



ESTUDIO TECNICO AMBIENTAL

PROPUESTA DE PLAN DE REPARACIÓN DE LOS EFECTOS DE RELEVANCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE OLMUÉ SOBRE EL ECOSISTEMA ACUÁTICO PELUMPÉN

Para:



Noviembre de 2023



ÍNDICE DE CONTENIDO

1	Introducción	4
2	Objetivo.....	5
3	Metodología	6
3.1	Revisión de literatura científica y técnica (marco conceptual del Plan)	6
3.2	Revisión de antecedentes territoriales/ambientales	6
4	Marco conceptual.....	7
4.1	Ecosistema y Servicios ecosistémicos.....	7
4.1.1	Clasificación de Servicios Ecosistémicos	9
4.1.2	Servicios ecosistémicos de un estero en general.....	12
4.1.3	Servicios ecosistémicos afectados en el estero Sin Nombre	13
4.1.3.1	Descripción de los efectos de relevancia identificados.....	13
4.1.3.2	Las condiciones que impactan en los SSEE del estero	14
4.1.3.3	SSEE que provee el estero y aquellos que están afectados	15
4.2	Reparación Ecológica.....	18
4.2.1	Definición de Reparación ecológica	18
4.2.2	Atributos de un Ecosistema reparado	18
4.2.3	Enfoques de Reparación ecológica	19
4.2.4	Ecosistema de referencia	20
4.2.5	Monitoreo y Evaluación	20
4.2.6	Planificación de la Reparación	21
4.2.7	El proceso de Reparación.....	21
5	Reparación de un estero	23
5.1	Descripción general del proceso de planificación de la Reparación.....	23
5.2	Evaluación de la situación del estero	24
5.2.1	Condición de referencia del ecosistema	24
5.2.1.1	Ecosistema de referencia	26
5.2.2	Valoración de la situación actual	30
5.2.2.1	La situación actual del estero Sin Nombre y del estero Pelumpén.....	31
5.2.3	Valoración de tendencias.....	32
5.2.3.1	Tendencias futuras en estero Sin Nombre	32
5.3	Estableciendo metas y objetivos	32
5.3.1	Objetivos de Reparación en el estero Sin Nombre	33
5.4	Medidas de Reparación fluvial	33
5.4.1	Ejemplos de medidas de Reparación fluvial	34
5.4.1.1	Proponiendo Medidas de Reparación para el estero Sin Nombre.....	38
5.5	Seguimiento de la calidad ambiental	46
5.5.1	Indicadores generales de la salud de ríos.....	47
5.5.1.1	Indicadores de calidad ambiental evaluados en el estero	48
5.5.2	Valores de referencia	48



5.5.2.1	Valores de referencia para el estero Sin Nombre	49
6	Conclusiones.....	52
7	Referencias.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 CICES V5.1 (Biótico)	10
Tabla N° 2 CICES V5.1 (Abiótico)	11
Tabla N° 3 Identificación de servicios ecosistémicos afectados	17
Tabla N° 4 Factores incidentes en la calidad del agua, estero Limache	28
Tabla N° 5 Tasas de vegetación presentes en el Estero Limache.....	28
Tabla N° 6 Flora ribereña y acuática, estero Limache	29
Tabla N° 7 Macroinvertebrados registrados en el estero Pelumpén	30
Tabla N° 8 Tipología de medidas de Reparación fluvial	36
Tabla N° 9 Impacto potencial en la calidad del agua de distintas medidas de Reparación	41
Tabla N° 10 Resumen histórico de parámetros de calidad evaluados en estero Limache.....	48
Tabla N° 11 Georreferencia de área de vigilancia, estero Limache	50
Tabla N° 12 Nivel de calidad ambiental para Área de Vigilancia LI-1: Estero Limache	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 El modelo de cascada de servicios ecosistémicos	8
Figura N° 2 Ejemplos de servicios ecosistémicos proporcionados por un ecosistema fluvial	13
Figura N° 3 Causas del deterioro de la salud fluvial y su vínculo con diferentes elementos del sistema fluvial ..	15
Figura N° 4 Modelo conceptual simplificado de la degradación y la Reparación de un ecosistema.	22
Figura N° 5 Pasos para desarrollar e implementar una estrategia de Reparación en ríos.....	24
Figura N° 6 Marco de pirámide de funciones de flujo	25
Figura N° 7 Cuenca del estero Limache y curso de agua antes de embalse El Aroma	27
Figura N° 8 Esquema de relación entre diferentes medidas para la Reparación de ríos y los elementos de un ecosistema fluvial.....	35
Figura N° 9 Diagrama de tratamiento PTAS Olmué	39
Figura N° 10 Procesos de escisión y ensanchamiento de cauces.....	42
Figura N° 11 Representación esquemática del efecto de dispositivos de mejora hábitat acuáticos A, azudes, B y C, deflectores	43
Figura N° 13 Zona de instalación de azudes en estero Sin Nombre.....	45
Figura N° 13 Ejemplos de indicadores de salud fluvial relevantes para diferentes elementos de un ecosistema fluvial.....	47
Figura N° 14 Plano de ubicación del área de vigilancia de calidad ambiental para el estero Limache	50

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Fotografía N° 1 Azud instalado en un río (referencial).....	44
---	----



1 Introducción

El presente informe corresponde al Estudio Técnico que sustenta la definición del Plan de Reparación de los efectos de relevancia de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) de Olmué sobre el ecosistema acuático Pelumpén, ubicado en la comuna de Olmué, provincia de Marga Marga, Región de Valparaíso.

La propuesta de Plan de Reparación surge para dar cumplimiento a lo establecido en la resolución de fecha 2 de febrero de 2023, dictada en causa Rol D N° 50-2020, del Segundo Tribunal Ambiental y que resuelve ordenar a la Municipalidad de Olmué: “3. Presentar un Plan de Reparación ante la SMA en los términos del artículo 43 de la LOSMA, que considere acciones destinadas a la reparación de los efectos de relevancia identificados en el Estudio Diagnóstico y en el Muestreo Complementario”.

El Plan de Reparación antes singularizado tiene por objeto *“lograr la reparación a mediano y largo plazo de los servicios ecosistémicos acuáticos determinados, a través del mejoramiento de la calidad de las aguas servidas tratadas que se descarga en estero Sin nombre identificado y en la calidad del agua del propio estero Sin Nombre y que es parte de la cuenca del estero Pelumpén.”*

Bajo este contexto, la propuesta metodológica de Plan ha determinado que la reparación al daño causado sea conceptualizada mediante directrices de Reparación ecológica, dado que el objeto de reparar corresponde a ecosistemas naturales afectados (la cuenca del estero Sin Nombre y que descarga en el estero Pelumpén).

El presente documento integra antecedentes científicos que respaldan el Plan de Reparación, brindando el marco conceptual en el cual se establecen las metodologías de búsqueda, recopilación y análisis de datos, complementado con información sobre el ecosistema afectados por la descarga de las aguas servidas de la PTAS de Olmué



2 Objetivo

El objetivo del presente Estudio Técnico Ambiental es avalar fundadamente la definición del Plan de Reparación presentado para la reparación a mediano y largo plazo de los servicios ecosistémicos acuáticos determinados en estero Sin nombre identificado y que es parte de la cuenca del estero Pelumpén, mediante una búsqueda, recopilación y análisis de información que sustenten el marco teórico del Plan bajo la conceptualización de la búsqueda de una Reparación ecológica, así como la base bibliográfica territorial/ambiental sobre los ecosistemas afectados y la metodología que sustenta la ejecución de campañas de terreno para levantamiento y análisis in situ de dichos ecosistemas.



3 Metodología

En este punto se realiza una descripción de las metodologías usadas que sustentan el Estudio Técnico Ambiental y que recopila la información de literatura científica y técnica e información ecológica de los sectores cercanos o propios del área afectada.

3.1 Revisión de literatura científica y técnica (marco conceptual del Plan)

En una primera instancia se realizó una revisión de literatura científico-técnica asociada a descripciones y aplicaciones prácticas de la Reparación ecológica, tanto a nivel nacional como internacional.

Se buscó información actualizada sobre el alcance y marco teórico de la Reparación ecológica a nivel mundial, donde se incorporen aproximaciones ecosistémicas

Se revisó literatura de la Sociedad de Reparación Ecológica (SER) y de la UICN (Unión Internacional para la Conservación).

Se analizaron publicaciones científicas de libre difusión sobre Reparación ecológica, en revistas indexadas y tesis de grado desarrolladas en ecosistemas cercanos o parecidos a los afectados.

Además, se incorporó en la literatura experiencias de Reparación ecológica o ambiental, especialmente en Chile Central asociadas a bosque o matorral esclerófilo.

3.2 Revisión de antecedentes territoriales/ambientales

En una segunda instancia, se revisaron documentos técnicos emitidos en el proceso que dio origen a la solicitud del Plan de Recuperación, como los estudios técnicos realizados y mencionados por el Tribunal Ambiental.



4 Marco conceptual

En la siguiente sección se presentan los conceptos y análisis desarrollados y que avalan la propuesta de Plan de Reparación ambiental sobre el ecosistema acuático del estero Sin Nombre y que llega al estero Pelumpén. Este marco conceptual tiene una estructura que parte desde conceptos globales y termina con conceptos aplicados al problema a resolver en cada uno de sus puntos.

4.1 Ecosistema y Servicios ecosistémicos

Un ecosistema se entiende como un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional^a. La definición anterior incluye a los seres humanos como una parte integral de los ecosistemas.

Los límites de un ecosistema varían enormemente en tamaño; pudiendo abarcar espacios tan mínimos como una oquedad temporal en el hueco de un árbol hasta una cuenca oceánica.

El consenso internacional postula que para disminuir las actuales tasas de degradación ambiental es necesario medir y visibilizar, no sólo la extensión y estado actual de los ecosistemas, sino también entender cómo su funcionamiento afecta el bienestar humano. Con este último propósito surge en la literatura de los últimos años, y en especial a partir de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA 2005), el concepto de servicios ecosistémicos (SSEE) MEA (2005).^b

MEA define los SSEE como “los beneficios que obtenemos los seres humanos directa o indirectamente de los ecosistemas”, y los clasifica en cuatro grupos: provisión (ej.: madera, agua), regulación (ej.: control de inundaciones y de pestes), culturales (ej.: espirituales, recreación) y soporte (ej.: formación de suelos, ciclo de nutrientes).

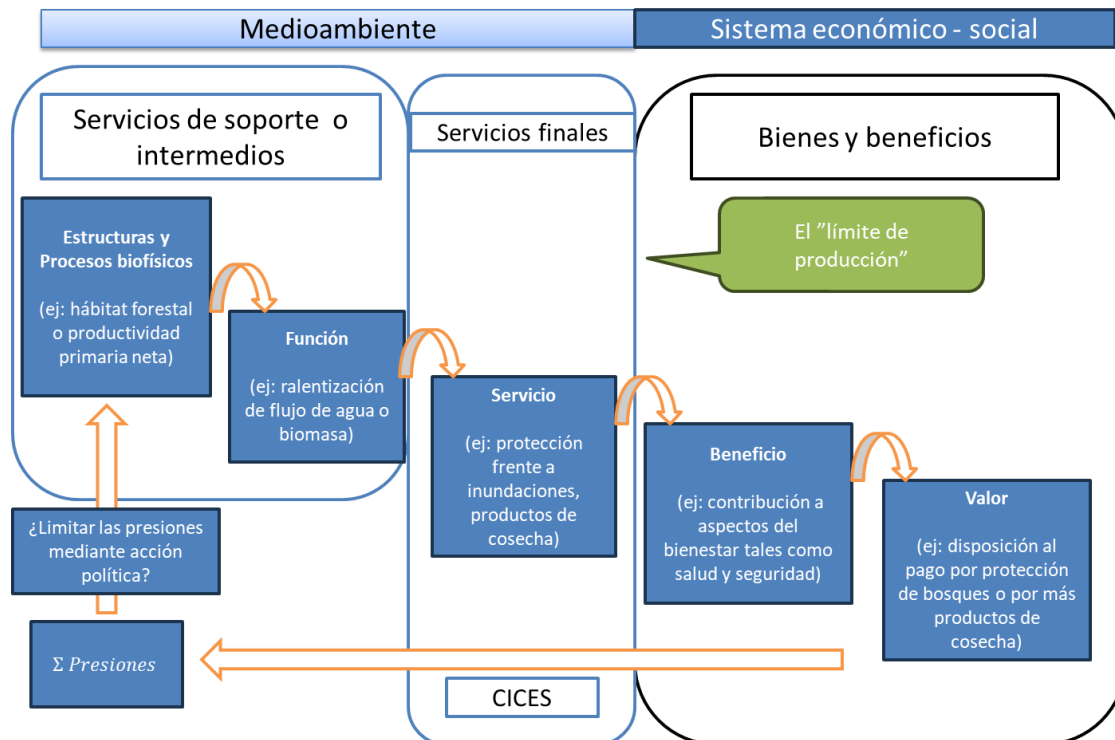
Para poder conectar las estructuras y procesos ecosistémicos con los elementos que afectan el bienestar humano, Haines-Young and Potschin (2016) definieron una forma de conexión lógica y sucinta entre las estructuras y procesos ecosistémicos con los elementos que afectan el bienestar humano. La forma elegida fue mediante una especie de “línea de producción” o Cascada de Servicios Ecosistémicos (ver Figura N° 1). Su propósito es mostrar que se requiere de estructuras funcionales ecosistémicas para la generación de servicios ecosistémicos y de los consiguientes beneficios asociados a ellos. Luego, este esquema revela que para obtener un flujo continuo de SSEE se requiere proteger y conservar los ecosistemas y la biodiversidad que les dan sustento.

^a Convención sobre la Diversidad Biológica, (1992) Artículo 2

^b Al respecto los SSEE serán clasificados de acuerdo con las indicaciones de CICES (*Common International Classification of Ecosystem Services*).



Figura N° 1
El modelo de cascada de servicios ecosistémicos



Fuente: Haines-Young and Potschin (2016).

Como se puede visualizar de la Figura N°1 la cascada de servicios ecosistémicos está dividida en cinco elementos cuya definición es la siguiente:

Estructura y procesos biofísicos: La estructura se refiere a la “arquitectura biofísica de un ecosistema” (TEEB 2010a), mientras que un proceso se entiende como “cualquier cambio o reacción que sucede en un ecosistema” (MEA 2005). Estos últimos pueden ser de naturaleza química (ej. oxidación), física (ej. sedimentación), o biológica (ej. fotosíntesis).

Función: La interacción entre estructura y procesos biofísicos dan lugar a las funciones ecosistémicas, definidas como “un subconjunto de interacciones entre estructura y procesos biofísico que sustentan la capacidad de un ecosistema de proveer bienes y servicios” (TEEB 2010a).

Servicios: Según TEEB (2014) y otros autores, los SSEE se definen como “la contribución directa o indirecta de los ecosistemas al bienestar humano”. Aquellos SSEE de contribución directa son llamados servicios finales mientras que aquellos de contribución indirecta son clasificados como servicios intermedios.

Beneficios: El uso de los SSEE proveen beneficios tales como nutrición, salud y placer. En este sentido, éstos pueden definirse como “la ganancia en bienestar que generan los SSEE”. Cabe mencionar que los beneficios están directamente conectados sólo a los SSEE finales.

Valor: Se entiende como una medida del beneficio que puede ser expresada tanto en términos monetarios como no monetarios (i.e. ecológicos, sociales). Esta medida depende, entre otros, de las circunstancias geográficas, culturales y sociales de los beneficiarios. En este sentido, el valor de un SS. EE. puede variar tanto espacial como temporalmente.



4.1.1 Clasificación de Servicios Ecosistémicos

Como se comentó y originalmente, MEA (2005) generó una clasificación de servicios ecosistémicos a través de cuatro grandes secciones o primer nivel de definición:

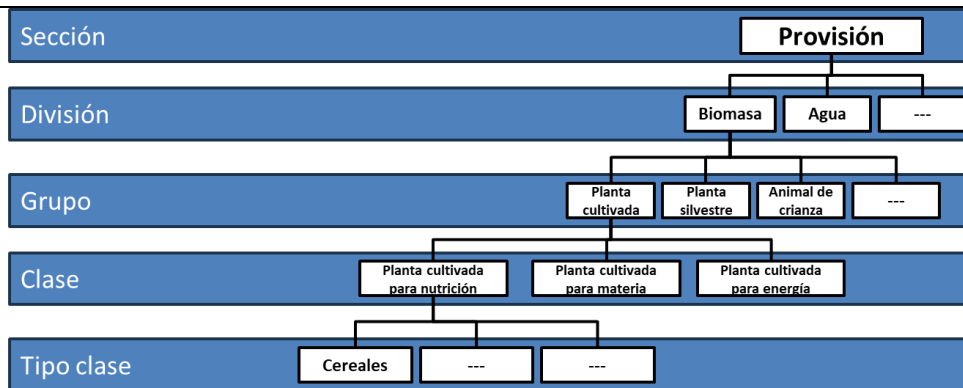
- Servicios de soporte: corresponden a aquellos que reúnen las condiciones adecuadas para que las especies puedan habitar y reproducirse, manteniendo variabilidad genética y biodiversidad de especies como flora y fauna, formación de suelos y ciclo de nutrientes
- Servicios de regulación: como su nombre lo señala, regulan y mitigan los procesos que ocurren en los ecosistemas ecológicos, como el clima o los desastres naturales
- Servicios de provisión: se asocian a la salida de materia o energía de los ecosistemas, es decir son tangibles, son igualmente llamados recursos naturales, tales como los alimentos, agua, madera u otros
- Servicios culturales: corresponden a aquellos asociados a la recreación y bienestar, valores culturales, espirituales e intelectuales, como también el turismo y disfrute del entorno.

Posteriormente, la propuesta denominada *Common International Classification of Ecosystem Services* (CICES) generada por Haines-Young y Potschin (2013), enfatizó el tratamiento de, netamente, los servicios ecosistémicos finales puesto que éstos “*son las contribuciones que genera el ecosistema al bienestar humano*” (Haines-Young y Potschin, 2013). Así, se abordaron sólo 3 categorías de servicios: Provisión, Regulación y Cultural; dejando de lado el grupo de servicios de Soporte, que corresponde a un servicio ecosistémico intermedio.

Para los que se consideran "servicios ecosistémicos finales" potenciales o putativos, CICES los describe utilizando una estructura jerárquica de cinco niveles. Cada nivel es progresivamente más detallado y específico. La forma en que funciona el sistema se puede ilustrar por las contribuciones que los ecosistemas hacen las plantas cultivadas como los cereales:

- Sección (por ejemplo, Provisión)
- División (por ejemplo, biomasa)
- Grupo (por ejemplo, plantas terrestres cultivadas para nutrición, materiales o energía)
- Clase (por ejemplo, plantas terrestres cultivadas (incluidos hongos, algas) cultivadas con fines nutricionales)
- Tipo de clase (por ejemplo, Cereales La contribución ecológica al crecimiento de cultivos cultivados en tierra que pueden cosecharse y utilizarse como materia prima para la producción de alimentos)

El siguiente diagrama también ilustra cómo funciona el sistema:



La siguiente tabla muestra la estructura general de CICES V5.1 (2017) para los tres niveles superiores en la parte de la clasificación que cubre los productos de los ecosistemas bióticos (es decir, los que dependen de los organismos vivos):

Tabla N° 1
CICES V5.1 (Biótico)

Sección	División	Grupo
Provisión (Biótico)	Biomasa	Plantas terrestres cultivadas para nutrición, materiales o energía
Provisión (Biótico)	Biomasa	Plantas acuáticas cultivadas para nutrición, materiales o energía
Provisión (Biótico)	Biomasa	Animales criados para nutrición, materiales o energía
Provisión (Biótico)	Biomasa	Animales acuáticos criados para nutrición, materiales o energía
Provisión (Biótico)	Biomasa	Plantas silvestres (terrestres y acuáticas) para nutrición, materiales o energía
Provisión (Biótico)	Biomasa	Animales silvestres (terrestres y acuáticas) para nutrición, materiales o energía
Provisión (Biótico)	Material genético de toda la biota (incluida la producción de semillas, esporas o gametos)	Material genético de plantas, algas u hongos
Provisión (Biótico)	Material genético de toda la biota (incluida la producción de semillas, esporas o gametos)	Material genético de animales
Provisión (Biótico)	Otros tipos de servicio de Provisión de fuentes Biótica	Otro
Regulación y Mantención (Biótico)	Transformación de insumos bioquímicos o físicos en ecosistemas	Mediación de desechos o sustancias tóxicas de origen antropogénico por procesos vivos
Regulación y Mantención (Biótico)	Transformación de insumos bioquímicos o físicos en ecosistemas	Mediación de perturbaciones de origen antropogénico
Regulación y Mantención (Biótico)	Regulación de las condiciones físicas, químicas y biológicas	Regulación de mínimos basales y eventos extremos.
Regulación y Mantención (Biótico)	Regulación de las condiciones físicas, químicas y biológicas	Mantenimiento del ciclo de vida, protección del hábitat y del acervo genético.
Regulación y Mantención (Biótico)	Regulación de las condiciones físicas, químicas y biológicas	Control de plagas y enfermedades.
Regulación y Mantención (Biótico)	Regulación de las condiciones físicas, químicas y biológicas	Regulación de la calidad del suelo



Regulación y Mantenión (Biótico)	Regulación de las condiciones físicas, químicas y biológicas	Condiciones del agua
Regulación y Mantenión (Biótico)	Regulación de las condiciones físicas, químicas y biológicas	Composición y condiciones atmosféricas
Regulación y Mantenión (Biótico)	Otros tipos de servicio de regulación y mantenimiento por procesos vivos	Otro
Cultural (Biótico)	Interacciones directas, in situ y exteriores con sistemas vivos que dependen de la presencia en el entorno ambiental	Interacciones físicas y experienciales con el entorno natural
Cultural (Biótico)	Interacciones directas, in situ y exteriores con sistemas vivos que dependen de la presencia en el entorno ambiental	Interacciones intelectuales y representativas con el entorno natural
Cultural (Biótico)	Interacciones a menudo indirectas, remota, en interiores con sistemas vivos que no requieren presencia en el entorno ambiental	Interacciones espirituales, simbólicas y de otro tipo con el entorno natural
Cultural (Biótico)	Interacciones a menudo indirectas, remotas, en interiores con sistemas vivos que no requieren presencia en el entorno ambiental	Otras características Biótico que tienen un valor de no uso
Cultural (Biótico)	Otras características de los sistemas vivos que tienen importancia cultural	Otro

Fuente: Traducido de CICES V5.1. Elaboración propia.

CICES V5.1 también ha reconocido más clasificaciones de SSEE y se ha ampliado para abarcar más formalmente los resultados de los ecosistemas abióticos de la manera que se observa en la Tabla N° 2.

Tabla N° 2
CICES V5.1 (Abiótico)

Sección	División	Grupo
Provisión (Abiótico)	Agua	Agua superficial utilizada para nutrición,
Provisión (Abiótico)	Agua	Agua subterránea utilizada para nutrición,
Provisión (Abiótico)	Agua	Otros productos del ecosistema acuoso
Provisión (Abiótico)	Ecosistema abiótico natural no acuoso Productos	Sustancias minerales utilizadas para nutrición,
Provisión (Abiótico)	Salidas de ecosistemas abióticos naturales no acuosos	Sustancias no minerales o propiedades de los ecosistemas utilizadas para la nutrición, los materiales o la energía
Provisión (Abiótico)	Salidas de ecosistemas abióticos naturales no acuosos	Otras sustancias minerales o no minerales o propiedades de los ecosistemas utilizadas para
Regulación y Mantenión (Abiótico)	Transformación de insumos bioquímicos o físicos a los ecosistemas	Mediación de desechos, sustancias tóxicas y otras molestias por procesos no vivos
Regulación y Mantenión (Abiótico)	Transformación de insumos bioquímicos o físicos a los ecosistemas	Mediación de molestias de origen antropogénico
Regulación y Mantenión (Abiótico)	Regulación de condiciones físicas, químicas, biológicas	Regulación de flujos de línea de base y eventos extremos
Regulación y Mantenión (Abiótico)	Regulación de condiciones físicas, químicas, biológicas	Mantenimiento de las condiciones físicas, químicas, abióticas
Regulación y Mantenión	Otro tipo de servicio de regulación y mantenimiento por procesos abióticos	Otro



Sección	División	Grupo
Cultural (Abiótico)	Interacciones directas, in situ y al aire libre con sistemas físicos naturales que dependen de la presencia en el entorno	Interacciones físicas y experienciales con los componentes abióticos naturales del medio ambiente
Cultural (Abiótico)	Interacciones directas, in situ y al aire libre con sistemas físicos naturales que dependen de la presencia en el entorno ambiental	Interacciones intelectuales y representativas con componentes abióticos del medio natural
Cultural (Abiótico)	interacciones indirectas, remotas, a menudo en interiores con sistemas físicos que no requieren presencia en el entorno ambiental	Interacciones espirituales, simbólicas y de otro tipo con los componentes abióticos del entorno natural
Cultural (Abiótico)	Interacciones indirectas, remotas, a menudo en interiores con sistemas físicos que no requieren presencia en el entorno ambiental	Otras características abióticas que no tienen valor de uso
Cultural (Abiótico)	Otras características abióticas de la naturaleza que tienen importancia cultural	Otro

Fuente: Traducido de CICES V5.1. Elaboración propia.

Al igual que con la versión anterior de CICES (V4.3), la estructura jerárquica de V5.1 permite agregar más clases y tipos de clases a medida que surgen nuevas aplicaciones. Por lo tanto, la estructura no pretende ser exhaustiva por debajo del nivel de clase. Más bien pretende ser un marco que pueda desarrollarse y adaptarse con el tiempo.

4.1.2 Servicios ecosistémicos de un estero en general

Una vez definidos los servicios ecosistémicos de acuerdo con la nomenclatura acordada, se podrá definir y determinar cuáles son aquellos servicios que provee un estero en general (o cuenca fluvial). La literatura internacional indica los siguientes:

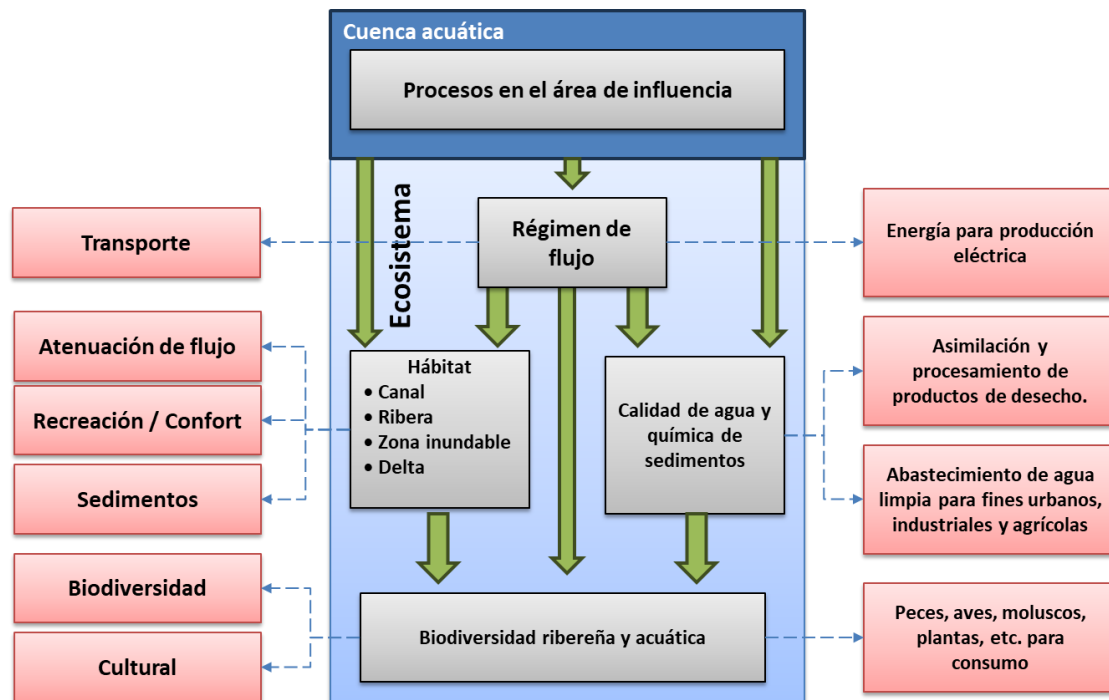
1. **Provisión:** En el caso de los ecosistemas de agua dulce, los servicios de aprovisionamiento incluyen agua para uso consuntivo, como para beber, uso doméstico, uso agrícola e industrial. Los servicios de aprovisionamiento también incluyen el agua para usos no consuntivos, como la generación de energía, el transporte y la navegación. Los organismos acuáticos para alimentos y medicinas también son ejemplos de un servicio de aprovisionamiento.
2. **Regulación:** el mantenimiento de la calidad del agua como resultado de la filtración natural y el tratamiento del agua. También incluye la atenuación de inundaciones y el control de la erosión a través de las interacciones del agua y la tierra.
3. **Culturales:** la recreación, como el rafting o la pesca, el turismo y los "valores de la existencia", como la satisfacción personal de los ríos sanos y de flujo libre.

Luego, la provisión de SSEE de una cuenca fluvial depende, directa o indirectamente, de uno o más de los elementos que constituyen la cuenca. La Figura N° 2 muestra diferentes servicios vinculados a los componentes de un sistema fluvial, señalando que un servicio en particular puede depender de múltiples aspectos del sistema fluvial.

Por ejemplo, el suministro de agua para fines de consumo dependerá del régimen de flujo, lo que garantiza que el volumen de agua requerido esté disponible en el momento y la confiabilidad requeridos, así como la calidad del agua determinará si los suministros disponibles son aptos para el propósito. La capacidad de un estero para transportar crecidas y atenuar su impacto dependerá de la naturaleza de la cuenca (que influirá en la escorrentía), del régimen de flujo (que dictará el tiempo, la frecuencia y los flujos que provocan las inundaciones), y la forma física del corredor fluvial y la zona inundable (que determinan los límites físicos del sistema). Los cambios en cualquiera de esos elementos (la cuenca hidrográfica, la hidrología o la forma física) pueden afectar la capacidad de atenuación de inundaciones de la cuenca fluvial.



Figura N° 2
Ejemplos de servicios ecosistémicos proporcionados por un ecosistema fluvial



Fuente: Adaptado y traducido de "River Restoration: A Strategic Approach to Planning and Management"

Comprender la forma en que la función del ecosistema fluvial puede influir en la provisión de servicios ecosistémicos es fundamental para evaluar el impacto probable de los cambios dentro de un ecosistema fluvial en la provisión de esos servicios. Del mismo modo, tal comprensión es fundamental para garantizar que los esfuerzos de Reparación de un estero aborden de manera efectiva las causas fundamentales de los problemas y que esos esfuerzos finalmente logren los objetivos generales de Reparación.

4.1.3 Servicios ecosistémicos afectados en el estero Sin Nombre

Una vez definido y determinados los servicios ecosistémicos que provee un cuerpo hídrico se determinará conceptualmente cuales de ellos podrían estar afectados en el estero Sin Nombre en análisis. Lo que pasa primeramente por describir cuales son las amenazas que podrían estar afectando al estero y a cuáles servicios ecosistémicos estarían afectado.

4.1.3.1 Descripción de los efectos de relevancia identificados

La causa Rol D N° 50-2020, del Segundo Tribunal Ambiental menciona los efectos de relevancia identificados debido a la descarga de las aguas servidas tratadas por la PTAS de Olmué en estero Sin Nombre. A manera de resumen los efectos de relevancia identificados fueron los siguientes:

- Se evidenció un alto aporte orgánico en el agua del estero que conforma la descarga de la Planta de Tratamiento de Aguas servidas (PTAS) de Olmué ya que los niveles de oxígeno disuelto presentaron valores muy por debajo de los determinados por estudios científicos previos y de los esperados por proyectos de normas de calidad secundaria ambiental, situación que es similar respecto de la conductividad del agua del estero.



- b) Se evidenció una progresiva demanda de oxígeno en los sedimentos y una baja escurritía que aporte oxigenación con una disminución progresiva del parámetro Redox a medida que se avanza en el cauce del estero generado por la PTAS de Olmué.
- c) El estero Sin Nombre que se origina de la descarga de la PTAS de Olmué da cuenta de condiciones de alto nivel de aportes orgánicos que no inciden significativamente en la afectación de otros cuerpos de agua existentes, tal como el estero Pelumpén, ya que sus propiedades químicas no contienen cargas contaminantes fecales y sólo demuestran una alta demanda del oxígeno, propio de una baja escurritía.
- d) Al evaluar la calidad fisicoquímica del agua superficial del estero se reconocieron tres parámetros que sobrepasaron los valores límites de referencia de la normativa nacional NCh 1333 (Conductividad Específica, DBO5 y oxígeno disuelto), mostrando, inclusive, uno de ellos (DBO5), rangos superiores en el estero a lo indicado en el Decreto 90/2000 (MINSEGPRES 2001).
- e) El estero Sin Nombre tiene presencia de comunidades planctónicas y bentónicas, en general, su biodiversidad es baja, presentando dominancia de grupos biológicos, que, según bibliografía, son grupos habitantes de aguas perturbadas.

En resumen, los estudios indicados concluyen que el estado de la calidad de las aguas del estero paralelo al Pelumpén, en el cual descarga la PTAS de Olmué, dan cuenta de un ecosistema con perturbación antrópica y con concentraciones ambientales inaceptables, cuestión que se ratifica con las circunstancias referidas a la superación de los valores de referencia de la normativa nacional en materia de calidad de agua, sedimentos y biota acuática, y a la dominancia de grupos biológicos característicos de aguas perturbadas y de mala calidad.

4.1.3.2 *Las condiciones que impactan en los SSEE del estero*

Las principales amenazas a la biodiversidad del estero y, por implicación, a los ecosistemas del estero, se pueden agrupar en cinco categorías que interactúan: modificación del flujo, contaminación del agua, cambios en el hábitat, sobreexplotación de la biota e invasión de especies exóticas. Además, hay una serie de cambios ambientales transversales que ocurren a escala global, en particular el cambio climático, que se pueden superponer en estas cinco categorías (Speed et al., 2016).

Sobre la base del diagnóstico realizado y en este caso en particular del punto anterior, se puede indicar que el exceso de nutrientes que ingresa al estero desde la fuente puntual (la descarga de aguas residuales urbanas desde la PTAS), degrada la calidad del agua, reduciendo los valores recreativos y provocando un aumento en el crecimiento de las plantas, lo que incluye, en algunos casos, la proliferación de organismos adaptados a condiciones de alta carga orgánica por sobre otros organismos acuáticos. Grandes cantidades de desechos orgánicos, como las aguas residuales, pueden generar una alta demanda biológica de oxígeno, lo que lleva a la desoxigenación, lo que puede tener un efecto devastador en la biota acuática.

Además, la pérdida de conectividad local con la zona hiporreica^c es un factor clave que contribuye a la mala calidad del agua, ya que muchos ríos pierden su capacidad de autopurificación. (Speed et al., 2016).

A los problemas anteriormente indicados, se debe agregar el efecto del cambio climático en la zona (baja cantidad de precipitaciones y temperaturas extremas durante el año) y que afecta los

^c La zona hiporreica es la región de sedimentos y espacio poroso debajo y junto a un cauce de una corriente de agua (como en un estero o río), allí donde se mezcla el agua superficial y el agua subterránea.

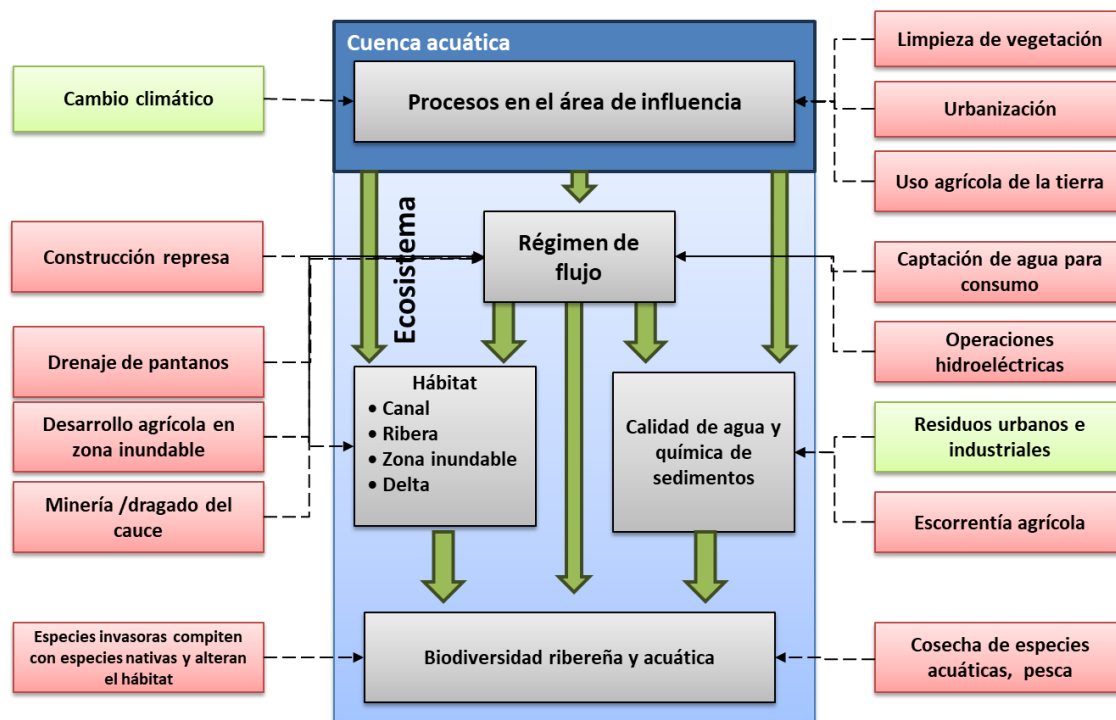


ecosistemas fluviales de múltiples formas. Es probable que los impactos más directos se produzcan a través de los cambios en la temperatura del aire, que aumentarán las pérdidas por evaporación, los cambios en las precipitaciones (incluida una mayor variabilidad) y, por lo tanto, en la escorrentía de la cuenca y el caudal.

Estos factores pueden influir directamente en uno o más de los elementos del ecosistema fluvial. En la Figura N° 3 se han destacado los factores que están afectando al caso particular del estero (cuadros verdes). Las consecuencias, sin embargo, pueden ser de gran alcance, con cambios en los procesos de captación, por ejemplo, afectando en última instancia el régimen de flujo, el hábitat, la calidad del agua y la biota acuática. Por supuesto, el impacto de amenazas particulares variará con la naturaleza y la severidad del cambio en el ecosistema fluvial. Desde una perspectiva antropogénica, la importancia de ese cambio dependerá de la forma y el grado en que las comunidades humanas dependen del río y de los servicios ecosistémicos que brinda.

Figura N° 3

Causas del deterioro de la salud fluvial y su vínculo con diferentes elementos del sistema fluvial



Fuente: Adaptado y traducido de "River Restoration: A Strategic Approach to Planning and Management"

4.1.3.3 SSEE que provee el estero y aquellos que están afectados

La determinación de los SSEE afectados surge de una revisión de aquellos SSEE que estarían en uso en la cuenca ecológica Pelumpén de la cual es parte el estero Sin Nombre, entre ellos estarían:

1. **Provisión:** La entrega de servicios de aprovisionamiento de agua para riego (uso agrícola) y bebidas de animales, aves e insecto. No se observa para usos no consuntivos, como la generación de energía, el transporte y la navegación. Tampoco para producción de organismos acuáticos para alimentos y medicinas.



2. **Regulación:** un punto muy relevante, especialmente para el estero Sin Nombre, es el mantenimiento de la calidad del agua como resultado de la filtración natural y el tratamiento del agua. adicionalmente, el estero Sin Nombre como parte de la cuenca del Pelumpén, sirve para la atenuación de inundaciones y el control de la erosión a través de las interacciones del agua y la tierra.
3. **Culturales:** se observa que existen agrupaciones sociales^d dedicadas a la preservación de la calidad escénica y de reserva ecológica en el estero Limache, donde tributa el estero Pelumpén, la cual es una zona de recreación y educación ambiental al aire libre. Sin embargo, aguas arriba no se observan iniciativas de este tipo, aunque dada la condición de escaso flujo en la cuenca del Pelumpén, la zona se utiliza para caminar y recrearse visitando o mirando las plantas y animales que se acercan o viven alrededor del cuerpo de agua.

Luego, la descripción de las acciones que están afectando al estero y que consolidó el Tribunal Ambiental han permitido determinar cuáles son los efectos posibles sobre el cauce del estero y que servicios ecosistémicos podrían estar siendo afectados.

Al revisar el listado CICES V5.1 se pueden determinar los SSEE afectados y estos se listan y describen en la Tabla N° 3 de acuerdo con las definiciones de CICES.

^d Reserva Natural Municipal de Limache (RENAMU), contiene 76 ha de área del estero Limache.
Fuente: <https://limache.cl/renamu/>



Tabla N° 3
Identificación de servicios ecosistémicos afectados

Sección	División	Grupo	Clase	Código	Tipo Clase
Regulación & Mantenimiento (biótico)	Transformación de aportes físicos o bioquímicos a ecosistemas	Mediación de residuos o sustancias tóxicas de origen antropogénico mediante procesos vivientes	Biorremediación mediante microorganismos, plantas y animales	2.1.1.1	Por tipo de sistema vivo o por tipo de residuos o subsistencia
Regulación & Mantenimiento (biótico)	Transformación de aportes físicos o bioquímicos a ecosistemas	Mediación de residuos o sustancias tóxicas de origen antropogénico mediante procesos vivientes	Filtración/retiro/almacenamiento/acumulación mediante microorganismos, algas, plantas y animales	2.1.1.2	Por tipo de sistema vivo o por tipo de residuos o subsistencia
Provisión (abiótico)	Agua	Agua superficial usada para nutrición, como material o energía	Agua superficial para bebida	4.2.1.1	Por cantidad, tipo, fuente
Regulación & Mantenimiento (abiótico)	Regulación de condiciones físicas, químicas y biológicas	Regulación de flujos de línea base y eventos extremos	Flujos de líquido	5.2.1.2	Cantidad por tipo

Fuente: Haines-Young, R. and M.B. Potschin (2018): Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure.

Traducido del documento en inglés.



4.2 Reparación Ecológica

Una vez determinado porque el ecosistema del estero se encuentra degradado, y por ende alguno de sus servicios ecosistémicos, se presentarán las bases conceptuales de lo que se entiende como reparación ecológica de un ecosistema. Estas bases fueron obtenidas en general del trabajo que ha realizado la Sociedad para la Restauración Ecológica (SER^e) y que corresponde a una red mundial de especialistas y profesionales involucrados en la reparación de ecosistemas y que ha aunado esfuerzos para la promoción y ejecución de acciones de reparación ecológica.

4.2.1 Definición de Reparación ecológica

La reparación ecológica se define como es el proceso de ayudar el restablecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido (SER, 2004). La reparación trata de retornar a un ecosistema a su trayectoria histórica. Por lo tanto, las condiciones históricas son el punto de partida ideal para diseñar la reparación.

4.2.2 Atributos de un Ecosistema reparado

Un ecosistema se ha recuperado, y reparado, cuando contiene suficientes recursos bióticos y abióticos como para continuar su desarrollo sin ayuda o subsidio adicional. Este ecosistema se podrá mantener tanto estructural como funcionalmente. Demostrará capacidad de recuperación dentro de los límites normales de estrés y alteración ambiental. Interactuará con ecosistemas contiguos en términos de flujos bióticos y abióticos e interacciones culturales.

Se han definido nueve atributos como una base para determinar cuándo se ha logrado la reparación. No es esencial la expresión total de todos estos atributos para demostrar la Reparación. En cambio, sólo se necesita que estos atributos demuestren una trayectoria apropiada de desarrollo ecosistémico hacia la meta o la referencia deseada. Algunos atributos son fácilmente mensurables. Otros se tendrán que evaluar indirectamente, incluyendo la mayoría de las funciones de un ecosistema, las cuales no se pueden medir sin recurrir a investigaciones que excederían la capacidad y el presupuesto de la mayoría de los proyectos de Reparación:

1. El ecosistema reparado contiene un conjunto característico de especies que habitan en el ecosistema de referencia y que proveen una estructura apropiada de la comunidad.
2. El ecosistema reparado consta de especies autóctonas hasta el grado máximo factible. En ecosistemas culturales reparados, se puede ser indulgente con especies exóticas domesticadas y con especies ruderales, y arvenses que se supone que coevolucionaron con ellas. Las especies ruderales son plantas que colonizan los sitios alterados; las especies arvenses típicamente crecen entre plantas de cultivo.
3. Todos los grupos funcionales necesarios para el desarrollo y/o la estabilidad continua del ecosistema reparado se encuentran representados o, si no, los grupos faltantes tienen el potencial de colonizar por medios naturales.
4. El ambiente físico del ecosistema reparado tiene la capacidad de sostener poblaciones reproductivas de las especies necesarias para la continua estabilidad o desarrollo a lo largo de la trayectoria deseada.
5. El ecosistema reparado aparentemente funciona normalmente de acuerdo con su estado ecológico de desarrollo y no hay señales de disfunción.
6. El ecosistema reparado se ha integrado adecuadamente con la matriz ecológica o el paisaje, con los cuales interactúa a través de flujos e intercambios bióticos y abióticos.
7. Se han eliminado o reducido, tanto como sea posible, las amenazas potenciales del paisaje que lo rodea a la salud e integridad del ecosistema.

^e Su sigla en inglés Society for Ecological Restoration.



8. El ecosistema reparado tiene suficiente capacidad de recuperación como para aguantar los acontecimientos estresantes periódicos y normales del ambiente local y que sirven para mantener la integridad del ecosistema.
9. El ecosistema reparado es autosostenible al mismo grado que su ecosistema de referencia y tiene el potencial de persistir indefinidamente bajo las condiciones ambientales existentes. No obstante, los aspectos de su biodiversidad, estructura y funcionamiento podrían cambiar como parte del desarrollo normal del ecosistema y podrían fluctuar en respuesta a acontecimientos normales y periódicos aislados de estrés y de alteración de mayor trascendencia. Como con cualquier ecosistema intacto, la composición de las especies y otros atributos de un ecosistema reparado podrían evolucionar a medida que cambian las condiciones ambientales

4.2.3 Enfoques de Reparación ecológica

En la actualidad existen tres enfoques para lograr la Reparación ecológica de un sitio degradado: la regeneración natural, la regeneración asistida y la reconstrucción.

1. **Regeneración natural (o espontánea).** Cuando el daño es relativamente bajo y se retiene la capa superficial del suelo, o donde existen marcos de tiempo suficientes y poblaciones cercanas para permitir la recolonización, las plantas y los animales pueden recuperarse después del cese de ciertos tipos de degradación. Esto puede incluir la eliminación de la contaminación, el pastoreo inadecuado, la pesca excesiva, la restricción de los flujos de agua y los regímenes de incendios inadecuados. Las especies animales pueden ser capaces de recolonizar el sitio si hay suficiente conectividad de hábitat y las especies de plantas pueden recuperarse mediante el rebrote o la germinación de los bancos remanentes de semillas del suelo o de semillas que se dispersan naturalmente de los sitios cercanos.
2. **Regeneración asistida.** La Reparación en sitios de degradación intermedia o alta requiere de la eliminación de las causas de degradación y de intervenciones activas para corregir el daño abiótico y biótico y desencadenar la recuperación biótica (ej., imitando perturbaciones naturales o proporcionando recursos clave). Ejemplos de intervenciones abióticas incluyen: remediar activamente las condiciones químicas o físicas del sustrato; la construcción de características de hábitat como arrecifes de mariscos; remodelar los cursos de agua y las topoformas; restablecer los caudales ambientales y los pasos de peces en estuarios y ríos; aplicar perturbaciones artificiales para romper la latencia de las semillas e instalar elementos característicos del hábitat como troncos huecos, rocas, pilas de restos leñosos, micronichos del suelo y árboles percha; la reintroducción suplementaria de especies que no pueden migrar al área de Reparación sin ayuda (ej., la renaturalización de animales o la reintroducción de especies de árboles con semillas muy grandes); y el aumento o refuerzo de poblaciones agotadas de especies cuando la diversidad genética es insuficiente.
3. **Reconstrucción.** Cuando el daño es alto, no solo es necesario eliminar o revertir todas las causas de degradación y corregir todos los daños bióticos y abióticos para adaptarlos al ecosistema de referencia nativo identificado, sino que también es necesario reintroducir la totalidad o una parte importante de la biota deseable siempre que sea posible. La biota puede entonces interactuar con los componentes abióticos para impulsar una mayor recuperación de los atributos del ecosistema. En algunos casos en los que la recuperación secuencial es una característica del ecosistema o es necesaria (ej., para ayudar a la recuperación de los suelos), es posible que las especies de sucesión más temprana deban reintroducirse antes que las especies de sucesión tardía. Sin embargo, en ecosistemas que no exhiben estos patrones de sucesión, puede ser necesario introducir todas las especies desde el principio.



4.2.4 Ecosistema de referencia

Un ecosistema de referencia o la referencia sirve de modelo para planear un proyecto de Reparación y más adelante, para su evaluación. En su forma más sencilla, la referencia es bien un sitio verdadero, su descripción por escrito o ambos. El problema con una referencia simple es que representa un solo estado o expresión de los atributos de un ecosistema. La referencia seleccionada podría ser la manifestación de uno de muchos estados posibles de la gama histórica de variación de ese ecosistema. La referencia refleja una combinación en particular de acontecimientos aleatorios que ocurrieron durante el desarrollo de un ecosistema.

De la misma manera, un ecosistema que pasa por la Reparación puede terminar en uno de una gran variedad de estados posibles. Cualquier estado que se exprese se acepta como Reparación, con tal que sea comparable con alguno de los estados posibles en que la referencia se pudiera haber desarrollado. Por lo tanto, una sola referencia es una expresión inadecuada de la constelación de posibles estados y de la gama histórica de variaciones expresadas por el ecosistema reparado. Por lo tanto, es mejor usar como referencia un agregado de múltiples sitios de referencia y, si fuera necesario, de otras fuentes también. Esta descripción compuesta da una base más realista para la planificación de la Reparación.

Las fuentes de información que se pueden usar para describir una referencia incluyen:

- Descripciones ecológicas, listas de especies y mapas del sitio del proyecto antes del daño;
- Fotografías históricas y recientes, tanto aéreas como terrestres;
- Remanentes del sitio que se ha de restaurar que indiquen las condiciones físicas anteriores y la biota;
- Descripciones ecológicas y listas de especies de ecosistemas similares e intactos;
- Especímenes de herbarios y museos;
- Versiones históricas e historias orales de personas familiarizadas con el sitio del proyecto antes del daño;
- Evidencias paleoecológicas, p.ej., polen fosilizado, carbón, historia de los anillos de los árboles y basureros de roedores

4.2.5 Monitoreo y Evaluación

Un proyecto de Reparación correctamente planeado trata de satisfacer metas claramente expresadas que reflejen atributos importantes del ecosistema de referencia. Las metas se logran mediante la búsqueda de objetivos específicos. Las metas son ideales mientras que los objetivos son medidas concretas que se toman para lograr las metas. Se deben hacer dos preguntas fundamentales con respecto a la evaluación de un ecosistema reparado. ¿Se lograron los objetivos? ¿Se alcanzaron las metas? Las respuestas a ambas preguntas logran validez solamente si se especifican las metas y los objetivos antes de ejecutar el trabajo del proyecto de Reparación.

Los ecosistemas son complejos y dos ecosistemas intactos jamás serán idénticos, por lo menos no cuando se examinan detenidamente. Por esa razón, ningún ecosistema reparado jamás podrá ser idéntico a una referencia particular. El número de variables de un ecosistema que se puede usar en una evaluación es demasiado grande como para que todas puedan medirse dentro de un período de tiempo razonable. La selección de cuáles variables se evaluará y cuáles se pasarán por alto requiere de pragmatismo y juicio por parte del evaluador.

Los objetivos se evalúan conforme a estándares de desempeño, que también se conocen como criterios de diseño o criterios de éxito. En gran parte, estos estándares o criterios se originan en la comprensión del ecosistema de referencia. Los estándares de desempeño proporcionan una base



empírica para determinar si se han logrado o no los objetivos del proyecto. Los objetivos, los estándares de desempeño, los protocolos para el monitoreo y la evaluación de los datos se deben incorporar en los planes de Reparación antes del inicio del proyecto. Si la interpretación de los datos recopilados durante el monitoreo muestra que se han alcanzado los estándares de desempeño, no puede haber ninguna duda de que se lograron los objetivos del proyecto y de que es probable que el ecosistema reparado tendrá suficiente capacidad de recuperación como para requerir poco o ninguna ayuda adicional del profesional de la Reparación.

4.2.6 Planificación de la Reparación

Los planes para los proyectos de Reparación incluyen, como mínimo, los siguientes:

- Una exposición de principios clara de por qué se necesita la Reparación;
- Una descripción ecológica del sitio designado para la Reparación;
- Una declaración de las metas y los objetivos del proyecto de Reparación;
- Una designación y descripción de la referencia;
- Una explicación de cómo la Reparación propuesta se integrará con el paisaje y sus flujos de organismos y materiales;
- Planes, itinerarios y presupuestos explícitos para la preparación del sitio y las actividades de instalación y post-instalación, incluyendo una estrategia para hacer correcciones rápidas a mitad de camino;
- Estándares de desempeño bien desarrollados y explícitos, con protocolos de monitoreo mediante los cuales se puede evaluar el proyecto;
- Estrategias para una protección y mantenimiento a largo plazo del ecosistema reparado

4.2.7 El proceso de Reparación

Antes de conducir el proceso de Reparación se debe comprender el modelo conceptual que vincula la degradación de los ecosistemas con su funcionalidad y que permite estimar cómo los esfuerzos de Reparación contribuyen a restituir dicha funcionalidad.

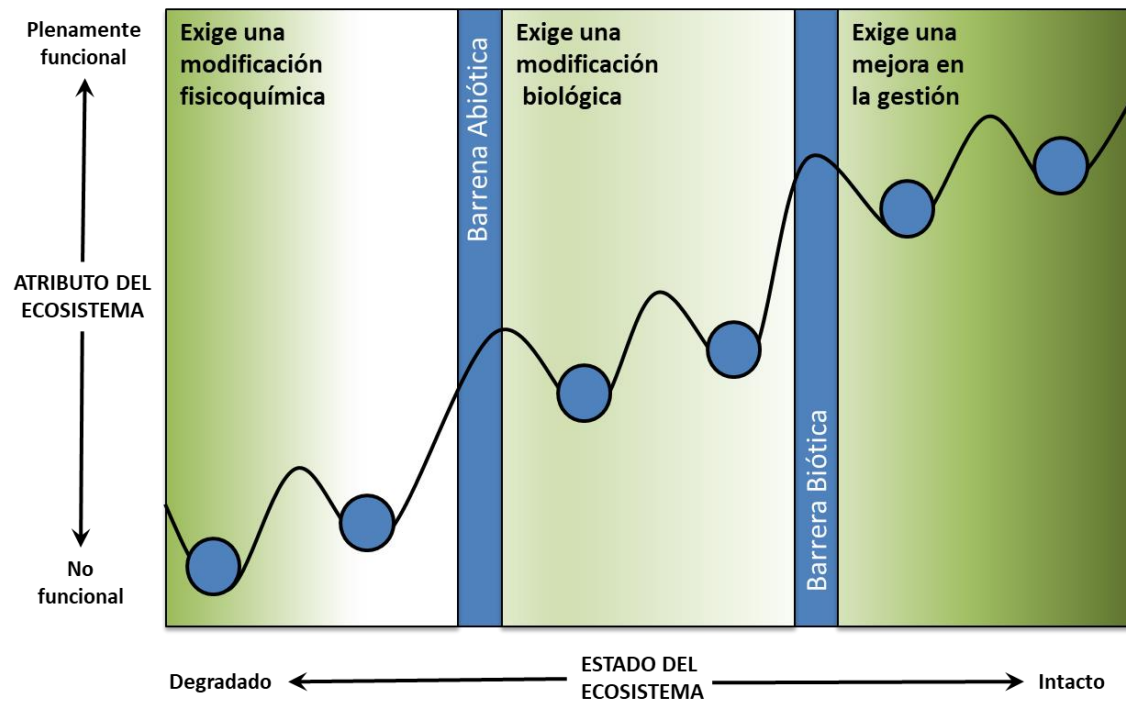
La Figura N° 4 presenta un modelo conceptual simplificado de los niveles de degradación y la reversión del proceso a través de la Reparación de un ecosistema. Las esferas azules en la figura representan diferentes estados del ecosistema, donde la resiliencia de cada estado del sistema está representada por el ancho y la profundidad del “pocillo”. Los disturbios y el estrés provocan transiciones hacia estados de degradación cada vez más severos, con la mayor degradación, representada por la esfera azul de la esquina inferior izquierda. Notar que pueden existir barreras o umbrales bióticos y abióticos entre algunos estados del ecosistema (representados por barras verticales en la Figura N° 4) que previenen que el sistema pueda retornar a un estado menos degradado sin intervenciones de manejo. Las barreras bióticas surgen cuando la degradación es baja (ej. pérdida de algunas especies claves), en tanto que las barreras abióticas (o físicas) son limitantes del cambio bajo condiciones de alta degradación (ej. bajo pH en el agua).

Una de las ventajas de usar este modelo es que destaca la importancia de identificar previamente las barreras bióticas y físicas para la recuperación del sistema, lo que hace posible evaluar la capacidad del ecosistema degradado de recuperarse sin intervención o con intervenciones menores (y con menores costos) y facilita además la selección de los tratamientos y acciones a aplicar en áreas más degradadas (MMA, 2018).



Figura N° 4

Modelo conceptual simplificado de la degradación y la Reparación de un ecosistema.



Fuente: Hobbs y Harris, 2001.



5 Reparación de un estero

A continuación, se presentan las bases conceptuales que sustentan las actividades propuestas para la Reparación ambiental del estero. Las bases conceptuales han sido obtenidas de diversas fuentes de literatura internacional sobre procesos de Reparación de cuerpos de agua.

5.1 Descripción general del proceso de planificación de la Reparación

El proceso de Reparación de un río puede iniciarse como resultado de una serie de factores: una iniciativa política o una obligación legislativa para que la agencia gubernamental pertinente lleve a cabo un proceso de Reparación; en el caso de una organización comunitaria, privada u otra ONG, el proceso puede iniciarse como resultado de una acción legal. Una vez iniciado, el proceso de Reparación normalmente incluirá los siguientes pasos. Ver Figura N° 5.

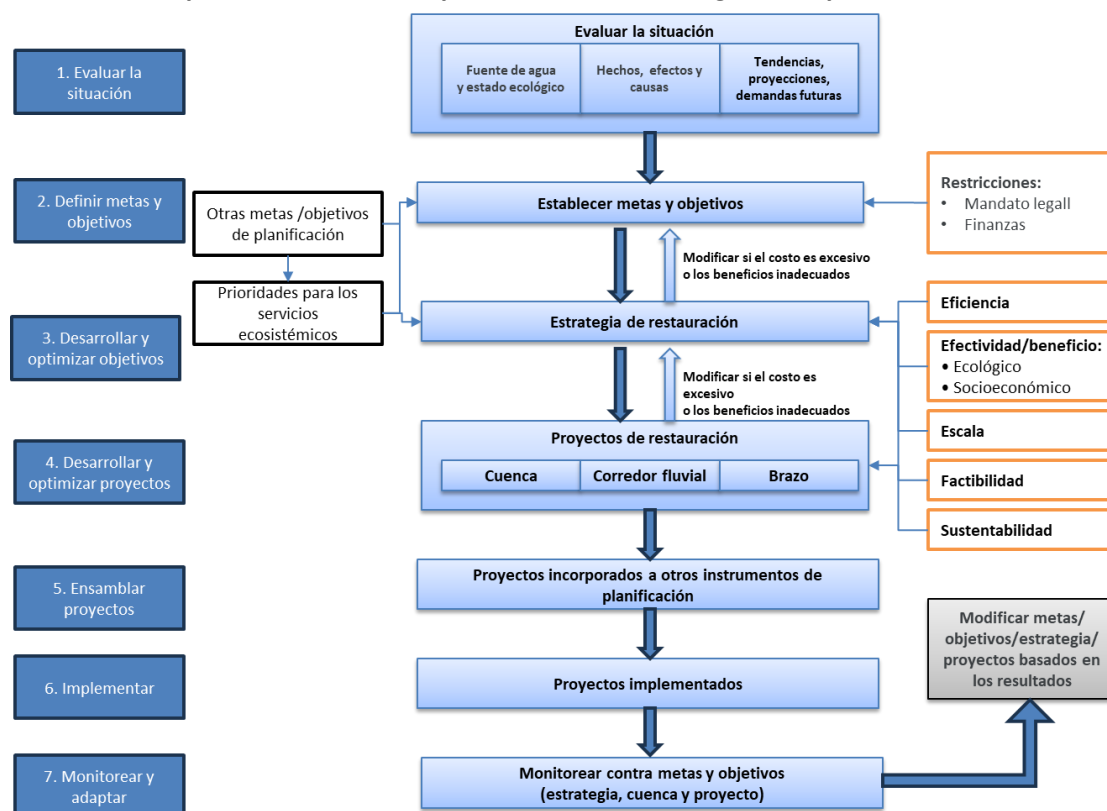
1. **Evaluación de la situación.** Esto implica realizar una evaluación de referencia de la cuenca del río para proporcionar la información necesaria para respaldar la toma de decisiones y el proceso de planificación de manera más amplia. Esto debería proporcionar una comprensión de la condición del sistema fluvial, su estructura y función, identificar las causas y las amenazas a la mala salud del río; y demandas y requerimientos de los servicios ecosistémicos de la cuenca.
2. **Establecer metas generales y objetivos cuantificables.** Estas metas y objetivos deben definir la base para el trabajo de Reparación y guiar todos los pasos del proceso, describiendo lo que pretende lograr el trabajo de Reparación y la base para evaluar el progreso hacia ese objetivo.
3. **Desarrollar y optimizar la estrategia de Reparación.** Este paso está diseñado para determinar el enfoque general para lograr las metas y objetivos de la Reparación. El enfoque puede incluir decidir qué elementos del sistema fluvial son más importantes para la Reparación, por ejemplo, priorizando regiones geográficas, recursos fluviales y funciones del ecosistema.
4. **Desarrollar y optimizar proyectos individuales de Reparación.** Es necesario identificar proyectos individuales para ayudar a lograr la meta y los objetivos generales. Estos proyectos pueden incluir acciones a escala de cuenca, corredor o tramo.
5. **Ensamble de proyectos.** Una vez identificados los posibles proyectos de Reparación, es necesario alinearlos entre sí y con otros planes de gestión de recursos hídricos y (cuando corresponda) desarrollar planes y otros instrumentos de planificación. Esta alineación puede requerir ajustes tanto en otros planes de gestión de recursos hídricos (para dar efecto a la estrategia de Reparación) como en la redacción de planes de proyectos de Reparación (para garantizar la coherencia y la alineación con otros instrumentos).
6. **Implementación.** La implementación implica emprender actividades de acuerdo con la estrategia de Reparación y los planes de proyectos individuales.
7. **Supervisar y adaptar.** Este paso debe determinar hasta qué punto se han cumplido las metas y los objetivos de Reparación, la eficacia de las actividades de Reparación y proporcionar un mecanismo para hacer ajustes a la estrategia de Reparación y los planes del proyecto según sea necesario.

En la práctica los pasos indicados anteriormente se desarrollan mediante un proceso iterativo que aplican la estrategia de Reparación y planes. En particular, es probable que el establecimiento de metas y objetivos, la descripción de la estrategia de Reparación y el diseño de proyectos de Reparación específicos requieran una reconsideración de los pasos anteriores, según los resultados de las últimas partes del proceso.



Figura N° 5

Pasos para desarrollar e implementar una estrategia de Reparación en ríos



Fuente: Adaptado de "River Restoration: A Strategic Approach to Planning and Management"

5.2 Evaluación de la situación del estero

La preparación de una estrategia de Reparación de ríos requiere que una variedad de información esté disponible para los que toman las decisiones y para las partes interesadas que permita ayudarlos a comprender los problemas, evaluar las opciones y formular una respuesta. Esto significa tener la información para responder a una serie de preguntas centrales para el proceso de Reparación de ríos establecidas en el marco de la reparación en particular:

- ¿Cuáles son las influencias clave en el ecosistema fluvial?
- ¿Cómo funciona el ecosistema fluvial?
- ¿Cuál es la condición actual del ecosistema fluvial?
- ¿Qué proporciona el ecosistema fluvial y a quién?

La evaluación de la situación debe diseñarse para proporcionar esta información y puede considerarse en términos de tres partes: una evaluación de referencia, una evaluación de problemas y una evaluación de tendencias.

5.2.1 Condición de referencia del ecosistema

La evaluación de línea de base debe proporcionar una comprensión tanto del estado actual del ecosistema fluvial como de cómo funciona ese sistema. Esta comprensión debe considerar tanto la situación ecológica, la disponibilidad de recursos hídricos y la dependencia humana del ecosistema fluvial (es decir, los servicios ecosistémicos que proporciona).



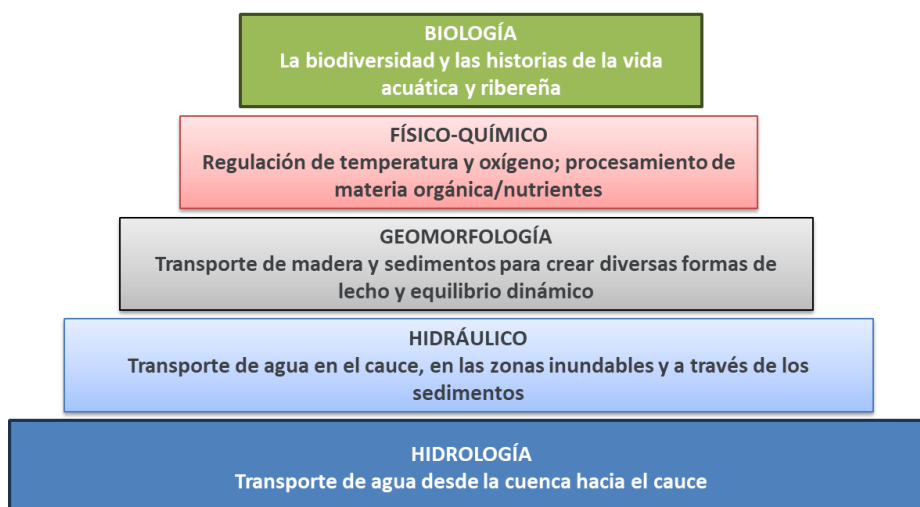
Comprender las funciones clave del ecosistema, incluidos los diferentes procesos dentro de la cuenca del río, es particularmente importante para la Reparación efectiva del río. Es necesario identificar el papel que desempeñan las diferentes funciones para contribuir a la salud de los ríos y la provisión de servicios ecosistémicos.

Tal comprensión puede proporcionar una base científica para las decisiones de Reparación, por ejemplo, al:

- permitir respuestas específicas que aborden las causas de la pérdida de la funcionalidad del sistema
- apoyar la predicción y cuantificación de los efectos a corto y largo plazo de la Reparación
- permitir la evaluación de las interdependencias de los ecosistemas y la evaluación de los impactos acumulativos
- permitir una evaluación de los umbrales más allá de los cuales es probable que la función del ecosistema colapse o se altere materialmente (Fischenich, 2006).

La Agencia de Protección Ambiental de EE. UU.(EPA) ha desarrollado un marco basado en funciones para desarrollar y evaluar proyectos de Reparación de ríos. El marco divide la función aguas abajo en una jerarquía de cinco categorías. Las funciones de alto nivel son compatibles con las funciones de nivel inferior. El nivel 1 (hidrología) sustenta todas las demás funciones, mientras que el nivel 5 (biología) depende de todas las demás funciones (ver Figura N° 6). Un objetivo principal del marco es ayudar a quienes realizan actividades de Reparación a comprender que las funciones de los arroyos están interrelacionadas y, en general, se complementan entre sí en un orden específico. Las funciones deben abordarse en el orden que se muestra. Por ejemplo, es poco probable que la reintroducción de una especie de pez (nivel 5) tenga éxito si las limitaciones relacionadas con las funciones de apoyo, como la hidrología (p. ej., caudales suficientes), la geomorfología (p. ej., hábitat) y la fisicoquímica (p. ej., calidad del agua), no han sido abordados primero. El marco también tiene como objetivo ubicar los proyectos de Reparación a escala de alcance en el contexto de la cuenca y resaltar que la selección del sitio es tan importante como la intervención a nivel de alcance en sí misma.

Figura N° 6
Marco de pirámide de funciones de flujo



Fuente: Adaptado y traducido desde Harman et al., 2012



5.2.1.1 Ecosistema de referencia

De acuerdo con la DGA (Niemeyer, 1980), el estero Sin Nombre que será objeto de reparación ambiental pertenece a la subsubcuenca del estero Limache y que alimenta a su vez a la subcuenca del Aconcagua Bajo. La cuenca del estero Limache recoge las aguas de una superficie aproximada de 573 km².

En la Figura N° 7 se puede observar la ubicación de la cuenca del estero Limache, y el curso de agua del estero Limache. Tiene cabeceras en la vertiente poniente de los cerros La Campana y el Roble y del cordón de La Dormida, donde se juntan los esteros Las Palmas, quebrada Alvarado y Cajón de La Dormida con el nombre de estero Pelumpén y pasa por la ciudad de Olmué (donde se conecta con el estero Sin Nombre). Más abajo bisecta la ciudad de Limache y sigue al oeste por Limache. Una pequeña obra de regulación está emplazada en uno de sus principales afluentes, cual es el estero Lliulliu, y antes de su descarga al embalse El Aromo (Cade-Idepe, 2004).

Dado que el estero Sin Nombre es parte de la cuenca del estero Limache, se procederá a realizar una descripción de un ecosistema de referencia (la cuenca del estero Limache) partiendo por realizar un resumen de la información bibliográfica de sistemas acuáticos ubicados dentro de la cuenca del estero Limache, ya que por su cercanía al estero Sin Nombre debería contener condiciones semejantes en cuanto a estructura, funcionamiento y calidad.

Clima

El Estero Limache, según la clasificación de Köppen, presenta un clima de tipo mediterráneo templado, donde se distinguen dos subtipos, clima mediterráneo semi seco y clima mediterráneo de montaña (altitudes mayores a los 1000 msnm). Las temperaturas se presentan, con fluctuaciones entre el período más cálido, con una temperatura media de 17°C, hasta el período más frío en los meses de julio, con una media de 7,3 °C, lo que constituye un valor medio anual oscilante entre los 13°C.

Por otro lado, la precipitación media anual es de 457 mm y una tasa evapotranspirativa anual de 1200 mm lo que determina un déficit hídrico y un periodo de sequía de 8 meses, donde en los meses de junio y julio se llega a recibir 110 mm de precipitación (DGA, 1993).

Hidrología

El estero Limache recibe aguas de la vertiente poniente de la cordillera de la Costa, al pie de los cerros La Campana y El Roble y del cordón de La Dormida donde se juntan los esteros Las Palmas, Quebrada Alvarado y Cajón de La Dormida con el nombre de estero Pelumpén Conforme una típica hoya de régimen pluvial, ya que en los meses de verano y otoño prácticamente se seca. Tiene por principal afluente el estero Lliu-Lliu que viene del sur, desde el cerro Vizcacha (1147) y que es regulado a través del embalse de ese nombre (Niemeyer, 1980).

Al atravesar las zonas urbanas, el estero recibe aguas provenientes de 7 sistemas de drenaje de evacuación de aguas lluvias denominados: Pelumpén Alto, Granizo, Olmué, Pelumpén Bajo, Lliu-Lliu, Pelamote y Limache (PLADECO Limache, 2020). También, recibe de forma continua aguas servidas tratadas provenientes de la ciudad de Olmué y cuyo volumen de descarga diario es de 1.172 m³/d^f.

^f Fuente: Ecotecnos 2020, VDD = 1172 m³/día



Geomorfología

Este tramo escurre por una caja angosta y profunda, la que ha formado terrazas de cultivo en sus márgenes, limitadas por laderas de los cerros de la costa que presentan la vegetación característica de la zona central, la estepa de espino. Esto es válido para los cursos medio y bajo.

Sus suelos son arcilloso-graníticos con afloramientos de rocas en especial en las laderas de los cerros. En cambio, el sustrato del cauce es, como en toda cuenca donde el proceso de sedimentación es dominante, de ripio y de arenas finas. (DGA, 1993)

Usos

El Estero Limache es usado para la extracción de agua para riego agrícola; actúa como receptáculo de la descarga del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) y finalmente es utilizado para actividades de recreación y extracción de áridos (DGA, 2004).

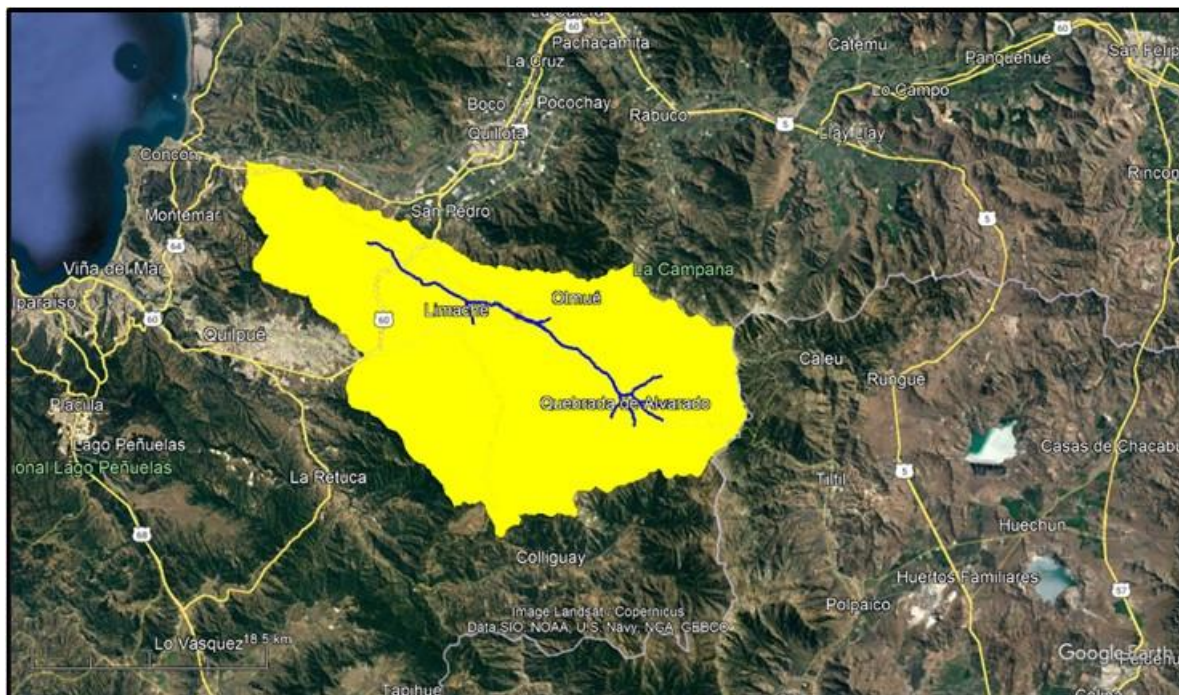
Hidráulico

Los suelos aluvio-coluviales ocupan una posición de plano inclinado suave y en posición más alta que los típicamente aluviales, prestan texturas gruesas y con clastos redondeados y angulares.

En general existe poca información del caudal de un estero representativo de la zona. Un balance al cierre de la cuenca de del estero Limache realizado por DGA informa que la cuenca se encuentra siempre agotada excepto entre los meses de junio a agosto, donde la probabilidad de excedencia 85% da valores de caudal puede llegar. En el mismo estudio se informa de un caudal medio mensual 2,33 y 15,99 L/s a la salida del embalse Los Aromos^g.

Dado los bajos caudales de agua en el estero se espera que anchos y alturas de escurrimiento sean bajos, y que su capacidad erosiva también lo sea.

Figura N° 7
Cuenca del estero Limache y curso de agua antes de embalse El Aromo



Fuente: Subsubcuencas DGA ^h

^g DGA, 2004, Evaluación de los recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Aconcagua.

^h <https://dga.mop.gob.cl/estudiospublicaciones/mapoteca/Paginas/Mapoteca-Digital.aspx>



Calidad de agua

Se han realizado diversos estudios de calidad de agua en el estero Limache y en distintos periodos de tiempo (DGA 1993, Cade-Idepe 2004, Córdova et al 2009, Aranda et al 2014). La tendencia histórica muestra un decrecimiento en la calidad a medida que avanza el crecimiento poblacional y la sequía producto del cambio climático. En general se puede indicar ciertos factores que están presentes y que han incidido en la calidad del agua de la cuenca antes del embalse El Aromo. Mayores detalles en la Tabla N° 4.

Tabla N° 4
Factores incidentes en la calidad del agua, estero Limache

Estación de Calidad / Segmento	Factores incidentes		Parámetros que pueden verse afectados	Caracterización del factor
	Naturales	Antropogénicos		
Estero Limache	Sequía	Contaminación difusa por aguas servidas	CE, coliformes, DBO5, OD, Cl, SO4, NH3	Aguas servidas PTAS Olmué
		Actividad agrícola, aplicación de plaguicidas y uso de fertilizantes en suelos	SO4, NO3, P, plaguicidas	Agricultura intensiva y tecnificada
		Drenajes difusos por depósito de estériles y movimiento de ripios	SS, turbidez	Riego: Extracción de agua para riego Extracción de áridos

Fuente: Original Cade-Idepe (2004), adaptado a condiciones actuales

Flora terrestre

La vegetación va cambiando a lo largo del tramo. En la parte alta hay vegetación esclerófila (aromo, quillay, litre, peumo, boldo, mayo, molla, bellota, bollén, y taba) similar a la del Cerro La Campana; a continuación, se encuentra matorral de espinos (espinal) característico de la Cordillera de la Costa y luego el estero continúa pasando por centros urbanos con intervención antrópica. En el entorno se observa abundante zarzamora y eucalipto.

Tabla N° 5
Taxas de vegetación presentes en el Estero Limache

Nombre científico	Familia	Nombre Común
<i>Baccharis marginalis</i>	Asteraceae	Chilca
<i>Baccharis pingraea</i>		Chilquilla
<i>Tessaria absinthioides</i>		Brea
<i>Acacia caven</i>	Mimosaceae	Espino
<i>Acacia dealbata</i>		Aromo
<i>Rubus ulmifolius</i>	Rosaceae	Zarzamora
<i>Salix babylonica</i>	Salicaceae	Sauce Llorón
<i>Saxifraga chilensis</i>		Sauce Chileno
<i>Populus nigra</i>		Álamo
<i>Eucalyptus globulus</i>	Myrtaceae	Eucalipto
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Fabaceae	Robinia
<i>Otholobium glandulosum</i>		Culén
<i>Galega officinalis</i> L.		Galega
<i>Calystegia sepium</i>	Convolvulaceae	Suspiro
<i>Datura stramonium</i>	Solanaceae	Chamico

Fuente: Aranda, Ana María, (2014), tabla 4



Fauna terrestre

La rana chilena, sapito de cuatro ojos, sapo de rulo, sapo chile-no, sapos del género *Alsacias*, y sapos del género *Fleuroderma* corresponden a la fauna de anfibios que se puede asociar a aguas quietas del estero. En rocas y estrato de arbustos bajos se encuentran reptiles como; lagartija (*Liolaemus sp.*) y culebra (géneros *Phyladrias* y *Tachymenis*). La fauna más conspicua de aves, que utiliza estas sitios para nidificar y concentrar sus horarios de actividad, corresponde a queltehués y garzas; se documentan además jota, aguilucho, tinque, cernícalo, laica, tordo, tanta, golondrina, viudita, cachudito, run-run y colegial.

Hay abundancia de roedores del tipo degu, lauchita de Darwin, ratoncito oliváceo y lauchita de los espinos (DGA, 1996).

Flora ribereña y acuática

Se observa abundante zarzamora. La vegetación consistente principalmente en berro y sombrerito se encuentra en parches discontinuos. En el cauce se observa la presencia de plantas como *Zannichellia* y *Potamogeton sp* en abundancia (DGA, 1996).

Tabla N° 6
Flora ribereña y acuática, estero Limache

Familia	Especie	% Abundancia
Flora Ribereña		
Familia	Especie	
Brassicaceae	<i>Rorippa nasturtium acuaticum</i>	80
Umbelliferae	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	10
Onagraceae	<i>Epilobium chilense</i>	5
Scrophulariaceae	<i>Veronica anagallis aquatica</i>	5
Flora acuática		
Familia	Especie	
Zannichelliaceae	<i>Zannichellia palustris</i>	70
Potamogetonaceae	<i>Potamogeton sp.</i>	20
Cladophoraceae	<i>Cladophora sp.</i>	10

Fuente: DGA, 1996

Fauna bentónica

Baja riqueza de especies, predominan especies tolerantes a la contaminación de materia orgánica (Dípteros en estado larvario). Córdova et al (2009) determinaron 33 familias de macroinvertebrados, siendo los taxa dominantes Dugessidae, Oligochaeta y Chironomidae.

Otro estudio (Aranda, 2014) identificó un total de 12 familias de macroinvertebrados, entre los cuales los taxa más dominantes fueron Physidae y Chironomidae. También es importante destacar la presencia exclusiva de las familias Tubificidae y Dytiscidae. En la Tabla N° 7 se puede observar el detalle de los macroinvertebrados encontrados.



Tabla N° 7
Macroinvertebrados registrados en el estero Pelumpén

Phylum	Clase	Orden	Familia
Arthropoda	Insecta	Tricoptera	Hydropsychidae
		Odonata	Gomphidae
			Coenagrionidae
		Diptera	Chironomidae
		Coleoptera	Dytiscidae
			Hydraenidae
	Crustacea	Ostracoda	Cyprididae
		Amphipoda	Hyalellidae
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Physidae
Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	Dugessidae
Annelida	Hirudinea	Glossiphoniiformes	Glossiphoniidae
	Oligochaeta	Haplotaxida	Tubificidae

Fuente: Aranda, Ana María, (2014), tabla 5

Fauna íctica

El sistema debido a su intervención antrópica presenta en su fauna íctica especies tolerantes a condiciones de altos sedimentos y materia orgánica. Se describen para el sector aguas arriba de Limache pejerrey y gambusia, en el sector urbano se describe la ausencia de peces y en el sector bajo pejerrey, gambusia, bagre y pocha.

5.2.2 Valoración de la situación actual

La valoración de la situación actual debe identificar:

- **Efectos y causas:** aquellos factores que están afectando o amenazando la condición del ecosistema fluvial. Esto debe incluir cualquier actividad o proceso que pueda afectar las funciones clave del ecosistema del río, por ejemplo. factores que afectan la capacidad del río para actuar como conducto, como barreras a la conectividad lateral o longitudinal, o cambios en el cauce del río que afectan su capacidad para transportar aguas de inundación factores que afectan la capacidad del río para actuar como barrera o filtro, como la pérdida de vegetación ribereña factores que afectan la capacidad del río para actuar como fuente y sumidero, como la contaminación, que limita la capacidad del río para asimilar los desechos y proporcionar suministros de agua potable limpia factores que reducen el hábitat proporcionado por el río, como la minería o la limpieza de la vegetación en el río.
- **Hechos e impactos:** ¿cuáles son los desafíos dentro de la cuenca y cuáles son las consecuencias tanto para el ecosistema fluvial como para aquellas comunidades que dependen del río para la provisión de servicios ecosistémicos? Esto debería incluir la identificación de los factores limitantes para mejorar la salud del río.
- **Oportunidades y limitaciones:** la planificación de la Reparación de ríos debe considerar dónde existe potencial para que la Reparación apoye o se beneficie de otras actividades relacionadas con el agua dentro de la cuenca (p. ej., bajo otros planes temáticos y el potencial de sinergias. El proceso de planificación también debe reconocer cualquier restricción sobre futuras actividades de Reparación; estas pueden incluir restricciones legales, físicas, prácticas, políticas o financieras.



5.2.2.1 *La situación actual del estero Sin Nombre y del estero Pelumpén*

Al evaluar la situación actual del estero Sin Nombre se debe tener en consideración que su única fuente continua de alimentación de agua proviene del agua servida tratada de la PTAS de Olmué, luego la calidad de sus aguas esta indefectiblemente asociada a la calidad del agua tratada de la PTAS.

Adicionalmente, aguas abajo del punto de descarga de la PTAS a 548 m aproximadamente, el estero Sin Nombre se conecta al estero Pelumpén, estero que permanece sin agua varios meses del año. Un ejemplo de esta situación se constató durante la evaluación realizada septiembre de 2022ⁱ. Luego, la calidad del agua del estero Pelumpén aguas abajo del punto de conexión con el estero Sin Nombre también es impactada por este cuerpo de agua que lo alimenta de forma continua ya que el estero Pelumpén se encuentra normalmente seco aguas arriba de este punto de conexión indicado.

Los estudios realizados para la Municipalidad de Olmué (AMB Chile 2022 y Ecotecnos 2022) evidencian la afectación de la calidad de las aguas y de comunidades biológicas en el estero Sin Nombre donde se descargan las aguas servidas de la PTAS de Olmué y que corre paralelo al estero Pelumpén y que es parte del sistema acuático Pelumpén. A manera de resumen los efectos de relevancia identificados fueron los siguientes:

- a. Se evidenció un alto aporte orgánico en el agua del estero que conforma la descarga de la Planta de Tratamiento de Aguas servidas (PTAS) de Olmué ya que los niveles de oxígeno disuelto presentaron valores muy por debajo de los determinados por estudios científicos previos y de los esperados por proyectos de normas de calidad secundaria ambiental, situación que es similar respecto de la conductividad del agua del estero.
- b. Se evidenció una progresiva demanda de oxígeno en los sedimentos y una baja escorrentía que aporte oxigenación con una disminución progresiva del parámetro Redox a medida que se avanza en el cauce del estero generado por la PTAS de Olmué.
- c. El estero Sin Nombre que se origina de la descarga de la PTAS de Olmué da cuenta de condiciones de alto nivel de aportes orgánicos que no inciden significativamente en la afectación de otros cuerpos de agua existentes, tal como el estero Pelumpén, ya que sus propiedades químicas no contienen cargas contaminantes fecales y sólo demuestran una alta demanda del oxígeno, propio de una baja escorrentía.
- d. Al evaluar la calidad fisicoquímica del agua superficial del estero se reconocieron tres parámetros que sobrepasaron los valores límites de referencia de la normativa nacional (Conductividad Específica, DBO5 y oxígeno disuelto), mostrando, inclusive, uno de ellos (DBO5), rangos superiores en el estero a lo indicado en el Decreto 90/2000 (MINSEGPRES 2001).
- e. El estero tiene presencia de comunidades planctónicas y bentónicas, en general, su biodiversidad es baja, presentando dominancia de grupos biológicos, que, según bibliografía, son grupos habitantes de aguas perturbadas.

En resumen, los estudios indicados concluyen que el estado de la calidad de las aguas del estero paralelo al Pelumpén, en el cual descarga la PTAS de Olmué, dan cuenta de un ecosistema con perturbación antrópica y con concentraciones ambientales inaceptables, cuestión que se ratifica con las circunstancias referidas a la superación de los valores de referencia de la normativa nacional en materia de calidad de agua, sedimentos y biota acuática, y a la dominancia de grupos biológicos característicos de aguas perturbadas y de mala calidad.

ⁱ AMB Chile, 2022, No se detectó caudal de agua en estero Sin Nombre aguas arriba de la PTAS ni en el estero Pelumpén al frente de la PTAS.



5.2.3 Valoración de tendencias

Los ríos necesitan ser reparados para proveer y ser resistentes a las condiciones futuras. Por lo tanto, la planificación de la Reparación debe estar informada por una visión del futuro, así como por una comprensión del presente. Esto permite que la Reparación del río considere ambos:

- Demandas futuras: ¿qué servicios ecosistémicos se requerirán de la cuenca fluvial en el futuro? ¿Qué suministro de agua se requerirá? ¿Alterará la urbanización el riesgo de inundaciones en la cuenca y, por lo tanto, la necesidad de una mayor atenuación de inundaciones?
- Presiones futuras: ¿cómo es probable que se modifiquen con el tiempo las fuerzas impulsoras de la salud del río? ¿Cómo podría ser el uso de la tierra en la cuenca? ¿Es probable que haya una tala significativa de vegetación? ¿Qué cargas de contaminación se pueden esperar? ¿Se espera que cambie el clima y cómo podría afectar esto a la hidrología de la cuenca?

5.2.3.1 Tendencias futuras en estero Sin Nombre

El estero Sin Nombre y por ende del estero Pelumpén, es parte del límite sur del parque nacional La Campana creado en octubre de 1967, por lo que los objetivos y acciones de protección ambiental y ecológica deberán estar en línea con los objetivos de conservación para este parque en particular que son: carnívoros, bosque y matorral esclerófilo, palma chilena, bosque de roble, matorral xerófito, ecosistemas de altura, red hidrobiológica, piedras tacitas, testimonio y lugares patrimoniales.

Específicamente y por su ubicación y altura geográfica los objetivos deberían alinearse con la preservación de matorral xerófito y la red hidrobiológica.

El ecosistema Pelumpén de acuerdo con la tendencia histórica de precipitaciones está sufriendo una transición a condiciones de sequía semipermanente y un paulatino cierre de la cuenca producto del aumento de la población de las comunidades aledañas (Olmué y Limache principalmente). Luego, el aporte de la descarga de aguas servidas tratadas en el estero Sin Nombre irá en paulatino aumento a medida que aumenta la población de Olmué en coincidencia con la reducción del aporte de agua de otras fuentes naturales al estero. Se debe notar que el único aportante relevante de aguas al estero Pelumpén es el estero Lliu-Lliu, ubicado aproximadamente a 4,6 km del punto de descarga de la PTAS Olmué en estero Sin Nombre.

En este escenario, es previsible que en el futuro las presiones de aumento demográfico y de sequía provoquen una reducción en el caudal del estero Pelumpén y de la calidad de sus aguas.

Existen por otro lado, algunas acciones de conservación en el estero Limache aguas abajo del estero Sin Nombre, (a aprox. 10,5 km) donde se definió la Reserva Natural Municipal Piedras Blancas¹ (RENAMU) reconocida como Humedal Urbano por el Ministerio del Medio Ambiente mediante la ley 21.202 en noviembre del 2020 y que se ubica en Limache con una superficie aproximada de 76 hectáreas.

5.3 Estableciendo metas y objetivos

Los objetivos definen el estado o resultado específico que se debe lograr, idealmente durante el horizonte de planificación. Los objetivos pueden relacionarse con la condición del ecosistema fluvial (p. ej., la calidad del agua, la población de especies clave); la naturaleza de las amenazas en la

¹ <https://limache.cl/renamu/>



cuenca (p. ej., el nivel de contaminación, las prácticas de uso de la tierra o los niveles de extracción de agua), o los objetivos de gestión (p. ej., la introducción de medidas que regulen las actividades nocivas o el establecimiento de un área determinada de zonas de conservación). Los objetivos deben ser específicos y medibles. Puede ser apropiado establecer objetivos a diferentes escalas espaciales y temporales, dependiendo de la naturaleza del proyecto. Los objetivos pueden establecerse en función de:

- condiciones naturales previas, o por referencia a sitios no perturbados
- punto anterior en el tiempo (por ejemplo, a través de un enlace a la memoria viva)
- lograr un estado particular (p. ej., existencia de peces, resultado de la calidad del agua)
- lograr o mantener una función particular
- Reparación para la resiliencia y adaptabilidad (que puede ser apropiado cuando no es posible contemplar todas las posibilidades).

5.3.1 Objetivos de Reparación en el estero Sin Nombre

Sobre la base de los conceptos indicados en el punto anterior el objetivo general de Reparación del estero debe ser la reparación de los servicios ecosistémicos acuáticos afectados por la condición actual y que serían los siguientes:

- Regulación & Mantenimiento: Transformación de aportes físicos o bioquímicos a ecosistemas
- Regulación & Mantenimiento: Regulación de condiciones físicas, químicas y biológicas
- Provisión de agua superficial usada para nutrición, como material o energía

Estos servicios ecosistémicos se encuentran afectados por la calidad de las aguas servidas que vierte la PTAS Olmué en el estero Sin Nombre y al ecosistema acuático Pelumpén.

Una vez fijado el objetivo general se deben fijar los objetivos particulares y que permiten dar cumplimiento al objetivo general. Estos serán los siguientes:

1. Mejorar la calidad fisicoquímica de las aguas servidas vertidas de la PTAS Olmué que se descargan al estero Sin Nombre
2. Mejorar la calidad fisicoquímica del agua del estero Sin Nombre en la zona de mezcla.
3. Modificación de la geomorfología de estero Sin Nombre de forma de aumentar su superficie.
4. Ampliación de la cobertura vegetal en estero Sin Nombre.

5.4 Medidas de Reparación fluvial

La propuesta y formulación de medidas de Reparación fluvial deben considerarse en términos de tres dimensiones:

1. La escala espacial: donde dentro de la cuenca se llevan a cabo diferentes medidas de Reparación.
2. La escala de tiempo: cuándo se deben implementar diferentes medidas, así como el marco de tiempo para las respuestas, es decir, mejoras en la salud del estero.
3. El rango de medidas: los diferentes tipos de actividades que se pueden emprender para lograr los objetivos de Reparación.

Decidir cómo se deben abordar estas tres dimensiones para una estrategia particular de Reparación de ríos es el núcleo del proceso de planificación: un plan de Reparación debe elaborar las acciones



que se deben tomar, cuándo y a qué escala espacial. Las acciones dependerán de una combinación de factores, incluida la naturaleza de los problemas en la cuenca del río, lo que la estrategia de Reparación está tratando de lograr y consideraciones prácticas como los recursos financieros y técnicos disponibles.

5.4.1 Ejemplos de medidas de Reparación fluvial

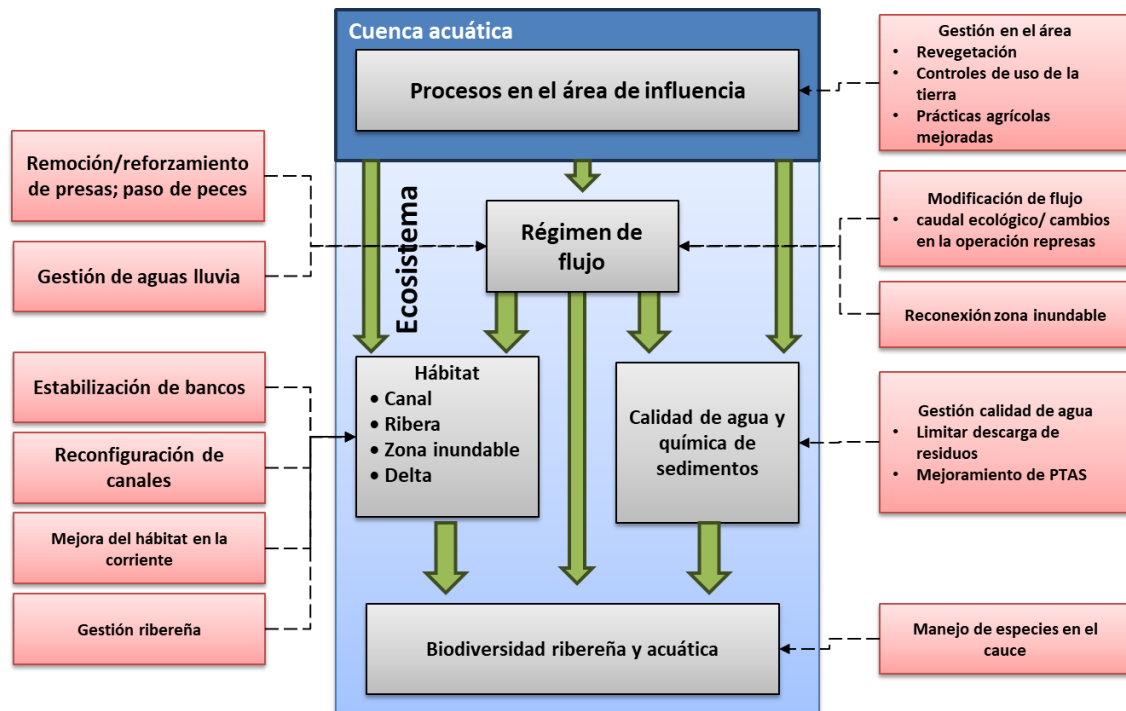
Existe una amplia gama de medidas que pueden ayudar a mejorar la salud del río. Las medidas pueden centrarse directamente en uno o más de los elementos del ecosistema fluvial, al tiempo que se reconoce que habrá implicaciones para otras partes del sistema. Si bien el objetivo final de un proyecto de Reparación de ríos podría ser mejorar la calidad del agua o restaurar la biodiversidad ribereña, las medidas de Reparación podrían enfocarse en otros aspectos del ecosistema fluvial o la cuenca circundante, como la zona ribereña, el régimen de caudal o la cuenca, con miras a lograr ese objetivo.

La planificación estratégica de la Reparación de ríos requiere considerar cómo se anidan estas medidas dentro de la estrategia más amplia, incluida la escala adecuada para abordar diferentes problemas y la forma en que una medida puede apoyar u obstaculizar otras medidas.

Según datos de proyectos en EE. UU., UE y Australia, los proyectos de Reparación se dividen aproximadamente entre aquellos centrados en mejorar la calidad del agua, la Reparación ribereña, alterar el régimen de flujo y cambiar el hábitat en la corriente, incluida la remodelación del canal del río. La Figura N° 8 muestra un desglose de diferentes medidas basadas en datos de EE. UU., UE y Australia para aproximadamente 48.000 proyectos de Reparación. Este desglose no incluye proyectos en la cuenca fluvial más amplia (es decir, fuera del corredor fluvial), aunque tales actividades, por supuesto, pueden tener impactos significativos en los procesos de cuenca, incluida la hidrología de la cuenca y los sedimentos y otros materiales que ingresan al corredor fluvial. Es importante señalar que la división entre los diferentes elementos del ecosistema fluvial no siempre es clara y muchos proyectos inevitablemente involucran actividades que afectarán múltiples aspectos del ecosistema fluvial.



Figura N° 8
Esquema de relación entre diferentes medidas para la Reparación de ríos y los elementos de un ecosistema fluvial



Fuente: Adaptado y traducido de "River Restoration: A Strategic Approach to Planning and Management"

Otra forma de agrupar las medidas para llevar a cabo la Reparación fluvial se basa en las categorías desarrolladas como parte de una evaluación de proyectos de Reparación en los EE. UU y que se presentan en la Tabla N° 8. (Bernhardt et al., 2005). Esas categorías se dividen entre los diferentes elementos del sistema fluvial (captación, régimen de caudal, hábitat, calidad del agua, biodiversidad), en función de qué elemento se utiliza principalmente para abordar la medida. La tabla describe para qué se usa típicamente la medida e incluye ejemplos de Reparación tanto pasiva (p. ej., enfoques basados en políticas o normativas) como activa (intervenciones directas para modificar el ecosistema fluvial).



Tabla N° 8
Tipología de medidas de Reparación fluvial

Elemento del ecosistema	Medida de Reparación	Utilizado en la Reparación para:	Ejemplos de diferentes medidas	
			Reparación activa	Reparación pasiva
Cuenca	Gestión de cuenca	Alterar el agua, los sedimentos y otras materias que ingresan al cauce del río.	Revegetación de la cuenca Rehabilitación de cárcavas/zonas de alta erosión Conservación de la tierra y el agua	Planificación del uso de la tierra/controles regulatorios sobre el uso de la tierra, limpieza de vegetación Promoción (obligatoria o voluntaria) de buenas prácticas de gestión agrícola
Régimen de flujo	Modificación de flujo	Cambiar el volumen, el tiempo, la frecuencia y la duración de los flujos	Recompra de derechos de agua y gestión activa del agua para mejorar los resultados ambientales Eliminación/reingeniería del drenaje en zona inundable	Liberación obligatoria de flujos para operadores de represas/estaciones hidroeléctricas Restricciones a la extracción de agua por parte de los usuarios del agua
	Gestión de aguas lluvia	Alterar el patrón de flujo de agua que escurre de las áreas urbanas, pe: alterar el peak de inundación	Construcción de estanques, humedales, cuencas de retención de inundaciones u otros reguladores de flujo en áreas urbanas Eliminación/reducción de superficies impermeables en la cuenca urbana	Requisitos de diseño y desarrollo urbano
	Eliminación/reforzamiento de presas	Mejorar los flujos y los resultados ecológicos, incluida la mejora del movimiento de sedimentos y peces.	Eliminación de presas o presas redundantes Adaptación de pasos de peces a presas o presas existentes	Requisitos reglamentarios para los operadores de represas
	Reconexión de zona inundable	Reducir el riesgo de inundación aumentando la capacidad del sistema fluvial para almacenar y liberar aguas de inundación Permitir el movimiento de biota, sedimentos y otras materias entre el canal y la zona inundable Aumentar la asimilación de contaminantes y la recarga de aguas subterráneas	Eliminación de bancos de diques Construcción de infraestructura (por ejemplo, cuellos de botella) para aumentar la frecuencia de las inundaciones	Liberación obligatoria de flujos para operadores de represas/estaciones hidroeléctricas Restricciones a la extracción de agua por parte de los usuarios del agua
Hábitat (ribereño)	Gestión de ribera	Alterar el agua, sedimentos y demás materia que ingresa al cauce del río; proporcionar hábitat; alterar la temperatura del agua a través del sombreado;	Revegetación de zona ribereña Eliminación de plantas invasoras	Exclusión de ganado y otras especies invasoras Restricciones reglamentarias a la tala de vegetación ribereña



Elemento del ecosistema	Medida de Reparación	Utilizado en la Reparación para:	Ejemplos de diferentes medidas	
			Reparación activa	Reparación pasiva
		apoyar la migración a lo largo del corredor del río		
	Adquisición de tierras	Adquirir tierras ribereñas para controlar el uso de la tierra y/o permitir trabajos de Reparación	Compra de terrenos en áreas sensibles/de alto valor	
Hábitat (en la corriente)	Mejora del hábitat en la corriente	Promover o crear un hábitat que apoye la biodiversidad	Creación de hábitat a través de la introducción de troncos/enganches; plantación de vegetación dentro de la corriente	Restricciones a la minería y otras actividades extractivas dentro del cauce del río
	Estabilización de bancos	Reducir la erosión/desplome del material del banco en el río	Fortalecimiento/remodelación de la orilla del río Plantación de vegetación directamente en la orilla del río.	Restricciones a las actividades en la ribera del río
	Reconfiguración del canal	Alterar la forma del plan del canal o el perfil longitudinal, aumentando así la diversidad hidráulica y la heterogeneidad del hábitat y disminuyendo la pendiente del canal	Iluminación natural (apertura de tuberías/retirada de revestimientos) Rehacer meandro del cauce del río	
Calidad del agua	Gestión de la calidad del agua	Proteger o mejorar la calidad del agua, incluida la composición química y la carga de partículas	Construcción o mejora de instalaciones de aguas residuales. Captura de basura y sedimentos urbanos Remediación de minas Reparación de humedales	Cambios en las operaciones de liberación de presas para gestionar la temperatura del agua Requisitos reglamentarios sobre gestión/descarga de contaminantes
Biodiversidad	Gestión de especies en la corriente	Proteger o mejorar el número/diversidad de especies importantes	Repoblación/reintroducción de especies	Controles sobre la recolección/retirada de especies Establecer zonas de conservación
Otro	Estética/ recreación/ educación	Aumentar el valor de la comunidad, por ejemplo, mejorando la apariencia, el acceso o el conocimiento	Creación de parques ribereños, pasarelas y puntos de acceso al río. Instalaciones educativas	

Fuente: Traducido de Bernhardt et al., 2005



5.4.1.1 Proponiendo Medidas de Reparación para el estero Sin Nombre

Se debe recordar que ya se han propuesto los objetivos de Reparación del estero por lo que las medidas que se presentan responden a los objetivos planteados. De acuerdo con lo indicado las medidas pretenden actuar sobre los siguientes servicios ecosistémicos del estero:

- Regulación & Mantenimiento: Transformación de aportes físicos o bioquímicos a ecosistemas
- Regulación & Mantenimiento (abiótico): Regulación de condiciones físicas, químicas y biológicas

Mejorar la calidad fisicoquímica de las aguas servidas vertidas al estero Sin Nombre

Mejorar la calidad fisicoquímica de las aguas servidas que son vertidas al estero Sin Nombre parte por la implementación de modificaciones a la PTAS Olmué y que permitan el cumplimiento de los parámetros de calidad que se han comprometidos^k, donde cobran especial relevancia aquellos que están afectando a la calidad del agua del estero Sin Nombre, específicamente: conductividad específica, DBO5 y oxígeno disuelto.

Las modificaciones a la PTAS Olmué se basan en los siguientes estudios realizados para la Municipalidad de Olmué:

- Memoria Descriptiva Planta de Tratamiento de Aguas Servidas I. M. de Olmué, realizado por Ingeniero Juan Díaz Bustos, marzo 2020
- Informe de Auditoría Ambiental Catastral y de Capacidad realizado por empresa ECOTECNOS, enero del 2021.
- Informe de Ingeniería de Diseño para el mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas servidas de Olmué (GO-DC-1859-IB-PRO-01-RB), elaborado por H&D ABOGADOS Y ASESORES AMBIENTALES S.P.A. junio 2022.

Los estudios indicados resumen la necesidad de realizar modificaciones en las actuales instalaciones de la PTAS Olmué de forma de asegurar y mantener la calidad de las aguas servidas tratadas a la salida de la planta, bajo los parámetros de la Tabla N°1 de la Norma de Emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales, D.S. (MINSEGPRES) N°90/2000.

Las modificaciones que realizar serán las siguientes en las distintas etapas de tratamiento de la PTAS Olmué (ver Figura N° 9):

1. Regularizar la operación de la unidad de Pretratamiento Compacto de aguas servidas para mejorar y aumentar la cantidad de retiro de sólidos antes de la digestión aeróbica. Lo que permitirá optimizar la cantidad de sólidos suspendidos a tratar en la etapa aeróbica.
2. Modificar las instalaciones de la unidad Reactores para mantener controlada la cantidad de materia orgánica (DBO5) en las aguas servidas tratadas. Lo anterior es producto de aumentar la cantidad de oxígeno y lodos activados dentro de los reactores, lo que reducirá

^k Tabla N°1 de la Norma de Emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales, D.S. (MINSEGPRES) N°90/2000.



y asegurará destruir una mayor cantidad de materia orgánica disuelta o coloidal presente en las aguas, y evitar que sea descargada en el estero.

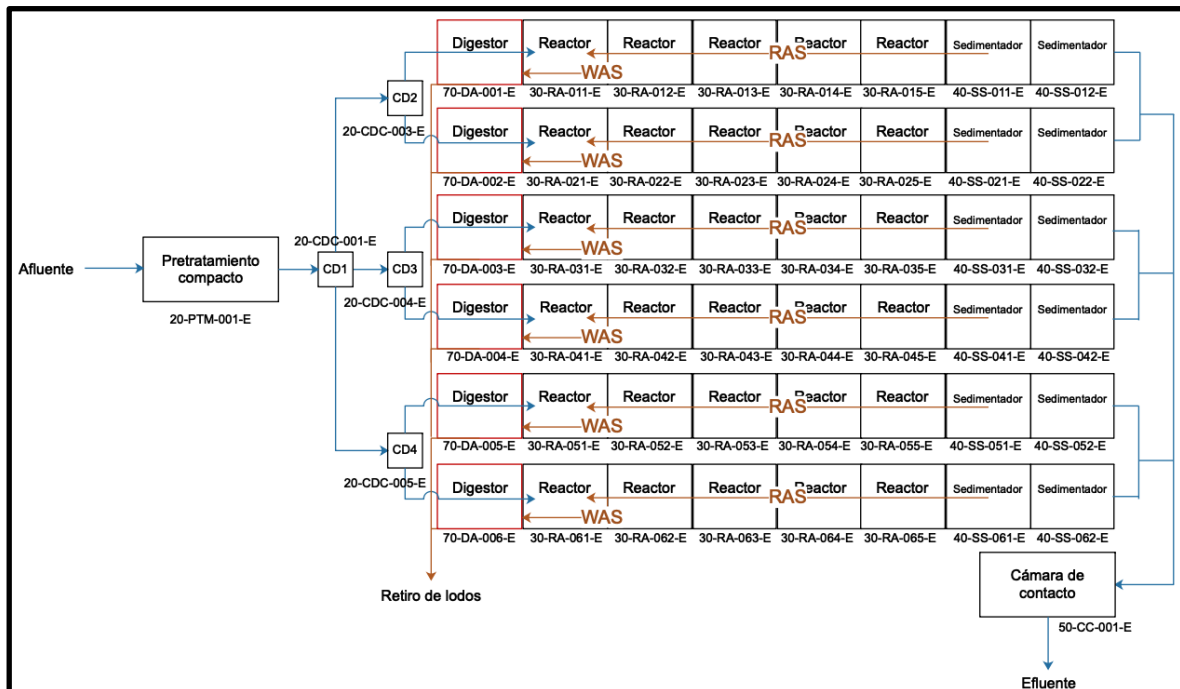
- Mejorar la separación sólidos líquidos en la etapa posterior de Sedimentación para mantener controlada la cantidad de sólidos orgánicos en las aguas servidas tratadas. Lo que asegurara evitar que una concentración elevada de partículas sólidas sea descargada en el estero.

Las acciones propuestas por los estudios permitirán asegurar que la concentración de contaminantes en las aguas servidas que se viertan al estero sin Nombre esté bajo la norma de emisión en BDO5 (35 mg/L) y sólidos suspendidos (80 mg/L). Un control adecuado de estos parámetros redundará adicionalmente, en un uso menor de cloro para el control de coliformes fecales para mantener valores bajo la norma (1000 NMP/100 ml), lo que redundará en reducir la conductividad del efluente final desinfectado.

Como se puede observar, el mejoramiento de las condiciones de operación y de los equipos de la PTAS será un paso fundamental y previo para reducir el impacto ambiental actual producto de llegada de concentraciones elevadas de conductividad y DBO5 producto de la descarga de materia orgánica disuelta y coloidal y de la adición de cloro.

Los detalles técnicos, especificaciones, tiempos de ejecución y costos de cada una de las modificaciones descritas serán producto de la Ingeniería básica y de detalles que deberán realizarse junto con la respectiva solicitud de aprobación ambiental ante el Servicio de Evaluación Ambiental.

Figura N° 9
Diagrama de tratamiento PTAS Olmué



Fuente: Ecotecnos, 2022.



Mejorar la calidad fisicoquímica del agua del estero

Como ya se ha indicado las aguas servidas tratadas que se descargan al estero Sin Nombre constituyen el único aporte permanente al estero indicado. Luego, la calidad fisicoquímica del agua del estero está íntimamente ligada a la calidad fisicoquímica de las aguas servidas tratadas que descarga la PTAS Olmué.

Las funciones fisicoquímicas de un cuerpo de agua incluyen la regulación de la temperatura y el oxígeno, y el procesamiento de materia orgánica y nutrientes. Estas funciones generalmente se ven más afectadas por las funciones subyacentes (bajo la categoría fisicoquímica y que son hidrología, hidráulica y geomorfología, ver Figura N° 6) que la superior biológica, aunque algunas de estas funciones ocurren tan pronto como el agua (servida tratada en este caso) está presente en el estero, por ejemplo, la temperatura del agua.

Sin embargo, la categoría Fisicoquímica se colocó por encima de Geomorfología porque un profesional de la Reparación generalmente abordaría las funciones aquí (Nivel 3) para ver mejoras en las funciones Fisicoquímicas. Por ejemplo, las zonas de rápidos y las pozas profundas (diversidad de formas de lecho), junto con la sombra y una amplia zona de amortiguamiento, ayudan a regular la temperatura de la corriente.

Es cierto que es posible que solo se necesite abordar los factores estresantes de la calidad del agua, la descarga de las aguas servidas tratadas, en lugar de restaurar las funciones subyacentes. Sin embargo, incluso en este caso, se debe realizar acciones para garantizar que las funciones de apoyo subyacentes estén presentes para que la corriente se recupere naturalmente una vez que se elimine o reduzca el factor estresante., y que será atacado mediante las acciones de mejoramiento del tratamiento de las aguas servidas en el PTAS indicadas en el punto anterior.

Ahora corresponde detectar las medidas de reparación dentro del cauce del estero y que tendrán como objetivo mejorar la calidad de los parámetros en el propio cuerpo de agua y que son DBO5, conductividad y los niveles de nutrientes que pueden afectar la concentración de oxígeno en el agua producto de su uso o reacción con la biota disponible.

La literatura presenta una serie de medidas de Reparación ambiental en el cauce de un cuerpo de agua y cuáles son sus impactos potenciales en los parámetros de calidad del agua. En la Tabla N° 9 se presenta un resumen de ellas.



Tabla N° 9
Impacto potencial en la calidad del agua de distintas medidas de Reparación

	Sedimentos finos	Temp.	Salinidad	pH	Oxígeno disuelto	Nutrientes	Toxicidad
Reducción de acciones que perturben el terreno	↓	↓	↓	↓↑	↑	↓	↓
Limitar el área de la superficie impermeable en la cuenca	↓	↓		↑	↑	↓	↓
Restaurar la vegetación ribereña	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓
Restaurar humedales	↓	↓↑	↓↑	↓↑	↓	↑	↑
Estabilizar canal y bancos	↓	↓	↓	↓	↑	↓	
Restablecer sustrato de rápidos				↓↑	↑		

Nota: ↑ indica un aumento en el parámetro de calidad del agua como resultado de la medida, ↓ indica una disminución y ↓↑ indica que el parámetro puede aumentar o disminuir. Sin la flecha indica un efecto insignificante.

Fuente: Speed, et all (2016).

Se puede observar que unas medidas adecuadas para recuperar la calidad del agua del estero (reducción de nutrientes, aumento de oxígeno disuelto, bajar la presencia de sedimentos que afectan la DBO5) guardan relación con la modificación de la geomorfología del cauce y el aumento de la vegetación ribereña en la zona de dilución.

Modificación de la geomorfología de estero

Desde un punto de vista espacial, las medidas a implementar en el estero se realizarán en la Zona de dilución de residuos líquidos, zona que se define como “*volumen o zona donde se produce la dilución de una descarga de residuos líquidos a un cuerpo receptor. Dicha zona será establecida caso a caso por la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante o por la Dirección General de Aguas según corresponda, mediante resolución fundada.*”

Se deberá realizar un estudio que pueda determinar de forma general la morfología y dinámica fluvial del estero. Además, se debe caracterizar los accesos, superficie, suelos y gravimetría; flora y vegetación, etc.

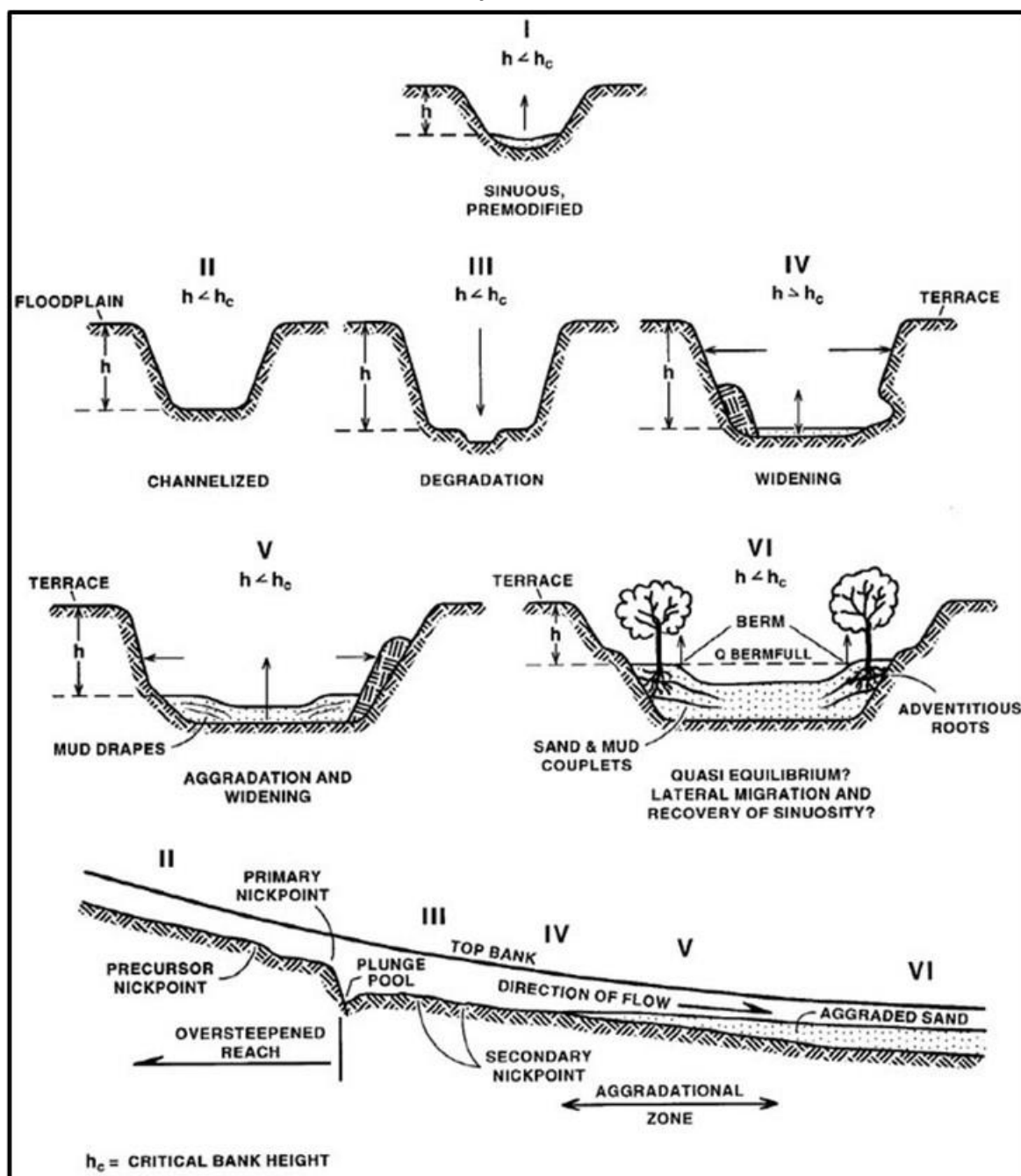
Posteriormente, se procederá a generar el proyecto de modificación del cauce del estero en la zona definida a intervenir. En este caso, se propone la ampliación del cauce del estero (ver Figura N° 10) que permite entre otras cosas:

- Aumentar la superficie de agua del estero expuesta al aire y la transferencia de oxígeno (aumento de oxígeno disuelto)
- Aumentar la superficie de agua del estero expuesta al terreno de la cuenca y los procesos de intercambio de sólidos y materia orgánica entre la cuenca y el agua (disminución de DBO5 y conductividad)
- Aumentar la superficie de contacto entre el agua y las plantas y organismos presentes en el estero (disminución de DBO5 y conductividad).

¹ MINSEGREP, (2009), “D.S. 143 Establece normas de calidad primaria para las aguas continentales superficiales aptas para actividades de recreación con contacto directo”, Título II, punto 9.



Figura N° 10
Procesos de escisión y ensanchamiento de cauces



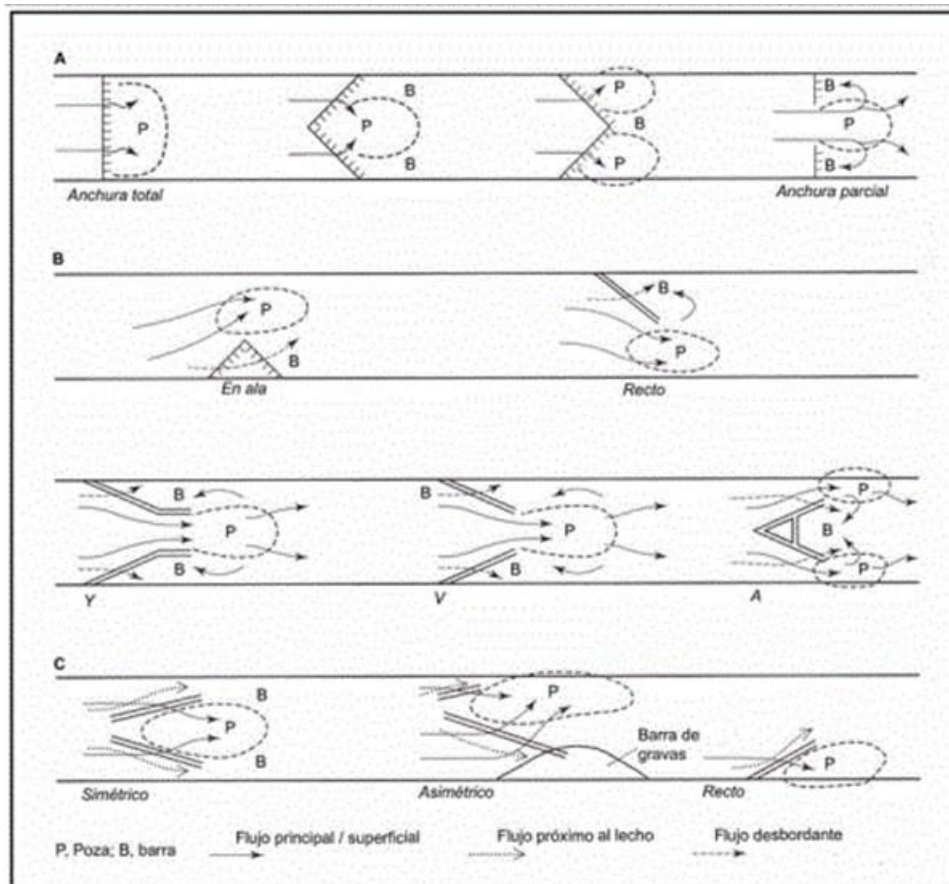
Fuente: Fernando Magdaleno, 2011.

Actualmente en el punto de descarga de las aguas servidas el ancho del estero no supera los 2 metros y esta condición de estrechez se mantiene a lo largo del estero Sin Nombre hasta su conexión con el estero Pelumpén a unos 530 m desde su punto de descarga.

El proceso de ensanchamiento puede realizarse de distintas formas, en este caso y dada las características del cauce del estero, se propone aumentar el ancho del estero Sin Nombre mediante la instalación de azudes o deflectores a lo largo del estero (ver Figura N° 11).



Figura N° 11
Representación esquemática del efecto de dispositivos de mejora hábitat acuáticos A, azudes, B y C, deflectores



Fuente: Fernando Magdaleno, 2011.

La instalación de azudes o deflectores en el cauce permite elevar el nivel del agua con el fin de aumentar mediante un ensanche el área de la zona de dilución. Los azudes, por ejemplo, son estructuras de hormigón y su sección transversal es de forma curvilínea para adaptarse a los principios de la mecánica de fluidos, de esta manera se minimiza el rozamiento del agua con la superficie del azud para evitar la erosión (ver Fotografía N° 1).



Fotografía N° 1
Azud instalado en un río (referencial)



La literatura recomienda aumentar el ancho para esteros de 2 m hasta 10 m, por lo que la cantidad y ubicación de los azudes se deberá determinar de acuerdo con estudio previo que considere el caudal histórico y la topografía del estero Sin Nombre. Se propone realizar la intervención solamente en este estero y hasta máximo antes de su conexión con el estero Pelumpén (ver Figura N° 12). El largo de la implementación será determinado en función de los resultados de los monitoreos de calidad y ecológicos determinados.

La instalación de azudes en el estero traerá los siguientes beneficios:

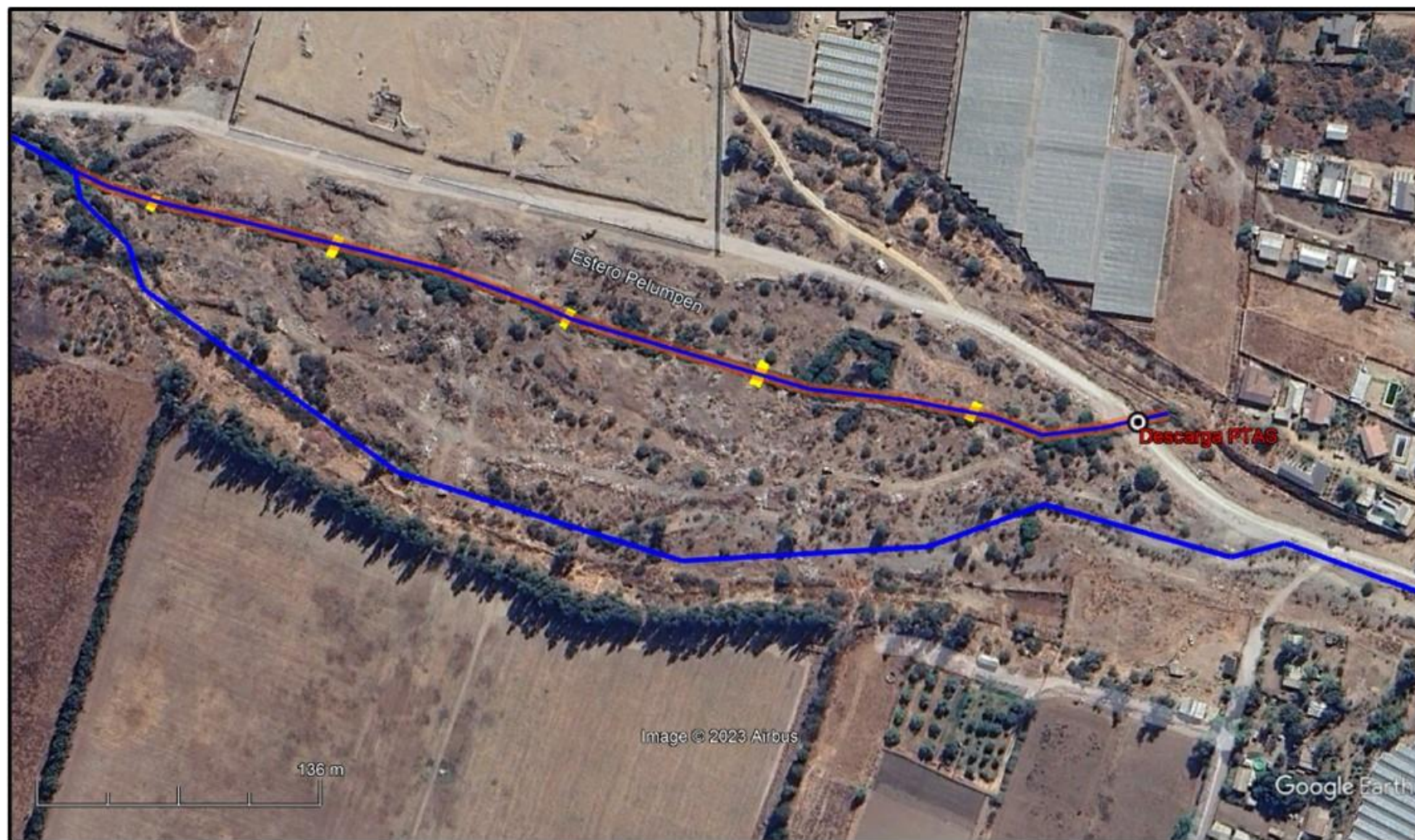
1. Aumento de oxigenación de las aguas producto de los saltos de agua que se generarán en cada azud.
2. Aumento del área de cobertura de plantas y vegetales que se encargaran de asimilar la materia orgánica que traiga el agua servida tratada
3. Aumento del tiempo de residencia de las aguas en la zona de mezcla con el consiguiente aumento de la condición buffer del estero y del consumo de nutrientes.

Se propone efectuar la instalación de azudes a lo largo del estero y en campañas semestrales de tal forma de reducir el impacto en la calidad del agua que corre por el estero, partiendo por la zona más cercana a la descarga de la PTAS y avanzando por el estero de acuerdo con el cálculo hidráulico que se debe realizar previamente.

Luego, de cada intervención se debe vigilar de forma periódica la modificación que sufra el ancho del estero y velar porque ocurra la generación de la cascada en el azud que aumente la oxigenación y que no ocurran taponamiento en la corona del azud que genere flujos preferentes.



Figura N° 12
Zona de instalación de azudes en estero Sin Nombre



Fuente: Elaboración propia, AMBChile 2023



Ampliación de la cobertura vegetal en estero

La ampliación de la vegetación ribereña presenta beneficios directos para los seres humanos. El suministro de agua como servicio ecosistémico depende de la cuenca hidrográfica, lugar donde se conjugan los elementos que conforman un ecosistema y se desarrollan los procesos que la regulan. Por lo tanto, la estructura, funcionamiento y estado de conservación de la cuenca determinarán en qué medida se concreta la provisión de este servicio. La zona ribereña, es buena fuente de provisión de agua de mejor calidad, de valor paisajístico y turístico, además de cumplir funciones ecológicas como corredores biológicos y sustentadores de la biodiversidad, lo que las hace elementos claves para apoyar la decisión de protegerlas aún más, diseñando estrategias de manejo destinadas a un uso más eficiente y racional de estos servicios. (Romero et al, 2014).

Posterior a la instalación de un azud y luego que ocurra el aumento de área de dilución en la zona intervenida, se propone realizar una forestación con especies, nativas de preferencia, en la nueva zona mojada producto de la ampliación del ancho del cauce.

La vegetación nativa recomendada para realizar la cobertura sería la siguiente:

- Chilquilla (*Baccharis pringraea*)
- Brea (*Tessaria absinthioides*)
- Huingán (*Schinus polygamus*)
- Culén (*Otholobium glandulosum*)
- Chilca (*Baccharis marginalis*)
- Espino (*Acacia caven*)
- Sauce chileno (*Salix chilensis*)

Se debería realizar un seguimiento posterior a la plantación para asegurar la reducción de pérdidas de vegetación producto de la acción de animales o personas. Se debería realizar alguna acción de cercado en la zona de implantación y fiscalización del avance del crecimiento de las plantas.

5.5 Seguimiento de la calidad ambiental

Los programas de evaluación y seguimiento de los proyectos de Reparación deben constituir una parte importante del proceso de Reparación. Un programa de seguimiento tiene que cumplir las siguientes funciones (Fernando Magdaleno, 2014):

- Debe servir para conocer el éxito de las diferentes actuaciones incluidas en el proyecto, y para acumular conocimiento y experiencia para futuras intervenciones. La evaluación de los resultados debe afrontarse, al igual que el propio proyecto, desde una perspectiva integral, que tenga en cuenta las modificaciones espacio-temporales que las técnicas empleadas han generado, desde el momento de su ejecución, sobre el conjunto de variables que conforman el sistema fluvial.
- Debe minimizar algunas prácticas inadecuadas, tales como el diseño de actuaciones sin objetivo claro, el planteamiento de los proyectos como simples ensayos, o la falta de respuesta por un desconocimiento del medio fluvial.
- Debe fomentar la cooperación entre técnicos, gestores, investigadores, y demás agentes públicos y privados implicados en la gestión de estos sistemas.
- Debe permitir una racionalización de las inversiones, con objeto de centrar la financiación en aquellas actuaciones que ofrezcan mejores resultados.



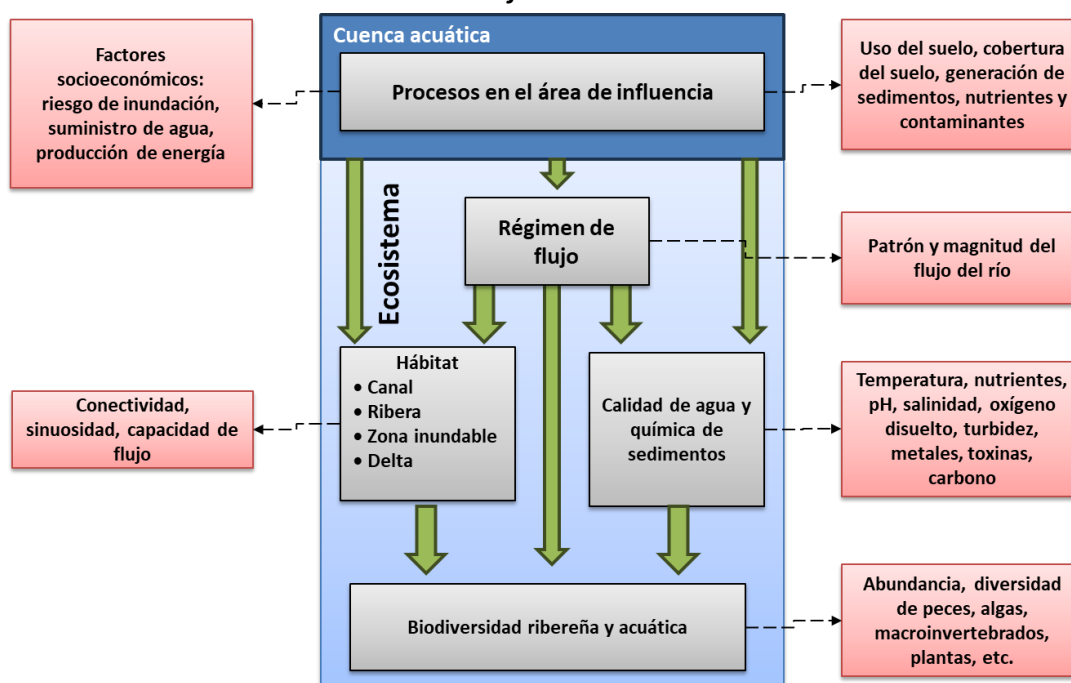
5.5.1 Indicadores generales de la salud de ríos

Se utilizan muchos indicadores diferentes en las evaluaciones de la salud de los ríos. No todos los indicadores brindan resultados significativos en todas las situaciones, y el uso de una mayor cantidad de indicadores generalmente genera un mayor costo para realizar la evaluación. Los indicadores seleccionados deberían (basado en Speed et al., 2012):

- cuantificar amenazas y activos
- proporcionar resultados fácilmente interpretables
- responder de manera predecible al daño causado por los seres humanos
- responder en escalas de tiempo adecuadas; por ejemplo, si un indicador tarda demasiado en responder a un cambio (ej., una perturbación) en el paisaje, esto reducirá su idoneidad.
- ser económico para medir
- se relacionan con los objetivos de gestión
- ser científicamente defendible.

Una evaluación de la salud del río puede evaluar los atributos físicos del ecosistema fluvial (ej. el caudal, la calidad del agua o la biota), los factores de estrés y los potenciadores de la salud del río, y los beneficios derivados del ecosistema fluvial (ya sea directamente o sobre la base de indicadores socioeconómicos relevantes). La Figura N° 13 destaca algunos de los indicadores comunes que se utilizan para evaluar diferentes elementos de un ecosistema fluvial.

Figura N° 13
Ejemplos de indicadores de salud fluvial relevantes para diferentes elementos de un ecosistema fluvial



Fuente: Adaptado de "River Restoration: A Strategic Approach to Planning and Management"



5.5.1.1 Indicadores de calidad ambiental evaluados en el estero

Existen diversos estudios ambientales que han evaluado la calidad ambiental en la cuenca del estero Pelumpén, ya sea en el propio estero como en su prolongación hacia al oeste (estero Limache). Algunos de estos estudios fueron realizados por la Dirección General de Aguas (DGA) en el marco de los estudios de línea base conducentes a la promulgación de la Norma Secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Aconcagua^m.

En esta sección se presenta un resumen los principales indicadores ambientales evaluados tanto respecto de la calidad fisicoquímica como biológica en el estero Pelumpén o su extensión en el estero Limache. (ver Tabla N° 10).

Tabla N° 10
Resumen histórico de parámetros de calidad evaluados en estero Limache

Años monitoreo	Parámetro de calidad medidos	Referencia
1980-2002	CE, OD, pH, Cl ⁻ , SO ₄ ⁼ , Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, Al, As,	DGA (1)
2003	DBO ₅ , Color aparente, SD, SST, NH ₄ ⁺ , CN ⁻ , F ⁻ , NO ₃ ⁻ , S ⁼ , Sn, coliformes totales y fecales.	Cade-Idepe, 2004
2006	Temperatura, pH, Cond, OD, SDT, DBO ₅ , NT, P Macroinvertebrados	Córdova et all, 2009
2012	Vegetación, macroinvertebrados	Aranda et all, 2014
Feb 2022	Temperatura, pH, OD, Conductividad, Color, Turbiedad, Hidrocarburos Totales, SST, SSed, DBO ₅ , SAAM, Coliformes Fecales y Totales Sedimentos (pH, Potencial Redox, Granulometría, Materia orgánica, Hidrocarburos Totales) Fitoplancton, Zooplancton, macrobentos	Ecotecnos 2022
Sept 2022	Temperatura, pH, CE, OD, Turbiedad, SST, SSed, DBO ₅ , SAAM, Coliformes Fecales y Totales, Color, Hidrocarburos Totales. Sedimentos (pH, Potencial Redox, Granulometría, Materia orgánica, Hidrocarburos Totales) Fitoplancton, macrozoobentos.	AMB Chile, 2022

(1) Monitoreo de Calidad de aguas de la DGA, período de registro desde 1980-2002

Fuente: Referencias indicadas, elaboración propia AMBChile 2023.

5.5.2 Valores de referencia

Los valores de referencia proporcionan los puntos de referencia contra los cuales se pueden evaluar los diferentes indicadores de salud del estero. Se pueden definir valores de referencia para diferentes indicadores para identificar cuál sería una puntuación "buena" (es decir, lo que se esperaría en un río sano) así como una puntuación "mala" (lo que sería inaceptable en términos de la salud del río).

Hay varios enfoques para establecer dichos puntos de referencia. Al determinar el valor de referencia que se usará para indicar una "buena" salud, los enfoques comunes incluyen el uso de:

^m DS 43/2023 de Ministerio de Medioambiente publicado el 22 de febrero de 2023.



- Condición natural: es decir, el valor que se esperaría en un sistema fluvial relativamente tranquilo.
- Condición mínimamente alterada: la condición de los arroyos en la ausencia de perturbaciones humanas significativas.
- Condición menos perturbada: las mejores condiciones que actualmente existe para la corriente (o tipo de corriente) dada en la actualidad condiciones.
- Condición histórica: se refiere a la condición en algún momento histórico. Por ejemplo, puede estar relacionado con la condición del río antes de algún desarrollo importante o de la implementación de un proyecto aprobado ambientalmente (como el caso de las normas de calidad secundaria de cuerpos de agua).
- Mejor condición alcanzable: la condición ecológica esperada de los sitios menos perturbados si se aplicaran las mejores prácticas de gestión posibles durante un período de tiempo.

En lugar de utilizar valores absolutos, también es posible informar sobre tendencias: es decir, si la puntuación de un indicador en particular ha mejorado o empeorado con el tiempo. Para los programas de monitoreo en curso, las tendencias a lo largo del tiempo a menudo pueden ser más importantes que evaluar la salud contra (a veces) valores de referencia arbitrarios. Por ejemplo, la Directiva marco del agua de la UE obliga a los Estados miembros a garantizar que no se produzca un deterioro del estado ecológico de las masas de agua, por lo que requiere un seguimiento de las tendencias en la salud de los ríos.

Al aplicar los valores de referencia, es importante reconocer la variabilidad de los valores naturales de los indicadores, incluida la variabilidad estacional.

Muchos indicadores están sujetos a fluctuaciones periódicas en respuesta a eventos climáticos o de otro tipo. Esto puede resultar en cambios rápidos (aunque a veces de corta duración) en los valores. Las causas probables de tales cambios deben tenerse en cuenta al interpretar los resultados de los programas de seguimiento. Hay varias formas de desarrollar valores de referencia apropiados. Esto puede incluir uno o más de:

- estándares y experiencia internacionales o nacionales (p. ej., directrices sobre la calidad del agua, índices bióticos)
- datos históricos
- la distribución estadística de puntajes dentro de la cuenca relevante
- juicio de expertos (especialmente cuando los datos son escasos).

Finalmente, y como se señaló anteriormente, los valores de referencia apropiados variarán entre diferentes tipos y secciones de ríos. Como tal, a menudo será necesario definir diferentes valores de referencia para diferentes clases de ríos.

5.5.2.1 Valores de referencia para el estero Sin Nombre

En febrero de 2023 se publicó la Norma Secundaria de Calidad Ambiental para el río Aconcaguaⁿ y que establece valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de sustancias y elementos cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la protección o la conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza.

ⁿ D.S. N°41/2021 MMA y publicado en D.O el día 22 de febrero de 2023.



Esta norma establece valores de referencia de calidad fisicoquímica para áreas de vigilancia dentro de la cuenca del río Aconcagua, y siendo una de ellas el estero Limache (Área de vigilancia LI01), cuyos límites son: Naciente del Estero Limache y Confluencia con río Aconcagua.

Dentro de esta zona de vigilancia se encuentra el estero Sin Nombre donde se descargan las aguas servidas tratadas de la PTAS Olmué. Dentro de un área de vigilancia se definen los parámetros de calidad de deberá cumplir el cauce del estero Limache entre su nacimiento y la confluencia con el río Aconcagua. Se entenderá como Área de Vigilancia como “Área de drenaje de un curso de agua continental superficial, o una parte de él, que se establece y delimita para efectos de asignar y controlar su calidad ambiental”^o.

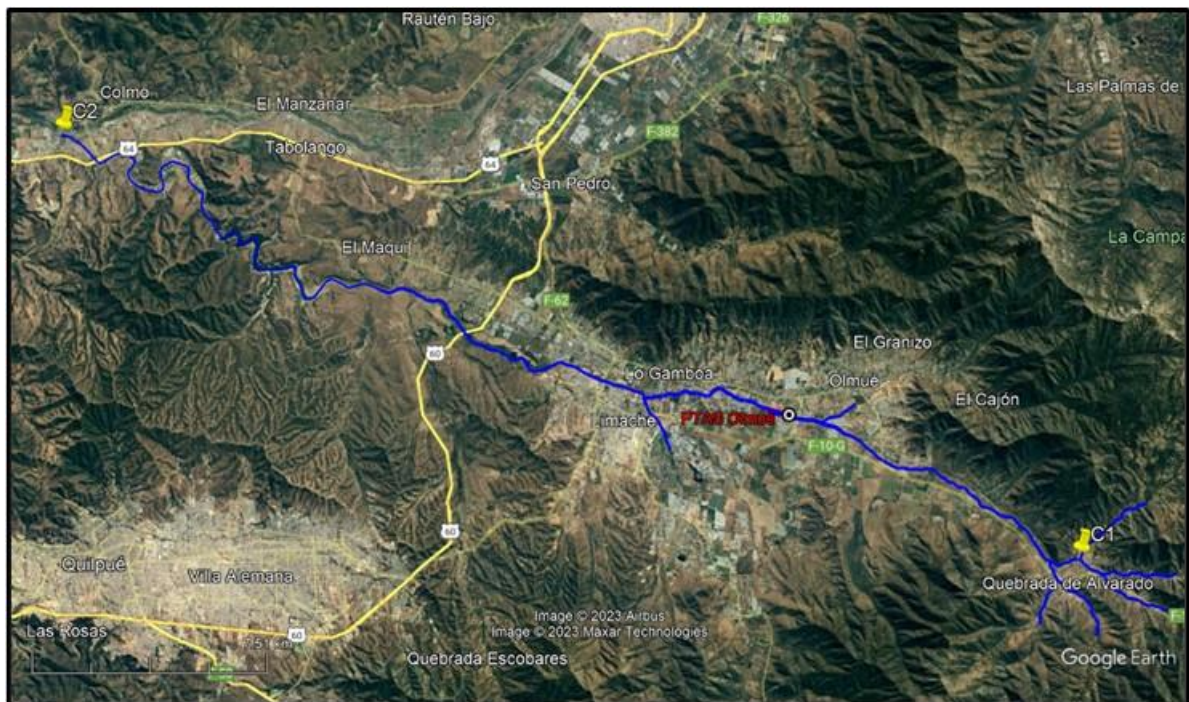
En la Tabla N° 11 se puede leer los límites del área de vigilancia y en la Figura N° 14 se puede observar la extensión del cauce del estero Limache comprendido en dicha área de vigilancia. Se debe notar que la PTAS de Olmué y su punto de descarga en estero Sin Nombre está dentro del área de vigilancia.

Tabla N° 11
Georreferencia de área de vigilancia, estero Limache

Cauce	Área de Vigilancia	Límites de área de vigilancia	Coordenadas UTM WGS84 19	
			(N)	(E)
Esteros Limache	LI-1	De: Nacimiento estero (C1) Hasta: Confluencia río Aconcagua (C2)	6341553	303468
			6354293	270702

Fuente: Extraído de D.S. N°41/2021 MMA, Tabla N°1

Figura N° 14
Plano de ubicación del área de vigilancia de calidad ambiental para el estero Limache



Fuente: Elaboración propia, AMBChile 2023

^o D.S. N°41/2021 MMA, art.3°, punto 2 (definición de área de vigilancia).



Tabla N° 12
Nivel de calidad ambiental para Área de Vigilancia LI-1: Estero Limache

Parámetro	Unidades	LI-1
Aluminio total	mg/L	2,1
Arsénico total	mg/L	0,005
Conductividad eléctrica	μS/cm	635
Cloruros	mg/L	49
Cromo total	mg/L	0,05
DBO5	mg/L	6
DQO	mg/L	21
Hierro total	mg/L	2,12
Hierro disuelto	mg/L	0,054
Mercurio total	mg/L	0,002
Manganeso total	mg/L	0,49
Molibdeno total	mg/L	0,05
Níquel total	mg/L	0,05
N-Nitrato	mg/L	2,0
Oxígeno disuelto	mg/L	5,3
Plomo total	mg/L	0,07
pH máximo		9
pH mínimo		6
Fósforo de fosfatos	mg/L	0,09
Sulfatos	mg/L	257
Zinc total	mg/L	0,010

Fuente: DS N°41/2021, MMA, tabla N°2 Niveles de calidad ambiental por Área de Vigilancia en la cuenca del río Aconcagua.

La norma de calidad secundaria no ha determinado otros parámetros de medición de calidad que los listados en la Tabla N° 12. Sin embargo, en el artículo 10 del DS N°41/2021 MMA se establece que el “Programa de Medición y Control de la Calidad Ambiental del Agua podrá incluir, como Red de Observación, otros parámetros adicionales a los establecidos en las presentes normas, así como nuevas estaciones de monitoreo de calidad de las aguas, para el análisis de sedimentos, variables fluviométricas, y en embalses y sistemas lacustres, según se requiera, para apoyar futuros procesos de revisión de estas normas”.

Lo anterior, abre la posibilidad de incluir parámetros biológicos como los indicados en los estudios presentados en la Tabla N° 10. Se debe recordar que se han realizado evaluaciones ambientales de calidad de parámetros biológicos como vegetación y macroinvertebrados (ver Tabla N° 10).



6 Conclusiones

Este Estudio Técnico Ambiental sustenta desde el punto de vista científico y técnico la definición del Plan de Reparación de los efectos de relevancia de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) de Olmué sobre el Ecosistema acuático Pelumpén, ubicado en la comuna de Olmué, provincia de Marga Marga, Región de Valparaíso.

En específico el objetivo del presente Estudio es avalar fundadamente el Plan de Reparación a mediano y largo plazo de los servicios ecosistémicos acuáticos determinados en estero Sin nombre identificado y que es parte de la cuenca del estero Pelumpén. Este estero es un cuerpo de agua de aproximadamente 530 m de largo y que nace con la descarga de aguas servidas tratadas de la PTAS de Olmué y que entrega sus aguas al estero Pelumpén.

Para lo cual, se describieron las metodologías que sustentan el Estudio y que recopila la visión de literatura científico-técnica asociada a descripciones y aplicaciones prácticas de la Reparación ecológica, tanto a nivel nacional como internacional. Además, se incorporó en la literatura experiencias de Reparación ecológica o ambiental, especialmente en Chile Central asociadas a bosque o matorral esclerófilo.

Se concluyó que los servicios ecosistémicos afectados en el estero Sin Nombre guardan principalmente relación con:

1. Regulación/Mantenimiento, mediante a transformación de aportes físicos o bioquímicos a ecosistemas.
2. Regulación/Mantenimiento, mediante la regulación de condiciones físicas, químicas y biológicas.
3. La provisión de agua superficial del estero Sin Nombre usada para nutrición o material para alguna actividad ecológica o recreativa.

Estos servicios ecosistémicos se encuentran afectados por la calidad de las aguas servidas que vierte la PTAS Olmué en el estero Sin Nombre y, por ende, al ecosistema acuático Pelumpén.

Por otro lado, se concluye que los objetivos específicos que sirven al objetivo principal de reparación de los servicios ecosistémicos afectados serán los siguientes:

1. Mejorar la calidad fisicoquímica de las aguas servidas vertidas de la PTAS Olmué que se descargan al estero Sin Nombre
2. Mejorar la calidad fisicoquímica del agua del estero Sin Nombre en la zona de mezcla.
3. Modificación de la geomorfología de estero Sin Nombre de forma de aumentar su superficie.
4. Ampliación de la cobertura vegetal en estero Sin Nombre.

Para estos objetivos específicos se propusieron una serie de acciones que permitirán su cumplimiento.

Finalmente, sobre la base de una descripción de un ecosistema de referencia (el estero Limache que recibe las aguas del estero Pelumpén y del estero Sin Nombre) se determinaron los indicadores y valores de referencia contra los cuales se podrá comparar en el tiempo las medidas de reparación a implementar en el estero Sin Nombre.



7 Referencias

- Haines-Young, R. and M.B. Potschin, (2018), *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure*.
- FAO, SER & IUCN CEM, (2023). *Standards of practice to guide ecosystem restoration. A contribution to the United Nations Decade on Ecosystem Restoration. Summary report*. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc5223en>.
- Gann GD, McDonald T, Walder B, Aronson J, Nelson CR, Jonson J, Hallett JG, Eisenberg C, Guariguata MR, Liu J, Hua F, Echeverría C, Gonzales E, Shaw N, Decler K, Dixon KW, (2019), Principios y estándares internacionales para la práctica de la Reparación ecológica, Segunda Edición, *Society for Ecological Restoration (SER)*.
- Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), (2017), Guía sobre el Área de Influencia en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Ministerio del Medio Ambiente, (2018), Documento marco para la Reparación Ecológica. Comité Nacional de Reparación Ecológica. 40 pp.
- Ministerio del Medio Ambiente, (2014), "Propuesta sobre marco conceptual, definición y clasificación de servicios ecosistémicos para el ministerio del medio ambiente"
- Niemeyer F., Hans, 1980, "Hoyas hidrográficas de Chile, Quinta Región", Ministerio de Obras Públicas (Chile), Dirección General de Aguas.
- Cade-Idepe, 2004, "Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad, cuenca del río Aconcagua", Ministerio de Obras Públicas (Chile), Dirección General de Aguas.
- Córdova, Salomé; Gaete, Hernán; Aránguiz, Fernanda y Figueroa, Ricardo (2009), "Evaluación de la calidad de las aguas del estero Limache (Chile central), mediante bioindicadores y bioensayos", *Lat. Am. J. Aquat. Res.* [online]. 2009, vol.37, n.2, pp.199-209. ISSN 0718-560X.
- Aranda de la Fuente, J.; Valencia M., J.: Gaete O., H. (2014). Valoración del ecosistema estero Limache, Región de Valparaíso (Chile Central), mediante la aplicación del índice de Funcionalidad Fluvial. *Anales Museo de Historial Naturales de Valparaíso* Vol.27: 7-14.
- Speed, R., Li, Y., Tickner, D., Huang H., Naiman, R., Cao, J., Lei G., Yu, L., Sayers, P., Zhao, Z. & Yu, W., (2016). "River Restoration: A Strategic Approach to Planning and Management". Paris, UNESCO.
- Magdaleno, Fernando, (2005), "Principios y técnicas de Reparación fluvial", Centro de estudios de técnicas aplicadas, CEDEX, España.
- ONCED, (1992), Convención sobre la Diversidad Biológica, Rio de Janeiro.
- MEA, (2005), *Ecosystems and human well-being. Millennium Ecosystem Assessment*, Island Press, Washington.
- Potschin, M. and Haines-Young, R. (2016): Defining and measuring ecosystem services. In: Potschin, M., Haines-Young, R., Fish, R. and Turner, R.K. (eds) *Routledge Handbook of Ecosystem Services*. Routledge, London and New York, pp 25-44.
- Society for Ecological Restoration (SER) International, Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas, (2004). Principios de SER International sobre la Reparación ecológica. www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration.



- Bernhardt, E.S., Palmer, M.A., Allan, J.D., Alexander, G., Barnas, K., Brooks, S., Carr, J., Clayton, S., Dahm, C., Follstad-Shah, J., Galat, D., Gloss, S., (2005). Synthesizing U.S. river restoration efforts. *Science*, 308, pp. 636–637.
- Harman, W., R. Starr, M. Carter, K. Tweedy, M. Clemmons, K. Suggs, C. Miller. (2012). A Function-Based Framework for Stream Assessment and Restoration Projects. US Environmental Protection Agency, Office of Wetlands, Oceans, and Watersheds, Washington, DC EPA 843-K-12-006.
- Ecotecnos, (2020), “Informe Capacidad Instalada PTAS Olmué”,
- DGA, (2004), “Evaluación de los recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Aconcagua, Departamento de Administración de Recursos Hídricos, S.D.T. N° 165, Santiago, enero de 2004.
- DGA, (1993), “Caudales Ecológicos en Regiones IV, V y Metropolitana2, R&Q Ingeniería, Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos.
- AMB Chile, (2022), “Estudio diagnóstico de una eventual afectación de los componentes ambientales acuáticos en la zona de descarga de la planta de tratamiento de aguas servidas de Olmué”, octubre 2022,
- Ecotecnos, (2022), “Informe Técnico Estudio diagnóstico de una eventual afectación de los componentes ambientales acuáticos en la zona de la descarga de la planta de tratamiento de aguas servidas de Olmué”, febrero 2022, IT-PTASO 01 /0522.
- Speed, R., Gippel, C., Bond, N., Bunn, S., Qu, X., Zhang, Y., Liu, W., and Jiang, X. (2012). Assessing river health and environmental flow requirements in Chinese rivers. International WaterCentre, Brisbane, Australia.
- Magdaleno, Fernando, (2011), Principios y técnicas de Reparación fluvial, Centro de estudios y técnicas aplicadas (CEDEX).
- Romero, Fabián, Cozano, Miguel, Gangas, Rodrigo, Naulin, Paulette, (2014), Zonas ribereñas: protección, Reparación y contexto legal en Chile, BOSQUE 35(1): 3-12, 2014.
- Diario Oficial, (20223), “DS N°41/2021 MMA, Establece normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Aconcagua”, 22 febrero 2023.