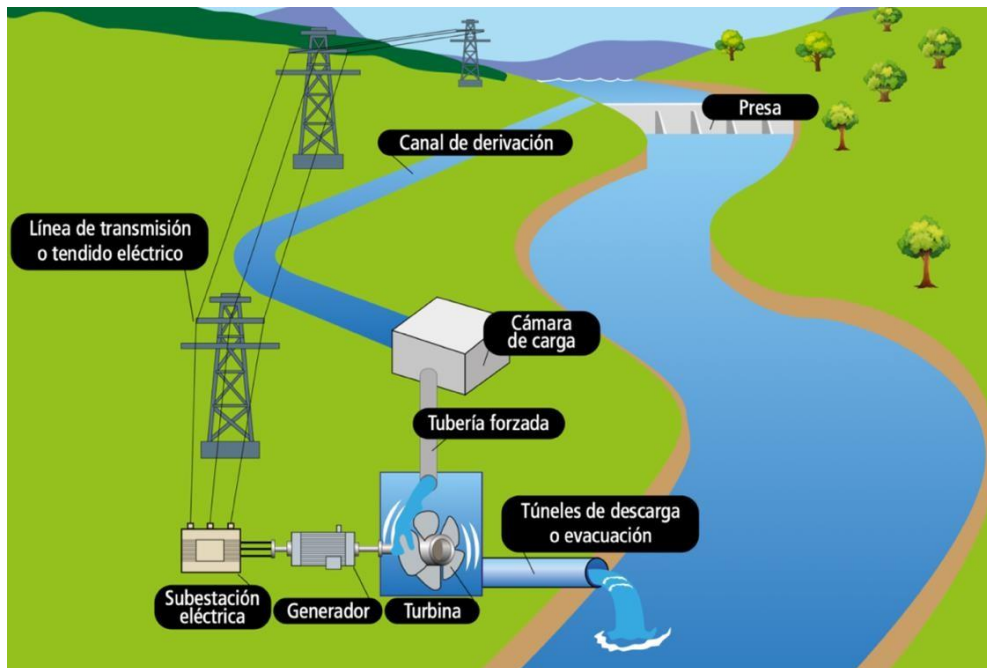
**Figura 2.1.** Diagrama simplificado de una central de embalse y sus conexiones a una subestación eléctrica y línea de transmisión. *Fuente: SEA, 2021.*

### Centrales de pasada

Las centrales de pasada, en cambio, derivan el caudal del río directamente hacia las turbinas, sin la necesidad de grandes embalses. Una vez generado el proceso, el agua es devuelta al cauce (Sanz, 2016). El funcionamiento de este tipo de obras se basa en que una parte del agua que circula por un río es captada por una bocatoma y desviado hacia una aducción, la cual se encarga de conducir el agua hasta un cámara de carga, para que posteriormente, mediante una tubería en presión, dirígala hacia la casa de máquinas, que es donde ocurre el proceso de generación de energía eléctrica. Posteriormente, el agua utilizada para la generación es devuelta al río. Otra característica que tiene estas centrales es que proporcionan un suministro continuo de electricidad para una demanda de energía base y no puede almacenar reservas para ajustar su generación (SEA, 2021; Fig. 2.2).

Si bien suelen considerarse de menor impacto social y visual, también pueden generar efectos ecológicos importantes. La presencia de bocatomas, canales y túneles fragmenta el hábitat, y la operación variable puede generar fluctuaciones artificiales en el caudal (Gibeau et al., 2017). Estas alteraciones afectan la conectividad de hábitats acuáticos críticos y modifican parámetros físico-químicos del agua, reduciendo la diversidad y abundancia de especies sensibles (Valero, 2012). En el río Morava (República Checa), por ejemplo, se documentaron cambios en la temperatura del agua asociados a la desviación del caudal, lo que disminuyó la biodiversidad de peces y macroinvertebrados (Kubečka et al., 1997). Adicionalmente, se ha reportado que la turbulencia generada en los canales de descarga puede provocar sobresaturación de gases disueltos, condición que puede ser letal para algunas especies acuáticas (Anderson et al., 2015).

**Figura 2.2.** Diagrama simplificado de una central de pasada y sus conexiones a una subestación eléctrica y línea de transmisión. *Fuente: SEA, 2021.*



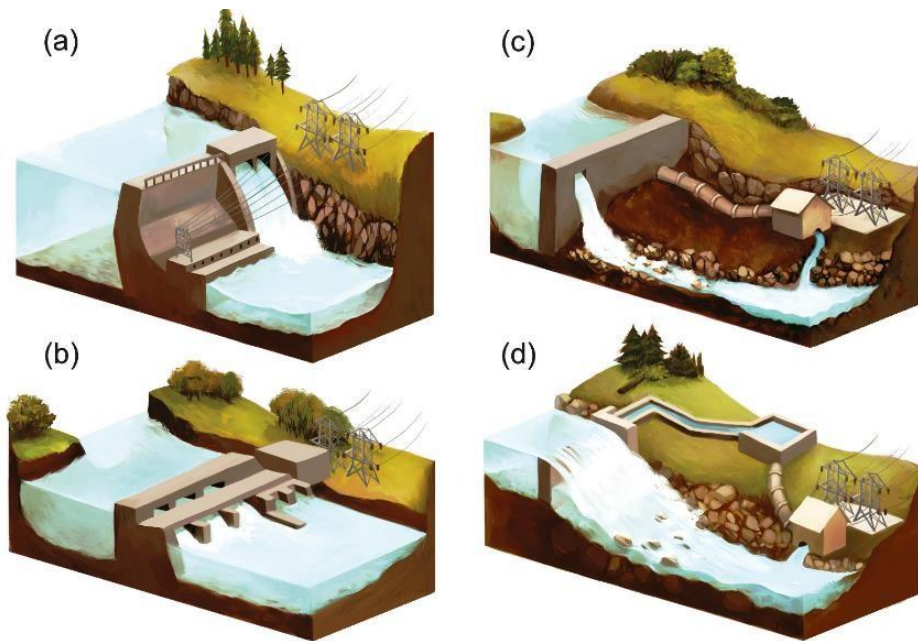
**Figura 2.2.** Diagrama simplificado de una central de pasada y sus conexiones a una subestación eléctrica y línea de transmisión. *Fuente: SEA, 2021.*

### Transición hacia Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

La creciente evidencia sobre los impactos ambientales y sociales generados por estas grandes centrales motivó una crítica internacional al modelo de desarrollo hidroeléctrico tradicional. En base a eso, se ha promovido el desarrollo de alternativas energéticas de menor escala, como las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH), en un intento por reducir impactos ambientales y sociales (Moore et al., 2010).

Las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas o Minicentrales Hidroeléctricas, pueden operar tanto como centrales de embalse como de pasada (Couto & Olden, 2018; Fig. 2.3). Han sido ampliamente promovidas por sus menores requerimientos de inversión, planificación y superficie además de su larga vida útil (Kilama 2013). No obstante, diversos estudios han demostrado que su impacto ambiental puede ser significativo, sobre todo en ecosistemas acuáticos.

Entre los principales impactos que producen las PCH se encuentra la alteración del caudal natural de los ríos y la fragmentación de hábitat por la construcción de infraestructura necesaria para la captación de agua, lo que conlleva a la pérdida de conectividad ecológica para especies. Estos impactos pueden llevar a la disminución de especies de peces y otros organismos acuáticos o incluso alcanzar caudales bajo el umbral mínimo necesario para mantener los servicios ecosistémicos (Couto & Olden, 2018; McManamay et al. 2014). En el caso de la minicentral Las Flores, en el río Quimán (Región de Los Ríos, Chile), el proyecto generó sequía total aguas abajo durante el verano, afectando gravemente el ecosistema fluvial (Kelly, 2019). Además, la expansión de este tipo de proyectos ha generado preocupación por los impactos acumulativos que pueden generar múltiples pequeñas intervenciones. Si bien cada minicentral puede representar una alteración menor a nivel local, al sumarse una gran cantidad de ellas sobre distintos tramos de una cuenca, los efectos acumulados pueden llegar a superar los de un solo proyecto de gran escala (Egré & Milewski, 2002).



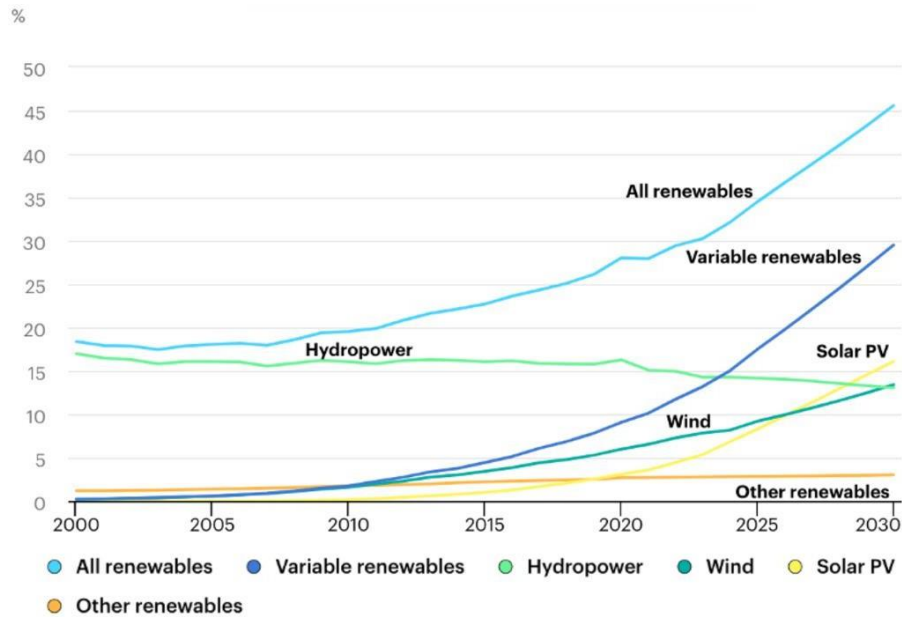
**Figura 2.3.** Esquema que muestra la clasificación principal de los modos de operación de la hidroelectricidad según la presencia de estructuras de almacenamiento y de derivación. Cualquiera de estos modos de operación puede encontrarse en instalaciones clasificadas como centrales hidroeléctricas de pequeña escala. Sin derivación con almacenamiento (a), Sin derivación y sin almacenamiento (b), con derivación y con almacenamiento (c), Con derivación y sin almacenamiento (d). *Fuente: Couto & Olden, 2018.*

## 2.2. Contexto hidroeléctrico mundial

El origen y la expansión de la energía hidroeléctrica están directamente vinculados a las crecientes demandas energéticas generadas por la industrialización y el desarrollo urbano (Nye, 1990). Las primeras centrales surgieron a finales del siglo XIX, durante la Segunda Revolución Industrial, con el propósito de suministrar energía a industrias clave como las papeleras y para la iluminación eléctrica de las ciudades (U.S. Department of Energy, 2017). De hecho, la disponibilidad de energía hidráulica ha estado históricamente asociada al impulso del crecimiento económico (Røed, 2022).

Sin embargo, el gran auge de la hidroelectricidad se produjo a mediados del siglo XX, en un período de rápida expansión económica y crecimiento demográfico global (Moore et al., 2000). Durante esta era, se construyeron masivamente grandes presas para satisfacer la necesidad de una fuente de energía a gran escala que pudiera sustentar el desarrollo industrial (International Hydropower Association, 2021).

El consumo mundial de electricidad ha aumentado la demanda energética global, especialmente de electricidad, impulsado por el crecimiento constante de la población mundial, el desarrollo económico y la expansión de nuevas tecnologías. De acuerdo con International Energy Agency (IEA), en el año 2024 la demanda mundial de electricidad creció un 4,3 %, superando significativamente el promedio histórico y se prevé que continúe cerca del 4% hasta 2027 (IEA, 2025).



**Figura 2.4.** Porcentaje de generación de electricidad renovable por tecnología, 2000-2030. Fuente: IEA, 2025.

Como se puede observar en la Fig. 2.4, una de las principales fuentes para la electricidad es la energía hidráulica, actualmente la producción de la energía hidroeléctrica se encuentra estancada (Jones, 2021), aun así ha sido de las energías más constantes y se ha mantenido durante los años. A nivel mundial, la energía hidroeléctrica abastece más del 16% de la demanda total de electricidad mundial y es la principal fuente de generación de energía renovable (71%), proporcionando 5400 TWh de electricidad por año y se espera que siga siendo la mayor fuente mundial de generación de electricidad renovable hasta la década de 2030 (IEA, 2025). Asimismo, según Coutiño (2021), a finales de 2019 se estimó que la participación de las energías renovables en la producción mundial de electricidad fue de un 27,3 %, y de la cual, un 15,9 % es a partir de la energía hidroeléctrica, por lo tanto, se respalda el hecho de que la hidroelectricidad se encuentra por encima de otras fuentes renovables.

### 2.3. Desarrollo Hidroeléctrico en Chile

La configuración de los sistemas fluviales chilenos ha favorecido el aprovechamiento hidroeléctrico. Debido a su geomorfología, estos sistemas evacúan aguas de zonas de gran altitud en la cordillera de los andes, donde las precipitaciones y escorrentía son elevadas, hacia la costa en trayectos breves, lo que permite un potencial para generación hidroeléctrica (Habit et al., 2018).

El desarrollo hidroeléctrico en Chile se remonta a fines del siglo XIX, impulsado inicialmente por la necesidad de abastecer energía a las industrias emergentes y centros urbanos. La primera central hidroeléctrica importante fue la Central Chivilingo, construida en 1897 en la Región del Biobío (Muñoz, 2022). De ahí en adelante tuvo una participación crucial en la generación eléctrica. Sin embargo, en 1998 ocurrió una sequía, la cual provocó racionamiento eléctrico, y por lo tanto que las nuevas inversiones en generación eléctrica se reorientaran hacia una basada en combustibles fósiles, principalmente gas natural (Pollit 2004). En ese entonces, la matriz eléctrica chilena mostraba una alta dependencia de fuentes fósiles como el carbón, el diésel y, especialmente, el gas natural importado, lo que generó vulnerabilidad frente a interrupciones externas e incrementó los costos de generación. Esta situación se intensificó tras la crisis del gas

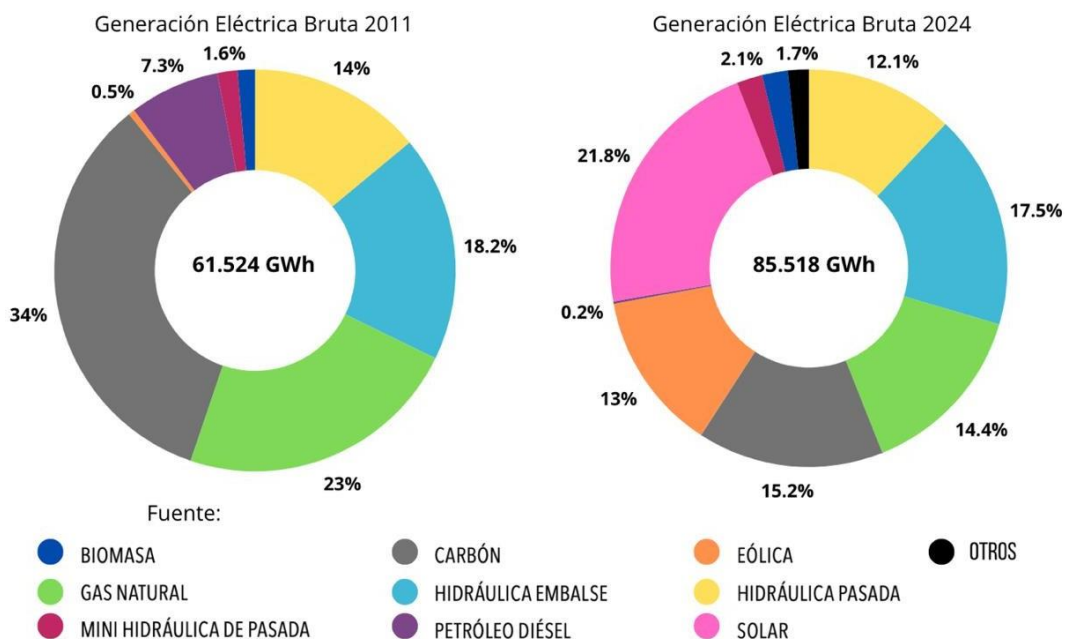
argentino en 2004, cuando Chile debió reemplazar el suministro con alternativas más costosas y contaminantes, como el diésel y el carbón (Gómez, 2017).

En Chile, predominaban las fuentes fósiles, siendo el carbón (34%) y el gas natural (23%) los principales aportes a la generación eléctrica en la matriz de generación eléctrica bruta del año 2011, como se puede ver en la Fig. 2.5. La hidroelectricidad representaba en conjunto un 33.8%, mientras que las Energías Renovables No Convencionales (ENRC) eran aún incipientes, la energía eólica representaba un 0.5% y no había solar.

Luego en en el año 2008 ocurrió un hito normativo clave que fue la promulgación Ley 20.257 General de Servicios Eléctricos, que estableció que las compañías eléctricas que realicen retiros desde cualquier sistema interconectado con potencia instalada mayor a 200 MW, deben justificar que el 10% de esos retiros provengan desde fuentes renovables, la que luego fue actualizada con de la Ley N.º 20.698 en el año 2013, modificándolo a un 20%. Esta normativa incentivó el ingreso masivo de proyectos solares, eólicos, geotérmicos e hidroeléctricos, fortaleciendo progresivamente la base renovable de la matriz chilena (Nasirov & Silva, 2014).

Debido a esto, para el año 2024 se observa una expansión acelerada de las ENRC especialmente la energía solar con 21.8% y la eólica con 13%, mientras que las fuentes fósiles han disminuido considerablemente, carbón a menos de la mitad de lo que generaba el 2011, con un 15.2%, el gas natural un 14.4% y diésel solo un 0.2%.

Actualmente, la generación hidroeléctrica en el año 2024 alcanzó el 31.7% de la generación eléctrica bruta, distribuida en 17.5% en centrales de embalse y 14,2% en Centrales de pasada (CNE, 2024).



**Figura 2.5.** Generación eléctrica bruta en el sistema eléctrico nacional en GWh según su fuente en los años 2011 y 2024. Fuente: *Elaboración propia en base a Anuario estadístico de energía 2021 y Anuario estadístico de energía 2024, Comisión Nacional de Energía.*

De acuerdo al estudio de cuencas del Ministerio de Energía (2016), el país posee un potencial hidroeléctrico de unos 16.000 MW. Actualmente en Chile la energía hidroeléctrica sigue siendo de las principales fuentes de energía renovable en Chile. Según el Coordinador Eléctrico Nacional (CEN), a Junio de 2025 la capacidad instalada de generación de las centrales hidroeléctricas en

el Sistema Eléctrico Nacional es de 7.485 MW, representando aproximadamente el 21% de la capacidad total instalada en el país (CEN, 2025).

#### 2.4. Evaluación de Impacto Ambiental en Chile

En Chile, la evaluación ambiental está regulada por la Ley N.º 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente, de 1994, y por su reglamento contenido en el Decreto Supremo N.º 40, de 2013, del Ministerio del Medio Ambiente. Este marco normativo establece el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) como un instrumento de gestión preventiva, actualmente administrado por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA).

La evaluación de impacto ambiental se define como “El procedimiento, a cargo del Servicio de Evaluación Ambiental, que, en base a un Estudio o Declaración de Impacto Ambiental, determina si el impacto ambiental de una actividad o proyecto se ajusta a las normas vigentes” (Ley N.º 19.300, art. 2, letra j).

Según el Reglamento del SEIA (DS N.º 40/2013), todas las centrales generadoras de energía cuya capacidad supere los 3 MW debe someterse a una evaluación ambiental. El ingreso de un proyecto al SEIA puede realizarse mediante dos instrumentos: la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o el Estudio de Impacto Ambiental (EIA). La distinción entre ambos radica en la presencia de impactos significativos. Según el artículo 11 de la Ley N.º 19.300, se deberá presentar un EIA cuando los proyectos o actividades generen o presenten al menos uno de los efectos, características o circunstancias (ECC) definidos en el mismo artículo.

En el artículo 24 de la Ley N.º 19.300 se especifica que el proceso de evaluación concluye con una resolución que califica ambientalmente el proyecto o actividad, la que es notificada a las autoridades administrativas con competencia para resolver sobre la actividad o proyecto. Esta RCA puede ser favorable o desfavorable respecto del impacto ambiental del proyecto o actividad.

La Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) es el organismo público encargado de fiscalizar y hacer cumplir la normativa ambiental en Chile, así como las condiciones, medidas y obligaciones establecidas en las RCA de los proyectos sometidos al SEIA. Su creación y funciones están reguladas en la Ley N.º 20.417, de 2010, que modifica la Ley N.º 19.300 y establece su Ley Orgánica. De acuerdo con el artículo 64 de la Ley N.º 19.300, corresponde a la SMA la fiscalización permanente del cumplimiento de las condiciones ambientales que dieron origen a la aprobación de un proyecto, lo que incluye el seguimiento de variables ambientales, medidas de mitigación y planes de manejo comprometidos por el titular. Por lo tanto la fiscalización del cumplimiento del PSA recae en la SMA, conforme a lo establecido en el artículo 106 del Decreto Supremo N.º 40, de 2013. Esta institución tiene la facultad de exigir el cumplimiento estricto de las condiciones establecidas en la Resolución de Calificación Ambiental del proyecto, y de aplicar las sanciones correspondientes en caso de incumplimiento.

El Programa de Seguimiento Ambiental tiene como finalidad según el Artículo 105 del Decreto Supremo N.º 40, de 2013, del Ministerio del Medio Ambiente, asegurar la trazabilidad del comportamiento de los componentes ambientales evaluados, incorporando, cuando corresponda, aspectos como el componente objeto de seguimiento, el impacto y la medida asociada, los puntos de monitoreo, los parámetros a medir, los límites permitidos o comprometidos, la metodología, la frecuencia y duración del monitoreo, y la periodicidad de los informes. Asimismo, el plan debe considerar el cambio climático como variable transversal, y puede incluir medidas adicionales para prevenir impactos significativos no previstos.

La ejecución del Plan de Seguimiento Ambiental (PSA) puede revelar discrepancias entre los impactos proyectados en el EIA/RCA y los efectos reales del proyecto. Para estos casos, el Artículo 25 quinqués de la Ley N.º 19.300 establece un mecanismo excepcional de revisión de la Resolución de Calificación Ambiental (RCA), aplicable cuando las variables ambientales monitoreadas varían sustantivamente respecto a lo proyectado, o cuando no se verifican los impactos previstos inicialmente. Este busca corregir situaciones donde las medidas de mitigación resulten insuficientes o innecesarias.

En esta investigación se analizarán proyectos que ingresaron al SEIA mediante Estudio de Impacto Ambiental, ya que, a diferencia de las Declaraciones de Impacto Ambiental, los EIA deben incluir obligatoriamente un Programa de Seguimiento Ambiental en su contenido mínimo. Esto se encuentra establecido en el artículo 18, letra k) del Decreto Supremo N.º 40, de 2013, del Ministerio del Medio Ambiente, el cual señala que el EIA debe incorporar: *“un plan de seguimiento de las variables ambientales relevantes, de conformidad a lo establecido en el Párrafo 3º del Título VI de este Reglamento”*.

En este contexto, las mini centrales de pasada corresponden a una subcategoría dentro de esta tipología, caracterizadas por una potencia instalada menor a 20MW (Guía para la descripción de centrales de generación hidroeléctrica en el SEIA, 2021).

## 2.5. La Incorporación del Cambio Climático en la Evaluación Ambiental

En los últimos años, la gestión ambiental en Chile ha iniciado una transición fundamental para abordar de manera proactiva la triple crisis ambiental global: el cambio climático, la contaminación y la pérdida de biodiversidad. En este contexto, y reconociendo la alta vulnerabilidad del territorio nacional a los efectos del cambio climático, el Estado ha fortalecido su marco normativo. Un hito clave en este proceso fue la promulgación de la Ley N° 21.455, Ley Marco de Cambio Climático, que mandata explícitamente la integración de esta variable en los instrumentos de gestión, incluyendo el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

Para materializar este mandato, el Reglamento del SEIA fue modificado a través del Decreto Supremo N°30 de 2023. Como herramienta técnica para aplicar estas nuevas exigencias, el SEA publicó la “Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA”. El objetivo de este documento es entregar certezas técnicas y jurídicas, tanto para la elaboración como para la evaluación de proyectos, estableciendo un procedimiento para analizar cómo estos interactuarán con un entorno sujeto a cambios progresivos y a eventos climáticos extremos.

La guía propone una metodología estructurada en ocho pasos que abordan de manera transversal la variable climática en todo el ciclo de evaluación, desde la descripción del proyecto (Paso 1) y de los objetos de protección (Paso 2), hasta la predicción y evaluación de impactos considerando sinergias negativas (Pasos 3-6), y la elaboración de medidas de manejo adaptativas y planes de contingencia (Pasos 7 y 8). Este nuevo estándar, que exige analizar los proyectos bajo el escenario climático más desfavorable.

## 2.6. El caso de la Región del Ñuble

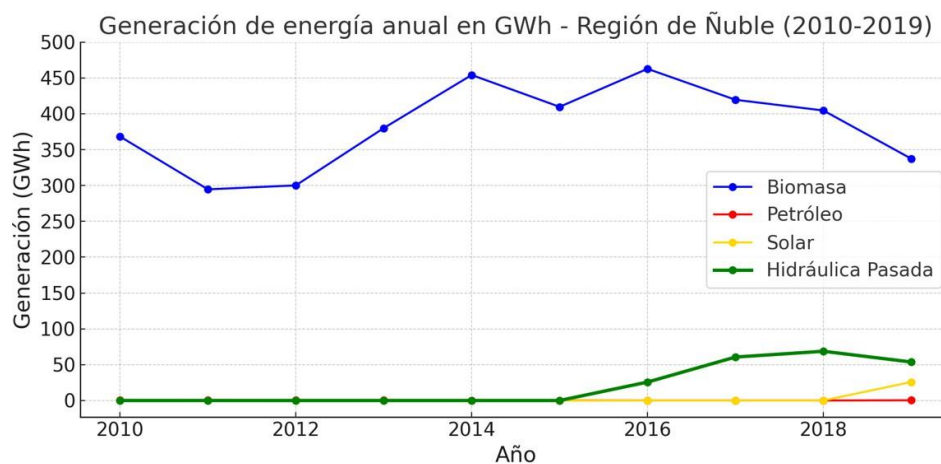
La Región del Ñuble se ubica en la zona centro-sur de Chile y cuenta con 480.609 habitantes en una superficie total de 13.178,5 km<sup>2</sup>. Es la región con menor extensión del país, constituida administrativamente por tres provincias: Diguillín, Punilla e Itata, y 21 comunas. La región tiene una amplia red de canales. Esta red se localiza en el Valle Central en la cuenca del río Itata, donde

se efectúa la mayor parte de la actividad agropecuaria de la región. Posee una red de canales declarados de 5.028 km (CNR, 2018).

Para esta tesis, la Región del Ñuble se presenta como un caso de estudio particularmente interesante, ya que a pesar de que la cuenca del río Itata no figura entre las de mayor potencial energético del país (519 MW), ya que el estudio “Base para planificación territorial en el desarrollo hidroeléctrico futuro” la identifica como un territorio de alta complejidad. La razón es que el informe reconoce oficialmente la existencia de numerosos Objetos de Valor Ambiental (OVAs) en la zona, como su alto valor paisajístico y turístico, especialmente en sectores como el Salto del Itata. (Ministerio de Energía, 2015).

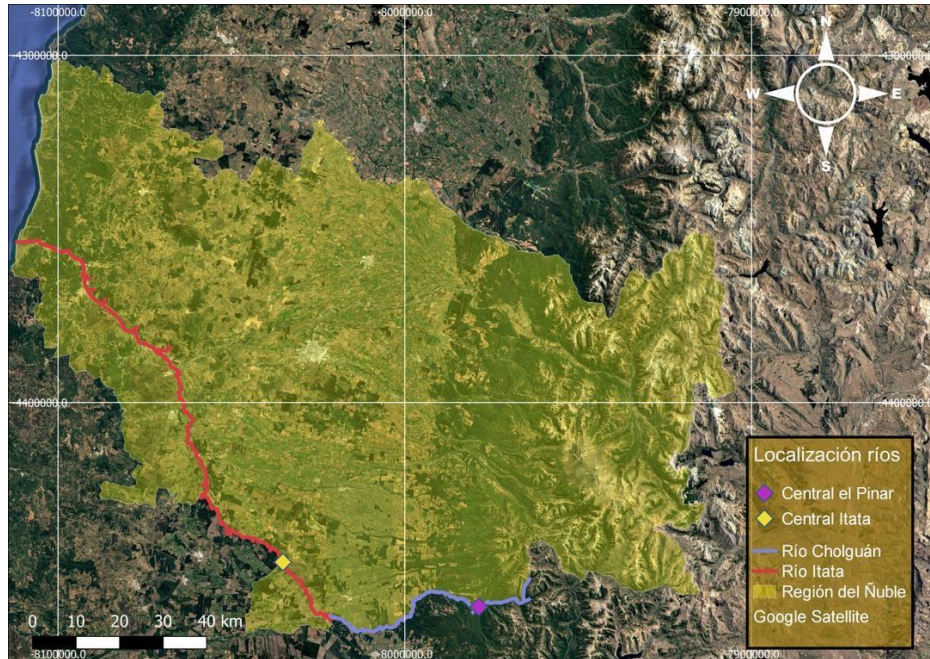
Esto crea un escenario crítico, una cuenca con un desarrollo hidroeléctrico incipiente pero con sensibilidades ambientales y sociales ya catastradas por el Estado. Por lo tanto, analizar la coherencia y efectividad de los primeros Estudios de Impacto Ambiental y Programas de Seguimiento en esta cuenca es fundamental. Nos permite evaluar si el sistema de evaluación ambiental chileno es realmente capaz de proteger estos valores reconocidos.

La generación de energía en la región ha tenido como fuente principal la biomasa, situación que empieza a modificarse en 2016, donde se agrega a la matriz, aunque en menor proporción, energía producida en centrales hidráulicas de pasada (Gobierno Regional de Ñuble, 2020). Luego, en 2019 se registra otro cambio en la matriz con la entrada de plantas de producción de energía solar, que representa el 6,2% del total. La evolución de la generación de energía se puede apreciar en la Fig. 2.6.



**Figura 2.6.** Gráfico de la generación de energía anual en la Región del Ñuble entre años 2010 y 2019. Fuente: Gobierno Regional de Ñuble, 2020.

Hasta la fecha, se aprovecha solo el 3,7% del potencial eléctrico de 519 MW. Este porcentaje se debe a la minicentral de pasada Itata (20 MW), de Eléctrica Puntilla, en el río Itata y la pequeña central de pasada El Pinar (11,5 MW), de Aaktei, en el río Cholguán. Sin embargo, la localización de este tipo de proyectos en tramos medios y altos de los ríos, sumada a la escasa evaluación de impactos acumulativos, genera preocupación respecto a la presión sostenida sobre ecosistemas acuáticos (Habit et al., 2018). En particular, la cuenca del río Itata concentra dos centrales hidroeléctricas no convencionales, la Minicentral de Pasada Itata y la Pequeña Central de Pasada El Pinar (Fig. 2.7), cuyos casos son abordados en esta investigación.



**Figura 2.7.** Ríos de la cuenca del río Itata utilizados para generar hidroelectricidad a través de la Minicentral de Pasada Itata y la Pequeña Central de Pasada el Pinar en la Región del Ñuble. *Fuente: Datos geoespaciales obtenidos de IDE Chile.*

### Preguntas de Investigación:

¿Existe coherencia entre los PSA implementados en las centrales hidroeléctricas de la Región del Ñuble con sus respectivos EIA y RCA, permitiendo verificar la ocurrencia de los impactos ambientales previstos, la ocurrencia de impactos no previstos y la utilidad de las medidas de manejo propuestas para mitigar, restaurar o compensar los impactos sobre los ecosistemas acuáticos continentales establecidos?

Bajo las nuevas condiciones de estándares técnicos establecidos en nuevas Guías del SEA, ¿se espera que los resultados obtenidos hubiesen sido diferentes?

### 3. Objetivos.

#### Objetivo general

Evaluar la coherencia de los impactos ambientales previstos y sus medidas de manejo propuestas en los EIA/RCA con la verificación de estos en los Programas de Seguimiento Ambiental, para proyectos hidroeléctricos en la Región del Ñuble que afectan ecosistemas acuáticos continentales.

#### Objetivos específicos

1. Analizar los impactos ambientales previstos sobre los componentes acuáticos del proyecto, así como las medidas de manejo y seguimiento establecidas en la RCA, considerando las características técnicas y ambientales relevantes del proyecto como contexto.
2. Evaluar la implementación y efectividad del PSA a través de la revisión crítica de sus informes, verificando su capacidad para detectar los impactos previstos y comprobar la eficacia de las medidas aplicadas.

3. Determinar si existe coherencia entre los impactos ambientales previstos y medidas de manejo propuestas en los documentos analizados y su verificación en los PSA.
4. Comparar lo realizado por ambos proyectos con guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA.

#### **4. Metodología.**

1. Analizar los impactos ambientales previstos sobre los componentes acuáticos del proyecto, las medidas de manejo y plan de seguimiento establecidos en la RCA, considerando las características técnicas y ambientales relevantes del proyecto como contexto.

Se utilizó la base de datos del SEIA electrónico para reconocer el expediente ambiental del respectivo EIA aprobado para ambos proyectos. Para cada expediente, se identificó la descripción del proyecto, la línea de base, los impactos ambientales previstos, las medidas de manejo propuestas y el seguimiento definido para cada proyecto, consultando tanto el EIA como los ICSARA, las ADENDA, el ICE y la RCA correspondientes.

Para llevar a cabo este objetivo, para cada proyecto, se describió y analizó las secciones mencionadas anteriormente, donde se abarcó brevemente la descripción general del proyecto, que incluyó aspectos clave como los Órganos de la Administración del Estado con Competencia Ambiental (OAECA) que participaron en la evaluación del proyecto, el tipo y ubicación del proyecto, componentes principales de la infraestructura, caudal de diseño, acciones identificadas en las etapas del proyecto, entre otros. La línea de base también se abarcó de forma breve, describiendo los principales componentes ambientales evaluados, el área de influencia correspondiente y metodologías utilizadas que fueron definidas en el EIA. Con ello, se realizó un análisis y discusión de la información encontrada en la línea de base.

Luego, para el análisis de los impactos previstos, las medidas de manejo propuestas y el seguimiento establecido por cada componente, se describió el impacto y se discutió su valoración si se consideró no correspondiente. En cuanto a las medidas de manejo propuestas para cada impacto, se analizaron y discutieron en base a su capacidad esperada de mitigar, restaurar o compensar. Finalmente, para el plan de seguimiento, se analizó y discutió según su capacidad de monitorear la evolución de los impactos previstos.

2. Evaluar la implementación y efectividad del Programa de Seguimiento Ambiental (PSA) a través de la revisión crítica de sus informes, verificando su capacidad para detectar los impactos previstos y comprobar la eficacia de las medidas aplicadas.

Para evaluar la implementación y la efectividad de los PSA de ambos proyectos, se revisó la información entregada en la plataforma Sistema Nacional de Información Fiscalización Ambiental (SNIFA) para los componentes ambientales relacionados con sistemas acuáticos continentales, impactos previstos, medidas de manejo propuestas y seguimientos establecidos.

El análisis fue estructurado por componente ambiental, utilizando como base la información levantada del objetivo anterior. En cada caso, luego de que se describieran y analizaran los impactos previstos, las medidas de manejo propuestas y el plan de seguimiento establecido, se describieron los resultados del programa de seguimiento y luego se realizó un análisis crítico de ellos. Donde se evaluó la trazabilidad entre impacto, medida, seguimiento y documentos del seguimiento. Se examinó a detalle si los informes permitieron corroborar que los impactos ambientales previstos efectivamente se produjeron, y en la magnitud que se proyectaron, mediante

los parámetros monitoreados. También se verificó que las medidas de manejo propuestas fueran implementadas tal como fueron descritas y si fueron efectivas. Se evaluó la calidad metodológica del monitoreo, en términos de puntos de medición, frecuencia, técnicas utilizadas y los resultados obtenidos. Se determinó si existieron omisiones o resultados contradictorios entre los informes del PSA y lo comprometido inicialmente.

3. Determinar si existe coherencia entre los impactos ambientales previstos y medidas de manejo propuestas en los documentos analizados y su verificación en los PSA.

Se determinó la coherencia mediante tablas que permitieron realizar un análisis comparativo de los impactos previstos, las medidas de manejo propuestas, el parámetro monitoreado y el resultado encontrado en los PSA, que consideró si es que se pudo seguir la trazabilidad del impacto, si fue en la magnitud esperada, si es que se implementaron las medidas de manejo, si estas fueron efectivas, si se realizó el seguimiento, si el seguimiento demostró que evolucionaron según lo proyectado, en caso de que la medida no hubiese sido efectiva, si es que se propusieron medidas correctivas, si es que se realizaron fiscalizaciones en caso de incumplimiento. Finalmente, analizando todo ese tipo de datos, se realizó una conclusión sobre la coherencia entre el objetivo del programa de seguimiento y los resultados obtenidos.

4. Comparar lo realizado por ambos proyectos con guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA.

Para este objetivo, se utilizó la “Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA” (Tercera Edición, 2024), publicada por el Servicio de Evaluación Ambiental. Se adoptó la metodología de análisis prospectivo propuesta en dicha guía, la cual se estructura en ocho pasos, desde la descripción del proyecto hasta la elaboración de planes de contingencia.

Esta metodología fue aplicada de manera retrospectiva a los casos de estudio, con el fin de determinar cómo los nuevos criterios técnicos habrían modificado su evaluación ambiental original. Para cada paso del análisis, se integró y contrastó la información del expediente de evaluación de cada proyecto con los requerimientos de la guía y los datos obtenidos de las plataformas oficiales recomendadas por la misma, principalmente el Atlas de Riesgos Climáticos (ARClím) y su Explorador de Amenazas Climáticas.

El análisis se enfocó en identificar las brechas entre la evaluación original y el nuevo estándar, particularmente en la identificación de la significancia de los impactos sobre los ecosistemas acuáticos, el diseño de medidas de manejo adaptativas y la consideración de riesgos climáticos a largo plazo.

## **5. Contribución a los ODS**

La presente investigación contribuye de manera directa a los siguientes ODS:

**ODS 7: Energía Asequible y No Contaminante**

El estudio contribuye a este objetivo al centrarse en la mejora de los PSA en proyectos hidroeléctricos, que son una fuente clave de energía renovable en Chile. La efectividad de PSA permite asegurar que los proyectos hidroeléctricos sean gestionados de manera sostenible, reduciendo impactos ambientales y aumentando la viabilidad de esta fuente de energía limpia como alternativa al uso de combustibles fósiles.

**ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres.**

Al desarrollar indicadores específicos para evaluar los impactos ambientales en los ecosistemas acuáticos y la efectividad de las medidas de mitigación, el estudio contribuye directamente a la conservación de la biodiversidad afectada por los proyectos hidroeléctricos. También aborda la necesidad de mitigar y controlar los impactos acumulativos, que representan una amenaza significativa para la integridad de los ecosistemas fluviales y su biodiversidad asociada.

## **6. Resultado y discusión**

### **6.1 Análisis Mini central de Pasada Itata**

#### **6.1.1. Descripción del proyecto**

El proyecto Mini Central de Pasada Itata ingresó al SEIA en cumplimiento del Artículo 10º de la ley Nº 19.300 sobre Bases Generales de Medio Ambiente, modificada por la Ley Nº 20.417, ya que es un proyecto que pertenece a la letra c) de dicho artículo.

c) Centrales generadoras de energía mayores a 3 MW.

La forma de ingreso a la evaluación correspondió a un Estudio de Impacto Ambiental. Esta decisión se fundamenta en el artículo 11º de la Ley 19.300, el cual mandata la realización de un EIA para aquellos proyectos o actividades que generan o presentan algunos de los Efectos, Características o Circunstancias (ECC) en dicho artículo, en este caso sería

e) Alteración significativa, en términos de magnitud o duración, del valor paisajístico o turístico de una zona.

El Estudio de Impacto Ambiental por parte de la empresa Eléctrica Puntilla S.A. fue ingresado el 24 de junio del año 2011. El proceso de evaluación tuvo una duración aproximada de 16 meses e incluyó la emisión de tres ICSARA, los cuales fueron respondidos por el titular a través de tres Adendas. Finalizado este proceso, se elaboró el ICE, emitido el 10 de septiembre de 2012, y posteriormente, el proyecto fue aprobado ambientalmente mediante la RCA N.º123/2012, emitida el 17 de octubre de 2012.

Entre los OAECAs que participaron en la evaluación del proyecto, se mencionan aquellos con atribuciones en aspectos acuáticos, como la Dirección General de Aguas (DGA), la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), la Dirección Regional de Pesca (SERNAPESCA), la Subsecretaría de Pesca (SUBPESCA) y la SEREMI de Salud. Estos órganos entregaron observaciones relativas al régimen hidrológico del río Itata, la biodiversidad íctica, calidad del agua, y las infraestructuras asociadas a la captación y restitución de caudales.

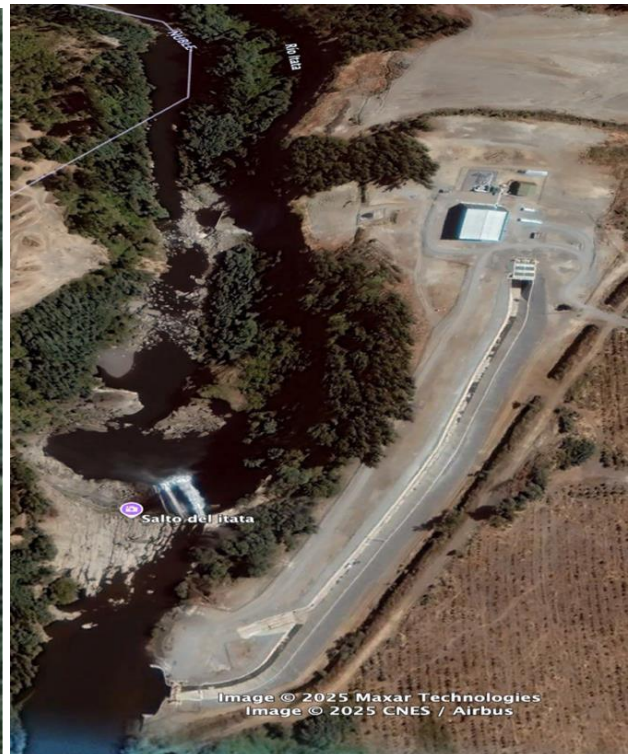
La Central está ubicada en el sector del Salto del Itata, en las comunas de Yungay y Pemuco, Región del Ñuble. Se trata de una mini central hidroeléctrica de pasada con una potencia instalada de 20 MW, utilizando las aguas del río Itata mediante un sistema de captación lateral. Esta obra se encuentra 150 metros aguas arriba del Salto del Itata e inmediatamente aguas debajo de la captación del canal Casablanca, infraestructura de riego que se encuentra adyacente al canal de aducción.

Las aguas captadas son conducidas por un canal superficial de 390 metros hasta una casa de máquinas subterránea equipada con dos turbinas tipo Francis de 10 MW cada una. La electricidad generada es inyectada al ex Sistema Eléctrico Nacional (SEN) mediante una línea de transmisión trifásica de 12,2 km de longitud, que se conecta con la línea existente Chillán-Charrúa. La restitución del caudal se realiza a 430 metros aguas abajo del Salto del Itata, en el mismo río. La central considera un caudal de diseño de 45 m³/s y una caída bruta de 51,7 metros. Cada turbina

opera con un caudal de 22,5 m<sup>3</sup>/s. La central requiere un caudal mínimo de operación equivalente al 30% del caudal de diseño, es decir, 6,75 m<sup>3</sup>/s por turbina.

Durante el período estival (21 de diciembre a 21 de marzo), la central no opera durante el día (08:00-21:00), con el objetivo de evitar impactos sobre el entorno ecológico y preservar el valor turístico del sector. En este periodo, solo puede operar durante la noche si el caudal del río supera los 11,02 m<sup>3</sup>/s, cifra que corresponde a la suma del caudal ecológico (4,27 m<sup>3</sup>/s) y el caudal mínimo requerido para activar las turbinas (6,75 m<sup>3</sup>/s).

A continuación se presentan imágenes del área de emplazamiento de la central, las cuales permiten observar los cambios antes, durante y después de la construcción de la Central. En la Fig. 6.1 se aprecia el estado del lugar previo al inicio de obras, en octubre del 2010, un alto caudal en el Salto del río Itata. Además, están las proyecciones del trazado y las obras planificadas para el proyecto. Posteriormente, en la Fig. 6.2, correspondiente a febrero de 2016, se observan las obras principales, sin entrar en operación. Llama la atención el escaso flujo de agua del salto, a pesar de que la central no derivaba caudal, lo que evidencia el efecto estacional del estiaje natural del río Itata. En la Fig. 6.3 se observa el área con la central en octubre de 2018, en etapa de operación, y por las condiciones del cauce se puede inferir que la central se encontraba funcionando. Finalmente, en la Fig. 6.4, correspondiente a la imagen más reciente disponible en Google Earth, se aprecia el área en época cercana al estiaje, con la central en operación.



**Figura 6.1.** Área emplazamiento de la central, Octubre de 2009. Fuente: EIA Minicentral de Pasada Itata.

**Figura 6.2.** Área emplazamiento de la central en Construcción, Febrero de 2016. Fuente: Google Earth.



**Figura 6.3.** Área emplazamiento de la central en época invernal, Octubre de 2018. Fuente: Google Earth



**Figura 6.4.** Área emplazamiento de la central en estiaje, Diciembre de 2023. Fuente: Google Earth

Las acciones identificadas con impactos sobre componentes de ecosistemas acuáticos son las que se muestran en la Tabla 6.1.

En la etapa de construcción, una de las principales acciones propuestas fue el desvío temporal del río Itata, mediante la instalación de un pretil de sacos de arena, lo que permitiría secar el área y construir la bocatoma sin afectar el cauce principal. Esta estructura se propuso que sería retirada una vez finalizada la obra, restituyendo el flujo natural del río. Se contempló que la bocatoma sería construida con hormigón vertido desde un camión mixer ubicado en la terraza, sin ingreso de maquinaria al área intervenida. Una vez finalizada la obra, se indicó que los moldajes serían retirados y se habilitaría el canal de aducción.

Durante la operación de la central, se estableció que el agua sería captada desde el río mediante una bocatoma lateral con rejilla, sin formación de embalses, y luego conducida a turbinas hidráulicas para la generación de energía. Se especificó que este proceso no utilizaría combustibles ni generaría residuos. Asimismo, se definió que la restitución del caudal se realizaría a través de un canal subterráneo revestido en roca, con el fin de prevenir procesos de erosión y favorecer su integración paisajística. Además, se propuso la implementación de un plan preventivo y correctivo, que incluiría inspecciones periódicas a las estructuras operativas y limpieza de la rejilla de captación.

Para la etapa de cierre, se contempló que se realizaría el relleno de túneles y estructuras subterráneas, el desmantelamiento de las instalaciones y el cierre del canal de aducción. Adicionalmente, se proyectó un tratamiento del suelo para restituir, en la medida de lo posible, las condiciones originales del terreno.

**Tabla 6.1.** Acciones identificadas con impactos sobre componentes de ecosistemas acuáticos continentales.

<b>Fase</b>	<b>Acción</b>	<b>Componentes Afectados</b>
Construcción	Desvío transitorio del río	Hidrología, fauna íctica
Operación	Aprovechamiento de aguas	Hidrología, fauna íctica
Operación	Funcionamiento de las turbinas	Hidrología, fauna íctica
Operación	Restitución del agua	Hidrología, fauna íctica
Operación	Mantenimiento preventivo y correctivo	Fauna íctica
Cierre	Restitución obras principales	Fauna íctica
Cierre	Desmantelamiento de instalaciones	Fauna íctica
Cierre	Restitución del sector de los piques	Fauna íctica

Fuente: RCA proyecto Mini Central de pasada Itata, 2012.

### 6.1.2 Línea de base de los componentes asociados a ecosistemas acuáticos.

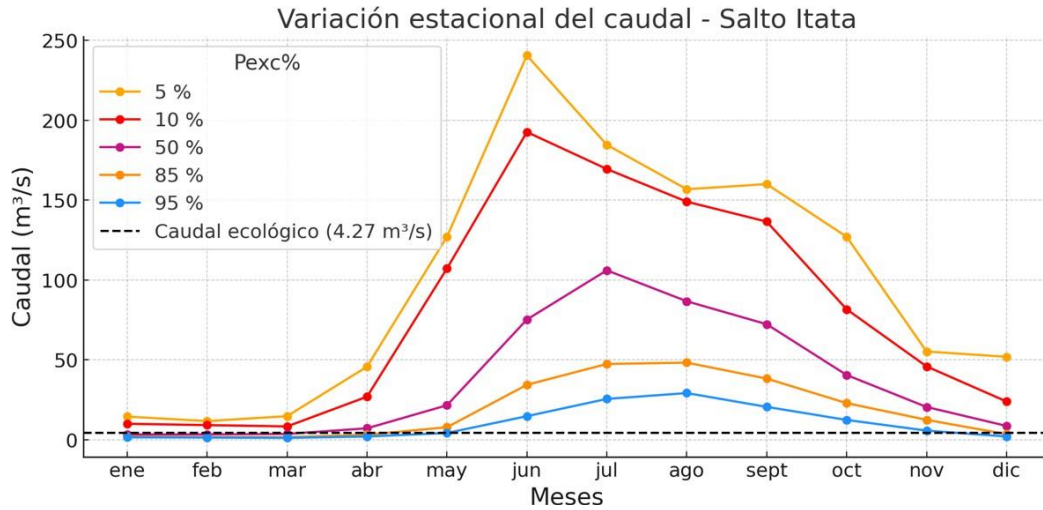
#### Hidrología y determinación del Caudal Ecológico

En el Estudio de Impacto Ambiental, la caracterización hidrológica del área de influencia se realizó utilizando el método de transposición de caudales utilizando datos históricos (1957-2009) de la estación "Trilaleo", ubicada inmediatamente aguas arriba de la bocatoma. En el se determinaron las curvas de variación estacional que se pueden apreciar en la Fig. 6.5.

Este análisis inicial se enmarcaba en el cumplimiento de un caudal ecológico mínimo de 1,4 m<sup>3</sup>/s, valor que había sido fijado en la resolución de la DGA que otorgó los derechos de agua al proyecto en el año 1982. Basándose en sus propios cálculos, el titular propuso en el EIA un caudal ecológico ligeramente superior, de 1,79 m<sup>3</sup>/s, correspondiente al criterio del caudal excedido al menos 330 días al año (Q330).

Esta propuesta inicial fue cuestionada por los organismos evaluadores durante el proceso. La SEREMI de Medio Ambiente señaló que los datos hidrológicos utilizados tenían casi 30 años de antigüedad y que era necesario actualizarlos con metodologías que consideraran también variables biológicas. SUBPESCA solicitó explícitamente un valor de caudal que fuera específico para las especies y así asegurar la sobrevivencia de la biota acuática.

En respuesta a estas observaciones, el titular presentó dos nuevos informes "Estudios complementarios línea de base calidad de agua" (SGA; GESAM, 2012), donde se incluyeron mediciones de verano y se comprometió una campaña en invierno. También presentó el "Estudio de caudal ecológico" (SGA; GESAM, 2012), donde se aplicaron diversas metodologías, destacando la simulación de hábitat físico (PHABSIM), la cual modeló el hábitat disponible para las siete especies de peces nativos identificadas en el tramo afectado. El resultado de este estudio fue determinante. La simulación de hábitat concluyó que el caudal mínimo necesario para asegurar las condiciones para la especie más exigente, el Pejerrey (*Basilichthys australis*), era de 4,27 m<sup>3</sup>/s, adoptando este valor como el caudal ecológico definitivo para el proyecto.



**Figura 6.5.** Curvas de Variación Estacional y caudal ecológico en Salto Itata. Fuente: Línea de base minicentral de pasada Itata, 2011.

### Limnología

Uno de los componentes identificados como afectados por el proyecto fue limnología. La caracterización fue inicialmente presentada en el EIA con información bibliográfica y una campaña de muestreo realizada en abril de 2011, donde se caracterizaron parámetros físicos, zoobentos y peces. Fue cuestionada por SUBPESCA por falta de información. Posteriormente, en la Adenda 2 se incorporó el informe titulado “Estudios complementarios línea de base flora y fauna acuática” (SGA, 2012). Se basó en una segunda campaña realizada en febrero de 2012, cubriendo 500 metros del tramo de influencia directa del proyecto, con 5 estaciones de muestreo seleccionadas según representatividad y relación con las obras principales como se puede apreciar en la Fig. 6.6.

Este estudio se realizó sobre la base de una recopilación y revisión de antecedentes bibliográficos del área de influencia del proyecto y los resultados de la campaña de terreno. En el presente estudio se caracterizó el hábitat acuático en cada estación y se amplió el espectro de componentes biológicos evaluados, incorporando el análisis de fitoplancton, zooplancton, perifiton, flora acuática, macroinvertebrados bentónicos, macrocrustáceos dulceacuícolas, anfibios en fase acuática y peces, todos ellos con identificación taxonómica y estado de conservación reportado según las categorías vigentes. Además, se incorporaron indicadores ecológicos como el índice de diversidad de Shannon-Wiener, dominancia de Simpson, homogeneidad de Pielou, y el Índice Biótico de Familias (ChIBF), permitiendo una aproximación integral al estado ecológico del sistema.



**Figura 6.6.** Estaciones de monitoreo de flora y fauna acuática. Fuente: Estudios complementarios línea de base flora y fauna acuática, 2012.

De la misma forma, se realizó una campaña complementaria en abril de 2013, la cual fue ejecutada con posterioridad una vez obtenida la RCA. Lo que más destacó fue la fauna íctica registrada en el área de influencia del proyecto y dos especies de crustáceos, catalogados en Insuficientemente conocida (*A. pewenchae*) y Vulnerable (*S. spinifrons*). A continuación se muestra una tabla con la fauna íctica identificada en cada campaña de muestreo.

**Tabla 6.2.** Diversidad de fauna íctica registrada en cada campaña en el área de estudio.

Nombre común	Nombre científico	Estado de conservación	Abril 2011	Feb 2012	Abril 2013
Pocha de los lagos	<i>Cheirodon galusdae</i>	Vulnerable	X	X	X
Perca trucha	<i>Percichthys trucha</i>	Preocupación menor		X	X
Carmelita	<i>Percilia gillissi</i>	En peligro	X	X	X
Bagre chico	<i>Trichomycterus areolatus</i>	Vulnerable	X	X	
Trucha arcoíris	<i>Oncorhynchus mykiss</i>		X		X
Bagre, Bagrecito	<i>Trichomycterus chiltoni</i>	En peligro		X	X
Pejerrey	<i>Basilichthys australis</i>	Preocupación menor		X	X
Bagre pintado	<i>Bullockia maldonadoi</i>	En peligro		X	X
Tollo, Bagre	<i>Diplomystes nahuelbutaensis</i>	En peligro			X
Puye	<i>Galaxias maculatus</i>	Preocupación menor			X
Gambusia	<i>Gambusia holbrooki</i>				X
Trucha marrón	<i>Salmo trutta</i>		X		X

Fuente: Estudios complementarios línea base flora y fauna acuática, GESAM 2013.

### Calidad del agua

La calidad del agua fue otro componente identificado como afectado en el medio biótico. La línea base presentada inicialmente en el EIA de 2011 incluyó una campaña de abril del 2011, en la que se midieron parámetros físicos básicos como temperatura, oxígeno disuelto y pH, utilizando la Norma Chilena 1.333 Of.78: Requisitos de calidad de aguas para diferentes usos (NCh. 1333) como referencia. La evaluación fue considerada insuficiente por SUBPESCA y SERNAPESCA exigiendo la necesidad de una campaña de invierno para entender la variación estacional. La respuesta del titular fue incorporar el estudio titulado “Estudios complementarios línea de base calidad de agua” (SGA; GESAM, 2012). Este consistió en una campaña de muestreo realizada entre el 13 y el 16 de febrero de 2012 en dos estaciones ubicadas en la bocatoma y 300 metros aguas abajo de la restitución (Ver Fig. 6.7)



**Figura 6.7.** Estaciones de muestreo de calidad de agua. Fuente: Estudios complementarios línea de base calidad de agua, 2012.

En este estudio se analizaron al menos 30 parámetros físico-químicos y microbiológicos utilizando métodos analíticos certificados por el laboratorio DICTUC. Los resultados fueron contrastados tanto con la NCh 1.333 como con la Guía para Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Superficiales, CONAMA 2004, lo que permitió establecer un valor ambiental del cuerpo de agua. Las aguas del río Itata en el área de estudio fueron clasificadas en su mayoría dentro de la clase de excepción exceptuando al oxígeno disuelto (clase 2) y los coliformes fecales (clase 1), lo que en conjunto determinó una calidad general de clase 2. No se identificaron superaciones normativas ni presencia de contaminantes críticos, sin embargo, al comparar los resultados con datos históricos de la estación DGA más cercana (Trilaleo), se observó una leve disminución en los niveles de oxígeno disuelto.

Al analizar la información correspondiente al medio biótico, se observa que, si bien se realizó una campaña complementaria durante el verano, la campaña de invierno fue solo comprometida. Además de realizarse posterior a la RCA aprobada, se realizó en abril, es decir otoño, a pesar de la solicitud de las autoridades de realizarse en invierno. Esta situación limita considerablemente la posibilidad de establecer comparaciones estacionales, en consecuencia, se ve afectada la representatividad de la línea de base tanto de calidad de agua como de flora y fauna acuática.

En particular, el informe entregado después de la aprobación de la RCA “Campaña Complementaria de Calidad del Agua” (GESAM, 2013), a raíz de la necesidad de mejorar la variabilidad estacional, este supuestamente se realizó en abril del año 2013, sin embargo el informe únicamente entrega una tabla con los valores límites permisibles y límite de detección analítico, y ninguna dato para los valores realmente medidos, solo se presentaron dos páginas en blanco que dicen “error”.

Estas deficiencias en la línea de base, en particular la falta de representatividad y de una resolución temporal adecuada, dificultan la posibilidad de realizar comparaciones válidas durante la etapa de seguimiento. Esto impide determinar con precisión si los impactos reales del proyecto difieren de los previstos, o si las medidas de mitigación están siendo efectivas. Por ejemplo, la ausencia de datos estacionales limita la capacidad para distinguir entre variaciones naturales y aquellas inducidas por el proyecto.

### **6.1.3. Análisis de impactos ambientales previstos, medidas de manejo propuestas, seguimiento establecido y resultados del PSA para cada componente.**

La metodología para la evaluación de impactos de la Minicentral de Pasada Itata consistió en un proceso de varias etapas para identificar, caracterizar y valorar los efectos ambientales. Se identificaron las fuentes generadoras de impacto y los componentes ambientales susceptibles de ser afectados, utilizando matrices de verificación para visualizar las interacciones. La valoración de cada impacto se basó en una ponderación cuantitativa que consideró ocho criterios. El cálculo de la ponderación final de cada impacto se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Ponderación} = [(\text{Magnitud} \times \text{Importancia}) + (\text{Reversibilidad} + \text{Duración})] \times \text{Naturaleza}$$

Donde cada criterio fue calificado numéricamente en una escala definida por la magnitud, valorada en una escala de 1 a 3 (Bajo, Medio, Alto); importancia, valorada en una escala de 0 a 3 (Sin importancia, Menor, Moderada, Mayor); reversibilidad, valorada como 1 (Reversible) o 2 (Irreversible); duración, valorada en una escala de 1 a 3 (Corto, Mediano, Largo plazo); naturaleza calificada como +1 (Positivo) o -1 (Negativo). Otros criterios como la Certidumbre, el Tipo de impacto y el Tiempo en aparecer fueron utilizados de manera cualitativa para caracterizar el impacto, pero no formaron parte del cálculo numérico. El resultado de la ponderación, con un valor

máximo de  $\pm 14$ , permitió jerarquizar cada impacto como "alto significativo", "medio" o "bajo", con el fin de priorizar y definir las medidas de manejo ambiental correspondientes.

### 6.1.3.1. Impacto C-H-1: Alteración del flujo de agua en un tramo del río Itata.

Para el componente de hidrología, durante la etapa de construcción, se identificó el impacto asociado a la alteración temporal del flujo de agua en un tramo del río Itata. Esta alteración se produciría por la acción de desvío del cauce, necesaria para la construcción de la bocatoma. Según la RCA, la obra provocaría una alteración temporal y acotada del flujo normal del río, dado que se ejecutaría en un periodo de 4 meses durante el verano. El impacto fue calificado como negativo, de magnitud baja, importancia menor, duración corta y reversible, con una probabilidad de ocurrencia inferior a 50%. La ponderación asignada fue de -3.

Para mitigar este impacto, se propusieron las siguientes medidas de manejo:

**Tabla 6.3.** Medidas de mitigación propuestas para impacto C-H-1.

<b>Código</b>	<b>Medidas de mitigación.</b>
<b>H-1</b>	Construir el pretil de desvío utilizando el mínimo espacio posible en el cauce (10 metros aproximadamente), realizar los trabajos en período de estiaje y usar solo materiales naturales como arcilla y roca.
<b>H-2</b>	El método constructivo contemplaba desviar el flujo sobre una mitad del cauce para trabajar en la otra mitad seca, asegurando que se mantuviera el escurrimiento del agua.
<b>H-3</b>	Implementar una serie de acciones para proteger el canal de regantes Casablanca, como restringir el tránsito de maquinaria pesada cerca de su berma común e instalar un cerco provisorio para evitar la caída de material de construcción al canal.

*Fuente: Resolución de Calificación Ambiental del proyecto Mini Central de pasada Itata.*

El plan de seguimiento para estas medidas consideró una inspección visual durante la construcción de la bocatoma. El parámetro a observar era el uso de materiales naturales en la construcción del pretil. Como método de verificación se establecieron observaciones en terreno y registros fotográficos, con una frecuencia diaria durante el periodo de construcción. Se comprometió la entrega de un informe único al SEA al término de la obra.

#### Análisis crítico y discusión del plan de manejo

El plan de manejo aprobado para este impacto resulta cuestionable desde el inicio, revelando una serie de debilidades que se encadenan. La valoración del impacto como "poco probable" es criticable, dado que el desvío del cauce es una acción inevitable para la construcción, lo que implica necesariamente una alteración del régimen hídrico. Por lo tanto, su probabilidad de ocurrencia debió valorarse como "alta", lo que sugiere que la significancia del impacto fue subestimada desde su origen.

Las medidas de manejo propuestas, si bien presentan un enfoque preventivo al evitar el corte total de flujo del río, carecen de especificaciones y solidez técnica para un control efectivo. Por ejemplo, la medida H1, que propone el uso de materiales naturales para la construcción del pretil, demuestra esta debilidad. Considerando que el uso de rocas y arcilla previene la contaminación química pero no aborda los impactos físicos y morfológicos que cualquier estructura, sin importar su material, genera en un cauce. Un pretil mal diseñado puede generar efectos adversos como un socavón, un fenómeno donde la aceleración y el borde de la estructura excavan el cauce fluvial, creando depresiones que pueden alterar el microhábitat acuático (Melville & Coleman, 2000). La medida

H-2, si bien plantea una solución práctica, no detalla cómo se controlará el flujo en la mitad activa del cauce ni qué procedimientos se aplicarán ante crecidas o desviaciones no previstas. Ninguna de las dos medidas especifica sobre la remoción de la estructura, siendo que una remoción inadecuada puede resultar en una modificación duradera de la morfología y hábitat físico del cauce, afectando la disponibilidad de refugios y zonas de desove para la fauna acuática (Gibeau et al., 2017). El plan no presenta un diseño que prevenga estos riesgos documentados.

Esta evaluación inicial, parece justificar un plan de seguimiento deficiente. El plan carece de parámetros hidrológicos y geomorfológicos cuantitativos, que son esenciales para medir una alteración del flujo. Un monitoreo adecuado habría requerido como mínimo, la medición de caudales y niveles de agua en un diseño aguas arriba y abajo de la obra (Barbour, 1999). Asimismo, para evaluar el cambio en la forma física del río, una práctica estándar es el levantamiento de perfiles batimétricos o secciones transversales antes y después de la intervención (Kondolf & Micheli, 1995). La dependencia exclusiva de la observación visual es insuficiente para detectar estos cambios. También es importante considerar que la entrega de un único informe al finalizar las obras impide una retroalimentación oportuna, contraviniendo el principio de mejora continua fundamental en cualquier seguimiento efectivo (Arts et al., 2015).

En conclusión, el diseño se centró más en la verificación de un procedimiento que en la evaluación de un resultado ambiental, el plan aprobado parece más un cumplimiento formal que una herramienta técnica y científicamente sólida para asegurar la protección del componente hidrológico. Dicho enfoque es contrario a las buenas prácticas internacionales, que establecen que el seguimiento debe ser capaz de medir el cambio ambiental real para permitir una gestión adaptativa del proyecto (Morrison-Saunders et al., 2021).

#### Resultados del Programa de Seguimiento Ambiental

Para el seguimiento de este componente, el titular presentó en la plataforma SNIFA un informe titulado "Informe de abastecimiento de áridos y hormigón durante la etapa de construcción". Este documento detallaba la procedencia de los materiales, identificando a los proveedores, las coordenadas de los sitios de extracción, e incluía órdenes de compra y cuatro fotografías de las actividades de hormigonado.

#### Análisis crítico y discusión de la implementación y resultados del PSA

El informe presentado evidenció la incoherencia total con el impacto que se pretendía monitorear. El documento se enfocó en la trazabilidad de los materiales de construcción y el cumplimiento normativo de su origen, en lugar de abordar la alteración del régimen hidrológico del río. No se verificó la implementación de las medidas de mitigación propuestas, no se presentó información sobre el método de construcción por mitades, el comportamiento del cauce, las medidas para el canal Casablanca, ni se incluyó el registro fotográfico diario comprometido para la bocatoma. En consecuencia, el informe no permite comprobar si las medidas de mitigación se implementaron correctamente o si resultaron efectivas. Se rompe así por completo la trazabilidad entre el impacto, medidas propuestas y su verificación, demostrando que el seguimiento, en la práctica, no cumplió su objetivo.

#### **6.1.3.2. Impacto: Alteración de la calidad de las aguas**

Este impacto no se encontró en el capítulo de evaluación de impactos del EIA, por lo que carece de un código identificador y de valoración cuantitativa. Su incorporación fue el resultado de una

observación técnica de la SUBPESCA durante el proceso de evaluación, la cual solicitó complementar el monitoreo del componente hidrología con una caracterización fisicoquímica del agua en la bocatoma y en la zona de restitución.

Se estableció que el seguimiento se realizaría mediante monitoreo trimestral de calidad de agua durante la etapa de construcción y semestral durante la operación, por un periodo mínimo de cinco años. Los parámetros aplicados corresponden a los definidos en la NCh 1.333, y el cumplimiento se propuso evaluar según procedimientos establecidos en el Manual de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (NCh 411/6). Las muestras debían ser tomadas por personal técnico especializado y los informes respectivos ser entregados trimestralmente a la DGA, SUBPESCA y SERNAPESCA.

#### Análisis crítico y discusión del plan de manejo

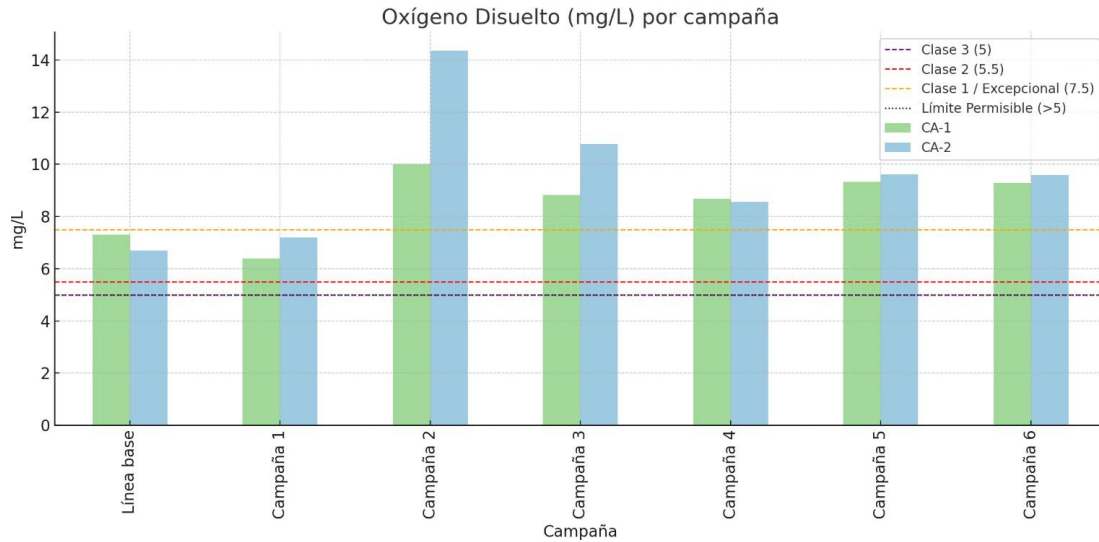
El plan de manejo para este componente revela una falla estructural en el proceso de evaluación. Su origen no responde a una identificación de un riesgo, sino a una exigencia de la autoridad para incluir un plan de monitoreo. El "impacto" parece haber sido creado como un título para justificar dicho seguimiento.

La consecuencia de esto es una ruptura total en la lógica de la gestión ambiental, se establece un plan de seguimiento sin un plan de manejo asociado. La literatura sobre la efectividad de los EIA es clara en que el seguimiento y la mitigación son interdependientes; el propósito del monitoreo es, en gran medida, verificar la eficacia de las medidas preventivas implementadas (Sánchez & Gallardo, 2005). En este caso, el plan se reduce a documentar una posible contaminación, pero sin acciones comprometidas para evitarla, siendo que existen medidas efectivas para la calidad del agua durante una construcción en cauce, como las revisadas por Trussart et al. (2002), incluirían un Plan de Control de Erosión y Sedimentos con barreras de sedimentos y cortinas de turbidez.

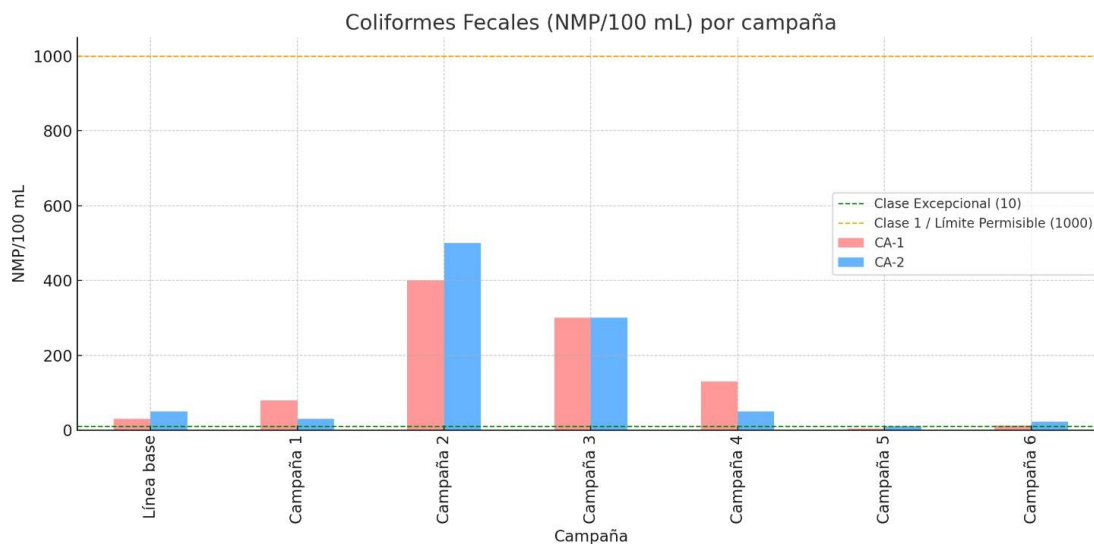
#### Resultados del Programa de Seguimiento Ambiental

En la plataforma SNIFA, se presentaron 6 informes de campañas de monitoreo de calidad de agua realizadas trimestralmente durante la etapa de construcción (marzo 2015-agosto 2016). Los muestreos se llevaron a cabo en los puntos que se pueden observar en la Fig. 6.6 (Línea de base calidad de agua), la bocatoma (CA-1) y el punto de restitución (CA-2), aplicando procedimientos de la NCh 411/6.Of.1997 y analizando parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y cualitativos conforme a la NCh 1.333. Los análisis fueron realizados por el laboratorio DICTUC y los resultados se compararon con los valores límite establecidos en la Norma y con los datos de la línea de base.

Los parámetros analizados se encontraron dentro de los límites estipulados en la NCh 1.333. Al compararlos con la Norma Secundaria de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas, las aguas del río Itata se clasificaron con un Valor Ambiental de Clase 1, producto de la concentración de oxígeno disuelto y de la concentración de coliformes fecales (Ver Fig. 6.8. y 6.9). En el informe explicaron que las altas concentraciones de oxígeno disuelto se deben a las condiciones morfológicas del cauce, tanto aguas arriba del tramo estudiado, como producto de la presencia del salto entre ambas estaciones de muestreo.



**Figura 6.8.** Variación de oxígeno disuelto en línea de base y campañas de calidad de agua. CA-1 corresponde a la estación de la bocatoma y CA-2 corresponde a la estación de restitución. *Fuente: Elaboración propia en base a datos de campañas de marzo 2015 a agosto 2016 del PSA de calidad de agua*



**Figura 6.9.** Variación de coliformes fecales en línea de base y campañas de calidad de agua. CA-1 corresponde a la estación de la bocatoma y CA-2 corresponde a la estación de restitución. *Fuente: Elaboración propia en base a datos de campañas de marzo 2015 a agosto 2016 del PSA de calidad de agua.*

### Análisis crítico y discusión de la implementación y resultados del PSA

Se puede apreciar que al comparar los resultados de las campañas de seguimiento con los datos obtenidos en la línea de base, no se evidencian alteraciones significativas atribuibles a las obras del proyecto, y en términos generales, el seguimiento cumple formalmente con los requerimientos establecidos por la normativa ambiental vigente. No obstante, en los informes del PSA, el titular incorpora como antecedente la línea de base complementaria mencionando que las aguas del río Itata corresponden a una clase 1 y que se detectaron “sólidos flotantes y espumas no naturales”. Esto es incorrecto, ya que en el informe de la línea de base complementaria la clasificación reportada fue clase 2 y que los sólidos fueron reportados como ausentes. Además, se incorporaron datos para la campaña complementaria de abril 2013, la que originalmente fue entregada sin datos.

El seguimiento para este impacto es incoherente y poco confiable, ya que manipula la información de base, rompiendo la trazabilidad y validez de cualquier comparación posterior. La modificación de las condiciones de referencia es una de las debilidades más graves que puede tener un programa de seguimiento, ya que imposibilita cualquier comparación válida y objetiva para determinar si el proyecto generó o no un impacto (Dias, Fonseca & Paglia, 2019).

### 6.1.3.3. Impacto O-H-1: Disminución del caudal del Salto del Itata

Durante la etapa de operación del proyecto, se reconoció un impacto significativo sobre el componente hidrología asociado a la captación de agua, provocando la disminución del caudal del Salto del Itata. Fue calificado como negativo, de alta magnitud, importancia media, reversible, de largo plazo y ocurrencia cierta. Se clasificó como un impacto de tipo primario, con aparición a corto plazo, y se le asignó una ponderación total de -10, situándolo entre los impactos de mayor significancia del proyecto.

La medida de manejo que se propuso para minimizar la alteración del régimen hídrico y prevenir afectaciones fue la que se puede observar en la Tabla 6.4.

**Tabla 6.4.** Medida de mitigación propuesta para impacto O-H-1.

Código	Medida de Mitigación
H-3	Sólo se utilizará, a máxima capacidad de generación de electricidad en invierno, el 50% del caudal promedio del río Itata en el tramo, es decir, 45 m <sup>3</sup> /s.

*Fuente: Resolución de Calificación Ambiental del proyecto Mini Central de pasada Itata.*

Para el plan de seguimiento, se propuso implementar un monitoreo mediante sensores de nivel y un sensor ultrasónico de efecto Doppler, instalados en la cámara de medición. Esta información se propuso que sería transmitida al sistema de operación de las turbinas, a fin de controlar el caudal derivado. El punto de control establecido corresponde al canal de aducción, y el parámetro a registrar sería el caudal (m<sup>3</sup>/s), con un valor máximo permitido de 45 m<sup>3</sup>/s en invierno. La frecuencia establecida fue diaria durante la operación con entrega mensual de informes a la DGA.

#### Análisis crítico y discusión del plan de manejo

El plan de manejo para este impacto de alta significancia es conceptualmente débil. Primero, la medida de mitigación propuesta es ambigua y, en la práctica, ineficaz. Limitar la captación al caudal máximo de diseño de la central (45 m<sup>3</sup>/s) no es una medida que reduzca o mitigue el impacto, sino que simplemente describe el límite operativo del proyecto.

En segundo lugar, el plan de seguimiento, aunque técnicamente robusto en el cómo medir, es deficiente en el dónde medir. Al centrar el monitoreo exclusivamente en el canal de aducción, se enfoca en un parámetro de operación del proyecto, no en el estado del componente ambiental afectado. Este diseño impide verificar directamente las condiciones hidrológicas en el tramo del río que sufre la disminución de caudal, que es el verdadero objeto de protección. Un seguimiento ambiental efectivo requiere monitorear el receptor del impacto para evaluar su condición real (Morrison-Saunders et al., 2021), no solo la acción que lo genera.

#### Resultados del Programa de Seguimiento Ambiental

El análisis de los informes del PSA, que abarcan desde septiembre de 2016 hasta febrero de 2025, reveló que el caudal máximo comprometido de 45 m<sup>3</sup>/s en el canal de aducción (Fig. 6.10 y Fig.

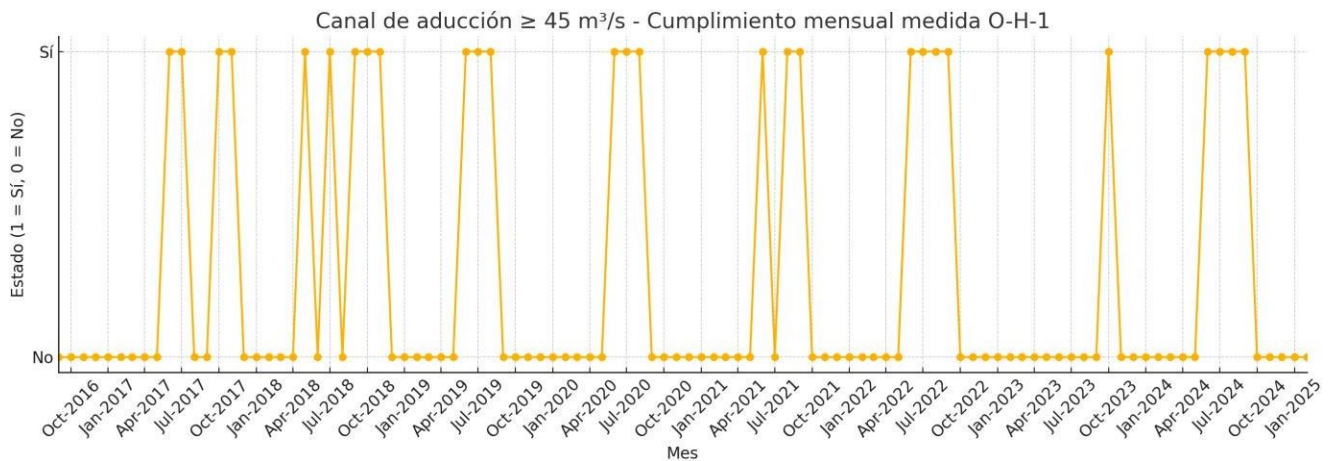
6.11) fue superado en 28 meses distintos (Fig. 6.12). La medición se realizó directamente en el canal de hormigón, usando sensores de velocidad. El titular justificó que, aunque el sensor mida más de 45 m³/s, esto se debe a una crecida del río y que la central no tiene capacidad para generar un caudal mayor al de diseño, debido a las limitaciones de sus turbinas y tuberías, argumentando que la generación eléctrica nunca superó el máximo técnico de 20 MW. Además, se observa que el instrumento de medición tiene un límite de lectura de 48 o 50 m³/s.



**Figura 6.10.** Punto de medición de caudal en el canal de aducción. Fuente: Elaboración propia en base a Informes de Seguimiento Medición de Caudales Central Itata. (2016-2025).



**Figura 6.11.** Ubicación sensores y sensores aplicados. Fuente: Elaboración propia en base a Informes de Seguimiento Medición de Caudales Central Itata. (2016-2025).



**Figura 6.12.** Tendencia mensual del caudal del canal de aducción entre los años 2016 y 2025. Sí representa que el caudal del canal fue mayor a 45 m³/s y no representa que fue menor a 45 m³/s. Fuente: Elaboración propia en base a Informes de Seguimiento Medición de Caudales Trimestrales Central Hidroelectrica Itata. (2016-2025).

Análisis crítico y discusión de la implementación y resultados del PSA

La implementación del seguimiento demuestra un incumplimiento reiterado del único límite establecido en la RCA para este impacto. Frente a los registros que superan el límite de 45 m<sup>3</sup>/s, el titular justifica que son aumentos no intencionales y que la central es físicamente incapaz de turbinar un caudal mayor. Sin embargo, esta justificación es refutada por la propia metodología de monitoreo descrita en sus informes y la evidencia física de la obra. Como se documenta, el instrumento de medición oficial se encuentra instalado dentro del canal de aducción, con el propósito explícito de medir el volumen de agua desviado del río.

Si bien el canal de aducción contempla un vertedero lateral, este corresponde a un sistema de seguridad para eventos de emergencia (rechazos de carga) y no a un bypass operacional para gestionar excesos de caudal en condiciones normales. Esto implica que todo el volumen de agua registrado por el sensor oficial es, en efecto, el volumen total que es desviado del río y conducido hacia la casa de máquinas, reforzando la conclusión de que las mediciones sobre 45 m<sup>3</sup>/s constituyen un incumplimiento directo. Por lo tanto, el argumento sobre la capacidad de las turbinas es una distracción técnica que ignora el hecho de que el compromiso ambiental de la RCA se aplica al punto de monitoreo. Si el sensor midió un caudal superior a 45 m<sup>3</sup>/s, se constata un incumplimiento formal, ya que ese fue el volumen de agua que se le restó al río, independientemente de si fue o no utilizado íntegramente para generar energía.

Se puede concluir que la medida no solo fue mal diseñada, sino que, además, no fue cumplida en la práctica. Además, en los 28 meses que se superaron los 45 m<sup>3</sup>/s no se distingue si los excesos fueron marginales o significativos, ya que el sistema de medición en el canal de aducción tiene un límite de lectura que varía entre 48 y 50 m<sup>3</sup>/s, este límite de medición está muy cerca del límite propuesto por la medida, esto sugiere que el verdadero caudal pudo ser mayor, pero no fue registrado con precisión, lo cual limita la capacidad de control real sobre el cumplimiento de la medida.

Adicionalmente, el análisis de los datos operativos revela un incumplimiento recurrente de la restricción que limita la operación a máxima capacidad exclusivamente a los meses de invierno. Esta infracción se registró de forma sistemática en meses fuera de dicha temporada, tales como octubre y noviembre de 2018 y 2019, abril de 2021, y septiembre de 2023 y 2024. Lo que agrava esta falta es la condición bajo la cual se cometió, en estas ocasiones, la central operó a su máxima capacidad de captación en momentos en que el caudal pasante en el río se encontraba apenas por sobre el umbral ecológico mínimo. Esta práctica no solo contradice lo estipulado en la RCA, lleva al límite su soporte hídrico con el fin de maximizar la generación eléctrica.

La medida es conceptualmente válida, pero su formulación, seguimiento y fiscalización son débiles. No asegura el objetivo ambiental que pretendía mitigar y presenta vacíos que han permitido superaciones sin consecuencias ni claridad sobre su real efecto. Por tanto, en términos de efectividad real y comprobada, la medida H-3 no cumple adecuadamente con su función de mitigación ambiental.

#### **6.1.3.4. Impacto: Alteración de la calidad de las aguas (Operación).**

Al igual que su contraparte de la etapa de construcción, este impacto no fue identificado ni valorado en la matriz original del EIA. Fue incorporado directamente en el Plan de Seguimiento de la RCA, por lo que carece de un código, una descripción de su magnitud o una ponderación de su significancia. El plan consistió en monitoreos semestrales de la calidad del agua durante los primeros cinco años de operación del proyecto. Los muestreos se realizarían en dos puntos (bocatoma y restitución), analizando los parámetros de la NCh 1.333 y entregando informes periódicos a la DGA y al SEA.

## Análisis crítico y discusión del plan de manejo

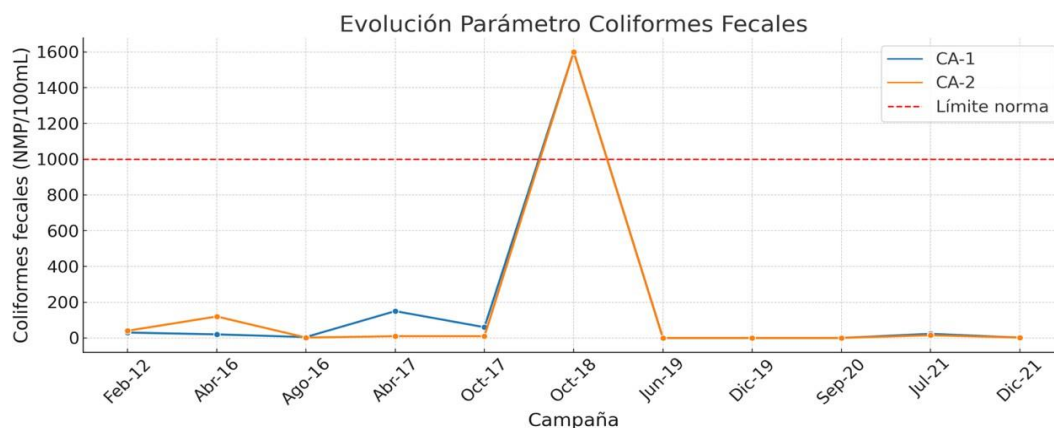
Este plan de seguimiento es conceptualmente deficiente. Nuevamente se aprecia la ausencia total de una medida de mitigación. Proponer como única acción monitorear la calidad del agua no es mitigar un impacto. Sin medidas de manejo, el seguimiento pierde su propósito de gestión y se convierte en un acto de documentación (Sánchez & Gallardo, 2005). El plan, por lo tanto, carece de cualquier elemento preventivo o de control sobre los potenciales impactos a la calidad del agua derivados de la operación.

## Resultados del Programa de Seguimiento Ambiental

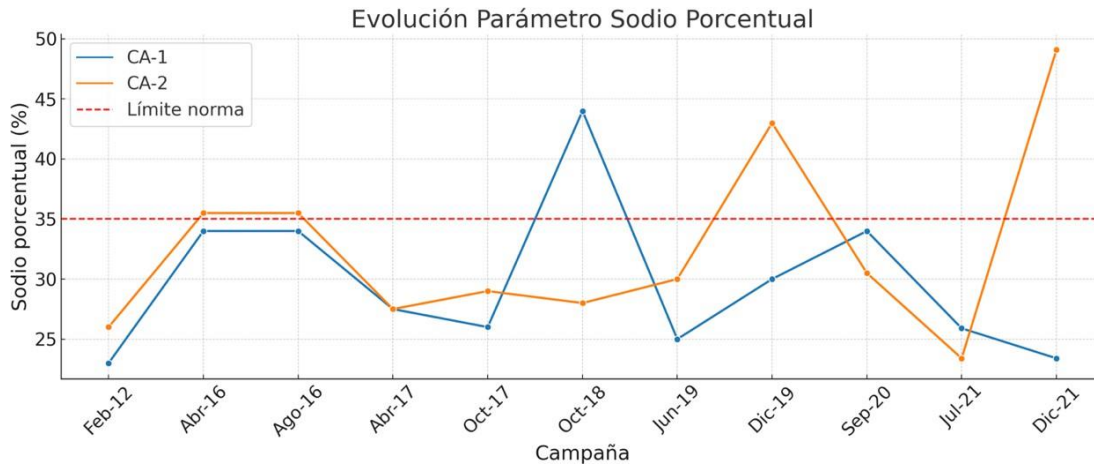
En la plataforma SNIFA, se presentaron 10 informes semestrales entre abril de 2016 y diciembre de 2021. En estos informes se constató que los muestreos se llevaron a cabo en dos puntos, la bocatoma (CA-1) y el punto de restitución (CA-2) (Fig. 6.6), aplicando procedimientos de la NCh 411/6 y analizando parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y cualitativos conforme a la NCh 1.333. Los análisis fueron realizados por el laboratorio DICTUC y los resultados se compararon con los valores límite establecidos en la Norma.

Durante este período, se constataron superaciones de los límites establecidos por la NCh 1.333. En octubre de 2018, se superó el límite de coliformes fecales, con 1.600 NMP/100mL superando ampliamente el valor máximo permitido de 1.000 NMP/100mL en las dos estaciones de monitoreo (Fig. 6.13). También se superó el límite de sodio porcentual, se registró un valor de 43,8% en CA-1 (bocatoma), excediendo el límite de 35% (Fig. 6.14). El titular señaló que no se presentó incremento de los niveles luego de que el agua se utilizara para la generación de electricidad, concluyendo que la situación de excedencia responde a una condición natural del agua, por lo tanto, no se aplicaron medidas correctivas. En diciembre de 2019 y 2021, para la estación CA-2 (restitución) se volvió a superar el límite. El titular justificó esto debido a que la comparación de ambas estaciones no es válida, "los muestreos no son simultáneos" y los resultados se deben a la calidad del agua del río "los valores son similares tanto en bocatoma como en restitución".

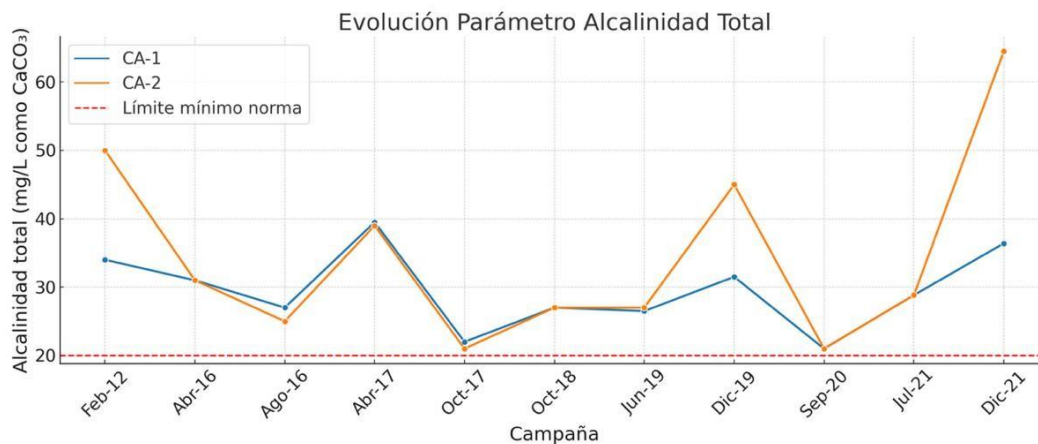
Para el caso de la alcalinidad total, la NCh 1.333 establece un valor mínimo de 20 mg/L como  $\text{CaCO}_3$  (Fig. 6.15). Sin embargo, el titular interpretó erróneamente este valor como máximo permisible y cuando se presentaron valores superiores, lo justificó con el argumento de que se debe a la condición natural del río.



**Figura 6.13.** Coliformes fecales por campaña y estación. Estación CA-1 (bocatoma) y CA-2 (restitución). Límite permisible según NCh 1.333 es 1000 NMP/mL. Fuente: Informes de Plan de Seguimiento Calidad de agua (2016-2021).



**Figura 6.14.** Sodio porcentual por campaña y estación. Estación CA-1 (bocatoma) y CA-2 (restitución). Límite permisible según NCh 1.333 es 35%. Fuente: Informes de Plan de Seguimiento Calidad de agua (2016-2021).



**Figura 6.15.** Alcalinidad total por campaña y estación. Estación CA-1 (bocatoma) y CA-2 (restitución). El límite permisible de la NCh 1.333 es superior a 20 mg/L. Fuente: Informes de Plan de Seguimiento Calidad de agua (2016-2021).

### Análisis crítico y discusión de la implementación y resultados del PSA

La ejecución de este seguimiento demuestra una falta de rigor técnico y consistencia de los argumentos. La principal debilidad es el uso de justificaciones contradictorias y convenientes. Cuando los datos sugieren un problema externo, la comparación entre estaciones es válida, pero cuando sugieren un impacto del proyecto, la misma metodología es invalidada. Además de los errores técnicos como la mala interpretación de la norma. Estas prácticas disminuyen la credibilidad y objetividad del informe.

En conjunto, estas fallas transforman el programa de seguimiento en una herramienta que, en lugar de aportar certeza sobre el estado ambiental del río, se limita a generar justificaciones para los incumplimientos. La experiencia chilena en la evaluación de impacto ambiental ha sido criticada precisamente por estas tendencias, donde el seguimiento a menudo se convierte en un trámite administrativo en vez de una herramienta efectiva para la conservación (Lacy et al., 2017). En este caso, el PSA no solo falla en verificar medidas de mitigación inexistentes, sino que también falla en su función más básica de reportar de manera confiable y coherente el estado del ecosistema.

### 6.1.3.5. Impacto C-FN-2: Alteración del hábitat de fauna íctica.

Este impacto se refiere a la alteración del hábitat de los peces causada por la acción de desvío del cauce durante la construcción de la bocatoma y la zona de restitución. Afectaría a siete especies nativas registradas en el área. El impacto fue evaluado como alto significativo, con una magnitud de -11, valor que se considera coherente con la alteración del hábitat, aun cuando la afectación sea de corto plazo y reversible.

Para mitigar este impacto, se propuso un conjunto de medidas (FN-2 a FN-9, Tabla 6.5), centradas en un Plan de Rescate y Relocalización (PRR) de especies de fauna acuática con problemas de conservación presentes en el tramo del río Itata que sería intervenido por la construcción de la bocatoma y en sectores de desvío de cauces para las obras de relleno de cárcavas.

**Tabla 6.5.** Medidas de manejo propuestas para impacto C-FN-2.

<b>Código</b>	<b>Medidas de mitigación</b>
FN-2	Ejecutar el PRR de Fauna Íctica al iniciar el desvío, asegurando que no se corte el flujo total del agua.
FN-3	Seleccionar los sitios de relocalización mediante muestreos previos, priorizando áreas con presencia de las mismas especies.
FN-4	Gestionar el Permiso de Pesca de Investigación (SUBPESCA) e informar a SERNAPESCA sobre las actividades de rescate.
FN-5	Utilizar pesca eléctrica con repasos sucesivos (método de Leslie) para alcanzar al menos un 80% de eficiencia de captura.
FN-6	Caracterizar el hábitat de rescate y relocalización, midiendo parámetros físicos, químicos y biológicos del cauce.
FN-7	Liberar los ejemplares en el sitio de relocalización, controlando tiempos de retención (menor a 2 horas) y midiendo la mortalidad del traslado
FN-8	Marcar los peces relocalizados con PIT tags para su seguimiento y escanear todas las capturas en monitoreos futuros.
FN-9	Aplicar un protocolo de rescate y relocalización de fauna previo a las obras de relleno de cárcavas en el Salto del Itata.

*Fuente: Resolución de Calificación Ambiental Mini Central de Pasada Itata.*

De acuerdo con lo detallado en el Plan de Rescate y Relocalización (Anexo 1 de la Adenda N.º3 del EIA del proyecto), el objetivo general del plan consistió en disminuir la pérdida de ejemplares de fauna íctica desde los sectores de bocatoma y restitución, hacia áreas alejadas ideales para su establecimiento. Las especies objetivo correspondían a las especies de peces nativos identificadas en la línea de base (Tabla 6.2), se indicó que podrían incluirse otras especies nativas si eran detectadas durante el proceso y que las especies introducidas no salmónidas serían eliminadas en vez de ser capturadas. Para lograr este objetivo, el plan propuso la siguiente metodología:

Momento y lugar: Las actividades de rescate se realizarían durante la época de estiaje, un día antes, durante y un día después del inicio de las obras de desvío en cada sector intervenido, considerando la realización de un rescate por cada intervención del cauce. Los ejemplares capturados serían relocalizados en sectores del río Itata definidos previamente mediante evaluación en terreno. Las condiciones del hábitat receptor debían ser, al menos equivalentes a las registradas en la línea de base. Las variables físicas serían evaluadas cualitativamente por un especialista, mientras que las biológicas serían cuantificadas.

Método de captura: Se utilizaría pesca eléctrica de bajo impacto, aplicando el método de Leslie con capturas repetidas hasta asegurar el rescate de al menos un 80% de los ejemplares estimados en el área intervenida.

Manejo y Marcaje: A todos los ejemplares capturados se les mediría la talla y el peso. Aquellos con una longitud superior a 3,5 cm serían marcados con PIT tags para permitir su seguimiento posterior.

Traslado y Liberación: El transporte se realizaría en contenedores con aireación, con un tiempo máximo de cuatro horas entre la captura y la relocalización. Como indicador de éxito del traslado, se mediría la tasa de supervivencia inmediata al momento de la liberación.

El plan de seguimiento que se propuso fue la continuidad del seguimiento de ejemplares relocalizados mediante pesca eléctrica, muestreo de macroinvertebrados bentónicos, flora acuática y caracterización del hábitat. El monitoreo debía realizarse en estaciones previamente utilizadas en la línea de base, y una estación adicional en sitios de relocalización. Se estableció una frecuencia bimestral durante la etapa de construcción, iniciando 30 días después del rescate, y una frecuencia semestral durante 5 años de operación, contemplando el uso de lector de PIT tags para detectar individuos marcados.

#### Análisis crítico y discusión del plan de manejo

El plan de manejo propuesto para este impacto significativo, aunque aparenta ser completo, presenta profundas debilidades conceptuales y metodológicas. En primer lugar, la estrategia se basa en una lista de ocho "medidas" que inflan el esfuerzo de mitigación. Acciones como la FN-4 (solicitud de permisos) o la FN-6 (caracterización de hábitat) son requisitos administrativos o estudios previos, no medidas que reduzcan directamente el impacto sobre la fauna. La mitigación real se concentra casi exclusivamente en el Plan de Rescate y Relocalización (PRR). El centro de la estrategia, el PRR, es en sí mismo una medida cuya efectividad es altamente cuestionada en la literatura científica. Lejos de ser una solución garantizada, numerosos estudios y revisiones han demostrado que la translocación de peces a menudo resulta en altas tasas de mortalidad post-liberación debido al estrés fisiológico del manejo, y que los individuos sobrevivientes con frecuencia no logran establecerse en los sitios de relocalización, dispersándose a hábitats inadecuados o sufriendo una mayor depredación (Fischer & Quist, 2014). Por estas razones, la comunidad científica considera la translocación como una medida de último recurso y de éxito incierto, no como una solución fiable para un impacto calificado como "alto significativo".

El diseño específico del PRR para la central Itata agrava estas incertidumbres. Sus indicadores de éxito, como lograr un 80% de eficiencia de captura (FN-5) o medir la mortalidad inmediata al traslado (FN-7), son logísticos y operativos, no ecológicos. El plan carece de los criterios que determinarían un verdadero éxito, la supervivencia a mediano y largo plazo, la mantención de la condición corporal, el crecimiento y la eventual reproducción de la población en el nuevo hábitat (Roni et al., 2008). En resumen, para un impacto significativo, se propuso un plan de manejo cuya medida central es de eficacia dudosa y cuyo diseño de seguimiento no estaba preparado para medir el éxito ecológico real, sino solo el éxito de la operación de rescate.

## Resultados del Programa de Seguimiento Ambiental

Entre los días 24 y 27 de abril del 2013 se realizó la “*Campaña complementaria de flora y fauna acuática*” (GESAM, 2013), la cual permitió caracterizar el medio biótico y abiótico de los sitios de relocalización. Según estos antecedentes, la estación FFA-7, ubicada aproximadamente 9 km aguas arriba del área de rescate, fue seleccionada como destino de los ejemplares rescatados en el sector de la bocatoma. De igual forma, la estación FFA-6 ubicada aproximadamente 14 km abajo del área de rescate, presentó las condiciones ideales para establecer los ejemplares relocalizados en el sector de restitución como se puede observar en la Fig. 6.16.

El seguimiento para este impacto se documenta en 22 informes presentados en la plataforma SNIFA, que abarcan desde la ejecución del Plan de Rescate y Relocalización hasta los monitoreos posteriores. El PRR se ejecutó en dos campañas principales durante 2015, asociadas a las obras en el cauce:



**Figura 6.16.** Localización estaciones de relocalización de PRR. Fuente: Elaborada en base a coordenadas del PRR con Google Earth 2025.

1. Rescate en la Bocatoma (Febrero 2015): Se capturaron 453 ejemplares de especies nativas como la Perca trucha, Carmelita y Bagrecito (Fig. 6.16). De estos, 158 individuos que cumplían con el criterio de talla fueron marcados con PIT tags y relocalizados exitosamente en la estación FFA-7, aguas arriba del proyecto. Se reportó un 100% de supervivencia inmediata.
2. Rescate en la Restitución (Abril 2015): Se capturaron 124 ejemplares, principalmente Puyes, Carmelitas y Pejerreyes. Sin embargo, ningún ejemplar fue marcado con PIT tags. Esto se debió a que en la ejecución se aplicó un criterio de talla mínima de 5 cm, más restrictivo que los 3,5 cm estipulados en el plan original, un cambio que no fue justificado en los informes. Todos los peces fueron relocalizados en la estación FFA-6, aguas abajo sin posibilidad de seguimiento individual.

El resultado del seguimiento a largo plazo, realizado mediante muestreos semestrales desde 2015 hasta la fecha, fue categórico, en ninguno de los informes se logró recapturar un ejemplar marcado, resultando en un índice de recaptura del 0%. Los informes atribuyen esta ausencia de datos a la posible movilidad de las especies o a la expulsión de las marcas.



**Figura 6.17.** Especies capturadas en Campaña 1 de PRR, marzo de 2015. La primera corresponde a ejemplar de la especie Carmelita, la segunda a un ejemplar de la especie Bagrecito, la tercera a un ejemplar de la especie Bagre y la cuarta a un ejemplar de la especie Pejerrey Chileno. *Fuente: Campaña 1 del Plan de seguimiento de flora y fauna acuática, marzo 2015.*

#### Análisis crítico y discusión de la implementación y resultados del PSA

La implementación del seguimiento demostró el fracaso total del componente de monitoreo del PRR, que era el pilar para verificar la efectividad de la medida. Un resultado de 0% de recapturas a lo largo de años de muestreo significa que el objetivo principal del plan, no se cumplió en lo más mínimo, dejando la eficacia de la mitigación en una incertidumbre total.

A esto se suman fallas en el procedimiento, como el cambio no justificado del criterio de talla para el marcaje, que inhabilitó el seguimiento de la población rescatada en la zona de restitución. Más grave aún es la falta de gestión adaptativa, a pesar de la evidente e informada ineficacia del monitoreo durante años, no se propusieron medidas correctivas ni cambios metodológicos. Esto convierte el seguimiento en un trámite administrativo, donde se cumple con entregar informes que sistemáticamente reportan la ausencia de datos relevantes. En conclusión, el impacto perdió la trazabilidad, demostrando la inefectividad de la medida a pesar de haber sido aplicada.

#### 6.1.3.6. Impacto O-FN-1: Riesgo de pérdida de ejemplares en canal de aducción

Durante la etapa de operación se reconoció el riesgo de que la fauna íctica sea arrastrada por la corriente hacia el canal de aducción, donde los ejemplares podrían quedar atrapados, debido a la acción de captación de agua. Este impacto fue evaluado con una calificación de “-6”, de magnitud baja e importancia moderada, reversible, de largo plazo, de ocurrencia cierta, primario y de aparición en corto plazo.

**Tabla 6.9.** Medida de manejo propuesta para impacto O-FN-1.

Código	Medida de Mitigación
FN-9	Instalación de un sistema de barrera eléctrica conductual en la entrada de la bocatoma. Genera un campo eléctrico de baja intensidad que repele a los peces y evita su ingreso al canal de aducción.

*Fuente: Resolución de Calificación Ambiental Mini Central de Pasada Itata.*

Para mitigar este impacto, se propuso inicialmente la instalación de una barrera eléctrica conductual en la entrada de la bocatoma. Esta tecnología genera un campo eléctrico de baja intensidad orientado en dirección paralela al flujo de agua, diseñado para generar una sensación progresivamente desagradable en los peces a medida que se aproximan, de modo que eviten ingresar al sistema de captación.

Sin embargo, posteriormente a través de una Consulta de Pertinencia (CP) ingresada en 2016, el titular solicitó reemplazar la barrera eléctrica por una barrera física de cadenas. Según lo indicado, estudios de la empresa Smith-Root inc. Habrían demostrado que la barrera eléctrica no sería efectiva para peces nativos de tamaño pequeño, debido a su morfología, lo que dificultaría la percepción del estímulo eléctrico. En su lugar se propuso instalar una estructura física formada por cadenas con eslabones de separación inferior a 10cm, generando además un estímulo acústico por el movimiento de las cadenas, lo cual actuaría como elemento disuasivo.

El plan de seguimiento asociado a la medida FN-9 no se modificó, este propuso inspecciones especializadas para evaluar la presencia o ausencia de peces en el canal de aducción como indicador de efectividad de la barrera instalada. La metodología consiste en inspección visual directa y conteo manual de ejemplares, se debía realizar mensualmente durante el primer año de operación y posteriormente de forma semestral durante toda la vida útil del proyecto. Los puntos de muestreo propuestos fue el canal de la bocatoma del río Itata, bajo supervisión del SEA, SUBPESCA y SERNAPESCA. En caso de fallas temporales del sistema de barrera, se propuso como medida de respaldo la instalación de una rejilla de 2x2 cm de luz al final del canal para evitar la pérdida de ejemplares.

#### Análisis crítico y discusión del plan de manejo

El plan de manejo para este impacto fue debilitado a través del reemplazo por la barrera de cadenas. La literatura especializada establece criterios de diseño estrictos para las barreras físicas, principalmente un espaciado de malla reducido (medido en milímetros) y una baja velocidad de aproximación para evitar la impactación de los peces (DFO, 1995). Una barrera con una separación donde simplemente se indica inferior que será inferior a 10 cm, incumple esto.

En vez de eso, se considera que debió proponerse alguna medida más específica y con eficacia comprobada como barreras físicas de exclusión fina con by-pass, para guiar a los peces de vuelta al río (Trussart, et al., 2002). Falto realizar modificaciones operacionales, teniendo en cuenta la existencia de especies ícticas nativas en categoría “En peligro”. La detención o reducción de la captación de agua durante periodos de alta vulnerabilidad, como las horas de mayor actividad de los peces o las temporadas de migración, es una medida de manejo adaptativo para proteger a las poblaciones locales (Gibeau, et al., 2017). El plan de seguimiento, basado en una inspección visual, es además insuficiente para evaluar con precisión la efectividad de la barrera, ya que no permite detectar el paso de peces en condiciones de alta turbiedad o durante la noche.

#### Resultados del Programa de Seguimiento Ambiental

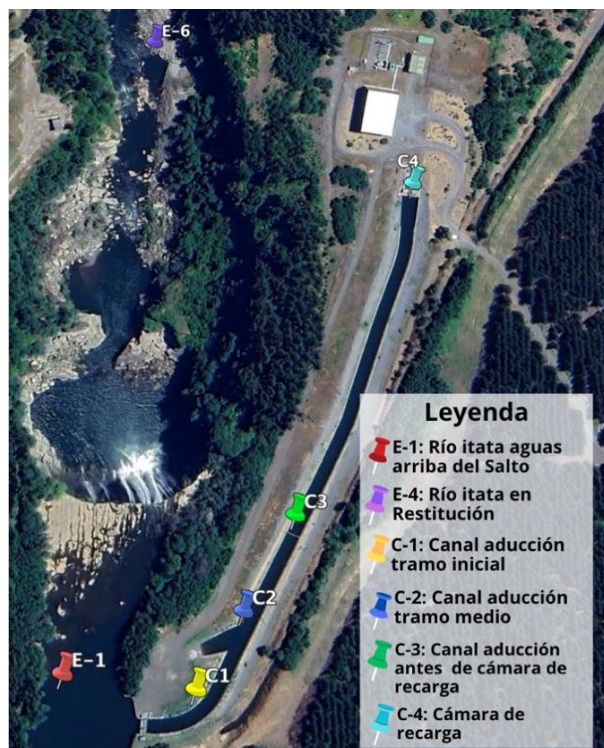
El programa de seguimiento informado en SNIFA para fauna íctica asociada a la Central de pasada Itata cuenta con 26 documentos (a junio de 2025). Las campañas se realizaron en base a los datos de diversidad de fauna íctica de la línea de base y la campaña complementaria de Flora y Fauna acuática, donde se registró un total de 12 especies de fauna íctica. De estas, 3 corresponden a especies introducidas y 9 a especies nativas, como se puede apreciar en la Tabla 6.10.

**Tabla 6.10.** Especies de fauna íctica registradas en línea de base y campaña complementaria de flora y fauna acuática.

Nombre común	Nombre científico	Estado de conservación
Pocha de los lagos	<i>Cheirodon galusdae</i>	Vulnerable
Perca trucha	<i>Percichthys trucha</i>	Preocupación menor
Carmelita	<i>Percilia gillissi</i>	En peligro
Bagrecito	<i>Trichomycterus areolatus</i>	Vulnerable
Bagre chico	<i>Trichomycterus chiltoni</i>	En peligro
Pejerrey	<i>Basilichthys australis</i>	Casi amenazada
Puye	<i>Galaxias maculatus</i>	Preocupación menor
Tollo de agua dulce	<i>Diplomystes nahuelbutaensis</i>	En peligro
Bagre pintado	<i>Bullockia maldonadoi</i>	En peligro
Gambusia	<i>Gambusia holbrooki</i>	Introducida
Trucha marrón	<i>Salmo trutta</i>	Introducida
Trucha arcoíris	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Introducida

Fuente: Informe de efectividad de la medida FN-9, septiembre de 2016. Estado de conservación actualizado en base a lista roja de la UICN.

Las estaciones de monitoreo corresponden a 6 puntos de muestreo, desde la zona captación hasta la restitución (Fig. 6.18). La barrera implementada se puede ver en la Fig. 6.19.



**Figura 6.18.** Localización estaciones de terreno medida FN-9. Fuente: Elaborada en base a coordenadas del PRR con Google Earth 2025.

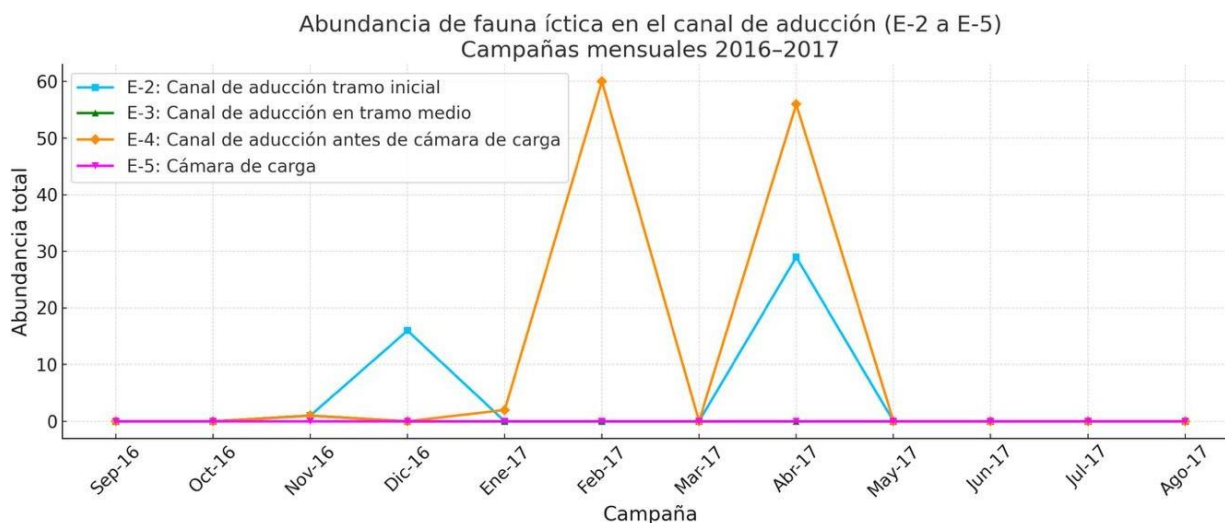


**Figura 6.19.** Barrera de cadenas en bocatoma. Fuente: Informe de efectividad de la medida FN-9, septiembre de 2016.

El seguimiento de esta medida se documenta en 26 informes y se dividió en dos fases, una de monitoreo mensual durante el primer año de operación (septiembre de 2016 – agosto de 2017) y una posterior de monitoreo semestral.

Durante el primer año de seguimiento mensual, los resultados fueron reveladores. Si bien las campañas iniciales no registraron peces al interior del canal de aducción, en los meses posteriores se detectó de manera recurrente la presencia de fauna íctica, con máximos de abundancia de hasta 60 ejemplares en febrero de 2017 (Fig. 6.20). Es de suma importancia destacar que entre las especies encontradas dentro del canal se registraron individuos de Carmelita (*Percilia gillissi*) y Bagrecito (*Trichomycterus aerolatus*), ambas catalogadas con problemas de conservación.

Un dato revelado por el seguimiento es que estos eventos de mayor ingreso de peces al canal no ocurrieron con la central en operación normal (con flujo constante), sino en períodos en que se encontraba detenida, con la compuerta de la bocatoma abierta y el canal con agua estancada. Por lo tanto de los resultados de abundancia del primer año, la interpretación debe considerar el estado operativo del proyecto y la condición hidráulica del canal como se puede apreciar en la Tabla 6.11. Durante los periodos de agua detenida con compuertas parcialmente abiertas, se identifican mayores registros de fauna en el canal. Por el contrario, en campañas donde el canal estuvo seco o con flujo constante y controlado, la abundancia en el canal disminuye, lo que podría estar asociado al funcionamiento de las medidas disuasivas o a condiciones de menor riesgo.



**Figura 6.20.** Abundancia total de fauna íctica en canal de aducción entre septiembre 2016 y agosto 2017. Fuente: informes mensuales reportados en SNIFA para la medida FN-9.

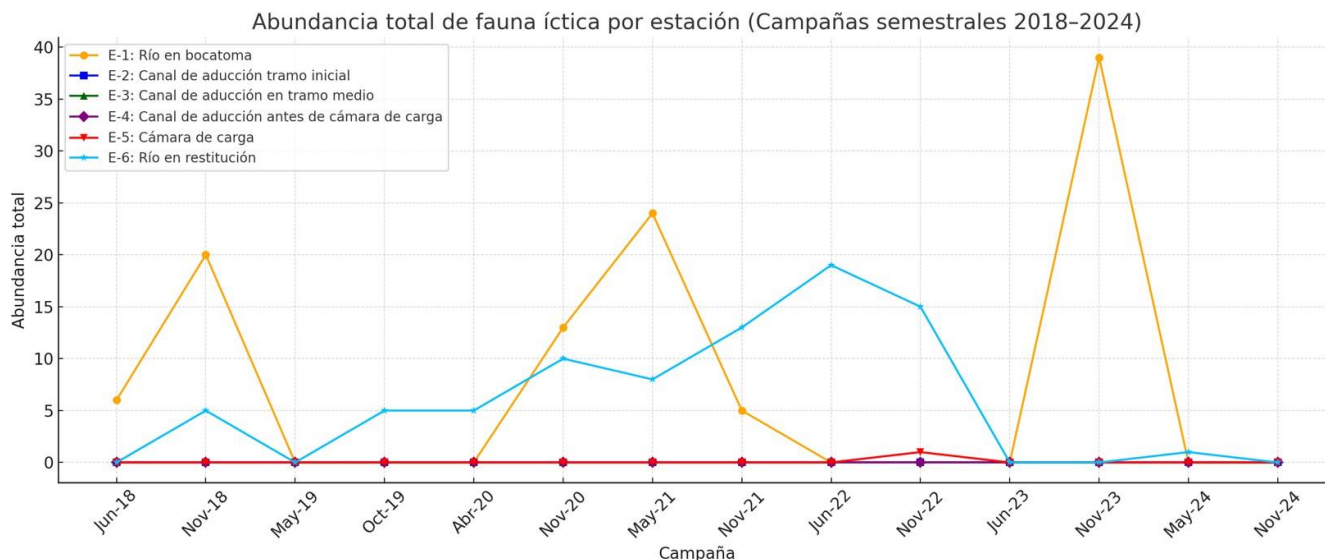
**Tabla 6.11.** Actividad del Proyecto y situación del canal de aducción durante cada campaña.

Nº	Fecha	Actividad	Situación del canal de aducción
1	Septiembre 2016	Operando	Flujo constante
2	Octubre 2016	Operando	Flujo constante
3	Noviembre 2016	No operativa	Agua y central detenida, compuerta de bocatoma abierta y compuerta de cámara cerrada
4	Diciembre 2016	No operativa	Sin agua, ambas compuertas cerradas
5	Enero 2017	No operativa	Agua y central detenida, compuerta de bocatoma abierta y compuerta de cámara cerrada
6	Febrero 2017	No operativa	Agua y central detenida, ambas compuertas cerradas
7	Marzo 2017	No operativa	Sin agua, ambas compuertas cerradas
8	Abril 2017	No operativa	Sin agua, ambas compuertas cerradas
9	Mayo 2017	Operando	Flujo constante
10	Junio 2017	Operando	Flujo constante

11	Julio 2017	Operando	Flujo constante
12	Agosto 2017	Operando	Flujo constante

Fuente: Informes mensuales reportados en SNIFA para la medida FN-9.

En cuanto a los informes semestrales de seguimiento entre 2018 y 2024 para evaluar la efectividad de la medida FN-9, la abundancia íctica en el canal de aducción fue prácticamente nula, con solo una excepción en noviembre de 2022, donde se registró un único individuo (Fig. 6.21).



**Figura 6.21.** Abundancia total de fauna íctica en canal de aducción, bocatoma y en restitución (2018 a 2024).

Fuente: Elaboración propia en base a informes mensuales reportados en SNIFA para la medida FN-9.

### Análisis crítico y discusión de la implementación y resultados del PSA

La implementación del seguimiento demostró que la medida de mitigación fue ineficaz. El hallazgo de cientos de peces, incluyendo especies en categoría de conservación, dentro del canal durante el primer año es la prueba directa del fracaso de la barrera de cadenas. El patrón de ingreso con la central detenida reveló además un modo de falla operacional específico que no fue abordado. Más crítico aún es el diseño del seguimiento a largo plazo, el calendario de muestreo semestral demuestra evitar sistemáticamente los meses de verano, como se puede ver en la Fig. 6.20. donde se aprecian las fechas de las campañas realizadas, que fue cuando se detectó el mayor ingreso de peces según el análisis mensual realizado inicialmente.

Este sesgo en el muestreo genera una falsa apariencia de efectividad en los informes de los últimos años. Un plan de monitoreo cuyo diseño no es capaz de detectar el impacto cuando este es más probable de ocurrir es, en la práctica, inútil y un desperdicio de recursos (Leg & Nagy, 2006). La implementación, por lo tanto, no solo probó la ineficacia de la medida, sino que continuó con un programa de seguimiento metodológicamente deficiente que probablemente oculta la persistencia del problema.

#### 6.1.3.7. Impacto O-FN-2: Alteración del hábitat de la fauna íctica por disminución de caudal

Este impacto reconoce que la derivación de agua para la generación eléctrica reduce significativamente el caudal en el tramo de 5,5 km entre la bocatoma y la restitución, afectando la estructura y funcionalidad del hábitat para las especies de peces. Fue evaluado como negativo,

de alta magnitud e importancia moderada, reversible y de largo plazo, obteniendo una calificación de "-10". A pesar de las solicitudes de la autoridad para reevaluar al alza esta calificación, el titular la mantuvo sin justificación técnica.

Las medidas de manejo que se propusieron para alteración del hábitat son las que se pueden apreciar en la Tabla 6.12.

**Tabla 6.12.** Medidas de manejo propuestas para impacto O-FN-2.

<b>Código</b>	<b>Medidas de mitigación</b>
FN-10	Determinación de caudal ecológico mínimo mediante modelación de hábitat por especie nativa, para conservar la fauna acuática entre la bocatoma y el punto de restitución.
FN-11	La implementación de instrumentación para el monitoreo continuo de caudales, incluyendo sensores de nivel y un equipo ultrasónico Doppler para verificar el cumplimiento del caudal ecológico.
FN-12	Un plan de difusión para poner en valor la fauna íctica del Salto del Itata, mediante la instalación de señalética, y la entrega anual de 1.000 trípticos a turistas y colegios.

*Fuente: Resolución de Calificación Ambiental Mini Central de Pasada Itata.*

El plan se centró principalmente en el monitoreo del cumplimiento del caudal ecológico, utilizando la instrumentación descrita en la medida FN-11. Además, se asoció a este impacto el plan de seguimiento de flora y fauna acuática, con una frecuencia trimestral los primeros tres años y luego semestral. Para la medida de difusión (FN-12), se propuso una verificación semestral mediante informes con registros fotográficos y listas de asistencia.

#### Análisis crítico y discusión del plan de manejo

El plan de manejo para este impacto de alta significancia presenta debilidades conceptuales. Primero, se ignoraron las reiteradas solicitudes de aumentar la valoración del impacto. Segundo, las medidas FN-10 (determinación del caudal ecológico) y FN-11 (equipos de monitoreo) son, en estricto rigor, requisitos normativos y acciones de seguimiento, no medidas de mitigación que busquen activamente reducir el impacto más allá del mínimo legal. La mitigación real debería haber incluido el diseño de un régimen de caudal ecológico dinámico, una práctica que busca imitar la variabilidad del hidrograma natural, incluyendo crecidas controladas para la mantención del hábitat, lo cual es fundamental para sostener la integridad de los ecosistemas fluviales (Poff et al., 1997; Bunn & Arthington, 2002). Por otro lado, la medida FN-12 (plan de difusión) es una acción de educación o compensación social, no una medida que mitigue la alteración física del hábitat de los peces, su inclusión en esta categoría es conceptualmente incorrecta.

#### Resultados del Programa de Seguimiento Ambiental

El programa de seguimiento informado en SNIFA para las medidas FN-10 y FN-11 cuentan con 34 documentos con información desde Septiembre de 2016 hasta Febrero de 2025 (a junio de 2025). Estos resultados revelaron el incumplimiento sistemático del caudal ecológico establecido de 4,27 m<sup>3</sup>/s, La central se encontraba operando, mientras que el caudal pasante definido para medir que se respetara el caudal ecológico, era inferior a este. Esta infracción se registró en múltiples fechas a lo largo de los años 2017, 2018, 2019, 2021 y 2022, demostrando que la protección del ecosistema acuático no fue garantizada.

Cabe recordar que en la descripción del proyecto se definió que en periodo de estiaje la central operaría solo durante la noche si el caudal del río supera los 11,02 m<sup>3</sup>/s, cifra que corresponde a

la suma del caudal ecológico (4,27 m<sup>3</sup>/s) y el caudal mínimo requerido para activar las turbinas (6,75 m<sup>3</sup>/s). De manera destacada, se observó que el 10 y 11 de febrero de 2019, época de estiaje, la central operó durante el día. Esta situación representa un caso puntual de incumplimiento ambiental, ya que se generó energía durante un período que estaba restringido.

Más allá de los incumplimientos operativos, un análisis detallado de los informes de seguimiento correspondientes a enero de 2021 revela una inconsistencia fundamental que invalida la fiabilidad de los datos reportados. Al comparar los registros horarios del "caudal pasante" (el agua que debe quedar en el río) con los del "caudal de aducción" (el agua supuestamente utilizada por la central), se constató que las cifras eran exactamente idénticas para el mismo período.

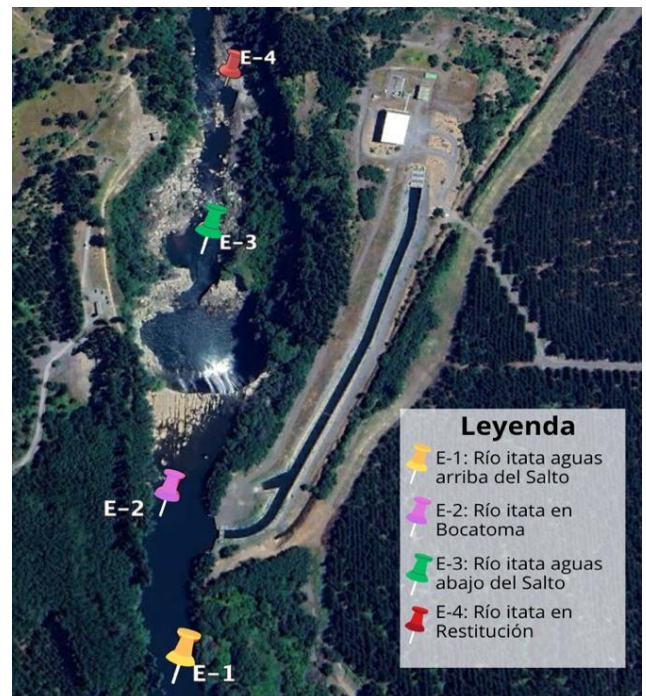
Esta duplicación es físicamente imposible, ya que el caudal captado y el caudal remanente son dos variables distintas y excluyentes. La explicación más plausible es un error grave en el monitoreo y reporte, donde probablemente se utilizó un único set de mediciones para generar dos informes diferentes, haciendo que el reporte del caudal de aducción sea, con una alta probabilidad, información no fidedigna.

En el plan de seguimiento se propuso el monitoreo de las especies de peces relocadas y también el monitoreo de flora y fauna acuática en las estaciones (Fig. 6.22). Esto se encuentra en los 22 informes disponibles en el SNIFA desde marzo de 2015 hasta noviembre de 2024. De estos informes se pudieron obtener los siguientes gráficos.

El seguimiento de la biota acuática durante la fase de operación revela impactos negativos y diferenciados en las zonas de bocatoma y en el tramo con caudal disminuido, al compararlas con la estación de control (E1).

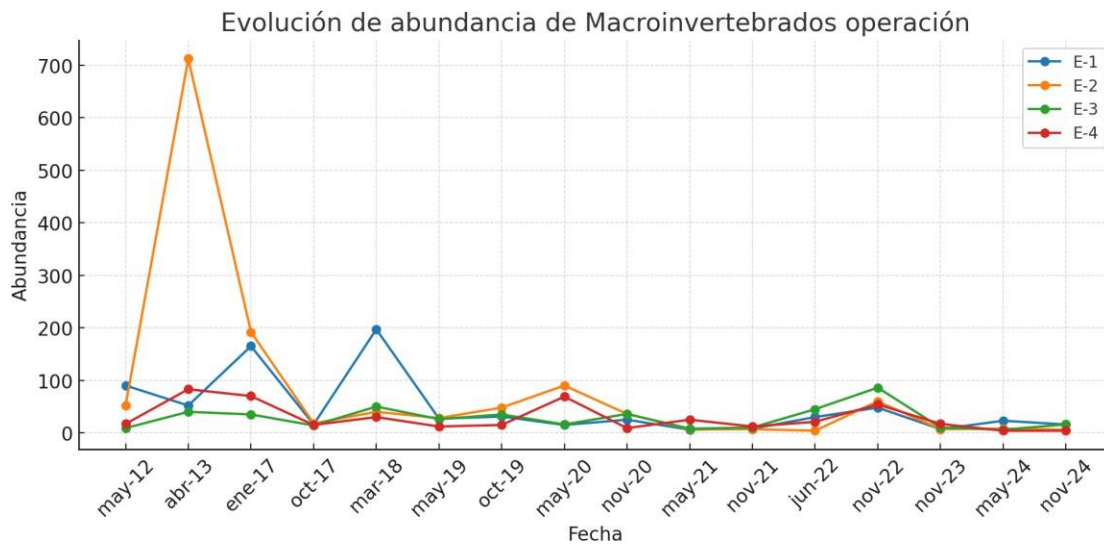
En la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, se observa una drástica y sostenida disminución de la abundancia total en todas las estaciones intervenidas (E2, E3 y E4) en comparación con la estación control (Fig. 6.23). En cuanto a la riqueza, se presenta un patrón divergente: mientras en la bocatoma (E2) la riqueza de taxones tiende a aumentar, en las estaciones aguas abajo (E3 y E4) esta se mantiene en niveles bajos, similares o inferiores a los del control (Fig. 6.24).

La comunidad de fauna íctica evidencia el impacto más severo. Tanto en la estación de bocatoma (E2) como, de forma mucho más pronunciada, en las estaciones del tramo con caudal reducido (E3 y E4), se observa un declive drástico y sostenido tanto en la abundancia total como en la riqueza de especies (Fig. 6.25 y 6.26). Los valores en estas estaciones se mantienen en niveles mínimos durante toda la fase de operación, contrastando fuertemente con la estabilidad de la comunidad en la estación de control. Adicionalmente, es relevante señalar que en la campaña de septiembre de 2018 se registró por primera vez la presencia de la especie exótica invasora Bagre

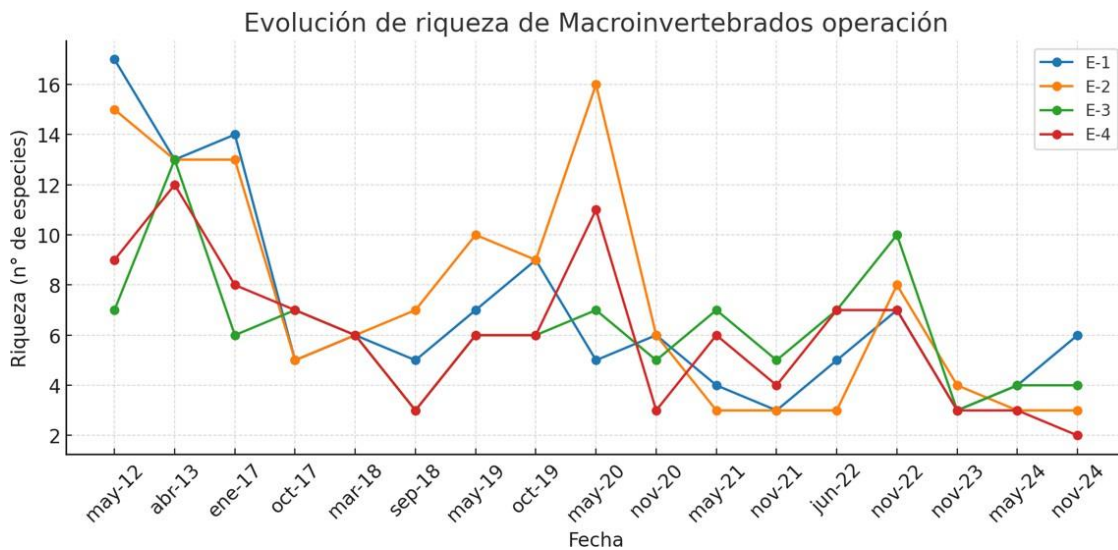


**Figura 6.22.** Estaciones para el seguimiento de flora y fauna acuática. Fuente: *Elaboración propia en base a Informes de Seguimiento Central Itata, 2017.*

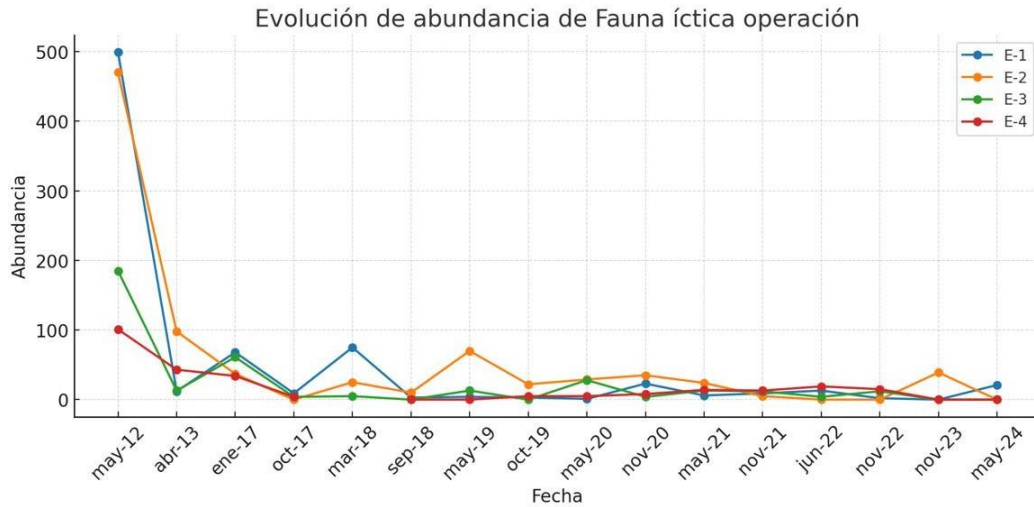
café (*Ameiurus nebulosus*) en la zona de estudio, un taxón no detectado durante la línea de base. Finalmente, la comunidad de macrófitas acuáticas exhibe una tendencia general al aumento en su riqueza de especies, patrón que es marcadamente más pronunciado en las estaciones de impacto aguas abajo (E3 y E4), como se ve en la Fig. 6.27.



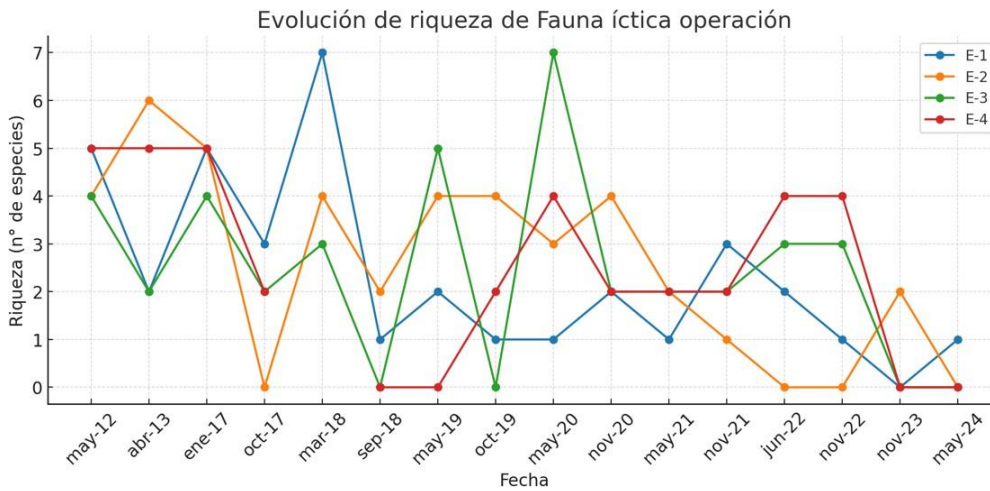
**Figura 6.23.** Abundancia total para macroinvertebrados. Fuente: Elaboración propia en base a informes de Plan de seguimiento de Flora y Fauna Acuática (2017 a 2024).



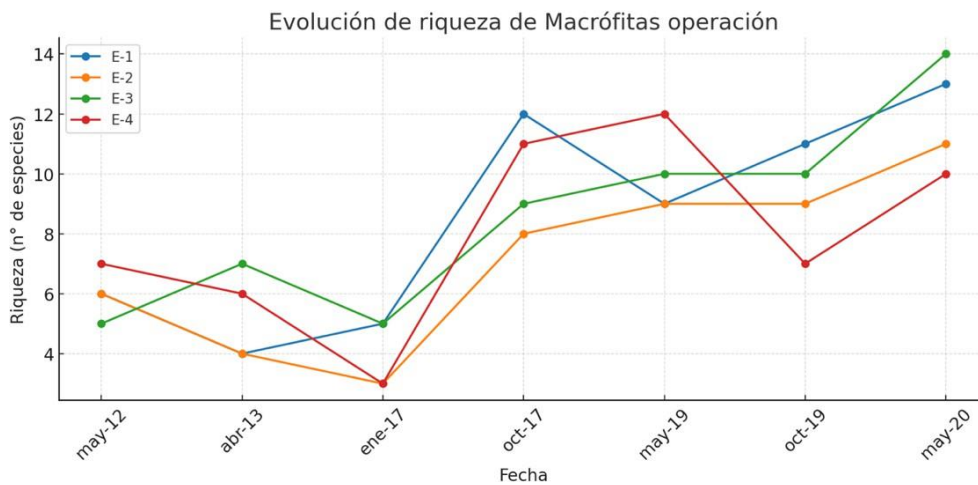
**Figura 6.24.** Riqueza de macroinvertebrados entre 2017 y 2024. Fuente: Elaboración propia en base a informes de Plan de seguimiento de Flora y Fauna Acuática (2017 a 2024).



**Figura 6.25.** Abundancia total para peces entre 2017 y 2024. Fuente: Elaboración propia en base a informes de Plan de seguimiento de Flora y Fauna Acuática (2017 a 2024).



**Figura 6.26.** Riqueza de peces entre 2017 y 2024. Fuente: Elaboración propia en base a informes de Plan de seguimiento de Flora y Fauna Acuática (2017 a 2024).



**Figura 6.27.** Riqueza para Macrófitas en Estaciones Aguas Abajo entre 2017 y 2024. Fuente: Elaboración propia en base a informes de Plan de seguimiento de Flora y Fauna Acuática (2015 a 2024).

## Análisis crítico y discusión de la implementación y resultados del PSA

El conjunto de los hallazgos sobre el caudal ecológico demuestran un patrón de operación persistente donde se privilegia la producción energética por sobre el cumplimiento de los compromisos ambientales, además de la incertidumbre sobre si todos los datos son confiables, debido a la duplicación encontrada. Este manejo deficiente del régimen hídrico es la causa que explica el impacto ecológico observado en el seguimiento biológico, como el colapso de la fauna íctica nativa.

Los resultados del seguimiento biológico proporcionan una evidencia de un impacto ecológico, persistente y no mitigado, provocado por la alteración permanente del régimen de caudal. El colapso de la comunidad de peces nativos, manifestado en la pérdida tanto de especies como de individuos, es la prueba contundente de que el caudal ecológico implementado es insuficiente para mantener un hábitat funcional. La combinación de esta disminución de la fauna íctica con la reestructuración de la comunidad de macroinvertebrados (disminución de abundancia pero aumento y mantención de riqueza) y la proliferación de macrófitas, es una muestra de que los han sido alterados por la regulación de sus caudales, no es una recuperación, sino la consolidación de un nuevo estado ecológico degradado (Bunn & Arthington, 2002).

La aparición de la especie exótica invasora, Bagre café, refuerza esta conclusión. Es un principio fundamental de la biología de las invasiones que la perturbación del hábitat y la degradación de las comunidades nativas aumentan la vulnerabilidad de un ecosistema a la colonización por especies exóticas (Didham et al., 2007). Estas especies invasoras, a menudo más generalistas, prosperan en las nuevas condiciones de hábitat (menor velocidad del agua, más vegetación) que el proyecto ha creado y que son desfavorables para la fauna nativa adaptada al régimen de flujo original (Habit et al., 2018). Por lo tanto, el seguimiento documenta el deterioro del ecosistema original.

Para la medida FN-12 no se encontró información, lo que demuestra una falta de seguimiento efectivo y transparencia en la implementación de compromisos ambientales establecidos en la RCA. Esta ausencia dificulta la evaluación del cumplimiento y la verificación del efecto real de la medida sobre el componente ambiental comprometido.

La gestión de este impacto fue trazable, pero hacia un resultado negativo y no mitigado. Es posible seguir la cadena desde la predicción del impacto hasta los resultados del monitoreo, los que confirman la alteración del hábitat, que persiste a pesar de la medida propuesta. Finalmente, la ausencia total de información sobre la medida FN-12 no solo deja su cumplimiento en duda, sino que refuerza la falta de rigurosidad en la implementación de todos los compromisos ambientales asociados a este impacto.

### **6.1.4. Determinación de la coherencia entre impactos ambientales previstos, las medidas de manejo y su verificación en el PSA**

A continuación, se presenta la evaluación de la coherencia entre los impactos ambientales previstos y sus medidas de manejo, según lo establecido en la Resolución de Calificación Ambiental del proyecto, y la verificación de estos a través de su Programa de Seguimiento Ambiental. Para realizar este análisis de manera sistemática, se abordará cada impacto de forma individual. La evaluación se estructura en dos partes, primero se presenta una tabla que expone cada medida de manejo, su compromiso de seguimiento, la verificación de su implementación a partir de los informes del PSA y el hallazgo principal reportado. Posteriormente, a cada tabla le

sigue un párrafo de discusión que integra la información, analiza las implicancias de los hallazgos y concluye de manera argumentada sobre el nivel de coherencia y la efectividad real del plan de manejo para dicho impacto.

#### 6.1.4.1. Análisis de Impacto C-H-1: Alteración del flujo de agua por desvío del cauce.

**Tabla 6.13.** Conclusión de coherencia para impacto C-H-1.

Medidas de manejo	Compromiso de Seguimiento	Hallazgos del seguimiento	Efectividad
H-1: Construir pretil de desvío en mínimo espacio, en estiaje y usando materiales naturales.	Inspección visual diaria y registro fotográfico para verificar el uso de materiales naturales.	Sin información sobre inspección visual diaria y registro fotográfico. El único informe presentado se centró en el origen de los áridos y hormigón.	No existe evidencia para verificar el mínimo espacio utilizado ni la época de construcción. La efectividad es indeterminable.
H-2: Desviar el flujo sobre una mitad del cauce para trabajar en la otra mitad seca.	No se especificó seguimiento directo, se infiere de la inspección general de la obra.	No verificable. El informe del PSA no contiene ninguna descripción ni registro del método constructivo en el cauce.	La implementación y efectividad de la medida son desconocidas por la total ausencia de seguimiento.
H-3: Implementar acciones para proteger el canal de regantes Casablanca.	No se especificó un seguimiento directo para esta medida.	No verificable. No existen reportes en el seguimiento que documenten la implementación de estas acciones.	La implementación y efectividad de la medida son desconocidas por falta de seguimiento.

Fuente: Elaboración propia.

El análisis del impacto C-H-1 revela una incoherencia total y una ruptura completa de la trazabilidad entre los compromisos de la RCA y la ejecución del PSA. Como muestra la tabla, ninguna de las tres medidas de manejo pudo ser verificada a través de los informes reportados. El seguimiento se desvió hacia un cumplimiento administrativo (origen de los materiales). En consecuencia, el PSA no solo falló en verificar la correcta implementación de las medidas, sino que fue completamente ineficaz para determinar si estas fueron útiles para mitigar el impacto. Esta situación demuestra que el plan de seguimiento, en la práctica, no funcionó como una herramienta de gestión ambiental, sino como un trámite formal, dejando en incertidumbre la magnitud real de la alteración generada en el río Itata durante la construcción.

#### 6.1.4.2. Análisis de Impacto: Alteración de la calidad de las aguas (Construcción).

**Tabla 6.14.** Conclusión de coherencia para impacto alteración calidad de aguas.

Medidas de manejo	Compromiso de Seguimiento	Hallazgos del seguimiento	Efectividad
Sin medidas de manejo.	Monitoreo trimestral de la calidad del agua (parámetros NCh 1.333) durante toda la etapa de construcción en los puntos de bocatoma y restitución.	Se cumplió con la entrega de 6 informes trimestrales. Los parámetros medidos se mantuvieron dentro de los límites de la norma. En la implementación se modificaron los datos de la línea de base.	El PSA no puede evaluar la efectividad de ninguna acción, solo documentar el estado del agua.

Fuente: Elaboración propia.

La gestión de este impacto presenta una incoherencia estructural desde su origen. La ausencia de una medida de mitigación asociada convierte al programa de seguimiento en un ejercicio de simple constatación en lugar de una herramienta de gestión para verificar la efectividad de una acción preventiva. Sin embargo, la falla más grave se evidencia en la implementación del seguimiento, donde se rompe la trazabilidad al modificar los datos de la línea de base en los informes del PSA. Esta manipulación de las condiciones de referencia es una de las debilidades más críticas que puede presentar un seguimiento, ya que imposibilita cualquier comparación válida y objetiva para determinar si el proyecto generó o no una alteración en la calidad del agua. Por lo tanto, aunque formalmente se entregaron informes, el plan de seguimiento fue ineficaz y su resultado no es confiable.

#### 6.1.4.3. Análisis de Impacto O-H-1: Disminución del caudal del Salto del Itata.

**Tabla 6.15.** Conclusión de coherencia para impacto O-H-1.

Medidas de manejo	Compromiso de Seguimiento	Hallazgos del seguimiento	Efectividad
H-3: Limitar captación de agua a un máximo de 45 m <sup>3</sup> /s (caudal de diseño de la central).	Monitoreo diario del caudal derivado en el canal de aducción mediante sensores, con entrega mensual de informes a la autoridad.	El seguimiento se implementó de forma continua, con 34 informes. El hallazgo clave fue que el límite máximo se superó en 28 meses distintos.	El incumplimiento del único límite establecido demuestra que la medida falló en su objetivo de controlar la captación de agua, demostrando que no fue efectiva.

Fuente: Elaboración propia.

La gestión de este impacto de alta significancia resulta deficiente tanto en su diseño como en su implementación. La medida de manejo propuesta es conceptualmente débil, ya que no mitiga el impacto, sino que simplemente describe el límite operativo del proyecto. A su vez, el plan de seguimiento, aunque se implementó, se enfocó en un punto de control operacional (el canal) en lugar de monitorear el componente ambiental afectado (el río). Lo más crítico es que los informes del PSA demuestran un incumplimiento reiterado del caudal máximo permitido, invalidando la justificación del titular. Por lo tanto, se concluye que la coherencia del plan es baja, ya que el seguimiento solo constató el fracaso de la gestión sin que se aplicaran medidas correctivas.

#### 6.1.4.4. Análisis de Impacto: Alteración de la calidad de las aguas (Operación).

**Tabla 6.16.** Conclusión de coherencia para impacto alteración calidad de aguas.

Medidas de manejo	Compromiso de Seguimiento	Hallazgos del seguimiento	Efectividad
No se propusieron medidas de manejo.	Monitoreo semestral de la calidad del agua (parámetros NCh 1.333) durante los primeros cinco años de operación.	Se entregaron 10 informes semestrales. Los hallazgos clave fueron, superación de los límites normativos para coliformes fecales y sodio porcentual en varias campañas. Titular entregó justificaciones contradictorias y cometió errores técnicos.	No aplicable. Al no existir una medida de manejo, no se puede evaluar la efectividad.

Fuente: Elaboración propia.

La gestión de este impacto carece de una medida de mitigación, lo que debilita conceptualmente todo el plan de manejo. El seguimiento se convierte en un acto de documentación en lugar de una herramienta de gestión. Sin embargo, el problema principal radica en la falta de rigor técnico y consistencia en los informes del PSA. Como se evidenció en los hallazgos, el titular utilizó justificaciones contradictorias y convenientes para desestimar los incumplimientos normativos, validando la comparación entre estaciones cuando le era favorable e invalidándola cuando no. Sumado a los errores en la interpretación de la norma, estas prácticas disminuyen por completo la credibilidad y objetividad del seguimiento. Por lo tanto, la coherencia es nula, ya que el programa de seguimiento, en lugar de aportar certeza sobre el estado ambiental del río, se transformó en una herramienta para generar justificaciones para los incumplimientos.

#### 6.1.4.5. Análisis de Impacto C-FN-2: Alteración del hábitat de fauna íctica.

**Tabla 6.17.** Conclusión de coherencia para Impacto C-FN-2.

Medidas de manejo	Compromiso de Seguimiento	Hallazgos del seguimiento	Efectividad
FN-2 a FN-9: Implementación de un PRR, que incluía captura de peces, traslado a zonas seguras y marcaje de ejemplares con PIT tags para su seguimiento.	Monitoreo semestral durante construcción y semestral durante la operación (5 años), con el objetivo de recapturar ejemplares marcados para verificar supervivencia y éxito de la relocalización.	El PRR se ejecutó en 2015. Se marcaron 158 peces en la bocatoma, y ninguno en la zona de restitución por cambio de criterio no justificado. El hallazgo de 22 informes fue la tasa de recaptura del 0%.	La medida se implementó de forma incompleta (no marco un grupo de peces) y seguimiento demostró fracaso total en verificar el objetivo principal. La efectividad de la medida es desconocida y no comprobada.

Fuente: Elaboración propia.

La gestión de este impacto de alta significancia presenta una profunda incoherencia entre el objetivo de la medida y el resultado del seguimiento. Si bien el PRR se ejecutó como procedimiento, su efectividad ecológica nunca pudo ser demostrada. El hallazgo de un 0% de recapturas a lo largo de años de monitoreo invalida por completo la utilidad del seguimiento y deja la eficacia de la medida en una incertidumbre total. A esto se suman fallas de implementación, como el cambio de criterio que impidió marcar a la mitad de los peces rescatados. A pesar de la evidente ineficacia del monitoreo, no se propusieron medidas correctivas, convirtiendo el seguimiento en un trámite administrativo que solo reportaba la ausencia de datos. Se rompe así la trazabilidad, demostrando que la medida, aunque fue aplicada, no fue verificada como efectiva.

#### 6.1.4.6. Análisis de Impacto O-FN-1: Riesgo pérdida de ejemplares en canal de aducción.

**Tabla 6.18.** Conclusión de coherencia para Impacto O-FN-1.

Medidas de manejo	Compromiso de Seguimiento	Hallazgos del seguimiento	Efectividad
FN-9: Instalación de barrera de cadenas para peces en bocatoma.	Inspección visual y conteo manual de peces dentro del canal de aducción. Frecuencia mensual el primer año y luego semestral.	26 informes. Los resultados del primer año mostraron de manera recurrente la presencia de peces, con hasta 60 ejemplares en una estación, incluyendo especies en categoría de conservación.	Inefectiva. La presencia de peces dentro del canal durante el primer año es la prueba directa de la ineficacia de la barrera.

--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia.

En este caso, el programa de seguimiento fue coherente en su fase inicial, ya que logró demostrar la ineficacia de la medida de mitigación. Los hallazgos del primer año de monitoreo mensual no dejaron lugar a dudas: la barrera de cadenas no funcionaba y peces, incluyendo especies protegidas, estaban ingresando al sistema. Sin embargo, la coherencia se rompe en la gestión posterior. A pesar de la evidencia contundente, no se implementaron medidas correctivas efectivas. Peor aún, el plan de seguimiento a largo plazo se diseñó con un sesgo metodológico, ya que la frecuencia semestral evitó sistemáticamente muestrear en los meses de verano, período en que se había detectado el mayor ingreso de peces. Esta decisión genera una falsa apariencia de efectividad en los informes recientes y transforma un seguimiento inicialmente útil en una herramienta que probablemente oculta la persistencia del problema.

#### 6.1.4.7. Análisis de Impacto O-FN-2: Alteración del hábitat de la fauna íctica por disminución de caudal.

**Tabla 6.19.** Conclusión de coherencia para Impacto O-FN-2.

Medidas de manejo	Compromiso de Seguimiento	Hallazgos del seguimiento	Efectividad
FN-10 y FN-11: Mantener un caudal ecológico mínimo de 4,27 m <sup>3</sup> /s.	Monitoreo continuo del caudal en el río para verificar cumplimiento del mínimo legal establecido.	34 informes. El hallazgo clave fue que el caudal ecológico no se cumplió en reiteradas ocasiones, especialmente en épocas de estiaje.	Inefectiva. La medida principal no solo era insuficiente para proteger el hábitat, sino que ni siquiera se cumplió de forma consistente.
FN-12: Plan de difusión para poner en valor la fauna íctica (señalética y trípticos).	Verificación semestral de instalación de señalética y entrega de material, mediante registros fotográficos y listas de asistencia.	No se encontró información en la plataforma SNIFA sobre la implementación de esta medida o su seguimiento.	No verificable, no es posible determinar si la medida se implementó y, por tanto, no se puede evaluar su efectividad.

Fuente: Elaboración propia.

La gestión de este impacto es un ejemplo claro de un plan de manejo incoherente y fallido. En primer lugar, el plan es conceptualmente débil, ya que presenta requisitos legales (el caudal ecológico) y acciones de monitoreo como si fueran medidas de mitigación activas. En segundo lugar, y más grave aún, el seguimiento biológico ofrece una evidencia contundente de las consecuencias ecológicas negativas de la operación: el colapso de la comunidad de peces nativos, la reestructuración de la comunidad de macroinvertebrados y la aparición de especies exóticas invasoras. Estos hallazgos demuestran que el caudal ecológico mínimo, incluso si se hubiera cumplido, era insuficiente para mantener un hábitat funcional. La coherencia del seguimiento en este caso es trágica: fue eficaz en documentar el deterioro persistente y no mitigado del ecosistema fluvial, probando así la inefectividad total del plan de manejo para el impacto más significativo sobre la biota acuática.

## 6.2. Análisis Pequeña Central de Pasada El Pinar

### 6.2.1. Descripción del proyecto PCH El Pinar

El proyecto Pequeña Central Hidroeléctrica de Pasada El Pinar debió ingresar al SEIA en cumplimiento de lo estipulado en el artículo 10º de la ley Nº 19.300 sobre Bases Generales de Medio Ambiente, modificada por la ley 20.417 y el en el artículo 3º del D.S. Nº95/02, RSEIA. El artículo 10º de la LBGMA señala en sus letras a), b) y c) que han de someterse al SEIA los siguientes proyectos y/o actividades:

a) Acueductos, embalses o tranques y sifones que deban someterse a la autorización establecida en el artículo 294 del Código de Aguas.

b) Líneas de transmisión eléctrica de alto voltaje y sus subestaciones

c) Centrales generadoras de energía mayores a 3 MW

En base a los antecedentes entregados por el titular del proyecto y los expuestos en los informes emanados por los OAECAs que participaron en de la evaluación ambiental del proyecto, la forma de ingreso a evaluación corresponde a un Estudio de Impacto Ambiental. Esta decisión se fundamenta en el artículo 11º, letra b) de la Nº Ley 19.300, el cual mandata la realización de un EIA para aquellos proyectos o actividades que generan o presentan algunos de los siguientes Efectos, Características o Circunstancias (ECC), en este caso:

b) Efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua y aire.

El Estudio de Impacto Ambiental fue ingresado el 17 de octubre del año 2012. El proceso de evaluación tuvo una duración aproximada de 13 meses e incluyó la emisión de dos ICSARA, los cuales fueron respondidos por el titular a través de dos Adendas. Finalizado este proceso, se elaboró el ICE, emitido el 7 de octubre de 2013, y posteriormente, el proyecto fue aprobado ambientalmente mediante la RCA Nº 294, en 14 de noviembre de 2013.

Entre los OAECAs que participaron en la evaluación del proyecto, se mencionan aquellos con atribuciones en temas acuáticos, como la Dirección General de Aguas (DGA), la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), la Dirección Regional de Pesca, la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA) y la SEREMI de Salud.

La Pequeña Central Hidroeléctrica de Pasada El Pinar, se emplaza en la cuenca alta del río Cholguán, en la Región del Ñuble. El proyecto se ubica dentro de un predio privado (Fundo Las Lagunas, de 6.000 ha), que cuenta con cercos perimetrales y, por lo tanto, sin acceso público.

La capacidad instalada de la central es de 11,5 MW, la cual aprovecha las aguas del río Cholguán mediante una captación lateral. Se propuso que las aguas serian conducidas por un túnel de aducción de 1,7 km de longitud aproximadamente, con una pendiente cerca a 0,25% que transportará el agua hasta una tubería de aducción, la que irá enterrada y cubierta con tierra. Esta tubería cruzará 14 arroyos y transportará las aguas hasta una cámara de carga. Desde dicho tramo el escurrimiento será en presión, hasta la casa de máquinas, donde se ubicaran dos turbinas de tipo horizontal Francis y los equipos de generación, que permitirán transmitir la energía generada al SEN a través de la Línea Pangué-Charrúa de 220kV. Finalmente, las aguas son devueltas al río Cholguán en el punto de restitución.

El proyecto consideró un caudal de diseño de 7 m³/s y una caída bruta de 17 metros. También se definió un caudal de operación mínimo de 1,1 m³/s y uno máximo de 7 m³/s.

El titular se comprometió a mantener un caudal ecológico en el tramo intervenido de 5,5 km, cuya magnitud varía dependiendo del mes. Se propuso inicialmente un caudal ecológico que fue entregado en el EIA, pero que fue cuestionado en el primer ICSARA, por lo cual se entregó el que se puede ver en la Tabla 6.20 y fue definido en función de los métodos hidrológico, hidráulico e hidrobiológico, según resolución DGA 0110 de 2010. En el ICSARA 2, las autoridades volvieron a solicitar la modificación de este, pidiendo que lo aumentarían, lo cual no se realizó, quedando la misma propuesta en la RCA.

**Tabla 6.20.** Régimen de caudal ecológico propuesto.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Q Eco.	0,300	0,300	0,300	0,300	0,982	1,107	1,107	1,107	1,107	0,943	0,553	0,311

*Fuente: Resolución de Calificación Ambiental del proyecto PCH El Pinar, 2013.*

Las acciones identificadas con impactos sobre componentes de ecosistemas acuáticos son las que se muestran en la Tabla 6.21.

En la etapa de construcción, una de las principales acciones propuestas fueron la construcción de la bocatoma y el canal de restitución, para ellas, se contempló la instalación de ataguías que desviarían el cauce del río por periodos determinados durante el estiaje y durante poco tiempo. Esto, en un tramo de 200 m aproximadamente, produciendo una alteración en el flujo normal del río. Estas obras requirieron actividades previas de roce y despeje de vegetación en los márgenes del río, así como escarpes y excavaciones para la instalación de las estructuras. Adicionalmente, se consideró la construcción de enrocados tanto en la bocatoma como en la restitución para prevenir procesos erosivos en las riberas.

Durante la operación de la central la principal acción que afecta al sistema fluvial es la captación de agua. Este proceso consiste en derivar un caudal de diseño de hasta 7 m<sup>3</sup>/s desde la bocatoma lateral, el cual es conducido a través de un túnel de 1,7 km y una posterior tubería de 4 km, para finalmente ser devuelto íntegramente al cauce 5,5 km aguas abajo. Esta acción genera una disminución del caudal en el tramo de bypass.

Para la etapa de cierre, se contempla el desmantelamiento de todas las estructuras factibles de retirar, después de 40 años de vida útil (con posibilidad de extender por 40 años más). Las acciones relevantes para el ecosistema acuático incluirían la clausura definitiva de la bocatoma para impedir el ingreso de agua al sistema de aducción y la restitución de las características del terreno intervenido.

**Tabla 6.21.** Acciones identificadas con impactos sobre componentes de ecosistemas acuáticos para la PCH El Pinar.

Fase	Acción	Componentes Afectados
Construcción	Construcción de bocatoma	Hidrología, Limnología
Construcción	Construcción de enrocados	Hidrología, Limnología
Construcción	Construcción del canal de restitución	Hidrología, Limnología
Construcción	Roce y despeje de vegetación	Hidrología, Limnología
Construcción	Escarpes, excavaciones y rellenos	Hidrología, Limnología
Operación	Captación de agua	Hidrología, Limnología

*Fuente: Resolución de Calificación Ambiental del proyecto PCH El Pinar, 2013.*

## **Análisis y discusión sobre descripción del proyecto**



El objetivo de estudio fue la estimación de los recursos hídricos disponibles a nivel de caudales medios mensuales en las cuencas del sector alto del río Cholguán. El área de influencia para este análisis se definió a través de tres puntos de interés para los cuales se requería la caracterización, el sector de la bocatoma, el punto de restitución y la junta del río Cholguán con el estero Peruco (Fig. 6.29).



**Figura 6.29.** Localización de puntos de área de influencia (Bocatoma, Restitución, Junta del río Cholguán con el estero Peruco). Fuente: Capítulo Línea de Base Proyecto PCH de pasada El Pinar, 2012. Elaborada en Google Earth.

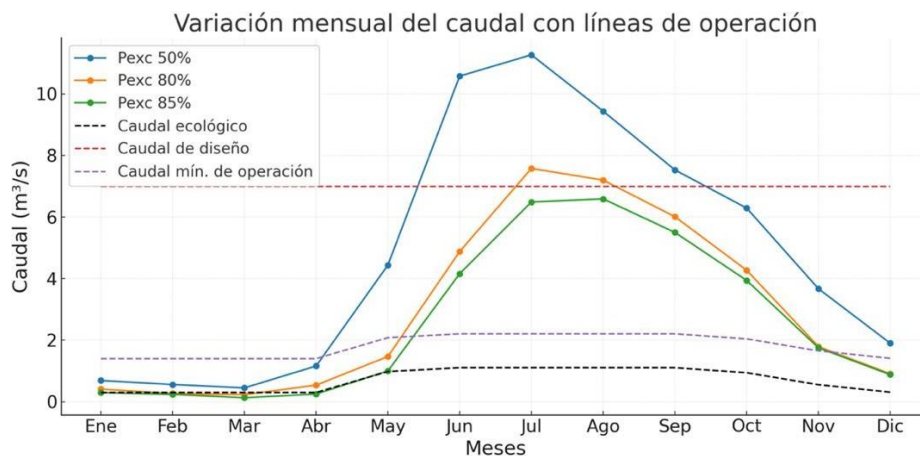
Debido a que los datos de la principal estación fluviométrica de referencia se encontraban intervenidos por los aportes del Canal Zañartu, se utilizó un modelo de simulación hidrológica para estimar el régimen de caudales en condición natural, logrando un buen ajuste con la realidad. Como resultado de este análisis, la línea de base hidrológica quedó definida por dos productos principales. Primero, se establecieron los caudales del río en régimen natural para cada mes y para distintas probabilidades de excedencia, conformando la base cuantitativa para la futura evaluación de impactos (Tabla 6.22).

**Tabla 6.22.** Caudales en régimen natural Río Cholguán (m<sup>3</sup>/s).

Prob. de excedencia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
10%	1.68	1.61	1.08	3.90	13.02	16.50	17.13	14.07	12.56	11.47	7.91	4.76
20%	1.40	0.99	0.75	2.49	9.50	14.95	14.94	11.82	10.01	8.43	6.41	3.78
50%	0.69	0.56	0.45	1.16	4.44	10.58	11.27	9.44	7.53	6.29	3.67	1.90
80%	0.41	0.27	0.23	0.54	1.47	4.88	7.58	7.20	6.01	4.27	1.79	0.91
85%	0.30	0.24	0.13	0.25	1.00	4.16	6.49	6.59	5.50	3.94	1.75	0.88

Fuente: Capítulo Línea de Base Proyecto PCH de pasada El Pinar, 2012.

A continuación se presenta un gráfico que representa el caudal según su probabilidad de excedencia sobre 50%, caudal ecológico, caudal de diseño y caudal mínimo de operación para representar en conjunto los caudales de la central (Fig 6.30).



**Figura 6.30.** Variación mensual del caudal según probabilidad de excedencia, caudal ecológico, caudal de diseño y caudal mínimo de operación. Fuente: ICE central de pasada el Pinar, 2013.

Adicionalmente, el estudio incluyó un análisis de crecidas, para estimar los caudales máximos instantáneos en la zona del río Cholguán. La Tabla 6.23 muestra el caudal máximo de diseño que deben soportar las estructuras para diferentes periodos de retorno.

**Tabla 6.23.** Crecidas de diseño para diferentes periodos de retorno, Río Cholguán (m³/s).

T años	Q máx. (m³/s)
2	29
5	69
10	110
20	136
50	171
100	197
500	259
1000	286
10000	378

Fuente: Capítulo Línea de Base Proyecto PCH de pasada El Pinar, 2012.

### Calidad del agua

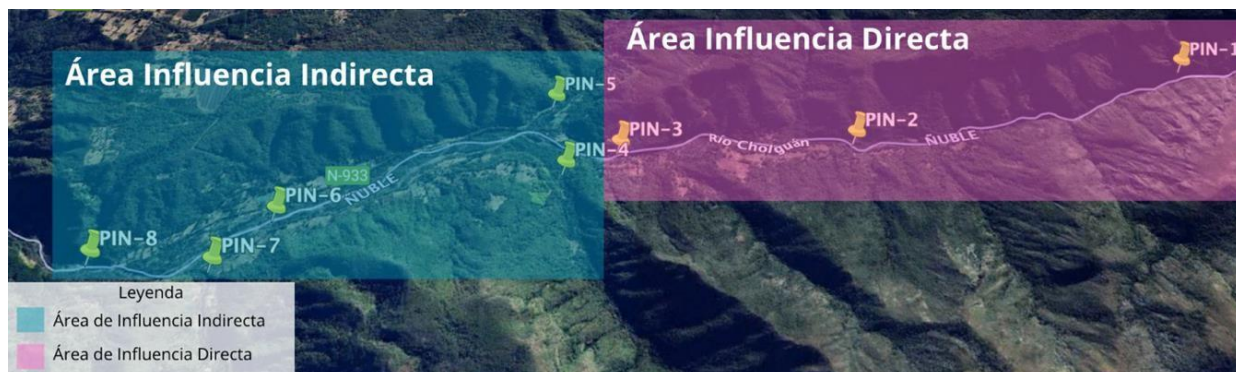
El estudio se realizó mediante cuatro campañas de muestreo estacionales entre 2011 y 2012, cubriendo los periodos hidrológicos de crecida y estiaje. Se definió un Área de Influencia Directa (AID), que corresponde al tramo del río Cholguán entre la captación y la restitución, y un Área de Influencia Indirecta (AII), que abarca desde el estero Peruco hasta el estero Villagrán. Se establecieron 8 estaciones de muestreo (identificadas como PIN-1 a PIN-8), cuya ubicación se detalla en la Tabla 6.24 y la Figura 6.31.

**Tabla 6.24.** Área de influencia del proyecto y estaciones de muestreo calidad de agua.

Área	Nº	Estación de Muestreo
Área de Influencia Directa	PIN-1	Río Cholguán, en zona de Captación
	PIN-2	Río Cholguán, en tramo Captación-Restitución
	PIN-3	Río Cholguán, en zona de Restitución
	PIN-4	Estero Peruco

Área de Influencia Indirecta	PIN-5	Río Cangrejo
	PIN-6	Río Cholguán, aguas abajo confluencia con estero Peruco y río Cangrejo
	PIN-7	Esteros Villagrán
	PIN-8	Río Cholguán, aguas abajo de la confluencia con estero Villagrán

Fuente: Capítulo Línea de Base Proyecto PCH de pasada El Pinar, 2012.



**Figura 6.31.** Áreas de influencia del proyecto y ubicación de las estaciones de muestreo, calidad de agua.  
Fuente: Capítulo Línea de Base Proyecto PCH de pasada El Pinar, 2012.

El protocolo de muestreo se adhirió a los procedimientos de la Norma Chilena NCh 411/6, sobre muestreo de ríos y cursos de agua, y los análisis fueron ejecutados por los laboratorios acreditados ANAM S.A. y DICTUC S.A. Los resultados fueron comparados con los requisitos de la NCh 1.333 para los usos de riego y protección de la vida acuática.

Los resultados generales concluyeron que todo el tramo estudiado del río Cholguán presenta una alta calidad de agua. En el AID, la concentración de oxígeno disuelto se mantuvo en niveles óptimos (entre 9,3 y 13,8 mg/l), muy por sobre el límite normativo. De manera similar, el AII también presentó una excelente oxigenación (entre 8,0 y 14,0 mg/l). En ambas zonas, los indicadores de contaminación como hidrocarburos totales estuvieron bajo el límite de detección (<0,1 mg/l). La principal diferencia entre ambas zonas se observó en los indicadores de contaminación orgánica; mientras la AID presentó niveles de coliformes fecales muy bajos (entre <2 y 23 NMP/100 ml), algunos tributarios del AII, como el estero Villagrán, mostraron valores más elevados (hasta 80 NMP/100 ml), sugiriendo un leve mayor grado de intervención antrópica aguas abajo del proyecto. A pesar de esto, ambas áreas fueron clasificadas como oligotróficas, es decir, de muy baja productividad biológica, debido a las bajas concentraciones de nutrientes como fósforo y nitrógeno.

### Limnología

La caracterización del componente limnológico, realizada por la consultora M&W Ambientales, consistió en cuatro campañas de muestreo estacionales entre 2011 y 2012, cubriendo los periodos hidrológicos de crecida y estiaje. El diseño del estudio definió un AID, correspondiente al tramo del río entre la captación y la restitución, y un AII aguas abajo, estableciendo un total de ocho estaciones de muestreo (Fig. 6.31 y Tabla 6.24).

La metodología incluyó pesca eléctrica para el estudio de la fauna íctica, uso de red Surber para macroinvertebrados, barrido y raspado de sustrato para microalgas, aplicando parámetros comunitarios como riqueza, abundancia y diversidad. El principal resultado se centra en la composición y distribución de la fauna íctica. En el área de influencia total se registraron cinco especies, dos salmónidos introducidos (*Salmo trutta* y *Oncorhynchus mykiss*) y dos especies nativas en categoría de "En Peligro", la Carmelita (*Percilia gillissi*) y el Tollo de agua dulce

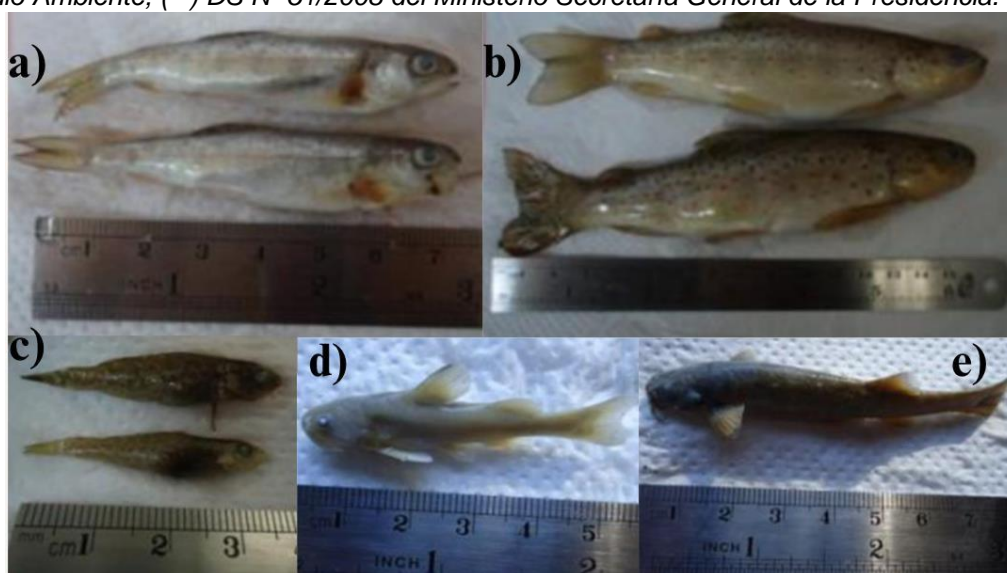
(*Diplomystes nahuelbutaensis*) y una en categoría “Vulnerable” el Bagre chico (*Trichomycterus areolatus*), se detalla en la Tabla 6.25 y en la Fig. 6.32.

Un hallazgo clave del estudio fue la marcada segregación espacial de esta fauna nativa, ya que fue detectada exclusivamente en la estación del sector de restitución y aguas debajo de este sector. Los tramos superiores (captación y tramo intermedio) resultaron estar habitados únicamente por los salmónidos introducidos, los cuales dominan en abundancia y distribución el área estudiada.

**Tabla 6.25.** Especies de peces detectadas en el AI de la PCH de pasada El Pinar.

Especie	Nombre Común	Estado	Categoría
<i>Salmo trutta</i>	Trucha café	Asilvestrada	No aplica
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Trucha arcoíris	Asilvestrada	No aplica
<i>Percilia gillissi</i>	Carmelita	Nativa	En peligro (*)
<i>Diplomystes nahuelbutaensis</i>	Tollo de agua dulce	Nativa	En peligro (**)
<i>Trichomycterus areolatus</i>	Bagre chico	Nativa	Vulnerable (**)

Fuente: Capítulo Línea de Base Proyecto PCH de pasada El Pinar, 2012. (\*) DS N° 33/2012 del Ministerio del Medio Ambiente; (\*\*) DS N° 51/2008 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.



**Figura 6.32.** Especies de peces detectadas en el área de influencia del proyecto a) *Oncorhynchus mykiss*, b) *Salmo trutta*, c) *Percilia gillissi*, d) *Diplomystes nahuelbutaensis* y e) *Trichomycterus areolatus*. Fuente: Capítulo Línea de Base Proyecto PCH de pasada El Pinar, 2012.

Posteriormente, y en respuesta a las observaciones de la autoridad durante la evaluación ambiental ICSARA 1 que consideraron la línea de base original como parcial, en enero de 2013 se realizó una campaña complementaria denominada "Estudio Adicional de Peces". El objetivo de este estudio fue aumentar el esfuerzo de muestreo y robustecer la caracterización de la fauna íctica en el AID. Para ello, se incorporaron tres nuevas estaciones de muestreo en el tramo entre la captación y la restitución (PIN-1 ARRIBA, PIN-1 ABAJO, PIN-2-3). Se utilizaron técnicas de pesca adicionales como el espinel y el muestreo nocturno. Los resultados de esta campaña registraron la captura de un ejemplar de la especie nativa Tollo (*Diplomystes nahuelbutaensis*) en la estación PIN-2, un punto intermedio del AID donde no se había detectado previamente.

En relación a la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, el estudio registró los taxa más frecuentes y representativos en el área de estudio. El análisis comunitario de esta fauna mostró un patrón estacional, con valores de riqueza y densidad de organismos significativamente mayores

durante los periodos de estiaje en comparación con los periodos de crecida. Por otro lado, la presencia de plantas acuáticas superiores (macrófitas) fue baja en toda el área de estudio, con la excepción de un hallazgo aislado y de baja cobertura de *Juncus sp.* en el AII durante una de las campañas de crecida. En conjunto, estos resultados describen un ecosistema fluvial de alta energía, con una comunidad de macroinvertebrados adaptada a las fluctuaciones de caudal y una ausencia de plantas acuáticas.

#### Análisis Crítico sobre Línea de Base

Para la calidad del agua, a pesar de su solidez general, el análisis de los datos revela una anomalía que anticipa un mecanismo de impacto. El informe registra una superación leve del límite de pH y una condición mesotrófica en la misma estación (PIN-2), atribuyendo este hallazgo a un "alto grado de apozonamiento" en ese tramo durante el estiaje. Este punto es crítico, ya que la operación de la central, al disminuir el caudal en el tramo de bypass, aumentará las condiciones que generan la reducción de la velocidad del agua y el aumento del tiempo de residencia hidráulica (Maavara et al., 2020; He et al., 2024).

La literatura científica es clara en que la alteración de los regímenes de flujo es un motor principal de cambios ecológicos en los ríos. La disminución del caudal transforma secciones del río de ambientes lóticos (de aguas corrientes) a lénticos (de aguas calmas), lo que favorece la sedimentación y la retención de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo (He et al., 2024; Isagirre et al., 2013). Este aumento en la disponibilidad de nutrientes, combinado con aguas más lentas y potencialmente más cálidas, puede desencadenar un proceso de eutrofización, lo cual puede romper el equilibrio del ecosistema (García & Miranda, 2014).

Por lo tanto, la línea de base, sin proponérselo, identificó una vulnerabilidad. Las condiciones de "apozonamiento" que generaron un aumento puntual de la productividad biológica en la condición sin proyecto son precisamente las que la operación de la central potenciará a lo largo de 5,5 km.

La línea de base limnológica del proyecto presenta un diseño de muestreo estacional que abarcó cuatro campañas distintas. Este enfoque permite obtener una caracterización representativa de la dinámica de las comunidades acuáticas y su variabilidad natural. No obstante, el hallazgo de la marcada segregación espacial de la fauna íctica nativa. Incluso con un esfuerzo de muestreo mejorado y más intensivo, la fauna íctica nativa sigue siendo prácticamente ausente en los tramos superiores y está confinada a puntos específicos de muy baja abundancia en el resto del tramo. El hallazgo de un único ejemplar de *D. nahuelbutaensis* en la estación PIN-2, refuerza la idea de su extrema rareza en esta sección del río.

Para explicar la ausencia de estas especies nativas en la zona de captación, el informe afirma la existencia de una barrera natural (caída de agua de 6 m) aguas arriba de la bocatoma, y sugiere que las poblaciones del AID se encuentran naturalmente aisladas de las de aguas arriba. Es importante destacar que, si bien esta barrera natural es fundamental para el análisis de impacto, su mención y análisis en el EIA original se realiza recién en el capítulo de línea de base limnológica, y no en la descripción general del proyecto.

Si bien esto podría interpretarse como un factor que disminuye el riesgo de impacto directo en la bocatoma, simultáneamente aumenta en el tramo de restitución, que se consolida como el principal refugio para Carmelita (*P. gillissi*) en el AID. La existencia de estas poblaciones de especies "En Peligro", aisladas y en baja densidad, implica que cualquier alteración generada por las obras o la operación de la central en estos puntos específicos podría tener consecuencias desproporcionadas sobre la viabilidad de todo el núcleo poblacional.

### 6.2.3 Análisis de impactos previstos y medidas propuestas por componente.

La metodología utilizada en el Estudio de Impacto Ambiental de la PCH El Pinar para predecir y evaluar los impactos ambientales se basó en un procedimiento cuantitativo y de multicriterio, diseñado para identificar, caracterizar, valorar y finalmente jerarquizar los efectos del proyecto sobre los distintos componentes del medio ambiente. El proceso comenzó con la identificación de las actividades del proyecto susceptibles de generar impactos y los componentes ambientales del área de influencia que podrían ser afectados, utilizando una matriz de verificación para visualizar estas interacciones.

La valoración consistió en la aplicación de una fórmula matemática para obtener un valor de Impacto Total (IT) para cada efecto identificado. Esta valoración se calculó como el producto de tres factores principales, el Carácter del impacto (C), que se define como positivo (+1) o negativo (-1); la Magnitud del impacto (M), un valor numérico entre 0 y 10; y el Valor Ambiental del Elemento (VAE), una calificación de 1 a 10 que representa la importancia o fragilidad del componente afectado (por ejemplo, su estado de conservación o escasez), asignada según criterio experto. A su vez, la Magnitud (M) se determinó mediante una fórmula que integra seis atributos del impacto, cada uno con una escala numérica definida, Probabilidad de ocurrencia (P), Extensión (E), Intensidad (I), Duración (D), Reversibilidad (R) y Tipo de impacto (T), que considera efectos simples, acumulativos o sinérgicos. El resultado de esta fórmula se clasifica en categorías de magnitud baja, moderada, alta o extrema. Finalmente, el valor del IT obtenido, que puede fluctuar entre -100 y +100, se utiliza para jerarquizar cada impacto como Bajo, Moderado, Significativo o Altamente Significativo.

#### **Impacto: Alteración en el flujo del río por desvíos de escurrimiento**

Para el componente de hidrología, durante la etapa de construcción, se identificó el impacto alteración del flujo del río por desvíos de escurrimiento, asociado a la acciones de construcción de la bocatoma y canal de restitución. Según lo indicado, las obras se realizarían en periodo de estiaje y en poco tiempo, por lo que este impacto se determinó como reversible. Para su valoración, la matriz del EIA le asignó los siguientes atributos, Carácter: Negativo (-1); Probabilidad: Cierta (1); Extensión: Puntual (0); Intensidad: Moderada (1); Duración: Temporal (0); Reversibilidad: Reversible (0) y Tipo: Acumulativo (1). El Valor Ambiental para el componente Hidrología fue calificado como Alto (6). Al aplicar la fórmula de la metodología, el impacto obtuvo una ponderación final de -12, que lo clasifica como un Impacto Bajo.

Las medidas de manejo que se propusieron para este impacto clasifica como bajo fueron las que se pueden ver en la Tabla 6.26.

**Tabla 6.26.** Medidas de manejo propuestas para impacto alteración en el flujo del río.

<b>Medidas de mitigación</b>
Se protegerán las zonas de intervención por medio de enrocados para así aplicar barreras para desvíos del curso de agua.
La construcción se priorizará en periodo de estiaje, cuando hay menor caudal para realizar una mínima perturbación del río.
El tiempo de construcción será el mínimo y la intervención se hará por sectores de modo de no intervenir la libre circulación de las aguas.

*Fuente: Capítulo de Evaluación de Impactos, EIA Central el Pinar 2012.*

Análisis crítico y discusión del plan de manejo

La calificación de "Impacto Bajo" para un efecto como el desvío de un río es cuestionable. Dicha calificación se obtiene al asignar un valor de cero al criterio *Reversibilidad* y *Extensión* en la matriz de evaluación. Esta ponderación minimiza la magnitud real de la intervención. La literatura científica califica el secado de un cauce como un evento catastrófico para la biota acuática, que provoca una alta mortalidad y la alteración física del hábitat por el arrastre de sedimentos (Bunn & Arthington, 2002; EPA, 2012). Por lo tanto, aunque el desvío sea temporal, su intensidad es alta y su reversibilidad ecológica no es inmediata, ya que la recolonización del tramo afectado puede tardar desde meses hasta más de un año (Bunn & Arthington, 2002). Adicionalmente, la calificación de *extensión* como Puntual (0) es incorrecta. Según la definición reglamentaria, un impacto puntual se restringe al lugar de la acción, pero la evidencia científica demuestra que efectos como la pluma de sedimentos y el arrastre de invertebrados se extienden por kilómetros aguas abajo (Lugg, 2018). Por lo tanto, la extensión debió ser calificada, como mínimo, de *Local* (1). La combinación de una incorrecta valoración de la *Reversibilidad* y la *Extensión* demuestra una subestimación de este impacto.

En el ICE se reconoció el impacto, pero no se definieron medidas de mitigación y por lo tanto tampoco un plan de seguimiento. Indagando se encontró en la Adenda 1 información sobre esto, siendo que la autoridad le pide al titular que defina y establezca legalmente los límites del cauce del río en el área de influencia del proyecto, citando el DS N.º 609/1978 (fija los deslindes de los bienes nacionales de uso público, que constituyen los cauces de los ríos, lagos y esteros), ya que si el proyecto va a alterar el flujo de agua, tanto en la construcción como operación, el lecho del río podría cambiar. Por lo tanto, para poder cuantificar este impacto en el futuro, se necesita tener una línea de base legal y definida de cómo era el río antes del proyecto. Sin un límite claro, es difícil probar si hubo cambio o no. A esto el titular no acepta esta petición, argumentando que fijar los deslindes de un río es tarea que le corresponde al Ministerio de Bienes Nacionales, no a un privado que presenta un proyecto. También argumenta que esto no es un problema ambiental, sino que es administrativo, por lo tanto, está fuera del alcance de lo que se debe evaluar en el EIA y por último aseguran que el proyecto no afectará los deslindes. También mencionaron que los límites legales de un río se definen por sus crecidas ordinarias, y que las crecidas naturales del río Cholguán (110 m<sup>3</sup>/s para 10 años de retorno) son inmensamente más grandes que el caudal que ellos van a desviar (7 m<sup>3</sup>/s). Por lo tanto, su operación es demasiado pequeña para alterar los límites definidos por las grandes crecidas y reiteran que el desvío durante la construcción es temporal y que el cauce volverá a su estado original, por lo que no hay una afectación permanente de los deslindes.

En resumen, el titular rechaza la solicitud de la autoridad y, como esto no aparece después en la RCA como una obligación, podemos concluir que su argumentación fue exitosa y no se le exigió fijar legalmente el cauce del río. De forma crítica, la autoridad tenía razón en su argumento inicial sobre si no se definen los límites del río antes de la intervención, ¿cómo se podrá verificar en el futuro si el proyecto causó erosión o un cambio en la morfología del cauce? La falta de esta línea de base legal crea un vacío que hace que el seguimiento (PSA) de este impacto específico sea muy difícil o imposible de realizar de manera objetiva.

#### **6.2.3.1. Impacto: Alteración en el flujo del río**

Para el componente de hidrología, durante la etapa de operación, se identificó el impacto de alteración en el flujo del río Cholguán, correspondiente a la acción de captación de agua. Según lo indicado en el EIA, el proyecto disminuiría el caudal del río en un tramo de 5,5 km. El grado de perturbación implicaría cambios en el flujo del río. Para su valoración, la matriz del EIA le asignó

los siguientes atributos: Carácter: Negativo (-1); Probabilidad: Cierta (1); Extensión: Puntual (0); Intensidad: Moderada (1); Duración: Permanente (2); Reversibilidad: Reversible (0) y Tipo: Acumulativo (1). El Valor Ambiental para el componente Hidrología fue calificado como Extremo (10). Al aplicar la fórmula de la metodología, el impacto obtuvo una ponderación final de -40, lo que lo clasifica como un Impacto Moderado.

#### Análisis crítico y discusión de la Evaluación del impacto

Desde una perspectiva crítica, la calificación de este impacto como "Moderado", a pesar de ser una de las más altas del proyecto, se basa en una asignación de valores cuestionable para sus atributos. La *Extensión* se asignó *Puntual* (0), siendo que conlleva a la alteración de un tramo de 5,5 kilómetros de río. Esta clasificación es conceptualmente incorrecta, un impacto que se extiende a lo largo de más de 5 kilómetros no es puntual, sino lineal y extenso. También es discutible la asignación de *Reversible* (0), calificar la alteración del caudal durante 40 años como *Reversible* con un valor de cero es cuestionable. Al igual que con el impacto anterior, la reversibilidad ecológica no es inmediata, ya que la recolonización de un tramo afectado puede tardar hasta más de un año (Bunn & Arthington, 2002). Para las comunidades biológicas que dependen del flujo, el efecto es permanente durante toda la vida útil del proyecto. De esto se puede concluir que se subestimo la valoración del impacto, clasificándolo como *Moderado*, cuando debió ponderar al menos 60, clasificando como *Significativo*.

En el EIA se indicó que no se contemplaron medidas de mitigación, debido a que la mantención del caudal ecológico y de las restantes condiciones de escurrimiento, cautelan que esta alteración no tenga efectos ambientales negativos no previstos.

De forma crítica, la evaluación de este impacto es minimizada a través de una aplicación subjetiva de los criterios, especialmente la *Extensión*. Esta subestimación es clave, ya que una calificación de *Moderado* permitió al titular argumentar que no se requerían medidas de mitigación, proponiendo en su lugar un requisito legal (caudal ecológico) en vez de una medida de manejo, dejando al ecosistema sin acciones concretas para reducir la alteración del hábitat en los 5,5 km de río intervenidos.

#### **6.2.3.2. Impacto: Deterioro temporal de las condiciones de hábitat para flora y fauna acuática por la construcción de obras en el cauce (bocatoma y restitución)**

Para el componente de limnología, durante la etapa de construcción se identifico uno de los impactos que dio origen al EIA, relacionado al deterioro temporal de las condiciones de hábitat para la flora y fauna acuática asociado a las acciones de construcción de la bocatoma y canal de restitución, que eventualmente aumentarían en forma temporal, los sólidos suspendidos en el agua, pudiendo afectar temporalmente la flora y la fauna acuática del tramo intervenido. En la matriz de valoración del EIA, a este impacto se le asignaron los siguientes valores, Carácter: Negativo (-1); Probabilidad: Cierta (1); Extensión: Puntual (0); Intensidad: Alta (2); Duración: Temporal (0); Reversibilidad: Parcialmente reversible (1) y Tipo: Acumulativo (1). El Valor Ambiental del Ecosistema Acuático fue calificado como Alto (6). La aplicación de la fórmula de la metodología arroja una ponderación final de -24, lo que clasifica el impacto como "Bajo".

El EIA calificó el impacto de tipo acumulativo, posteriormente, la RCA lo elevó a la categoría de sinérgico. Este cambio surgió de la presión ejercida por los organismos evaluadores y la solución negociada para viabilizar la aprobación del proyecto. Durante la evaluación, la autoridad ambiental manifestó explícitamente su preocupación por los efectos sinérgicos no evaluados que podrían surgir de la operación conjunta de los tres proyectos de centrales en la cuenca del río Cholguán,

solicitando estudios adicionales al respecto. La respuesta del titular fue que dichos efectos no podían medirse *a priori*, proponiendo diferir el análisis a la fase de operación mediante una "mesa de trabajo" coordinada por SERNAPESCA. La Comisión de Evaluación aceptó esta propuesta. De esta forma, la "Participación de la mesa de trabajo" se convirtió en la medida oficial para hacerse cargo de este impacto, transformando una exigencia de evaluación preventiva en un compromiso de gestión reactiva y colaborativa postaprobación.

Para este impacto las medidas de manejo se pueden observar en la Tabla 6.27 y el plan de seguimiento en la Tabla 6.28.

**Tabla 6.27.** Medidas de manejo propuestas para impacto "Deterioro temporal de las condiciones de hábitat para flora y fauna acuática por la construcción de obras en el cauce".

<b>Tipo</b>	<b>Descripción de medidas de manejo</b>
Mitigación	Mínimo período de construcción en el cauce. Las obras en la bocatoma y restitución se deben realizar en época estival y en menos de tres meses.
Mitigación	Mantenimiento de calidad de agua. Se deben utilizar ataguías para trabajar en seco, evitando contaminar el agua. Monitoreo mensual de calidad del agua y la biota.
Mitigación	Rescate de especies. Antes de construir, y al momento de instalar las ataguías se realizará el rescate de especies para liberación inmediata fuera del área de trabajo.
Restauración	Restauración de riberas intervenidas. Se deben restaurar las riberas junto a las obras para generar heterogeneidad de hábitat (pozones, uso de troncos, reforestación) y favorecer la recolonización de la fauna íctica.
Compensación	Restauración de riberas. Enriquecimiento con especies arbóreas en tramos del río para compensar la afectación a especies en categoría de conservación y crear nuevas zonas de colonización.
Compensación	Participación en la mesa de trabajo. El titular debe participar en la mesa de trabajo coordinada por la autoridad para analizar los monitoreos y evaluar la efectividad de las medidas.

*Fuente: RCA Proyecto PCH de Pasada El Pinar, 2013.*

**Tabla 6.28.** Plan de Seguimiento para las Medidas de Manejo del componente limnología.

<b>Medida de Manejo</b>	<b>Parámetro de monitoreo</b>	<b>Frecuencia, lugar y duración</b>	<b>Medios de Verificación</b>
Mínimo período de construcción	Días de trabajo en las obras	Mensual, en área de faenas, durante la construcción de bocatoma y restitución.	Registro en bitácora de los días de trabajo, informe al SMA.
Trabajos en seco y mantenimiento calidad agua	Muestreo de calidad del agua y biota acuática	Mensual, durante la construcción de bocatoma y restitución.	Certificados de análisis de laboratorio e informes de especialistas a la SMA, SERNAPESCA, DGA.
Rescate de especies en ataguías	Número de especies rescatadas	Cada vez que se instale ataguía para construcción, en zonas de bocatoma y restitución, durante la construcción.	Cuantificación de las especies rescatadas y registro fotográfico. Informe a SMA y SERNAPESCA.
Restauración de riberas intervenidas	Ejecución de obras de restauración	Una vez, en zonas de bocatoma y restitución, durante 1-3 meses.	Registro fotográfico de las obras de restauración finalizadas

			a SMA y SERNAPESCA
Restauración de riberas	Prendimiento de la reforestación	En zonas de ribera designadas para la compensación, hasta lograr un 65% de prendimiento de los árboles plantados.	Informe de especialista que verifique un 65% de prendimiento y registro fotográfico a SMA y SERNAPESCA
Participación en la mesa de trabajo	Realización de las reuniones y acuerdos tomados	Semestral, durante la etapa de operación del proyecto, hasta que la misma mesa de trabajo determine el fin de su funcionamiento.	Actas de cada reunión y registro de los acuerdos alcanzados, informe a SMA.

Fuente: RCA Proyecto PCH de Pasada El Pinar, 2013.

### Análisis crítico y discusión del plan de manejo

Comenzando con la valoración del impacto, se puede cuestionar la clasificación del impacto como Bajo. La valoración del EIA minimiza la gravedad de la intervención al enfocarse en el carácter físico del impacto (*Temporal y Puntual*) en lugar de su significancia ecológica. La línea de base demuestra que las obras afectan directamente el núcleo poblacional de especies en peligro como *Percilia gillissi* y *Diplomystes nahuelbutaensis* que se encuentran casi exclusivamente en la zona de restitución. Intervenir en el hábitat principal, aunque sea de forma acotada en el espacio y tiempo, puede tener consecuencias desproporcionadas y permanentes para poblaciones pequeñas y aisladas, las cuales son más vulnerables a la extinción por perturbaciones locales (Fagan et al., 2002; Fausch et al., 2002). De hecho, el aumento de sedimentos finos producto de la construcción puede degradar los sitios de desove, afectando la supervivencia de huevos y larvas, lo que representa un impacto a largo plazo en la capacidad reproductiva de la población (Kemp et al., 2011).

En la Adenda 1, la autoridad mencionó que aunque los trabajos sean temporales, las obras físicas (bocatoma, enrocados y restitución) y la alteración que producen en la ribera y cauce son efectos permanentes durante la vida útil del proyecto, por lo cual debería ser evaluado con duración permanente. El titular respondió con lo siguiente: "la perturbación activa se limita al período de construcción y las riberas serán restauradas a una condición similar a la natural", utilizando un compromiso de una acción futura e incierta para justificar la disminución de la significancia del impacto. Por lo tanto se concluye que subestimo la ponderación final, considerando que debió calificarse de duración *Permanente* y extensión *Parcial*, sumado a la calificación de *Sinérgico* debió ponderar al menos 60, clasificando como impacto *Significativo*.

En cuanto a las medidas de manejo propuestas, la efectividad de la medida de mitigación propuesta de rescate de especies es altamente cuestionada en la literatura científica. La translocación de peces a menudo resulta en altas tasas de mortalidad post-liberación (Fischer & Quist, 2014). La medida se enfoca en el acto de mover a los peces, pero no se hace cargo de la supervivencia postliberación, del estrés inducido ni de la capacidad del hábitat receptor de soportar la nueva carga de individuos. Es una medida de eficacia ecológica incierta y de último recurso (Pess et al., 2014). En cuanto a la medida de restaurar las riberas, el concepto de restauración a una condición "similar a la natural" es vago. Un ecosistema es el resultado de miles de años de evolución, una ribera construida, aunque se diseñe con principios ecológicos, a menudo resulta en un ecosistema nuevo que no es funcionalmente equivalente al hábitat original perdido (Hobbs et al., 2006). Para la medida de compensación "participación en la mesa de trabajo", esta es una

medida procedimental y administrativa. No compensa la pérdida de hectáreas de hábitat ni la alteración del caudal. Es un compromiso de diálogo y gestión futura.

El plan de seguimiento presenta debilidades estructurales que limitan su capacidad para evaluar la efectividad ecológica real, mostrando un claro enfoque en la verificación de cumplimiento administrativo por sobre la evaluación de resultados ambientales. Esto se manifiesta en que la mayoría de sus componentes están diseñados para confirmar que una acción se llevó a cabo, en lugar de medir si dicha acción logró su objetivo. Por ejemplo, el monitoreo del rescate de especies se limita a cuantificar los ejemplares movidos, sin entregar información sobre la tasa de supervivencia post-relocalización, mientras que la restauración de riberas se verifica con un simple registro fotográfico que no puede dar cuenta de la funcionalidad del nuevo hábitat. De manera similar, la gestión del impacto sinérgico se monitorea a través de actas de reunión, un registro procedimental que no mide resultados ecológicos. El plan, en su mayoría, carece de indicadores de éxito cuantitativos y relevantes. En consecuencia, el plan de seguimiento se constituye principalmente como una herramienta para demostrar a la autoridad que se ejecutaron las acciones comprometidas, pero es insuficiente para determinar si estas medidas fueron efectivas en la protección del ecosistema acuático.

## Resultados del Programa de Seguimiento Ambiental

### 1. Hallazgos en PSA, sobre fiscalizaciones

Entre los documentos del PSA, se encontró un informe que respecta a una respuesta directa a una fiscalización en terreno de la SMA y la DGA. En base a esto, se decidió revisar las fiscalizaciones que se le habían realizado al proyecto, donde se encontraron tres. La primera corresponde a una fiscalización ambiental realizada en 2015 por la SMA, CONAF y SERNAPESCA. El evento central de estos documentos es un intento de inspección al proyecto realizado el 31 de marzo de 2015, que fue obstruido por el titular, a pesar de que la inspección fue coordinada con el representante legal del proyecto, al llegar al terreno, los fiscalizadores no recibieron autorización para ingresar al predio. Este hecho quedó en el Acta de Inspección y fue calificado como falta de colaboración y una No Conformidad en el Informe de Fiscalización de la SMA. A raíz de esto, la SMA solicitó informes a la CONAF y al SAG para evaluar el cumplimiento del proyecto basándose en la información que sí había sido entregada. Entre los hallazgos realizados por esta fiscalización se descubrieron incumplimientos en el Plan de Seguimiento del Huemul; la RCA del proyecto establecía condiciones muy específicas para el monitoreo del huemul, especie En Peligro.

En octubre de 2016, CONAF realizó una fiscalización, previo a la intervención directa sobre el río Cholguán. En esta inspección, principalmente se detectaron malas prácticas en la ejecución de las obras civiles. Entre ellos el uso de botadero no autorizado, manejo inadecuado de material, los fiscalizadores de CONAF observaron que, en varios tramos del camino que se estaba habilitando, el material de los derrumbes y ensanches era depositado directamente sobre la ladera, pendiente abajo, afectando a la vegetación nativa, también se constató la falta de obras de drenaje, los caminos interiores carecían de obras de arte adecuadas (cunetas, alcantarillas, etc.) para el manejo de las aguas lluvia, lo que presentaba un riesgo de erosión. En conclusión de la información encontrada, los hallazgos se centran en impactos indirectos que las obras de tierra podrían generar, como el riesgo de erosión y sedimentación hacia los cursos de agua por un mal manejo de los caminos y botaderos.

Finalmente, la fiscalización más importante, es la del año 2017, se realizó el 30 de agosto de 2017 por la SMA y la DGA. Se originó a raíz de una denuncia; la inspección se enfocó en el manejo de las aguas del túnel, la calidad del agua del río y el estado de los botaderos. Las faenas se

concentraban en el túnel de aducción con un 50% de avance y en los cimientos de la casa de máquinas.

En cuanto a la gestión de aguas y el sedimento del túnel, para evitar la contaminación del río, el titular implementó un “Plan de Manejo de Proceso e Infiltración”. Este consistía en la recirculación del agua utilizada para la perforación del túnel y la que se infiltraba naturalmente para ser conducida a piscinas de decantación y separar los sólidos. El agua más limpia se bombeaba de vuelta para ser reutilizada en la perforación, el exceso se usaba para humectar caminos internos, evitando siempre la descarga a cursos de agua. Por último, el control de acidez, se realizaron monitoreos semanales de pH al agua del túnel y el análisis de una roca “marina” extraída, los cuales descartaron la existencia de drenaje ácido.

Para el monitoreo de calidad de agua, en respuesta a la fiscalización, el titular realizó los monitoreos “voluntarios” de calidad del agua en el río Cholguán en tres puntos, aguas arriba del túnel y aguas abajo. Los informes de laboratorio muestran que, en general, los parámetros analizados cumplían con la norma de agua potable NCh 409.

A pesar de esta conclusión general de cumplimiento, un análisis detallado de los informes de laboratorio revela una superación de la norma para el parámetro Benceno (15,9 µg/l, superando el límite de 10 µg/l) en el muestreo del 14 de septiembre de 2017 en el sector “El botadero”, y nuevamente en el muestreo de la misma fecha en el punto “arriba del túnel” (41,4 µg/l), se puede observar en la Tabla. 6.29. Esto no fue mencionado en el informe final de la fiscalización de la SMA. En una de las cartas a la SMA, el titular presenta una tabla comparando sus resultados no solo con la norma de agua potable, sino también con los límites de la NCh 1333 para riego y vida acuática, concluyendo que también cumple con estos.

RESULTADOS QUÍMICOS		RESULTADOS QUÍMICOS		
Agua		Agua		
ENSAYOS	Arriba del túnel - 14/09/17 16:00 hrs.	ENSAYOS	El Botadero - 14/09/17 16:30 hrs.	Límites Máx. NCh 409
Arsénico, mg/l	<0,002	Arsénico, mg/l	<0,002	0,01
Benceno, µg/l	41,4	Benceno, µg/l	15,9	10
Tolueno, µg/l	<1	Tolueno, µg/l	2,3	700
Xileno, µg/l	<3	Xileno, µg/l	<3	500
Cadmio, mg/l	<0,005	Cadmio, mg/l	<0,005	0,01

**Tabla. 6.29.** Resultados químicos de análisis de informes de laboratorio. Se aprecia en amarillo el parámetro Benceno, que supera el límite de la Norma de agua potable NCh 409. Fuente: Anexo 1. Análisis CESMEC de muestreos septiembre de 2017.

### Análisis crítico y discusión de resultados de fiscalizaciones

De esta información se puede observar que la estrategia del titular se centró en contener los posibles focos de contaminación en el túnel para evitar que llegaran al río, lo que en términos generales fue evaluado como conforme por la autoridad. Sin embargo, la detección de benceno por sobre la norma en los informes de laboratorio demuestra que el sistema no era infalible y que la fiscalización, al concluir que “no existen desviaciones de consideración”, pudo haber omitido un incumplimiento específico. Esto pone en manifiesto una posible brecha entre la gran cantidad de datos que se reportan y la capacidad de la autoridad para analizar cada detalle y detectar no conformidades puntuales.

La detección de benceno en concentraciones que superan la norma de agua potable es un indicador de contaminación que no debería ser subestimado. El benceno es un hidrocarburo

aromático que representa una amenaza significativa para los ecosistemas acuáticos, y su presencia tiene efectos tóxicos documentados. Un estudio reciente sobre los efectos del benceno en organismos de diferentes niveles tróficos demostró que, si bien algunas especies pueden no verse afectadas, otras, como ciertos invertebrados acuáticos, muestran una alta sensibilidad con una mortalidad significativa durante la exposición (Lee et al., 2024). La preocupación por estos impactos ha llevado a jurisdicciones como Columbia Británica, en Canadá, a establecer Guías de Calidad de Agua específicas para proteger la vida acuática, reconociendo que la exposición crónica al benceno puede causar efectos adversos a largo plazo, este establece como valor guía para proteger fauna dulceacuícola un límite de 40 µg/L de Benceno (BC Ministry of Environment, 2016). Además, estudios clásicos sobre el destino ambiental de estos compuestos han demostrado que, si bien el benceno puede evaporarse rápidamente de la superficie, también puede persistir en el agua y el suelo, y posee el potencial de bioacumularse en los tejidos grasos de los organismos acuáticos, lo que podría permitir su transferencia a lo largo de la cadena trófica (Lu & Metcalf, 1975). Por lo tanto, el hallazgo de benceno en el río Cholguán no es un hecho trivial, sino una evidencia de una falla en los controles de contaminación que introdujo un compuesto con probados efectos toxicológicos en el sistema.

También se puede inferir de los resultados observados, que si el titular se hubiese guiado estrictamente a la NCh 1333 para diferentes usos y no de la NCh 409 para el agua potable, el resultado de benceno no habría arrojado una inconformidad, ya que no hay un valor numérico contra el cual compararlo. Esto crea una situación interesante, el titular podría haber argumentado que no incumplía la norma de vida acuática.

Actualmente, para evaluar la calidad del agua con el fin de proteger los ecosistemas acuáticos, el instrumento principal y legalmente exigible son las Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA), a diferencia de la NCh 1333 que es general para todo el país. Las NSCAs se dictan específicamente para cuerpos de agua determinados con el objetivo de proteger sus ecosistemas particulares. Por ejemplo, hoy existen NSCAs para las cuencas de los ríos Biobío, Valdivia, Huasco, entre otras, y varias más están en desarrollo. Establecen límites para grupos de compuestos como "Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos" o "Hidrocarburos Totales", pero no siempre para compuestos específicos como el benceno. La norma que sí establece un límite claro para el benceno (10 µg/L) sigue siendo la NCh 409. En resumen, para un proyecto actual, los parámetros de calidad del agua se evaluarían principalmente contra la NSCA de la cuenca específica, si es que existe. Si no existe, la NCh 1333 puede seguir siendo una referencia.

## 2. Resultados del PSA

Se encontraron 4 informes reportados en el SNIFA para el impacto evaluado. Primero se presentó una carta del titular al SMA, informando que entre el 8 y 12 de enero de 2018, se dio comienzo a las obras en el sector de la bocatoma. Las actividades ejecutadas fueron, monitoreo de biota acuática en varios puntos del río. Posteriormente se realizó el rescate de fauna íctica, en el sector de la bocatoma, donde se capturo y relocalizó solamente la especie *Salmo trutta* (Trucha café), liberando los ejemplares de inmediato aguas abajo de las obras de construcción. El informe para el monitoreo de la calidad de agua fue presentado, y todos los parámetros se encontraron dentro de los límites permisibles según las normas comparadas. También se indicó que se tomaron muestras el 10 de enero por un laboratorio certificado (CESMEC) para su posterior análisis.

Durante los primeros meses de 2018, coincidiendo con el inicio y desarrollo de las obras de construcción en el cauce del río Cholguán para la instalación de la bocatoma, el titular del proyecto dio cumplimiento a su compromiso de seguimiento mediante la entrega de reportes mensuales sobre la calidad del agua. En los informes de los meses de febrero hasta junio, los análisis de

laboratorio fueron realizados sobre nueve puntos a lo largo del río y comparados con la Norma Chilena 1333 para la vida acuática. No arrojaron superaciones en los parámetros físico-químicos clave como turbiedad, pH, oxígeno disuelto y sólidos suspendidos. De esta manera, el titular construyó un registro técnico para sostener ante la autoridad que sus medidas de control de sedimentos y contaminantes fueron efectivas y que la intervención directa en el río no estaba generando una alteración detectable en la calidad de sus aguas.

En marzo de 2019 se entregó el informe del plan de rescate y relocalización de fauna íctica previa a la construcción de las obras del canal de restitución, aislando un tramo de 35 metros del río para capturar y trasladar a los peces presentes. Se capturó 40 ejemplares de Carmelita (*Percilia gillissi*), 13 de Bagrecito (*Trichomycterus areolatus*), 54 ejemplares de Trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y 1 de Trucha café (*Salmo trutta*). El informe declaró una tasa de supervivencia del 100% de los individuos rescatados y relocalizados aguas abajo del área de trabajo. Se realizó mediante pesca eléctrica, aunque el informe señala que la eficiencia de la captura se vio limitada por la alta velocidad de la corriente y la gran cantidad de bolones en el lecho del río.

Por último, en agosto de 2019 se identificó el documento para la medida “Mantención de calidad de agua y monitoreo de biota acuática”. Este informe presentó los resultados de los monitoreos de la biota acuática y de la calidad del agua de las estaciones presentadas en la Tabla 6.30 y Fig. 6.34 y Tabla 6.31 y Fig. 6.35 durante la fase de construcción.

Por último, en agosto de 2019 se identificó el documento para la medida “Mantención de calidad de agua y monitoreo de biota acuática”. Este informe presentó los resultados de los monitoreos de la biota acuática y de la calidad del agua de las estaciones presentadas en la Tabla 6.29 y Fig. 6.33 y Tabla 6.30 y Fig. 6.34 durante la fase de construcción.

**Tabla 6.30.** Estaciones de monitoreo de biota acuática.

Sector	Estación	Descripción
Tramo Control	PIN-1 arriba	Río Cholguán, 350 m aguas arriba de bocatoma
Captación	PIN-1	Río Cholguán, bocatoma
Captación	PIN-1 abajo	Río Cholguán, 300 m aguas abajo de bocatoma
Captación- Restitución	PIN-2	Río Cholguán, 3km tramo bocatoma-restitución
Captación- Restitución	PIN-2-3	Río Cholguán, en el tramo bocatoma-restitución, a 3,7 Km aguas abajo de la captación y 1,5 Km de la Restitución
Restitución	PIN-3	Río Cholguán, en el sector de Restitución
Aguas abajo de Restitución	PIN-4	Estero Peruco, tramo ubicado a 400 m de confluencia con el río Cholguán
Aguas abajo de Restitución	PIN-5	Río Cangrejo, tramo ubicado a 300 m de confluencia con río Cholguán
Aguas abajo de Restitución	PIN-6	Río Cholguán, tramo ubicado aguas abajo de confluencia con estero Peruco y río Cangrejo
Aguas abajo de Restitución	PIN-7	Estero Villagrán, tramo ubicado a 200 m de la confluencia con río Cholguán
Aguas abajo de Restitución	PIN-8	Río Cholguán, tramo ubicado a 800 m aguas abajo de la confluencia con estero Villagrán

Fuente: Informe monitoreo calidad de agua y biota acuática del río Cholguán, en PCH El Pinar, 2019.

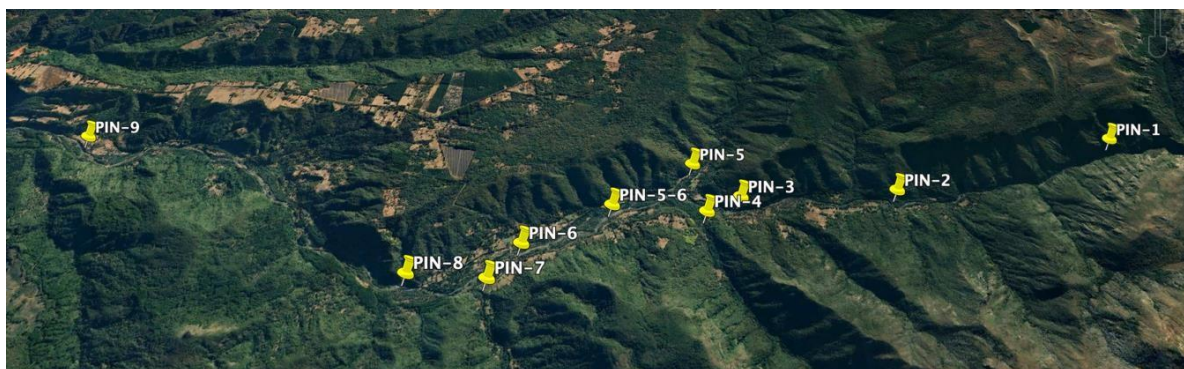


**Figura 6.33.** Estaciones de muestro para biota acuática. Fuente: Informe de monitoreo de calidad de agua y biota acuática del río Cholguán, en Proyecto PCH El Pinar, 2019.

**Tabla 6.31.** Estaciones de monitoreo de calidad de agua.

Sector	Estación	Descripción
Captación	PIN-1	Río Cholguán, bocatoma
Captación- Restitución	PIN-2	Río Cholguán, tramo bocatoma-restitución, 3 km aguas abajo de captación
Restitución	PIN-3	Río Cholguán, sector de restitución
Aguas abajo de Restitución	PIN-4	Estero Peruco, tramo ubicado a 400 m de confluencia con río Cholguán
	PIN-5	Río Cangrejo, tramo ubicado a 300 m de confluencia con río Cholguán
	PIN-5-6	Río Cholguán
	PIN-6	Río Cholguán, tramo ubicado aguas abajo de la confluencia con estero Peruco y río Cangrejo
	PIN-7	Estero Villagrán, tramo ubicado a 200 m de confluencia con río Cholguán
	PIN-8	Río Cholguán, tramo ubicado a 800 m aguas debajo de confluencia con estero Villagrán
	PIN-9	Río Cholguán

Fuente: Informe monitoreo calidad de agua y biota acuática del río Cholguán, en PCH El Pinar, 2019.

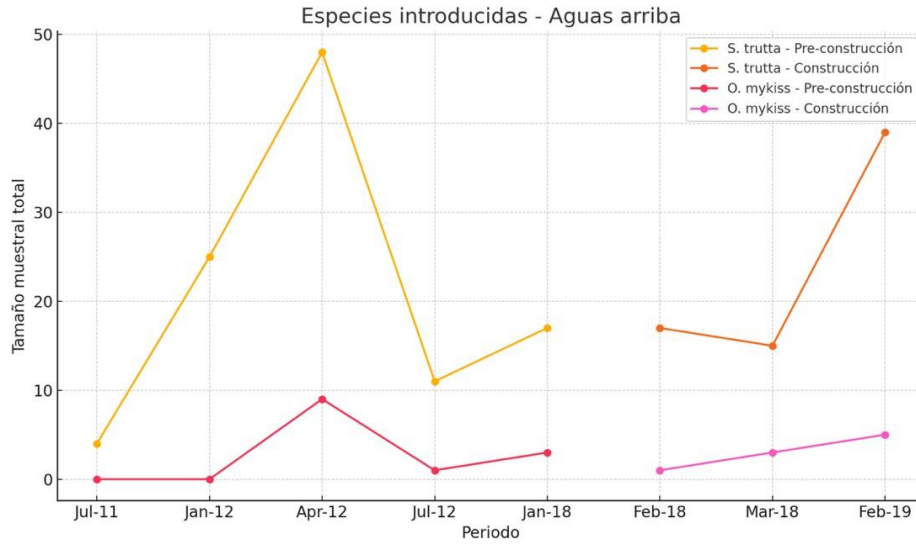


**Figura 6.34.** Estaciones monitoreo calidad de agua. Fuente: Informe monitoreo de calidad de agua y biota acuática del río Cholguán, en PCH El Pinar, 2019.

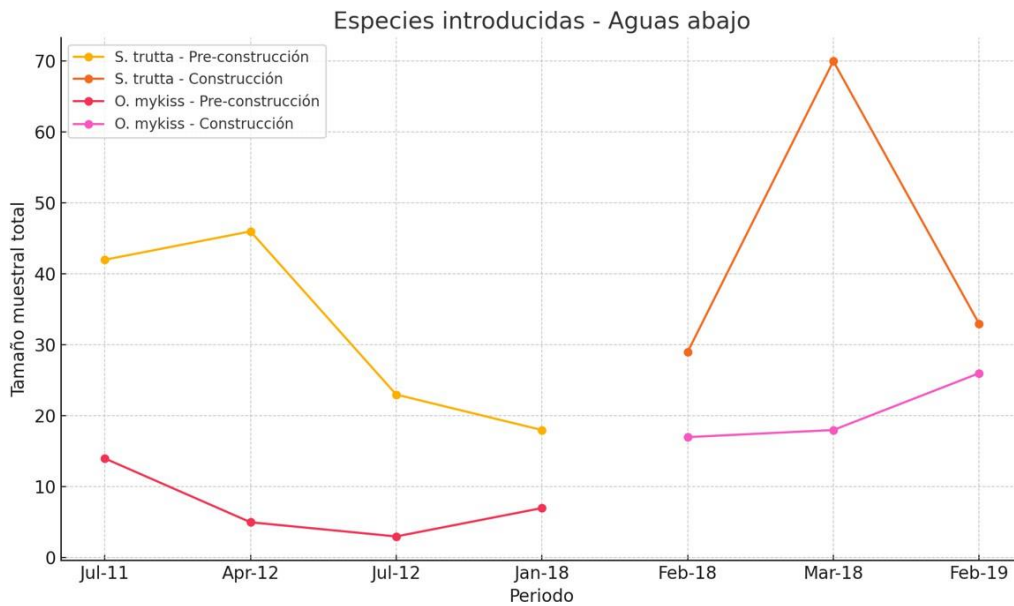
El objetivo principal de este estudio fue evaluar los efectos que el proyecto podría generar sobre la calidad de las aguas del río Cholguán y la biota acuática en su área de influencia. El estudio contempló, identificar las especies de peces presentes y su estado de conservación, determinar la riqueza y abundancia de macroinvertebrados y de microalgas bentónicas y, por último, comparar los datos obtenidos con los estudios de línea de base para analizar la evolución de las variables estudiadas.

Para el análisis del componente íctico, el informe de seguimiento de la fase de construcción presentó una caracterización de la comunidad de peces, basada en los muestreos de pesca eléctrica diurnos y nocturnos realizados durante las campañas de 2018 y 2019. El reporte entregó resultados a nivel comunitario, detallando la composición de especies, su abundancia numérica por estación y la riqueza total registrada en el área de estudio. Adicionalmente, se incluyó un análisis de la estructura poblacional para las especies más abundantes, exponiendo datos de distribución de tallas y calculando el factor de condición de Fulton (K), un indicador que permite evaluar el estado de bienestar de los individuos. A continuación, se presentan los resultados gráficos de abundancia para cada una de las especies registradas, para luego proceder con su análisis interpretativo (Fig. 6.35 a 6.38).

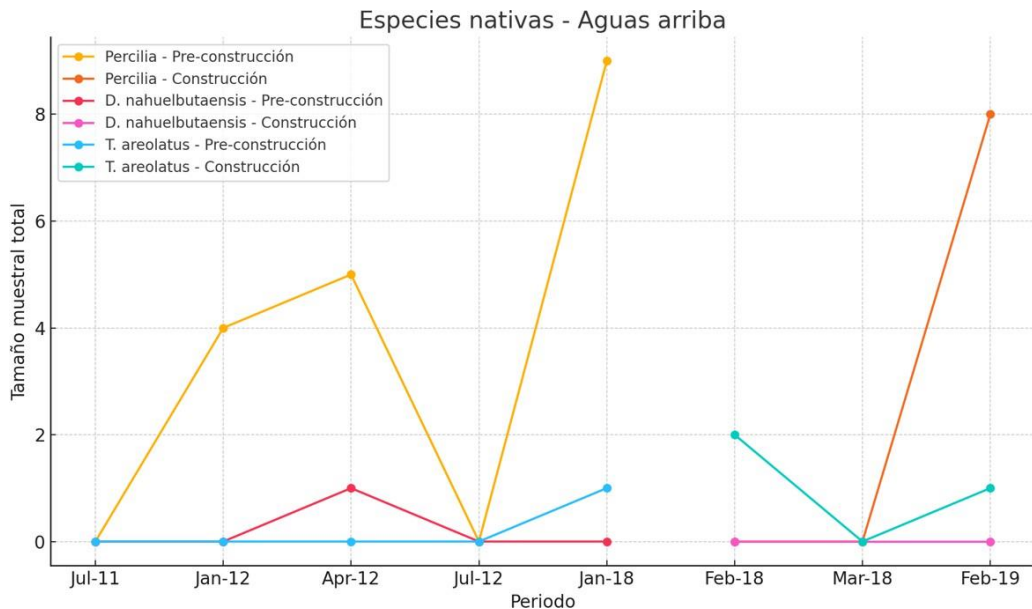
En la línea de base se registró *Percilia gillissi*, posteriormente, en los monitoreos se identificó ejemplares *Percilia irwini*, especie morfológicamente muy similar que probablemente no fue diferenciada en la evaluación inicial. Aunque se lograron distinguir taxonómicamente en el nuevo análisis, para efectos del estudio de hábitat se agruparon como *Percilia* spp.



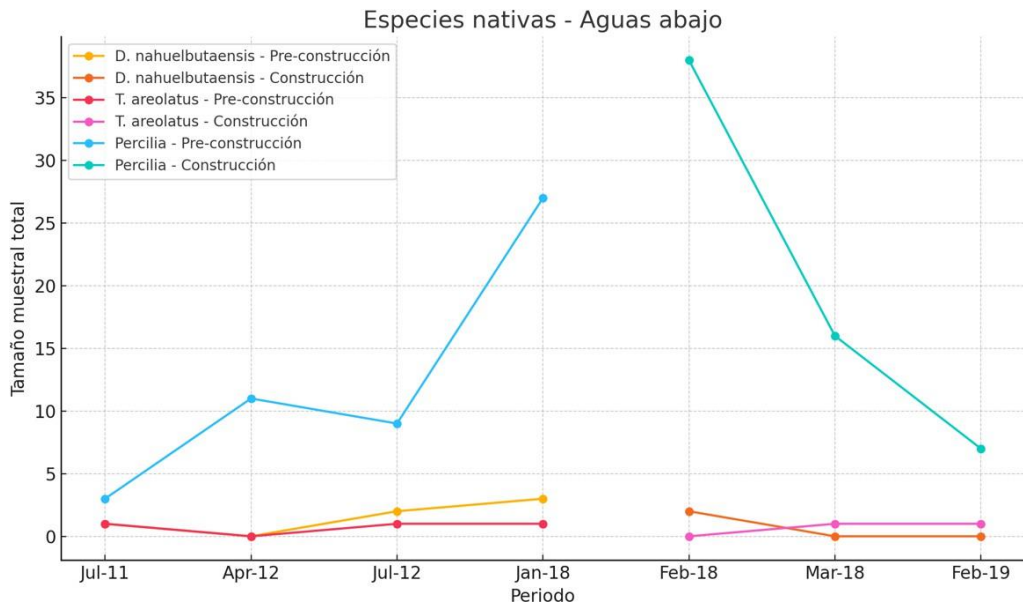
**Figura. 6.35.** Abundancia de especies *S. Trutta* y *O. Mykiss* aguas arriba durante Pre-Construcción (Jul-11 a Jan-18) y Construcción (Feb-18 a Feb-19). Fuente: Línea de Base PCH el Pinar, 2012; Informe de monitoreo de biota acuática y calidad de agua, 2019.



**Figura. 6.36.** Abundancia de especies *S. Trutta* y *O. Mykiss* aguas abajo durante Pre-Construcción (Jul-11 a Jan-18) y Construcción (Feb-18 a Feb-19). Fuente: Línea de Base PCH Pasada el Pinar, 2012; Informe de monitoreo de biota acuática y calidad de agua, 2019.



**Fig. 6.37.** Comparación de especies nativas aguas arriba durante Pre-Construcción (Jul-11 a Jan-18) y Construcción (Feb-18 a Feb-19). Fuente: Línea de Base PCH Pasada el Pinar, 2012; Informe de monitoreo de biota acuática y calidad de agua, 2019.

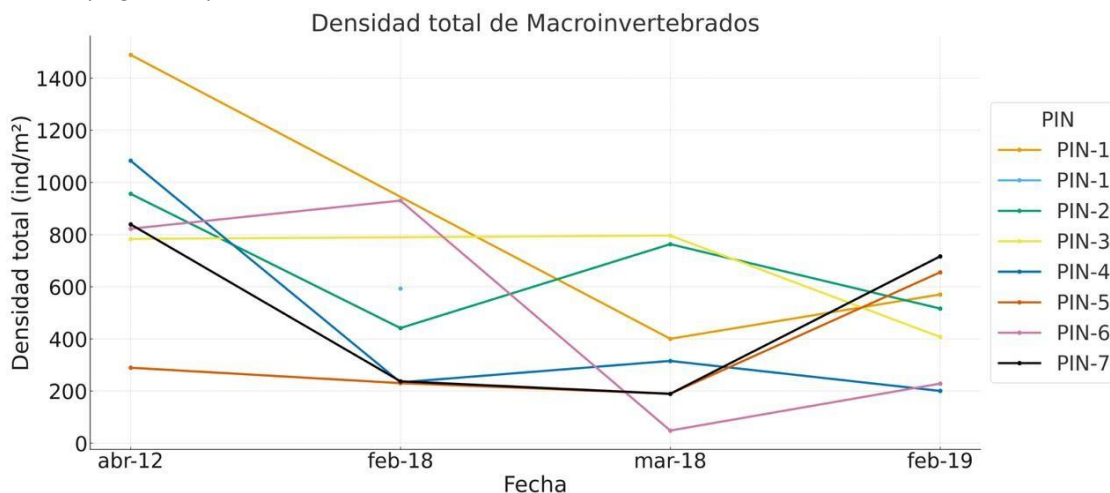


**Fig. 6.38.** Comparación de especies nativas aguas abajo durante Pre-Construcción (Jul-11 a Jan-18) y Construcción (Feb-18 a Feb-19). Fuente: Línea de Base PCH el Pinar, 2012; Informe de monitoreo de biota acuática y calidad de agua, 2019.

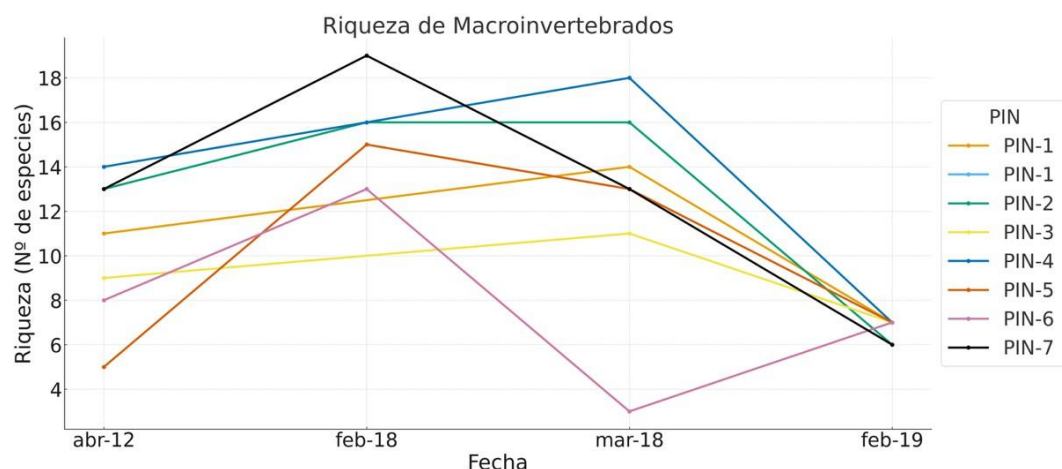
El análisis de la abundancia y distribución de las especies de peces durante las campañas de monitoreo revela patrones ecológicos marcadamente diferenciados entre las especies introducidas y las nativas. Estos patrones sugieren una estructuración de la comunidad donde los salmónidos dominan el sistema. En contraste, las tres especies nativas se caracterizan por una abundancia muy inferior y una distribución restringida. El bagre chico (*Trichomycterus areolatus*), si bien es la especie nativa con registros en un mayor número de estaciones, aparece de forma esporádica y

en cantidades muy bajas. En términos generales, los análisis indican que las poblaciones de peces en el área de estudio han mantenido una condición corporal saludable y consistente con la observada durante la línea de base.

En cuanto a los macroinvertebrados, en las estaciones aguas arriba (PIN-1, PIN-2 y PIN-3), se produjo una caída notoria y significativa de la densidad total durante la última campaña de la etapa de construcción (Fig. 6.39). La riqueza en ese mismo punto, es la más baja registrada en todos los períodos (Fig. 6.40).



**Fig. 6.39.** Densidad total de Macroinvertebrados aguas arriba durante Línea de base y Construcción. Fuente: Línea de Base PCH el Pinar, 2012; Informe de monitoreo de biota acuática y calidad de agua, 2019.



**Fig. 6.40.** Riqueza de Macroinvertebrados aguas arriba durante Línea de base y Construcción. Fuente: Línea de Base PCH el Pinar, 2012; Informe de monitoreo de biota acuática y calidad de agua, 2019.

El análisis del Índice Biótico de Familias (Ch-IBF), visualizado a través del mapa de colores por estación y campaña, revela un cambio en la calidad ecológica del agua al comparar el período de línea de base con la fase de construcción. Si bien durante la línea de base (2011-2012) y la pre-construcción (enero 2018) las condiciones eran predominantemente "Buenas", indicadas por el color verde, se observa un notorio deterioro durante las campañas de construcción. Este deterioro, representado por el color naranja que indica una calidad de agua "Mala" y un ambiente "Muy perturbado" y por el color amarillo que indica calidad del agua "Regular" y ambiente "Perturbado", se manifiesta en las estaciones de restitución y aguas debajo de restitución (Tabla. 6.32).

**Tabla 6.32.** Clasificación de calidad del agua basado en Índice Biótico de Familias (ChIBF).

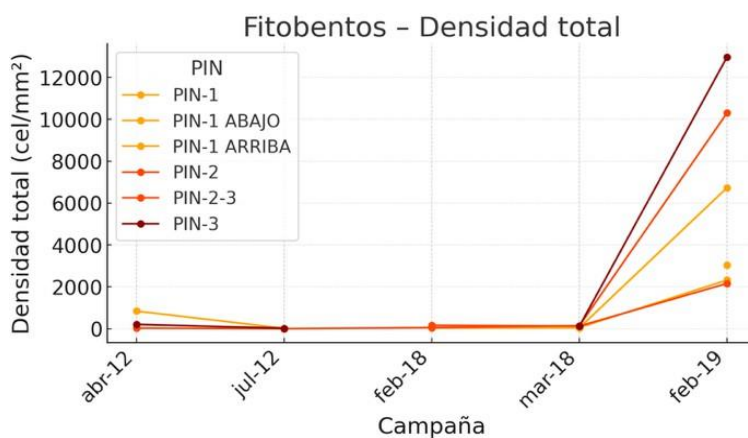
Estación	Línea de base				Construcción		
	jul-11	ene-12	abr-12	jul-12	feb-18	mar-18	feb-19
PIN-1	6,71	2,53	3,51	2,17		3,68	3,01
PIN-2	4,22	3,98	3,16	3,25	5,66	5,24	4,59
PIN-3		4,7	3,77	4,76		7,03	3,51
PIN-4	3,14		3,81	1,97	4,41	4,18	3,67
PIN-5	3,63		4,25	2,11	2,72	4,48	3,36
PIN-6	3,99		2,55	2,71	6,33	6,82	2,07
PIN-7	4,18		3,57	3,84	3,79	3,73	3,02
PIN-8	3,95		3,33		6,49	6,89	4,5

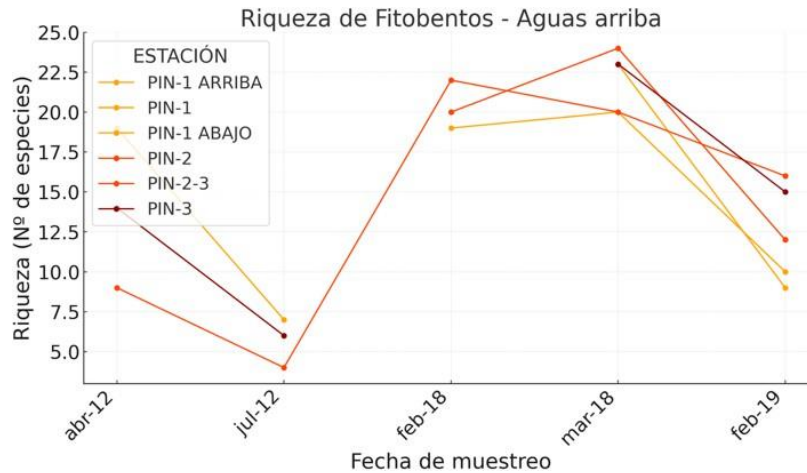
Muy buena, no perturbado
Buena, moderadamente perturbado
Regular, perturbado
Mala, muy perturbado

Fuente: Informe de monitoreo de biota acuática y calidad de agua, 2019.

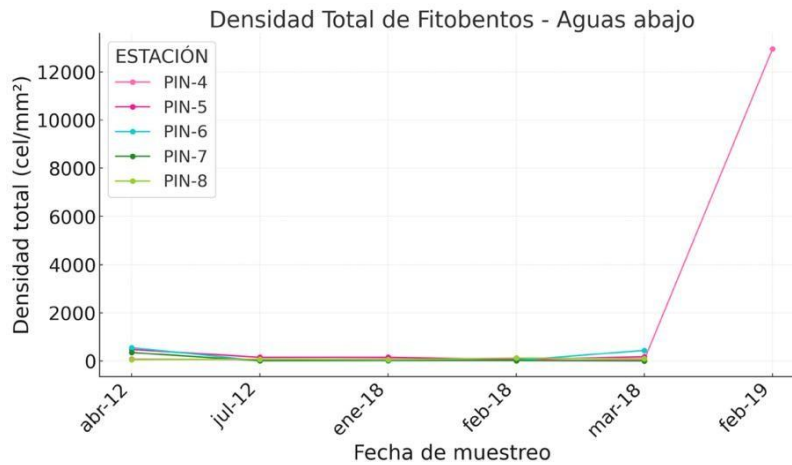
El análisis de la comunidad de microalgas bentónicas (fitobentos) revela que su estructura y dinámica están fuertemente gobernadas por la estacionalidad hidrológica del río, más que por diferencias espaciales entre las estaciones de monitoreo. Esta conclusión se desprende de los resultados de riqueza, densidad y diversidad, los cuales mostraron diferencias significativas entre las campañas de monitoreo, pero no entre las distintas estaciones, como se puede apreciar en las Fig. 6.41 a Fig. 6.44.



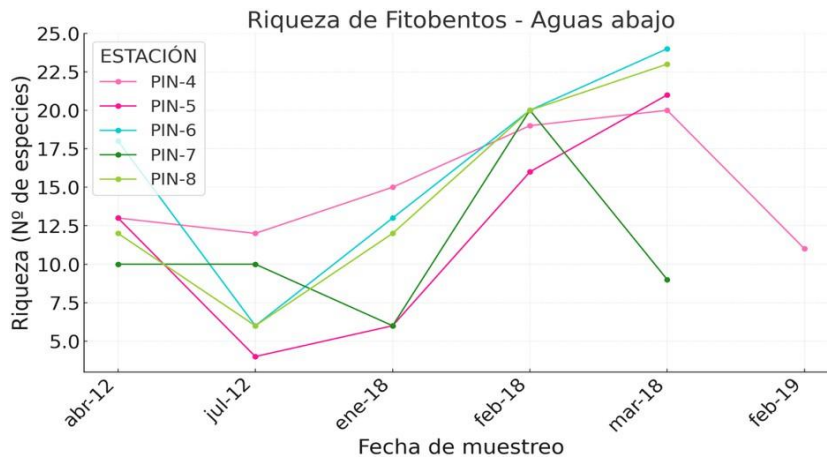
**Figura 6.41.** Densidad total de fitobentos aguas arriba durante Línea de base (abr-12 y jul-12) y Construcción (feb-18 a feb-19). Fuente: Línea de Base PCH Pasada el Pinar, 2012; Informe de monitoreo de biota acuática y calidad de agua, 2019.



**Figura 6.42.** Riqueza de fitobentos aguas arriba durante Línea de base (abr-12 y jul-12) y Construcción (feb-18 a feb-19). Fuente: Línea de Base PCH el Pinar, 2012; Informe de monitoreo de biota acuática y calidad de agua, 2019.

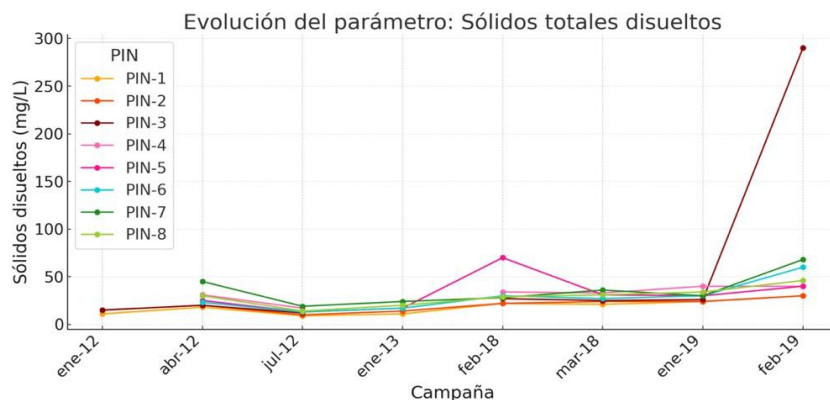


**Figura 6.43.** Densidad total de fitobentos aguas abajo durante Pre-Construcción (abr-12 a ene-18) y Construcción (feb-18 a feb-19). Fuente: Línea de Base PCH el Pinar 2012; Informe de monitoreo de biota acuática y calidad de agua, 2019.

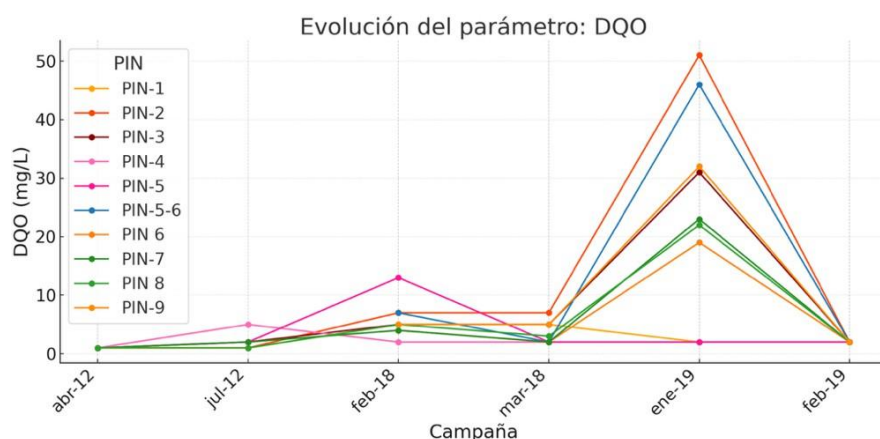


**Figura 6.44.** Riqueza de fitobentos aguas abajo durante Pre-Construcción (abr-12 a ene-18) y Construcción (feb-18 a feb-19). Fuente: Línea de Base PCH el Pinar 2012; Informe de monitoreo de biota acuática y calidad de agua, 2019.

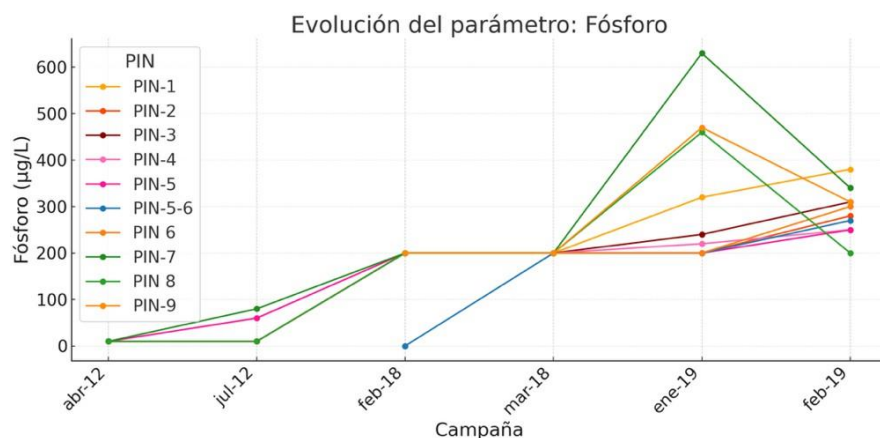
El análisis de la calidad del agua se basó en la comparación de los parámetros medidos durante la fase de construcción con los registros de la línea de base y los límites establecidos en la Norma Chilena 1.333 para la protección de la vida acuática. Para mostrar esta información de manera integral, se adjuntan imágenes de gráficos (Fig.6.45 a Fig. 6.48) de los parámetros que mostraron tendencias importantes para analizar la calidad del agua.



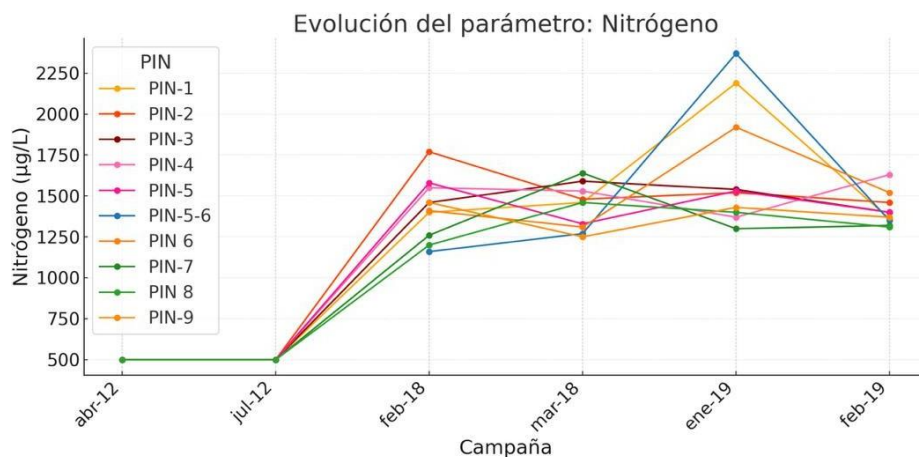
**Figura 6.45.** Evolución de Sólidos disueltos totales durante Línea de base (ene-12 a ene-13) y Construcción (feb-18 a feb-19). Fuente: Línea de Base PCH el Pinar, 2012; Informe de monitoreo de biota acuática y calidad de agua, 2019.



**Figura 6.46.** Evolución de Demanda Química de Oxígeno durante línea de base y construcción. Fuente: Línea de Base PCH el Pinar, 2012; Informe de monitoreo de biota acuática y calidad de agua, 2019.



**Figura 6.47.** Evolución de Fósforo durante Línea de base (abr-12 y jul-12) y Construcción (feb-18 a feb-19). Fuente: Línea de Base PCH el Pinar, 2012; Informe de monitoreo de biota acuática y calidad de agua, 2019.



**Figura 6.48.** Evolución de Nitrógeno durante Línea de base (abr-12 y jul-12) y Construcción (feb-18 a feb-19). Fuente: *Línea de Base PCH el Pinar, 2012; Informe de monitoreo de biota acuática y calidad de agua, 2019.*

### Análisis crítico y discusión de resultados del PSA

El análisis crítico de este informe revela varios puntos clave. Para la fauna íctica, los resultados del seguimiento presentaron fallas conceptuales. Primero, los informes reportan la relocalización de especies introducidas e invasoras como la Trucha café y la Trucha arcoíris junto a las especies nativas. Esta acción constituye una mala práctica ecológica, ya que la literatura científica ha documentado extensamente los severos impactos negativos de los salmónidos introducidos en los ecosistemas fluviales de Chile, los cuales actúan como depredadores de peces nativos y compiten agresivamente por el hábitat y el alimento (Habit et al., 2010; Arismendi et al., 2009). Por lo tanto, la medida, en lugar de mitigar un impacto, contribuyó activamente a la dispersión de una de las principales amenazas para la fauna que se buscaba proteger. Segundo, para las especies nativas que sí fueron rescatadas, el concepto de "éxito" de la medida se limitó a la supervivencia inmediata. El plan de seguimiento no contempló un monitoreo posterior para evaluar la adaptación y supervivencia a largo plazo de los individuos, un aspecto fundamental para determinar la verdadera efectividad ecológica de la medida (Fischer & Lindenmayer, 2000). Adicionalmente, se constata la ausencia del Tollo de agua dulce en los seguimientos, una especie registrada en la línea de base, lo que sugiere un posible fracaso en su rescate o una afectación no registrada.

En cuanto a los macroinvertebrados, en los gráficos se puede observar una constante disminución de la densidad total y una marcada disminución de la riqueza en la última campaña. Sobre los de fitobentos, se observó que al agrupar las estaciones de monitoreo en un sector "aguas arriba" y otro "aguas abajo" de la zona de obras, se puede ver que para aguas arriba y abajo, durante la última campaña la densidad aumentó desde la línea de base donde se encontraba como máximo 1000 cél/mm<sup>2</sup> a 12000 cél/mm<sup>2</sup> en la campaña de febrero de 2019, acompañado de la disminución de la riqueza. Este patrón que sugiere un impacto localizado durante la fase de construcción.

Al integrar las demás líneas de evidencia, emerge un cuadro consistente de impacto ambiental. Las actividades de construcción parecen haber causado una alteración en la calidad físico-química del agua, evidenciada por el aumento de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo), DQO y sólidos disueltos. La literatura científica establece que la re-suspensión de sedimentos durante obras en el cauce libera nutrientes adheridos, provocando pulsos de enriquecimiento aguas abajo (Wood & Armitage, 1997).

Esta alteración química provocó una respuesta biológica medible en los niveles más bajos de la red trófica. Se observa un aumento masivo en la densidad de fitobentos en febrero de 2019, que

se disparó a más de diez mil cél/mm<sup>2</sup>, un crecimiento explosivo que es una respuesta clásica al aumento de nutrientes (eutrofización) (Kemp et al., 2011). Este cambio en la base de la red trófica se correlaciona con el deterioro en la comunidad de macroinvertebrados, reflejado en la disminución de su densidad y riqueza. Aunque los informes concluyen que no hubo un impacto significativo basándose en la estabilidad aparente de los peces, un análisis integral sugiere que los componentes más sensibles y de respuesta más rápida del ecosistema sí registraron un impacto negativo y medible, que el titular debió haber identificado al analizar todas las variables en conjunto.

**Impacto: Potencial pérdida de ejemplares de fauna nativa con problemas de conservación por obras en zona de restitución.**

Durante la etapa de construcción, otro impacto identificado del componente limnología en el EIA, asociado a la acción de construcción del canal de restitución fue la potencial pérdida de ejemplares de fauna nativa por las obras para dicha zona. Para su valoración, la matriz del EIA le asignó los siguientes atributos, Carácter: Negativo (-1); Probabilidad: Moderado (0,7); Extensión: Puntual (0); Intensidad: Moderada (1); Duración: Temporal (0); Reversibilidad: Parcialmente reversible (1) y Tipo: Acumulativo (1). El Valor Ambiental para el componente Hidrología fue calificado como “Extremo” (10). Al aplicar la fórmula de la metodología, el impacto obtuvo una ponderación final de -21, lo que lo clasifica como un Impacto “Bajo”.

Posteriormente, en la Adenda 1, la autoridad criticó la evaluación del impacto, señalando que el concepto de Extensión no debería ser “Puntual”, ya que los efectos indirectos en las poblaciones de peces nativos que se encuentran río abajo, en cuanto a su relación con el aporte de individuos, huevos y larvas no está evaluado. También que la *Intensidad* debería ser *Alta* debido a que estas poblaciones son altamente sensibles a cambios de hábitat y por su abundancia (pocas ejemplares), son muy propensos a la pérdida de estos mismos pocos ejemplares, por lo tanto, el hecho de la baja densidad de poblaciones, conlleva a que cualquier impacto sea alto. Adicionalmente, la *Reversibilidad* igual fue criticada, ya que el titular para otorgar la clasificación de *Parcialmente reversible* lo hizo justificando que este sería reversible en la medida que se tengan acciones correctivas, como la relocalización, las autoridades, en respuesta a eso, afirmaron que primero se debe tener claridad de las características físicas, biológicas y sanitarias de zona a la que se pretende translocar y que los pocos intentos que se han registrado, no tienen resultados promisorios. En base a lo anterior, el titular actualiza la calificación, quedando de la siguiente forma, Intensidad: Alta (2); Reversibilidad: Irreversible (2) y Extensión: parcial (1), lo que dispara la valoración del impacto a -42, catalogándolo como “Moderado”. Y aclara que no se realizará translocación.

En el EIA, para el capítulo de “Plan de Manejo Ambiental”, donde fueron propuestas las medidas de manejo, inicialmente, se había tomado en conjunto el impacto “Deterioro temporal del hábitat para flora y fauna acuática por obras en el cauce” y este mismo impacto “Potencial pérdida temporal de ejemplares de fauna íctica nativa con problemas de conservación por obras de restitución” para proponerles medidas de mitigación en conjunto, entre las cuales se encontraban las que se pueden observar en la Tabla 6.33 a continuación.

**Tabla 6.33.** Medidas de manejo propuestas para impactos “Deterioro temporal de las condiciones de hábitat para flora y fauna acuática por construcción de obras en el cauce” y “Potencial pérdida de ejemplares de fauna nativa con problemas de conservación por obras en zona de restitución”.

Tipo	Medida de manejo
Mitigación	Se protegerán zonas de intervención con enrocados aplicando barreras para desvíos del curso de agua. Además, se evitará el arrastre y caída de

	materiales finos al cauce del río Cholguán, evitando el deterioro de la calidad de agua para no alterar el hábitat de peces.
Mitigación	Mínimo período de construcción en el cauce. Las obras en la bocatoma y restitución se deben realizar en época estival y en tiempo mínimo, trabajando por sectores para no intervenir la circulación de peces
Mitigación	Se debe trabajar en seco, haciendo un desvío del cauce.
Mitigación	Se prohibirá el lavado de camiones y maquinaria en el río, las descargas de sólidos o líquidos al río, la carga de combustible en sectores ribereños y la pesca al personal de faenas.
Mitigación	Rescate de <i>Percilia gillisi</i> y <i>Diplomystes nahuelbutensis</i> en zona de restitución, y recolocada en PIN-8, en el río Cholguán, aguas abajo de la confluencia con el estero Villagrán, esta zona es posible para albergar la especie. Esto además, considerando que el tiempo de traslocación es de sólo 10 minutos
Restauración	Restauración de riberas intervenidas. Reparación del tramo de ribera afectado junto a la bocatoma y canal de restitución. Restaurar las condiciones originales de éstas, dando heterogeneidad al lugar incluyendo pozones, ya que en las riberas se encuentra <i>Percilia gillisi</i> y <i>Diplomystes nahuelbutensis</i> .

Fuente: EIA Proyecto PCH de Pasada El Pinar, 2012.

Sin embargo, en el ICE y en la RCA del proyecto, no se encontró ninguna medida de manejo para este impacto ni alguna propuesta en el plan de seguimiento. Esto se debe a que en la misma Adenda 1, la autoridad le exige al titular que titular efectúe un nuevo análisis de las medidas de mitigación y restauración de la fauna íctica y en caso de persistir la medida de translocación se deberá presentar previo a su implementación un programa de estudios específicos realizados por expertos en la materia que definan las características, condiciones y medidas alternativas a la translocación de fauna íctica que garanticen el éxito de la medida. A esto, el titular responde que la medida de translocación en definitiva no se llevará a efecto debido a que se trabajará en seco usando ataguías y propone un conjunto de medidas de mitigación para fauna íctica, las cuales son las que quedaron propuestas solo para el impacto anterior "Deterioro temporal de las condiciones de hábitat para flora y fauna acuática por construcción de obras en el cauce". Dejando este impacto, sin ninguna medida.

#### Análisis crítico y discusión del plan de manejo

Para este impacto, lo más crítico es que a pesar del cambio en su calificación, se produjo el abandono de la medida de manejo más relevante. La autoridad identificó correctamente que la translocación es una medida compleja y de éxito muy incierto. Sin embargo, la reacción del titular no fue proponer un estudio más robusto o una alternativa ecológica equivalente, sino optar por la solución más sencilla, eliminarla. Se sustituyó una medida de conservación activa (aunque riesgosa) por una justificación basada en una práctica de construcción "trabajar en seco". Si bien trabajar en seco reduce el impacto general, no aborda de forma específica el riesgo de mortalidad de los individuos atrapados en la zona de obras de la misma forma que lo haría un plan de rescate y relocalización bien ejecutado. Es, en efecto, un retroceso en el nivel de compromiso ambiental.

El hecho de que las medidas restantes fueran absorbidas por el impacto más general de "Deterioro del hábitat" es cuestionable. Aunque los impactos están relacionados, no son idénticos. Uno se refiere a la calidad del hábitat, es decir el entorno y el otro al riesgo directo de mortalidad de individuos de especies protegidas. Al agrupar las medidas se pierde el foco en el objeto de protección más vulnerable.

### 6.2.3.3. Impacto: Alteración del hábitat para especies de flora y fauna acuática por disminución del caudal

Durante la etapa de operación, se identificó el impacto de la alteración del hábitat para la flora y fauna acuática. Este efecto, es consecuencia directa de la acción captación de agua, lo que reduce el flujo en el tramo de 5,5 km entre la bocatoma y restitución. Para su valoración, la matriz del EIA le asigno los siguientes atributos, Carácter: Negativo (-1); Probabilidad: Cierta (1); Extensión: Puntual (0); Intensidad: Moderada (1); Duración: Permanente (2); Reversibilidad: Reversible (0) y Tipo: Acumulativo (1). El Valor Ambiental para el componente Hidrología fue calificado como "Extremo" (10). Al aplicar la fórmula de la metodología, el impacto obtuvo una ponderación final de -40, lo que lo clasifica como un Impacto "Moderado".

En el Estudio de Impacto Ambiental, para dicho impacto se propuso la medida de manejo que se puede observar en la Tabla 6.34.

**Tabla 6.34.** Medida de manejo propuesta para impacto "Alteración del hábitat para especies de flora y fauna acuática por disminución del caudal".

Tipo	Medida de manejo
Mitigación	Programa de monitoreo semestral de calidad de agua y biota acuática. 4 años durante la operación, verificar la calidad química del agua, las condiciones de hábitat para biota acuática, determinar riqueza, abundancia y diversidad biológica de los ensamblajes de peces, macroinvertebrados bentónicos y macrófitas.

Fuente: EIA Proyecto PCH de Pasada El Pinar, 2012.

En la Adenda 1, la autoridad ambiental manifestó su preocupación por el funcionamiento de la central durante períodos de estiaje crítico. Específicamente, se exigió al titular garantizar que cuando el caudal del río descendiera por debajo del mínimo de operación de la central (1,1 m<sup>3</sup>/s), las compuertas de la bocatoma se cerrarían por completo, asegurando que todo el flujo remanente continuara por el cauce natural. Para ello, se solicitó explícitamente disponer de un sistema de registro que permitiera verificar esta condición. En respuesta, el titular se comprometió a implementar un sistema de monitoreo compuesto por dos estaciones fluviométricas. La primera, ubicada aguas abajo de la bocatoma, mediría el caudal pasante, que se mantiene en el río. La segunda, localizada aguas arriba del punto de restitución, serviría para corroborar la información. Según el titular, este sistema permitiría demostrar que la central no operaría en períodos de bajo caudal, cumpliendo así con el resguardo del caudal ecológico. Esta información no quedó establecida en el ICE o RCA.

El plan de seguimiento propuesto para la medida de mitigación fue realizar muestreos de la calidad de agua y de biota acuática, con un monitoreo semestral por 4 años en la etapa de operación y con posibilidad de continuidad en base a los resultados. El informe se realizaría por un especialista limnólogo que compare los resultados con la línea de base, con entrega semestral a la SMA y SERNAPESCA.

#### Análisis crítico y discusión del plan de manejo

Desde una perspectiva crítica, la calificación de este impacto como *Moderado* se basa en una asignación de valores cuestionable. La *Extensión* fue calificada como *Puntual* (0), a pesar de que la acción altera 5,5 kilómetros de río. Esta clasificación es conceptualmente incorrecta, un impacto de esta naturaleza se considera lineal y de alcance local, no puntual, ya que interrumpe la conectividad longitudinal del ecosistema (Poff et al., 1997). También se cuestiona la *Reversibilidad*,

calificada como *Reversible* (0). Un impacto que dura al menos 40 años no es ecológicamente reversible de forma inmediata, la recuperación de la estructura y función del ecosistema, si es que se logra, podría tardar décadas (Bunn & Arthington, 2002). La correcta valoración de estos atributos habría elevado la calificación del impacto a *Significativo*.

El análisis de la medida de manejo revela una falla conceptual aún más profunda. Se propone un programa de monitoreo como medida de mitigación. La mitigación ambiental, según los principios de la jerarquía de mitigación, se define por acciones concretas que buscan evitar, reducir o reparar un impacto adverso (McKenney & Kiesecker, 2010). Un programa de monitoreo es una herramienta de seguimiento, no una acción que reduzca el impacto en sí misma. Proponer únicamente monitorear equivale a no proponer mitigación alguna. Además de que por algún error desconocido, a pesar de haberse comprometido en la Adenda 1, el compromiso de medir el caudal pasante no quedó establecido en ningún documento oficial, por lo tanto, no quedó la obligación de realizarlo.

Finalmente, el plan de seguimiento carece de los elementos de una gestión adaptativa. Propone verificar y determinar el estado de la biota, pero no establece umbrales críticos ni acciones correctivas en caso de que se detecte un deterioro. Sin estos componentes, el plan de seguimiento no obliga al titular a actuar frente a un resultado negativo.

#### Resultados del Programa de Seguimiento Ambiental

De acuerdo a lo encontrado en la plataforma SNIFA, para este impacto, se encontraron 2 informes que fueron realizados por la empresa Aseprot Ltda. El primero fue realizado en julio de 2024 y el segundo en enero de 2025. El objetivo de ambos fue monitorear la calidad de agua y la biota acuática. Los estudios se centraron en 3 estaciones del AI, PIN-1 (Captación), PIN-2 (Intermedia) y PIN-3 (Restitución) como se puede observar en la Tabla 6.35 y la Fig. 6.49.

**Tabla 6.35.** Descripción de las estaciones de monitoreo.

Área del Proyecto	Estación	Descripción
Captación	PIN 1	Río Cholguán, sector de Captación de las aguas
Intermedia	PIN 2	Río Cholguán tramo Captación-Restitución
Restitución	PIN 3	Río Cholguán, sector de Restitución

*Fuente: Informe de monitoreo y seguimiento de variables ambientales, en etapa de operación, proyecto PCH de pasada El Pinar, 2024*



**Figura 6.49.** Estaciones de muestro en río Cholguán. *Fuente: Informe de monitoreo de variables ambientales, en etapa de operación, proyecto PCH de pasada El Pinar, 2024.*

En el informe del año 2024, se concluye que la calidad del agua es excelente. Se afirma que los parámetros medidos en 2024 son similares a los de la línea de base de 2012, definiendo un "buen estado de salud del río". Se destaca que los bioindicadores de contaminación, como los coliformes

fecales, presentaron resultados incluso mejores que en la línea de base, concluyendo que no ha existido intervención antropogénica. La conclusión del titular sobre el informe es que "La operación de la central hidroeléctrica El Pinar, no ha generado impactos negativos en el ecosistema acuático del río Cholguán".

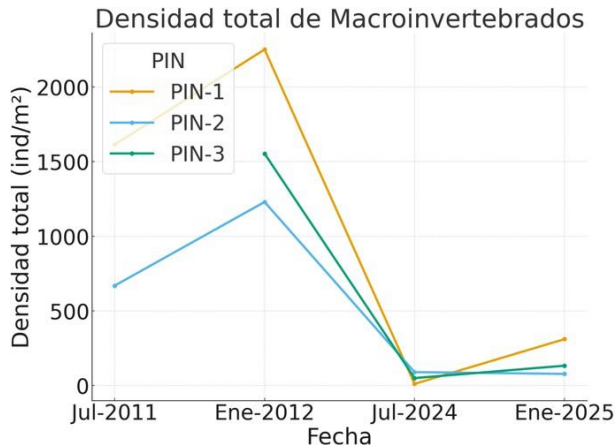
En el segundo informe, correspondiente a enero de 2025, un dato fundamental que el propio informe destaca es que, debido al bajo caudal natural del río Cholguán, la central hidroeléctrica se encontraba inactiva y sin operar durante la campaña. Además, el muestreo se vio alterado, ya que la estación intermedia (PIN-2) no fue considerada para la toma de muestras. Los hallazgos principales fueron, al igual que en el informe anterior, que la calidad del agua es excelente y cumple con la normativa. El informe sostiene que los parámetros son similares a los de la línea de base y que la evolución del río en 12 años ha sido "inalterable". Se concluye explícitamente que la presencia y funcionamiento de la central "no tiene impacto en las aguas del río Cholguán".

Los resultados, según el titular, muestran un ecosistema que sigue empobrecido en comparación con la línea de base original, pero, presenta leves signos de recuperación respecto a la campaña de invierno de 2024. A diferencia del informe anterior donde no se encontró nada, en esta campaña se observaron "algunos pocos ejemplares de *Salmo trutta* (Trucha café)". No se reportó la presencia de ninguna especie nativa. Se detectaron 5 taxones, un ligero aumento en comparación con los 3 taxones del invierno anterior, aún muy por debajo de los 34 taxones registrados en el período de estiaje de la línea de base (enero 2012). Notablemente, se registra por primera vez la presencia del crustáceo *Aegla sp.*

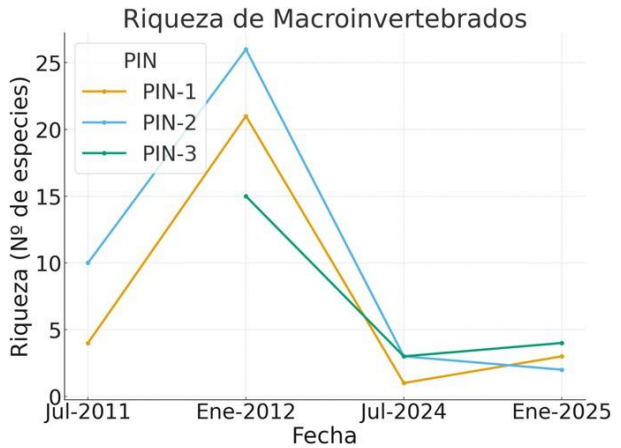
Otro hallazgo fue la riqueza de microalgas de 10 taxones, superior a los 6 del invierno anterior. A diferencia del invierno, se detectó la presencia de la planta acuática nativa *Equisetum bogotense*. El informe atribuyó las condiciones biológicas observadas a la "historia reciente de la zona, incluyendo el aluvión y el posterior arrastre de material sólido". Sostuvo que el ecosistema estaba en una "etapa temprana" de recuperación o "transición ecológica". Se interpretó la baja diversidad biológica como una consecuencia directa de las condiciones de estiaje y bajo caudal natural del río.

Cabe destacar que los resultados entregados por el titular para comparar con la línea de base "julio 2012", no corresponden a los datos realmente entregados para la línea de base en esa fecha, si no que utilizó los datos de las cuatro campañas realizadas para la línea de base, dejando los datos con más similitud a los del informe entregado actualmente. Los gráficos que se muestran a continuación para la calidad de agua fueron hechos con los datos reales de la campaña de la línea de base de julio 2012.

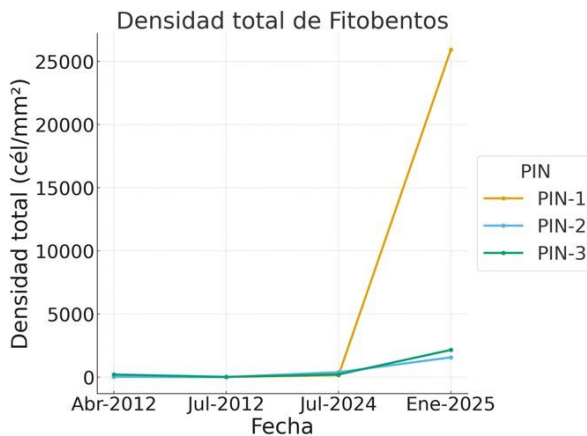
A continuación se presentan gráficos desde la Fig. 6.50 a 6.57. para comparar la línea de base con los informes del seguimiento de ambas campañas.



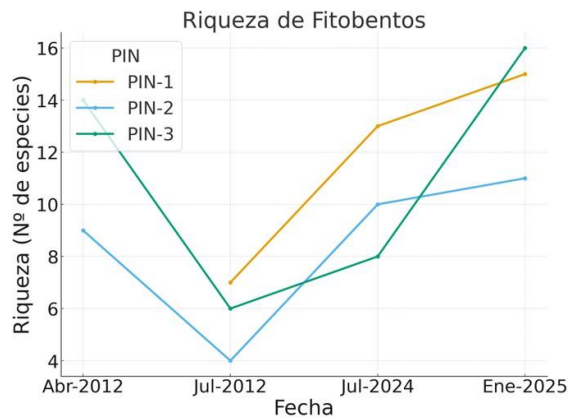
**Figura 6.50.** Evolución densidad de Macroinvertebrados entre Línea de base y Operación. Fuente: Informe de Seguimiento biota y calidad del agua, Central El Pinar, 2025.



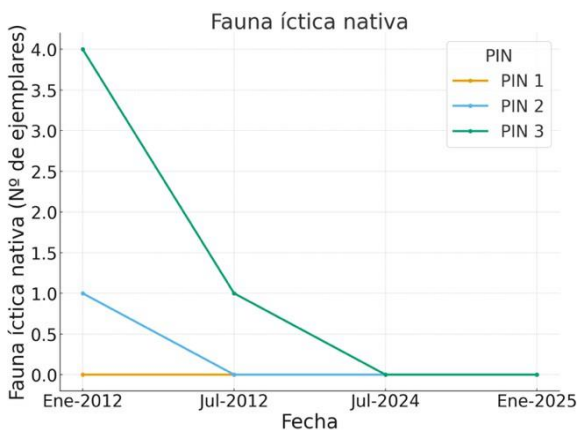
**Figura 6.51.** Evolución riqueza de Macroinvertebrados entre Línea de base y Operación. Fuente: Informe de Seguimiento biota y calidad del agua, Central El Pinar, 2025.



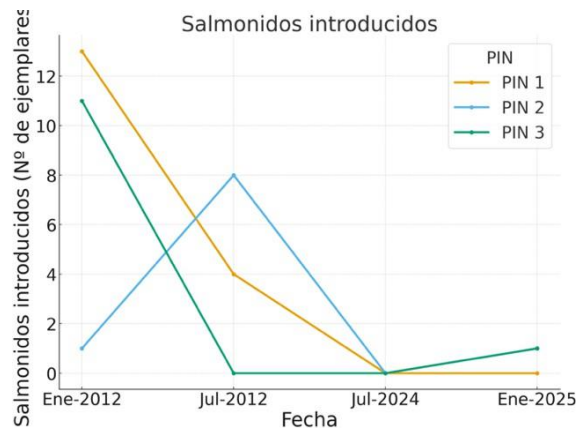
**Figura 6.52.** Evolución densidad de Fitobentos entre Línea de base y Operación. Fuente: Informe de Seguimiento biota y calidad del agua, Central El Pinar, 2025.



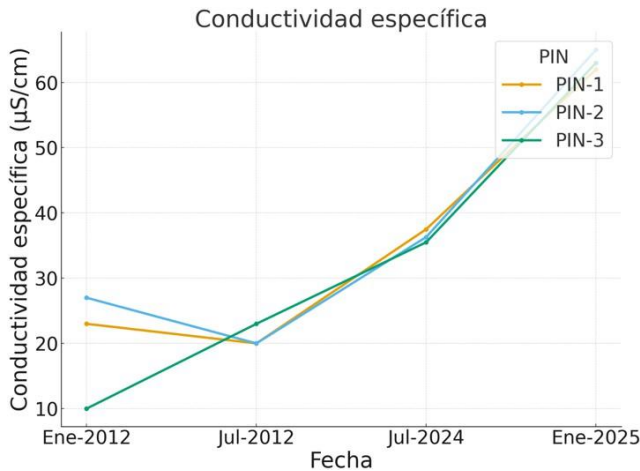
**Figura 6.53.** Evolución riqueza de Fitobentos entre Línea de base y Operación. Fuente: Informe de Seguimiento biota y calidad del agua, Central El Pinar, 2025.



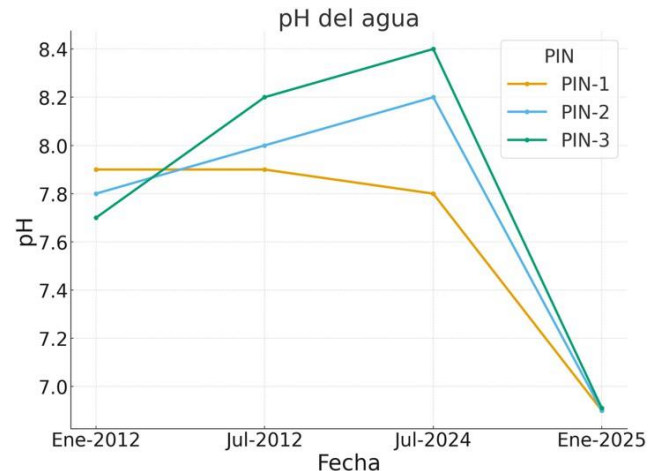
**Figura 6.54.** Abundancia de Fauna íctica nativa entre Línea de base y Operación. Fuente: Informe de Seguimiento biota y calidad del agua, Central El Pinar, 2025.



**Figura 6.55.** Abundancia de Salmónidos entre Línea de base y Operación. Fuente: Informe de Seguimiento biota y calidad del agua, Central El Pinar, 2025.



**Figura 6.56.** Evolución de conductividad específica entre Línea de base y Operación. Fuente: Informe de Seguimiento biota y calidad del agua, Central El Pinar, 2025.



**Figura 6.57.** Evolución de pH entre Línea de base y Operación. Fuente: Informe de Seguimiento biota y calidad del agua, Central El Pinar, 2025.

### Análisis crítico de los resultados del PSA

Al comparar el Programa de Seguimiento Ambiental diseñado y ejecutado para el impacto de operación ("Alteración del hábitat por disminución del caudal") con el que se implementó para el impacto de construcción ("Deterioro temporal del hábitat por obras en el cauce"), emerge una conclusión, el programa de seguimiento para el impacto más grave y permanente es significativamente más débil, menos riguroso y conceptualmente más deficiente que el seguimiento del impacto temporal. Esta involución en el esfuerzo de monitoreo representa una falla crítica en la gestión ambiental del proyecto. La diferencia más evidente es la escala del muestreo. Para evaluar el impacto de la construcción, se utilizó una red de monitoreo espacialmente robusta, que incluía 9 o más estaciones que abarcaban puntos de control aguas arriba, zonas de intervención directa y múltiples puntos aguas abajo para medir la pluma del impacto. En cambio, para el impacto de operación, que afecta un tramo mucho más extenso (5,5 km), el programa se redujo a un mínimo de tres estaciones. Esta reducción disminuye drásticamente la capacidad del programa para captar la variabilidad espacial del impacto y entender lo que ocurre en la totalidad del tramo afectado.

Desde una perspectiva crítica, la principal debilidad del informe es su conclusión general. Afirmar que "la operación de la central no ha generado impactos negativos" basándose únicamente en los parámetros físico-químicos, mientras se reporta la desaparición total de los peces y un empobrecimiento drástico de las comunidades de invertebrados y algas. Los datos de seguimiento de la fase de operación revelan un patrón de degradación ecológica en el tramo de 5,5 km con caudal disminuido, lo que contradice la conclusión de ausencia de impacto presentada por el titular. El titular atribuye los resultados negativos a los aluviones ocurridos en 2024, argumentando que este disturbio natural es la causa de la degradación observada. Si bien un evento de esta naturaleza indudablemente afecta al ecosistema, es metodológicamente cuestionable atribuirle la totalidad de los patrones observados, los cuales son consistentes con los impactos esperados de la operación de la central. Las especies nativas son altamente vulnerables a la alteración permanente del hábitat, como la reducción crónica del caudal y la pérdida de velocidad del agua, que favorece a las especies invasoras (Soto et al., 2006). El patrón observado sugiere que el impacto permanente de la central eliminó las condiciones de hábitat necesarias para la recuperación de las especies más sensibles tras el aluvión.

Este deterioro se corrobora con los datos de los macroinvertebrados. Como se observa en el monitoreo, existe una marcada disminución de la riqueza y de la abundancia total. La pérdida de riqueza de especies es un indicador clásico de un ecosistema bajo estrés, donde las especies más sensibles desaparecen y solo persisten las más tolerantes (Rosenberg & Resh, 1993). Una recuperación natural post-disturbio esperaría un aumento progresivo de la riqueza, no su disminución persistente. Por lo tanto, un análisis riguroso concluiría que, si bien el aluvión fue un factor, los resultados del seguimiento documentan cómo la operación de la central ha generado una degradación constante del hábitat, impidiendo la recuperación del ecosistema y causando la pérdida de sus componentes más vulnerables.

Otro aspecto clave es que, el propósito de este PSA, según la RCA, era evaluar la "Alteración del hábitat por disminución del caudal". Este informe no cumplió ese objetivo. En lugar de analizar los efectos de la operación normal de la central (hábitat con caudal disminuido), el informe documentó los efectos de un evento de caudal alto y concluye que, debido a estas condiciones excepcionales, no se pudo hacer un análisis comparable. En esencia, el PSA no evaluó el impacto, se limitó a describir un estado post-aluvión y pospuso cualquier conclusión real para una futura campaña en primavera, eludiendo su responsabilidad de informar sobre los efectos de la operación del proyecto.

#### **6.2.3.4. Impacto: Posible pérdida de ejemplares debido al ingreso de fauna íctica a las obras de aducción.**

Durante la etapa de operación, se identificó un impacto que dio origen al EIA, asociado a la acción de captación de agua, la posible pérdida de ejemplares por el canal de aducción. Para su valoración, la matriz le asignó los siguientes atributos: Carácter: Negativo (-1); Probabilidad: Baja (0,2); Extensión: Puntual (0); Intensidad: Alta (2); Duración: Permanente (2); Reversibilidad: Parcialmente reversible (1) y Tipo: Acumulativo (1). El Valor Ambiental para el componente Hidrología fue calificado como "Alto" (6) justificando este valor debido a que en la bocatoma sólo se encontraban peces asilvestrados. Al aplicar la fórmula de la metodología, el impacto obtuvo una ponderación final de -7.2, que lo clasificó como Impacto "Bajo".

Para este impacto, la medida de mitigación propuesta fue la que se puede observar en la Tabla 6.36.

**Tabla 6.36.** Medida de manejo propuesta para impacto "Posible pérdida de ejemplares debido al ingreso de fauna íctica a las obras de aducción".

<b>Tipo</b>	<b>Medida de manejo</b>
Mitigación	Barrera de sonido en entrada de la bocatoma. Se instalará un tubo de plástico con cadenas colgando, de modo que se muevan con el agua y al chocar produzcan ruido y este sonido aleje a los peces.

*Fuente: RCA de PCH El Pinar, 2013.*

El plan de seguimiento propuesto para este impacto fue que a la entrada de la bocatoma se instalará un tubo de plástico con cadenas colgando, de modo que se muevan con el agua y al chocar produzcan ruido y este sonido aleje a los peces. Se estableció una revisión semanal con registro fotográfico de la aducción o cámara de carga, el cual sería permanente durante la etapa de operación y con una entrega de informes trimestral a SMA y SERNAPESCA.

#### **Análisis crítico y discusión del plan de manejo**

Una perspectiva crítica para la valoración que se le entregó a este impacto es que, a pesar de ser un impacto que dio origen al EIA (impacto significativo), se redujo la probabilidad del impacto basándose en la promesa de una medida de mitigación, cuya efectividad y diseño final aún. Como resultado, un impacto que por definición legal era significativo, termina con una valoración de "Bajo".

Desde un análisis crítico, la medida de mitigación propuesta, una barrera de sonido consistente en un tubo de plástico con cadenas, es conceptual y tecnológicamente inadecuada. La literatura especializada diferencia entre las barreras físicas (ej. rejillas de exclusión), consideradas las más efectivas, y las barreras conductuales (ej. de sonido), cuya eficacia es incierta y muy variable según la especie y las condiciones del flujo (Coutant, 2001; EPRI, 2001). Proponer una cortina de cadenas como defensa principal para proteger especies en peligro durante 40 años es una solución débil y sin respaldo técnico. Esta medida inadecuada es una consecuencia directa de la deficiente evaluación de impacto; al haber valorado el impacto como "Bajo", se permitió al titular presentar una solución sin fundamento científico, en lugar de exigir un sistema de ingeniería de eficacia probada.

### Resultados del Programa de Seguimiento

No se registra información para este impacto, a pesar de que ya se encuentra en operación el proyecto. Cabe la posibilidad de que aún no se hayan subido los informes. Sin embargo, se había definido que los documentos se entregarían trimestralmente. Además, las pruebas comenzaron a finales del 2021, en enero de 2022 se terminaron los trámites finales para entrar a la fase de operación. No hay información oficial sobre el inicio de operaciones, pero en el "Estudio de control de tensión y requerimientos de potencia reactiva" (CEN, 2024), se encontraron datos sobre que ese año habría estado operando la central, como los informes para el plan de seguimiento del impacto mencionado anteriormente, corresponden al segundo semestre del año 2024, se asume que ese año empezaron. Ya ha pasado más de un año desde que entró en operación, de todas formas, aún no se entrega ningún informe para el seguimiento de este impacto, que fue clasificado como significativo. Aquí se ve una falta sobre lo establecido en la RCA.

#### **6.2.3.5. Impacto O-FN-: Posible efecto barrera para el desplazamiento de peces por presencia de la bocatoma.**

Durante la etapa de operación, otro impacto que se identificó, estuvo asociado a la acción de captación de agua, ocasionando el posible efecto barrera para el desplazamiento de peces por presencia de la bocatoma. Para su valoración, se justificó que la bocatoma no tenía efecto barrera por su altura de solo 3,5 m, potencialmente remontable para las truchas. La matriz le asignó los siguientes atributos, Carácter: Negativo (-1); Probabilidad: Baja (0,2), este valor se le dio basado en que la altura es de sólo 3,5 m, considerado solo para las truchas, que se encuentran en la zona de captación (bocatoma), y que existe una barrera natural de 6 m de altura 800 metros arriba de la bocatoma; Extensión: Puntual (0); Intensidad: Baja (0); Duración: Permanente (2); Reversibilidad: Reversible (0), justificado con que la barrera es un muro tipo vertedero y permite el paso del caudal sobre esta misma y Tipo: Acumulativo (1). El Valor Ambiental para el componente Hidrología fue calificado como "Alto" (6), debido a que en la bocatoma solo se encuentran peces asilvestrados. Al aplicar la fórmula de la metodología, el impacto obtuvo una ponderación final de -3.6, lo que lo clasifica como un Impacto "Bajo".

En cuanto a las medidas de manejo, se justifico que no se contemplaron debido a que la bocatoma no genera efecto barrera puesto que solo hay peces asilvestrados migratorios y estos pueden remontar a esta obra. Además, la posible medida de mitigación sería repoblamiento de las especies asilvestradas migratorias por sobre la bocatoma lo cual no sería de mucha importancia puesto que existe una barrera natural de 6 m de altura a 800 m aguas hacia arriba de esta obra.

#### Análisis crítico y discusión del plan de manejo

La valoración de este impacto se basa en supuestos ecológicos cuestionables. El argumento para minimizarlo es que la barrera de 3,5 m es remontable para las truchas, lo cual es problemático por dos razones. Primero, la capacidad de paso de los peces es altamente específica de cada especie, y no hay evidencia que respalde que las especies nativas, no salmonídeas, puedan superar un obstáculo de esa magnitud (Pavlov, 1989). Segundo, el análisis se centra exclusivamente en las truchas e ignora a la fauna nativa en peligro.

Asimismo, el argumento de que en la bocatoma "sólo se encuentran peces asilvestrados" para justificar un Valor Ambiental menor, representa una visión fragmentada del ecosistema. Los ríos son sistemas conectados, a menudo conceptualizados como metapoblaciones, donde los tramos de aguas abajo sirven como fuente de individuos para recolonizar hábitats aguas arriba tras perturbaciones naturales (Fausch et al., 2002). Al instalar una barrera, no solo se afecta a los peces presentes en ese punto, sino que se fragmenta el ecosistema y se impide este proceso de recolonización natural, aislando permanentemente el tramo superior.

Debido a estos supuestos erróneos, se concluyó que no se requerían medidas de manejo, evadiendo la implementación de estructuras de paso para la fauna nativa. El titular propone y descarta la medida de repoblar con especies asilvestradas, cuando la mitigación real debió enfocarse en la pérdida de conectividad. El impacto más grave de la bocatoma es a largo plazo: impide durante toda la vida útil del proyecto la posibilidad de que las poblaciones nativas de aguas abajo puedan recolonizar el hábitat aguas arriba, convirtiendo una posible ausencia temporal en una extirpación local permanente (Morita & Yamamoto, 2002).

Un análisis dato importante de mencionar, es que en el proceso de evaluación, Adenda 1, la autoridad le recordó al titular su obligación legal, establecida en el Artículo 168 de la Ley General de Pesca y Acuicultura, de "asegurar el libre tránsito de peces". Se le solicitó entonces demostrar el cumplimiento de esta norma o proponer obras necesarias para ello. La respuesta del titular fue la propuesta de un plan de seguimiento de carácter reactivo, que consistía en un monitoreo de tres años para observar si aparecían especies nativas en la bocatoma. La metodología propuesta era la instalación de espineles sobre el muro y se activarían medidas de contingencia si se detectaba presencia de especies nativas y un cambio desfavorable. Finalmente, esto no quedó en la RCA, por lo tanto no se llevó a cabo.

#### **Determinación de la coherencia entre impactos ambientales previstos, las medidas de manejo y su verificación en el PSA**

A continuación, se presenta la evaluación de la coherencia entre los impactos ambientales previstos y sus medidas de manejo, según lo establecido en la RCA del proyecto, y la verificación de estos a través de su PSA. Para realizar este análisis de manera sistemática, se abordará cada impacto de forma individual. La evaluación se estructura en dos partes, primero se presenta una tabla que expone cada medida de manejo, su compromiso de seguimiento, la verificación de su implementación a partir de los informes del PSA y el hallazgo principal reportado. Posteriormente, a cada tabla le sigue un párrafo de discusión que integra la información, analiza

las implicancias de los hallazgos y concluye de manera argumentada sobre el nivel de coherencia y la efectividad real del plan de manejo para dicho impacto.

### **Análisis del Impacto Deterioro temporal de hábitat para flora y fauna acuática por la construcción de bocatoma y restitución.**

**Tabla 6.37.** Conclusión de coherencia para impacto en el deterioro temporal de hábitat de flora y fauna acuática por construcción de obras.

<b>Medidas de manejo</b>	<b>Compromiso de Seguimiento</b>	<b>Hallazgos del seguimiento</b>	<b>Efectividad</b>
Mínimo período de construcción en el cauce	Verificar la cantidad de días de trabajo en las obras mediante registro en bitácora.	Se verificó la duración de las obras. La construcción de la bocatoma duró 78 días y la de la zona de restitución 55 días.	Verificable. Sin embargo, su efectividad para mitigar el impacto es indeterminable y cuestionable, ya que los otros seguimientos (calidad del agua) demostraron un deterioro ecológico durante este período.
Mantenición de calidad de agua y trabajos en seco	Monitoreo mensual de calidad del agua y de la biota acuática durante la construcción	El seguimiento se realizó. Los resultados mostraron un aumento de nutrientes, DQO y sólidos disueltos, y un deterioro en el Índice Biótico de Familias (Ch-IBF) a una calidad "Mala".	Ineficaz. El seguimiento demostró que la medida no evitó el deterioro de la calidad del agua y las comunidades biológicas durante las obras.
Rescate de especies	Cuantificar las especies rescatadas y emitir un informe con registro fotográfico.	Se ejecutaron dos rescates. El informe documenta la relocalización de especies nativas junto con especies exóticas invasoras (truchas). El éxito se midió solo por la supervivencia inmediata.	Contraproducente. La relocalización de especies invasoras es una mala práctica ecológica. La efectividad real sobre las poblaciones nativas es desconocida al no haber seguimiento a largo plazo.
Restauración de riberas intervenidas	Verificar la ejecución mediante registro fotográfico. Verificar el prendimiento del 65% de la reforestación mediante informe de especialista.	No se encontraron informes en la plataforma SNIFA que documenten la ejecución de estas obras.	No verificable. La falta de seguimiento impide conocer si la medida fue implementada.
Participación en la mesa de trabajo	Verificar la realización de reuniones y acuerdos mediante actas semestrales	No se encontraron actas o informes en la plataforma SNIFA que documenten la participación en esta mesa.	No verificable. La falta de seguimiento impide conocer si la medida se implementó.

Fuente: Elaboración propia.

El plan de manejo para el impacto de construcción presenta una incoherencia profunda entre sus compromisos y su verificación. Como evidencia la tabla, gran parte de las medidas (restauración, mesa de trabajo) carecen de cualquier informe de seguimiento, lo que hace imposible verificar su implementación y efectividad. Para las medidas que sí fueron documentadas, los resultados son problemáticos. Si bien se verificó que las obras en el cauce se acotaron a un período definido, su efectividad como medida de mitigación queda en entredicho, pues el seguimiento de la calidad del agua demostró un claro deterioro ecológico precisamente durante esa fase. Por su parte, la medida de rescate de fauna fue contraproducente al relocalizar especies invasoras. En consecuencia, la trazabilidad del plan se rompe. El PSA, en los pocos casos donde existe, o bien documenta la ineficacia de las acciones o revela una ejecución deficiente, dejando la gestión de este impacto sin un respaldo verificable de su utilidad.

### 6.2.3.6. Análisis del Impacto Deterioro de hábitat para flora y fauna acuática disminución del caudal.

**Tabla 6.38.** Conclusión de coherencia para impacto en el deterioro temporal de hábitat de flora y fauna acuática por disminución del caudal.

Medidas de manejo	Compromiso de Seguimiento	Hallazgos del seguimiento	Efectividad
Programa de monitoreo semestral de calidad de agua y biota acuática.	Comparar los resultados con la línea de base para analizar la evolución de las variables durante 4 años de operación	Se entregaron dos informes (2024 y 2025). Los hallazgos documentaron la desaparición total de la fauna íctica nativa y un drástico empobrecimiento de la comunidad de macroinvertebrados. El titular atribuyó los resultados a un aluvión y no a la operación de la central.	No aplicable como medida de mitigación. El seguimiento documentó un severo impacto ecológico negativo, probando la inefectividad del plan de manejo general para proteger el hábitat.

Fuente: Elaboración propia.

La gestión de este impacto, el más significativo de la fase de operación, revela una falla conceptual y una incoherencia. La medida de manejo propuesta no fue una acción de mitigación, sino simplemente un programa de monitoreo, lo que equivale a no mitigar el impacto en absoluto. El programa de seguimiento fue coherente en su capacidad para documentar un resultado ecológico negativo, el colapso de las comunidades biológicas en el tramo afectado, con la desaparición de los peces nativos y la degradación de los macroinvertebrados. Sin embargo, la coherencia se quiebra por completo en la interpretación de los hallazgos. El titular niega la causalidad del proyecto, atribuyendo el deterioro a factores externos y manipulando los datos de la línea de base para minimizar las diferencias. Por lo tanto, el PSA se transformó en una herramienta que, en lugar de verificar la protección del ecosistema, documentó su degradación mientras esta era justificada por el proponente, demostrando una inefectividad total del plan para cumplir su objetivo ambiental.

## **7. Análisis Comparativo de los casos de estudio bajo la Guía de Cambio Climático del SEA “Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA”.**

La evaluación ambiental en Chile ha evolucionado para incorporar los desafíos del cambio climático. La publicación de la Ley N° 21.455, Ley Marco de Cambio Climático en 2022, y la consecuente modificación del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental RSEIA a través del Decreto Supremo N°30 de 2023, han establecido un nuevo estándar técnico. Este marco normativo exige que la evaluación de proyectos considere explícitamente los efectos adversos del cambio climático en los componentes ambientales, la resiliencia de los ecosistemas y la gestión de riesgos futuros. La “Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA” (2024) establece el procedimiento para aplicar estos mandatos a través de una metodología estructurada en ocho pasos, la cual se aplicará a continuación de manera retrospectiva a las centrales Itata y El Pinar para analizar cómo su evaluación habría cambiado bajo este nuevo planteamiento.

### **Paso 1: Descripción del proyecto y factores generadores de impactos**

El primer paso de la guía exige analizar los factores generadores de impactos del proyecto, poniendo especial atención en la localización y la temporalidad en base al cambio climático.

En cuanto a la localización, la guía recomienda el uso de herramientas como la plataforma ARClím para diagnosticar la condición de riesgo climático de la zona. Dado que ambas centrales se emplazan en la misma zona geográfica y sistema hidrológico de la Región de Ñuble, las proyecciones climáticas son similares. Se analizó esta zona en ARClím, que revela una condición de vulnerabilidad hídrica extrema. Los datos, basados en el Balance Hídrico Nacional de la DGA, proyectan el máximo incremento posible en la amenaza de sequía hidrológica severa y muy severa, situando a la zona entre las más afectadas de Chile (percentil 96), y una crítica reducción de los caudales de estiaje (Q95) a solo un 54.1% de sus valores históricos. Este diagnóstico general se ve respaldado y cuantificado por el análisis detallado de las proyecciones para el período 2035-2065 (escenario RCP8.5), que anticipan un nuevo régimen hídrico para el río, durante el verano (dic-feb), se espera una disminución de la precipitación de hasta un 28.1% y un aumento de la temperatura máxima de +1.84°C, mientras que el período de recarga invernal (jun-ago) también se verá afectado, con una reducción de la precipitación de un 9.6% y un aumento de la temperatura mínima de +1.02°C.

Respecto a la temporalidad, la guía exige considerar la interacción entre las obras permanentes del proyecto y las tendencias climáticas a largo plazo. La central Itata tiene vida útil indefinida y el Pinar de 40 años con posibilidad de extenderse por 40 más. Bajo el análisis de la guía, esta permanencia indefinida generaría una sinergia negativa de gran magnitud, ya que las estructuras de las centrales derivarán el caudal de un río que, según las proyecciones, será progresivamente más seco y cálido. La evaluación, al no ponderar este impacto permanente frente a un escenario climático dinámico y desfavorable, subestimó la verdadera magnitud y duración del efecto sobre el ecosistema acuático del río Itata y Cholguán.

La guía exige analizar si el proyecto extraerá recursos naturales susceptibles de ser afectados por el cambio climático. Las centrales se basan en la extracción del recurso hídrico. Como se demostró en el análisis de localización, este recurso es el más amenazado por el cambio climático en la zona. Por lo tanto, bajo el nuevo enfoque, los EIAs habrían tenido que reconocer desde el inicio que la actividad principal de los proyectos consisten en la extracción de un recurso cuya disponibilidad futura está severamente comprometida, lo que habría elevado la significancia de los impactos por la afectación a un recurso cada vez más escaso. Asimismo, exige cuantificar

obligatoriamente las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y Forzantes Climáticos de Vida Corta (SLCF) para todas las fases. Esto habría requerido que los titulares estimaran y reportaran las emisiones generadas durante la fase de construcción (uso de maquinaria, transporte, fabricación de hormigón, etc.), antecedente que no fue un foco central en ninguna evaluación.

Finalmente, la guía recalca la relevancia de proyectos cuyo objetivo depende de componentes ambientales vulnerables. Las centrales Itata y el Pinar encajan en esta categoría. Su objetivo principal, la generación de energía hidroeléctrica, depende de la disponibilidad de caudal en el río Itata y Cholguán. Por lo tanto, la aplicación de la guía, habría puesto en duda la viabilidad y sostenibilidad del objetivo del proyecto frente a un futuro de escasez hídrica, convirtiendo el análisis de riesgo climático en un pilar fundamental de la evaluación.

#### Paso 2: Descripción de los objetos de protección ambiental

Este paso obliga a describir los ecosistemas afectados, no como una imagen del pasado, sino incluyendo la posible evolución a futuro y las singularidades ambientales. Al aplicar este criterio, las líneas de base de los ríos Itata y Cholguán habrían tenido que ser redefinidas. En lugar de presentarse como sistemas estables, ambos habrían sido caracterizados como ecosistemas acuáticos en una trayectoria de progresivo estrés hídrico, de acuerdo a las proyecciones climáticas identificadas en el paso anterior.

Dentro de este contexto de vulnerabilidad creciente, se habría dado un énfasis a sus singularidades. Ambos proyectos comparten la singularidad de emplazarse en ríos con una comunidad de peces nativos de alto valor de conservación, incluyendo especies en Peligro. Adicionalmente, el proyecto El Pinar se ubica dentro de la Reserva de la Biosfera "Corredor Biológico Nevados de Chillán - Laguna del Laja", una designación de la UNESCO que subraya la relevancia internacional del área. Por lo tanto, la aplicación de este paso habría establecido desde el inicio que ambas centrales se proyectaban sobre ecosistemas de alta sensibilidad, cuya condición futura ya se encontraba comprometida.

#### Paso 3, 4, 5 y 6: Identificación, Predicción y Evaluación de Impactos

Estos pasos se centran en redefinir la naturaleza y significancia de los impactos a través del concepto de sinergia negativa, donde los efectos del proyecto y del clima se amplifican mutuamente. Aplicando este principio, el impacto principal de ambas centrales ya no sería una simple "disminución de caudal", sino un agravamiento de las condiciones de sequía y una aceleración de la pérdida de hábitat. Al predecir y evaluar la significancia de este impacto sinérgico, la calificación para la fauna íctica en ambos proyectos se habría elevado a "crítica". Se habría anticipado con mayor certeza el colapso de las poblaciones nativas, al superponer el estrés de un tramo de bypass sobre un ecosistema cuya resiliencia ya está comprometida por el clima. Adicionalmente, se habría identificado un impacto significativo no considerado en las evaluaciones originales, la pérdida de resiliencia climática del ecosistema, un criterio explícito en la nueva normativa que habría requerido una línea de base detallada que modelara este efecto.

#### Paso 7: Elaboración de medidas y planes de seguimiento

El séptimo paso de la guía se enfoca en el diseño de las medidas de manejo, introduciendo como concepto la adaptación. Este enfoque exige que las medidas no sean fijas, sino que formen parte de un ciclo de gestión adaptativa, donde el plan de seguimiento incluye umbrales que, al ser

superados, activen acciones correctivas predefinidas. Este principio habría transformado por completo el deficiente plan de manejo de las centrales.

Para la Central Itata, el seguimiento que demostró la total ineficacia de la barrera de cadenas y el 0% de recaptura del rescate de peces habría activado acciones correctivas obligatorias, como el reemplazo de la tecnología o la ejecución de medidas de compensación, en lugar de solo documentar el fracaso por años. Para El Pinar, el seguimiento sobre alteración del hábitat de flora y fauna acuática demostró que este fue afectado negativamente, por lo tanto, se habría implementado medidas correctivas o compensativas. La guía, por tanto, habría transformado los planes de seguimiento, que básicamente fueron un reporte, en un verdadero sistema de gestión con mecanismos para corregir y adaptarse a la realidad del ecosistema.

## **Discusión**

La aplicación sistemática de la "Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA" a los casos de las centrales Itata y El Pinar permite concluir que la viabilidad de ambos proyectos, tal como fueron diseñados y aprobados, habría sido severamente cuestionada. El análisis, al ir más allá de una evaluación retrospectiva, revela una cascada de riesgos y vulnerabilidades que las evaluaciones originales omitieron o subestimaron.

El diagnóstico del Paso 1 habría demostrado que ambos proyectos se emplazan en una zona de alto riesgo de sequía hidrológica, con proyecciones que anticipan una reducción crítica de los caudales. Este hecho redefine la línea de base del Paso 2, que ya no sería un sistema estable, sino dos ecosistemas fluviales vulnerables con singularidades biológicas críticas, como las poblaciones de peces nativos en peligro, cuya supervivencia ya estaba comprometida. En el caso de El Pinar, esta vulnerabilidad se magnifica por su emplazamiento próximo a una Reserva de la Biosfera reconocida por la UNESCO. En consecuencia, la evaluación de impactos de los Pasos 3 al 6 habría identificado una sinergia negativa, calificando el impacto de la operación en ambos casos como crítico, al predecir que las centrales acelerarían el colapso de ecosistemas con una resiliencia climática ya disminuida.

Finalmente, el Paso 7 habría exigido un estándar de gestión ambiental adaptativo, invalidando las medidas ineficaces implementadas en ambos proyectos y forzando la inclusión de mecanismos de corrección obligatorios. Al ponderar el conjunto de estos hallazgos, es altamente probable que ambos proyectos hubiesen sido considerados insostenibles a largo plazo. La conclusión de la evaluación ambiental, bajo este nuevo estándar, podría haber resultado en la exigencia de un rediseño fundamental de los proyectos (con una capacidad de captación mucho menor y un régimen de caudal ecológico dinámico) o, incluso, en su inviabilidad ambiental, al no poder garantizar la protección de los objetos de protección de los ecosistemas de los ríos Itata y Cholguán en el futuro climático que se proyecta.

## **8. Conclusión**

La presente investigación, centrada en el análisis de la coherencia y efectividad de los Programas de Seguimiento Ambiental para las centrales hidroeléctricas Itata y El Pinar en la Región del Ñuble, ha permitido concluir que existe una profunda brecha entre los compromisos establecidos en la evaluación ambiental y la gestión ambiental ejecutada en la práctica. A través del estudio de ambos casos, se evidenció que los PSA no funcionaron como herramientas eficaces para verificar los impactos previstos sobre los ecosistemas acuáticos ni para asegurar la efectividad de las medidas de manejo, operando más bien como un requisito administrativo formal.

El análisis detallado reveló fallas recurrentes y estructurales en los planes de manejo. Las medidas de mitigación propuestas demostraron ser conceptualmente débiles o directamente ineficaces, como lo prueba el fracaso de la barrera para peces y el nulo éxito de recaptura en el plan de rescate y relocalización de la central Itata. Asimismo, el seguimiento implementado presentó deficiencias metodológicas críticas, como la manipulación de datos de línea base o la justificación de incumplimientos con argumentos contradictorios. En consecuencia, estos programas no solo fallaron en su objetivo, sino que además documentaron un progresivo deterioro de los componentes que se buscaba proteger, como el colapso de las comunidades de peces nativos, sin que se activaran mecanismos de gestión adaptativa para corregir los problemas detectados.

La aplicación retrospectiva de la "Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA" recalca la insuficiencia de las evaluaciones originales. Este nuevo marco técnico habría obligado a reconocer desde un inicio la vulnerabilidad hídrica extrema de la cuenca y a evaluar los impactos como sinérgicos y críticos, al considerar la operación de las centrales en un escenario de sequía proyectada. Probablemente, bajo estos criterios actuales, la viabilidad de los proyectos habría sido cuestionada, exigiendo medidas de manejo mucho más robustas o incluso un rediseño fundamental para ser considerados sostenibles a largo plazo.

Finalmente, este estudio revela la necesidad urgente de fortalecer la fiscalización y de transitar desde un enfoque de cumplimiento formal hacia una gestión ambiental adaptativa, donde los Programas de Seguimiento Ambiental se conviertan en verdaderas herramientas de control y corrección que garanticen la protección de los valiosos y frágiles ecosistemas acuáticos de la Región del Ñuble y del país.

## 9. Referencias

Anderson, D., Moggridge, H., Warren, P. and Shucksmith, J. (2015). The impacts of "run-of-river" hydropower on the physical and ecological condition of rivers. *Water and Environment Journal*, 29(2), 268-276

Ansar, A., Flyvberg, B., Budzier, A., and Lunn, D. (2014) Should we build more large dams? The actual costs of hydropower megaproject development. *Energy Policy*, 69, 43-66

Arismendi, I., Soto, D., Penaluna, B., Jara, C., Leal, C., & León-Muñoz, J. (2009). Aquaculture, non-native salmonid invasions and associated impacts in freshwater ecosystems of Chile. *Reviews in Aquaculture*, 1(3-4), 143-165.

Arts, J., Faith-Ell, C., & Runhaar, H. (2015). *Strengthening EIA follow-up: a call for a stronger and more structural approach*. *Impact Assessment and Programmatic Planning*, 33(2), 85-89.

Barbour, M. T., et al. (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers*. U.S. Environmental Protection Agency.

Bunn, S. E., & Arthington, A. H. (2002). Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management*, 30(4), 492-507.

Comisión Nacional de Energía. (2021). Anuario estadístico de energía. <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2022/07/AnuarioEstadisticoEnergia2021.pdf>

Comisión Nacional de Energía. (2024). Anuario estadístico de energía 2024. <https://www.coordinador.cl/wp-content/uploads/2025/06/20250602-UCRI-Reporte-Cuenta-Publica-2024.pdf>

Coutant, C. C. (2001). Fish Behavior in Relation to Passage through Hydropower Turbines: A Review. U.S. Department of Energy.

Coutiño, L. (2021). La energía hidroeléctrica en el contexto del cambio climático. Gobierno de México.

Couto, T. B., & Olden, J. D. (2018). Global proliferation of small hydropower plants - science and policy. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 16(2), 91-100.

Department of Fisheries and Oceans (DFO). (1995). *Freshwater Intake End-of-Pipe Fish Screen Guideline*. Communications Directorate, Department of Fisheries and Oceans, Ottawa, Ontario. DFO/5080.

Dias, A. M. d. S., Fonseca, A., & Paglia, A. P. (2019). *Technical quality of fauna monitoring programs in the environmental impact assessments of large mining projects in southeastern Brazil*.

Didham, R. K., Tylianakis, J. M., Hutchison, M. A., Ewers, R. M., & Gemmill, N. J. (2007). Interactive effects of habitat modification and species invasion on native species decline. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(9), 489-496.

Egré, D., & Milewski, J. C. (2002). The diversity of hydropower projects. *Energy Policy*, 30(14), 1225-1230.

EPRI (Electric Power Research Institute). (2001). Evaluation of the Effectiveness of Behavioral Fish Protection Systems. EPRI Report 1005331.

Fagan, W. F., Meir, E., Prendergast, J., Folarin, A., & Karieva, P. (2002). Characterizing population vulnerability for 758 species. *Ecology Letters*, 5(2), 111-118.

Fausch, K. D., Torgersen, C. E., Baxter, C. V., & Li, H. W. (2002). Landscapes to riverscapes: bridging the gap between research and conservation of stream fishes. *BioScience*, 52(6), 483-498.

Fischer, J. R., & Quist, M. C. (2014). A review of fish translocation programs in the United States. *Fisheries*, 39(8), 353-362.

García, F., & Miranda, V. (2014). Eutrofización, una amenaza para el recurso hídrico. En *Diagnóstico y problemática ambiental del agua*. IIEc-UNAM.

Gibeau, P., Connors, B. M., & Palen, W. J. (2017). Run-of-River hydropower and salmonids: potential effects and perspective on future research. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 74(7), 1135-1149.

Gobierno Regional de Ñuble. (2020). *Estrategia Regional de Desarrollo de la Región de Ñuble 2020-2028*. Gobierno Regional de Ñuble.

Gómez, C. R. (2017). *Construction of a Chilean energy matrix: Portraying energy source substitution*. *Energy Policy*, 108, 485-494.

Habit, E., García, A., Díaz, G., Arriagada, P., Link, O., Parra, O., & Thoms, M. (2018). River science and management issues in Chile: Hydropower development and native fish communities. *River Research and Applications*, 35(5), 489-499.

Habit, E., Piedra, P., Ruzzante, D. E., Walde, S., Belk, M. C., Cussac, V., & Adams, N. (2010). Changes in the distribution of native fishes in response to introduced salmonids and dispersed reservoirs in southern Chile rivers. *Global Ecology and Biogeography*, 19(5), 683-697.

He, F., et al. (2024). Hydropower impacts on riverine biodiversity. *Nature Reviews Earth & Environment*.

Hobbs, R. J., Arico, S., Aronson, J., Baron, J. S., Bridgewater, P., Cramer, V. A., ... & Zobel, M. (2006).

Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. *Global ecology and biogeography*, 15(1), 1-7.

International Energy Agency. (2025). Electricity 2025, IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/electricity-2025>.

International Hydropower Association. (2021). *Hydropower Status Report*.

Isagirre, A., et al. (2013). *Analysis of Reservoir-Based Hydroelectric versus Run-of-River Hydroelectric Energy Production*. Land Resources and Environmental Sciences, Montana State University.

Jones, D. (2021). Global Electricity Review.

Kelly, S. (2019). Megawatts mask impacts: Small hydropower and knowledge politics in the Puelwillimapu, Southern Chile. *Energy Research & Social Science*, 54, 224-235.

Kemp, P., Sear, D., Collins, A., Naden, P., & Jones, I. (2011). The impacts of fine sediment on riverine fish. *Hydrological Processes*, 25(11), 1800-1821.

Kilama, O. (2013). Review of small hydropower technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 515-520

Kondolf, G. M., & Micheli, E. R. (1995). *Evaluating stream restoration projects*. Environmental Management, 19(1), 1-15

Kubečka, J., Matěna, J., & Hartvich, P. (1997). Adverse ecological effects of small hydropower stations in the Czech Republic: 1. Bypass plants. *Regulated Rivers: Research & Management*, 13(2), 101-113.

Legg, C. J., & Nagy, L. (2006). Why most conservation monitoring is, but need not be, a waste of time. *Journal of Environmental Management*, 78(2), 194-199.

Lindenmayer, D. B., & Likens, G. E. (2009). Adaptive monitoring: a new paradigm for long-term research and monitoring. *Trends in ecology & evolution*, 24(9), 482-486.

Lugg, A. (2018). *Impacts from the Construction Phase of Hydropower Projects*. KTH, School of Architecture and the Built Environment.

- Maavara, T., et al. (2020). River dam impacts on biogeochemical cycling. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1, 103-116.
- McKenney, B. A., & Kiesecker, J. M. (2010). Policy development for biodiversity offsets: a review of offset frameworks. *Environmental management*, 45(1), 165-176.
- McManamay, R. A., Parish, E. S., DeRolph, C. R., Witt, A. M., Graf, W. L., & Burtner, A. (2020). Evidence-based indicator approach to guide preliminary environmental impact assessments of hydropower development. *Journal of Environmental Management*, 265, 110489.
- McManamay, R., Samu, N., Kao, S., Bevelhimer, M., and Hetrick, S. (2014). A Multi-scale Spatial Approach to Address Environmental Effects of Small Hydropower Development. *Environmental Management*, 55(1), 217-243
- Melville, B. W., & Coleman, S. E. (2000). *Bridge Scour*. Water Resources Publication.
- Ministerio de Energía. (2015). Base para planificación territorial en el desarrollo hidroeléctrico futuro.  
[https://www.minenergia.cl/archivos\\_bajar/Estudios/informe\\_final\\_primera\\_etapa\\_estudio\\_cuenca\\_s.pdf](https://www.minenergia.cl/archivos_bajar/Estudios/informe_final_primera_etapa_estudio_cuenca_s.pdf)
- Moore, D., Dore, J., & Gyawali, D. (2010). The World Commission on Dams + 10: Revisiting the Large Dam Controversy. *Water Alternatives*, 3.
- Moreira-Muñoz, A., & Troncoso, J. (2014). Representatividad biogeográfica de las Reservas de la Biosfera de Chile. *Sonderbände des Instituts für Interdisziplinäre Gebirgsforschung*, 1, 23-61.
- Morita, K., & Yamamoto, S. (2002). Effects of habitat fragmentation by damming on the persistence of stream-dwelling charr populations. *Conservation Biology*, 16(5), 1318-1323.
- Morrison-Saunders, A., Arts, J., Bond, A., Pope, J., & Retief, F. (2021). Reflecting on, and revising, international best practice principles for EIA follow-up. *Environmental Impact Assessment Review*, 89, 106596.
- Muñoz Sougarret, J. (2022). La Central Hidroeléctrica De Pilmaiquén: Las Tensiones Entre El Diseño Institucional Y Su Implementación (1935-1951). *Revista Historia*, 53(1), 192.
- Nasirov, S., & Silva, C. (2014). *Diversification of Chilean energy matrix: Recent developments and challenges*. International Association for Energy Economics, 27-31.
- Nye, D. E. (1990). *Electrifying America: Social Meanings of a New Technology, 1880-1940*. MIT Press.
- Pavlov, D. S. (1989). Structures assisting the migration of non-salmonid fish: USSR. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Pess, G. R., Quinn, T. P., Gephard, S. R., & Saunders, R. (2014). Anadromous salmonid reintroductions: general planning principles and a review of recent programs. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 24(1), 161-193.

- Poff, N. L., Allan, J. D., Bain, M. B., Karr, J. R., Prestegard, K. L., Richter, B. D., ... & Stromberg, J. C. (1997). The natural flow regime: A paradigm for river conservation and restoration. *BioScience*, 47(11), 769-784.
- Pollitt, M.G. (2004) Electricity reform in Chile: Lessons for developing countries. *J. Netw. Ind.*, 5, 221-262.
- Røed, L. (2022). Powering up: The long-run effects of electrification on local economic development. *Journal of Development Economics*, 159, 102941.
- Roni, P., Pess, G. R., Beechie, T. J., & Hanson, K. (2008). A review of stream habitat rehabilitation. *North American Journal of Fisheries Management*, 28(3), 889-912.
- Rosenberg, D. M., & Resh, V. H. (Eds.). (1993). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall.
- Sánchez, L. E., & Gallardo, A. L. C. F. (2005). On the successful implementation of mitigation measures. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 23(3), 182-190.
- Sanz Osorio, J. F. (coord.). (2016). *Energía hidroeléctrica* (2.<sup>a</sup> ed.). Prensas de la Universidad de Zaragoza, 13-22.
- Servicio de Evaluación Ambiental. (2021). *Guía para la descripción de centrales de generación de energía hidroeléctrica de potencia menor a 20 MW en el SEIA*. Santiago, Chile: Servicio de Evaluación Ambiental.
- Soto, D., Arismendi, I., González, J., Sanzana, J., Jara, C., & Habit, E. (2006). Southern Chile, trout and salmon country: invasion patterns and threats for native species. *Revista Chilena de Historia Natural*, 79(1), 97-117.
- Trussart, S., Messier, D., Roquet, V., & Aki, S. (2002). Hydropower projects: a review of most effective mitigation measures. *Energy Policy*, 30(14), 1251-1259.
- U.S. Department of Energy. (2017). *The History of Hydropower*. USGS.
- Valero, E. (2012). Characterization of the Water Quality Status on a Stretch of River Lézé around a Small Hydroelectric Power Station. *Water*, 4(4), 815-834.
- Vial & Vives. (2017). Servicios. <https://www.vyv-dsd.cl/nuestros-servicios/>
- Villablanca, L., Batalla, R. J., Piqué, G., & Iroumé, A. (2022). Hydrological effects of large dams in Chilean rivers. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 41, 101060.
- Viteri-Garcés, M. I., Chalen-Medina, J. A., & Cevallos-Revelo, Z. L. (2017). Determinación de bioindicadores y protocolos de la calidad de agua en el embalse de la Central Hidroeléctrica Baba. *Dominio De Las Ciencias*, 3(3), 628-646.
- World Commission on Dams. (2000). *Dams and Development: A New Framework for Decision-Making*. Earthscan Publications.

Zarfl, C., Lumsdon, A. E., Berlekamp, J., Tydecks, L., & Tockner, K. (2015). A global boom in hydropower dam construction. *Aquatic Sciences*, 77(1), 161-170.