

**REPÚBLICA DE CHILE
SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL
DIRECCIÓN EJECUTIVA**

**SE PRONUNCIA SOBRE LA
OBSERVANCIA DEL CRITERIO DE
EVALUACIÓN EN EL SEIA:
ALTERACIÓN DEL RÉGIMEN
SEDIMENTOLÓGICO**

RESOLUCIÓN EXENTA

SANTIAGO

VISTOS:

Lo dispuesto en la Ley N°19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente (en adelante, “Ley N°19.300”); en el Decreto Supremo N°40, de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente, que establece el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (en adelante, “Reglamento del SEIA”); en el Decreto con Fuerza de Ley N°1/19.653, que Fija el Texto Refundido, Coordinado y Sistematizado de la Ley N°18.575, Orgánica Constitucional de Bases Generales de la Administración del Estado; en la Ley N°19.880, sobre Bases de los Procedimientos Administrativos que rigen los Actos de los Órganos de la Administración del Estado; en el Decreto N°40, de fecha 06 de abril de 2022, del Ministerio del Medio Ambiente, que nombra Directora Ejecutiva del Servicio de Evaluación Ambiental; el Oficio Ordinario N° 202499102679, de fecha 30 de julio 2024, de la Directora Ejecutiva del SEA, que deja sin efecto y complementa instrucciones sobre la aplicabilidad de las guías y criterios de evaluación publicados por la Dirección Ejecutiva del Servicio de Evaluación Ambiental y en la Resolución N°07 del 26 de marzo del año 2019 de la Contraloría General de la República, que Fija Normas sobre Exención del Trámite de Toma de Razón.

CONSIDERANDO:

1. Que, la letra d) del artículo 81 de la Ley N°19.300 establece que corresponderá al Servicio de Evaluación Ambiental “*uniformar los criterios, requisitos, condiciones, antecedentes, certificados, trámites, exigencias técnicas y procedimientos de carácter ambiental que establezcan los ministerios y demás organismos del Estado competentes, mediante el establecimiento, entre otros, de guías trámite*”.



Documento Digital N°: 202499101715 – Fecha: 29/08/2024

Para validar las firmas de este documento usted debe ingresar a la siguiente url

<http://validador.sea.gob.cl/validar/DAF79027-977B-44CF-B115-8F4889817BC8>

2. Que, el inciso 2° del artículo 4° del Reglamento del SEIA, dispone que el *“Servicio podrá, de conformidad a lo señalado en el artículo 81 letra d) de la Ley, uniformar los criterios o exigencias técnicas asociadas a los efectos, características o circunstancias contempladas en el artículo 11 de la Ley, los que deberán ser observados para los efectos del presente Título”* (Título II del Reglamento del SEIA).
3. Que, en el ejercicio de las facultades precedentemente señaladas, el Servicio ha elaborado el **“Criterio de Evaluación en el SEIA: Alteración del régimen sedimentológico”**.

El objetivo de esta publicación es entregar a titulares, consultoras/es, evaluadores/es y la ciudadanía, criterios técnicos para la consideración de la alteración del régimen sedimentológico en los cauces naturales, estandarizando y uniformando la presentación de antecedentes mínimos y metodologías aplicables dentro del proceso de evaluación de impacto ambiental. Lo anterior, permitirá predecir y evaluar de manera adecuada los potenciales impactos sobre el objeto de protección suelo de aguas superficiales corrientes y detenidas.

4. Que, de acuerdo a lo señalado en el Oficio Ordinario N° 202499102679, de fecha 30 de julio 2024, de la Directora Ejecutiva del SEA, que deja sin efecto y complementa instrucciones sobre la aplicabilidad de las guías y criterios de evaluación publicados por la Dirección Ejecutiva del Servicio de Evaluación Ambiental, *“Los criterios, requisitos, condiciones, antecedentes, certificados, trámites, exigencias técnicas y procedimientos de carácter ambiental, que sean unificados por el Servicio en guías y criterios de evaluación, en conformidad con lo dispuesto en el artículo 81 letra d) de la Ley N° 19.300, se entenderán vigentes, en adelante, desde la fecha de publicación de un extracto en el Diario Oficial de la respectiva resolución exenta que tiene presente su observancia o del respectivo oficio, según corresponda. Lo anterior no obsta a que el servicio pueda publicar de manera preliminar dichos documentos en su sitio web.”*

RESUELVO:

1. **Tener presente** la observancia del documento singularizado en el Considerando N°3 de la presente resolución.
2. **Establecer que dicho documento se entenderá vigente desde la fecha de publicación del extracto de la presente resolución exenta en el Diario Oficial**, debiendo observarse su contenido de acuerdo con lo establecido en la letra d) del artículo 81 de la Ley N°19.300 y en el Decreto Supremo N°40, de 2012, Reglamento del SEIA, del Ministerio del Medio Ambiente.

**ANÓTESE, COMUNÍQUESE, PUBLÍQUESE UN EXTRACTO DE LA PRESENTE
RESOLUCIÓN EN EL DIARIO OFICIAL Y ARCHÍVESE**

**VALENTINA DURÁN MEDINA
DIRECTORA EJECUTIVA
SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL**

JMF/FDFV/LGM/RLG/FSC/CCS/mpr

Distribución:

- Direcciones Regionales, Servicio de Evaluación Ambiental
- División Jurídica, Servicio de Evaluación Ambiental.
- División de Evaluación y Participación Ciudadana, Servicio de Evaluación Ambiental.
- Coordinación Regional, Servicio de Evaluación Ambiental.
- División de Tecnologías y Gestión de la Información, Servicio de Evaluación Ambiental.
- Departamento de Auditoría Interna, Servicio de Evaluación Ambiental.
- Departamento de Comunicaciones, Servicio de Evaluación Ambiental.

C.C:

- Dirección Ejecutiva, Servicio de Evaluación Ambiental.
- Of. Partes, Servicio de Evaluación Ambiental



Firmado por: Juan
Cristóbal Moscoso
Farias
Fecha: 29/08/2024
17:18:18 CLT



Firmado por: Valentina
Alejandra Durán
Medina
Fecha: 29/08/2024
18:46:03 CLT

CRITERIO DE EVALUACIÓN EN EL SEIA: Alteración del régimen sedimentológico



CRITERIO DE EVALUACIÓN EN EL SEIA: ALTERACIÓN DEL RÉGIMEN SEDIMENTOLÓGICO

Autor: Servicio de Evaluación Ambiental

Primera Edición

Santiago, agosto de 2024

Diseño y diagramación: Servicio de Evaluación Ambiental

Fotografías de portada e interior: Adobe Stock

Como citar este documento: Servicio de Evaluación Ambiental, 2024. Criterio de evaluación en el SEIA: Alteración del régimen sedimentológico. Primera edición.

Si desea presentar alguna consulta, comentario o sugerencia respecto del documento, por favor, escribir al siguiente correo comentarios.documentos@sea.gob.cl

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	5
RESUMEN	7
1. INTRODUCCIÓN	8
2. RÉGIMEN SEDIMENTOLÓGICO EN EL SEIA.....	10
2.1 Factores generadores de impacto	11
2.2 Identificación de impactos.....	11
2.3 Delimitación y descripción del área de influencia	13
2.4 Predicción y evaluación de impactos.....	13
3. CRITERIO DE EVALUACIÓN EN EL SEIA: ALTERACIÓN DEL RÉGIMEN SEDIMENTOLÓGICO.....	15
3.1 Descripción del objeto de protección	15
3.2 Predicción y evaluación de impactos ante la alteración del régimen sedimentológico ...	18
3.3 Seguimiento ambiental	20
4. CONSIDERACIONES PARA PROYECTOS DE EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS.....	21
4.1 Recomendaciones para los proyectos de extracción de áridos	22
BIBLIOGRAFÍA	26
ANEXO 1. CÁLCULO DEL CAUDAL EFECTIVO.....	27
ANEXO 2. GLOSARIO	31



PRESENTACIÓN

Entre las atribuciones que tiene el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), están las expresadas en el artículo 81, letra d), de la Ley N°19.300, en torno a uniformar criterios, requisitos, condiciones, antecedentes, certificados, trámites, exigencias técnicas y procedimientos de carácter ambiental establecidos por los ministerios y demás Órganos de la Administración del Estado con Competencia Ambiental (Oaeca), en particular, respecto al procedimiento de evaluación ambiental, mediante guías y otros instrumentos¹.

Ejerciendo dicha función, el Servicio identificó la necesidad de fortalecer la consideración de la alteración del régimen sedimentológico, particularmente, en los cauces naturales, así como también estandarizar y uniformar la presentación de antecedentes mínimos, metodologías aplicables, entre otros, dentro del proceso de evaluación de impacto ambiental.

Por lo tanto, este documento se publica para contribuir en entregar certezas técnicas y jurídicas a todos los actores que participan en el proceso de evaluación de impacto ambiental, particularmente, en los proyectos cuyas actividades puedan alterar el régimen sedimentológico en cauces naturales. Su objetivo fundamental es entregar los lineamientos técnicos necesarios para la elaboración de las Declaraciones o Estudios de Impacto Ambiental, así como también **entregar criterios que favorecen una adecuada predicción y evaluación de los impactos ambientales sobre el objeto de protección suelo de aguas superficiales corrientes y detenidas, a causa de la alteración del régimen sedimentológico.**

Asimismo, en esta publicación se describen algunas características de la actividad de extracción de áridos como factores generadores de impactos (FGI), comprendiendo los potenciales impactos ambientales sobre los cauces naturales y el consecutivo efecto que estos podrían generar sobre la biota y la geografía de los cauces naturales y, en este sentido, permitirá contribuir en la toma de decisiones anticipadas ante una eventual alteración al ecosistema.

Cuando se analizan los potenciales impactos ambientales sobre cauces naturales, el análisis suele centrarse en el estudio de la alteración de la cantidad y calidad del agua, sin embargo, los cauces naturales, que son el elemento principal de los ecosistemas fluviales, no sólo

¹ Ordinario N°202499102679, del 30 de julio de 2024, que Imparte instrucciones sobre aplicabilidad de las guías y criterios de evaluación publicados por la Dirección Ejecutiva del Servicio de Evaluación Ambiental, disponible en el Centro de Documentación del SEA, www.sea.gob.cl

transportan agua, sino que también sedimentos, que juegan un rol importante para la mantención de las características físicas de los cauces y para la biodiversidad que habita los distintos mesohábitats, así como también para la diversa infraestructura que se emplace en dicho cauce.

Por otro lado, se observa una disparidad en la información presentada entre las distintas tipologías de proyectos, por lo que se hace necesario estandarizar la información que se debe presentar en el contexto de la evaluación ambiental en torno al régimen sedimentológico.

La elaboración de este criterio es el resultado de un trabajo colaborativo por parte de grupos de especialistas y evaluadores ambientales de la Dirección Ejecutiva del SEA, en colaboración con la Dirección General de Aguas (DGA) y la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), en donde a partir de una propuesta elaborada en el marco de mesas de trabajo, se dio curso a un proceso de revisiones y observaciones entre los servicios competentes, las Direcciones Regionales del SEA y de la División Jurídica, todos a quienes se les agradece su valiosa colaboración.

Se espera que este documento sea un aporte a la gestión ambiental del recurso hídrico y el régimen sedimentológico en cauces naturales en el marco del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y respecto a su aplicabilidad y vigencia se sugiere revisar el [Ordinario N°202499102679, del 30 de julio de 2024](#), que Imparte instrucciones sobre aplicabilidad de las guías y criterios de evaluación publicados por la Dirección Ejecutiva del Servicio de Evaluación Ambiental, o aquel que lo reemplace o complementa.

RESUMEN

En el marco de la evaluación ambiental, un ejemplo reconocido como actividad susceptible de generar alteraciones del régimen sedimentológico es la extracción de áridos, impactando el suelo de aguas superficiales corrientes y detenidas, pudiendo generar degradación del lecho de los cauces naturales, erosión de las riberas, alteraciones en la calidad del agua, pérdida de hábitat para las especies acuáticas, flora y fauna ribereña.

Predecir los impactos sobre los componentes ambientales es un proceso complejo que permite anticipar los efectos del proyecto o actividad sobre el medio ambiente, ante lo cual los titulares deben realizar la identificación de los impactos, mediante una adecuada caracterización de los componentes ambientales.

.....

Considerando lo anterior, este Criterio de Evaluación en el SEIA aporta certezas técnicas y jurídicas para la consideración del objeto de protección **suelo de aguas superficiales corrientes y detenidas** frente al procedimiento de evaluación de impacto ambiental, particularmente, ante la eventual ocurrencia de alteración del régimen sedimentológico producto de la ejecución de proyectos o actividades que se emplacen en cauces naturales o cercanos a ellos.

.....

Por ello se entregan lineamientos y consideraciones para una adecuada predicción y evaluación de los impactos ambientales, listando antecedentes mínimos, metodologías aplicables en materia de volúmenes y sectores de extracción, modelación numérica, entre otros.

Este documento permitirá a titulares levantar la línea de base y caracterizar el sistema fluvial, según corresponda, y consecutivamente del régimen sedimentológico, mediante la entrega de consideraciones y recomendaciones de buenas prácticas que puedan ser consideradas durante el diseño de proyectos.

Finalmente, se presentan lineamientos para un adecuado seguimiento ambiental, abordando aquellas variables ambientales de interés que son relevantes de monitorear, en atención a aquellos elementos del medio ambiente que son afectados directa e indirectamente a través de la alteración del régimen sedimentológico, ya que dichas alteraciones pueden persistir por varios años.





1. INTRODUCCIÓN

Un componente clave para el desarrollo de los ecosistemas naturales son los sistemas fluviales, los cuales sustentan la biodiversidad debido a su capacidad de transportar materia orgánica, nutrientes y sedimentos (actuando estos últimos como estructuradores de hábitat), por lo tanto, la forma y dimensiones del cauce, así como la claridad o turbidez de las aguas, entre otros, se alzan como características relevantes.

La morfología de los cauces naturales se relaciona con los patrones de escurrimiento o maneras en que el agua se mueve a través del cauce. Estos patrones de escurrimiento dependen principalmente del caudal, altura y velocidad de escurrimiento, ancho y pendiente del cauce, rugosidad del lecho, transporte de sedimentos y tamaño de los sedimentos (Rosgen, 1994). Asimismo, los procesos que crean y modifican los cauces son altamente impredecibles y susceptibles a perturbaciones, independientemente si estos son originados por las variaciones inherentes al ciclo hidrológico (por ejemplo: precipitaciones y crecidas del cauce, sequías y disminución del cauce) o por perturbaciones antropogénicas (por ejemplo: bocatomas, embalses, extracciones de áridos, entre otras). Dichas perturbaciones tendrán incidencia en la geomorfología fluvial, los regímenes de flujo y sedimentos, los que estarán controlados por el clima, ciclo hidrológico, geología, topografía, vegetación, usos de suelo y actividades antropogénicas en la cuenca.

El arrastre de sedimentos, entendido como el proceso por el cual los cauces transportan partículas de distintos tamaños, ocurre principalmente desde las partes altas de la cuenca, pero es un proceso que ocurre a lo largo de todo el cauce y que también recibe aportes desde otros cauces tributarios o afluentes.

Para determinar la carga total de sedimentos transportados por el río se debe considerar el arrastre de fondo y en suspensión, donde la forma del fondo del lecho toma gran relevancia y se debe caracterizar en forma adecuada debido a que son una prueba de la existencia del proceso de arrastre de sedimento de fondo. Asimismo, es importante la correcta determinación de los mesohábitats, entendidos como el conjunto de diferentes tipos de hábitat presentes en un tramo de río, los cuales quedarán determinados, en cierta medida, por la forma que pueda tener el lecho del cauce.

En el marco de la evaluación de impacto ambiental existen proyectos o actividades susceptibles de generar alteraciones del régimen sedimentológico, impactando en el objeto de protección (OP) **suelo de aguas superficiales corrientes y detenidas**². Este tipo de proyectos, como embalses, extracciones de árido u otros proyectos emplazados cercanos a cauces naturales, son propensos a alterar el régimen sedimentológico y tienen el potencial de romper el equilibrio sedimentológico, es decir, que el gasto sólido³ que ingresa a una sección transversal del cauce pudiera ser menor al que sale. Esto puede conllevar a la degradación del lecho de los cauces naturales, pudiendo generar procesos de erosión de las riberas y pérdida de hábitat para las especies acuáticas, flora y fauna ribereña, llegando a afectar incluso la infraestructura pública o privada, tales como puentes y bocatomas cercanas al lugar del proyecto o actividad.

2 Son aguas corrientes las que escurren por cauces naturales y artificiales. Son aguas detenidas las que están acumuladas en depósitos naturales o artificiales, tales como lagos, lagunas, pantanos, charcas, aguadas, ciénagas, estanques o embalses. DFL N°1.122.

3 Tasa de transporte de sedimento, medida en volumen por unidad de tiempo o peso seco por unidad de tiempo, que atraviesa una determinada sección transversal del cauce, asociada a una condición hidráulica dada (Niño, 2005).



2. RÉGIMEN SEDIMENTOLÓGICO EN EL SEIA

La consideración de la **alteración del régimen sedimentológico** en la evaluación ambiental contribuye a la protección del OP **suelo de aguas superficiales corrientes y detenidas**, como componente del medio ambiente susceptible de actuar como receptor de impactos potencialmente significativos que pueda generar la ejecución de un proyecto o actividad, como se desprende de la letra b) del artículo 11 de la Ley N°19.300, al referirse a los recursos naturales renovables, incluyendo explícitamente el suelo, agua y aire, lo cuales se protegen en el marco del SEIA (SEA, 2022).

Predecir los impactos sobre los componentes ambientales es un proceso complejo, que permite anticipar los efectos del proyecto o actividad sobre el medio ambiente, y que consta de una fase de identificación y otra de estimación o cuantificación. El literal e) del artículo 2° del Reglamento del SEIA define impacto ambiental como la *"alteración del medio ambiente, provocada directa o indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada"*. Además, el literal f) del artículo 18 del Reglamento del SEIA establece que, en el marco de la evaluación de impacto ambiental, *"la predicción de los impactos consistirá en la identificación y estimación o cuantificación de las alteraciones directas e indirectas a los elementos del medio ambiente descritos en la línea de base, derivadas de la ejecución o modificación del proyecto o actividad para cada una de sus fases"* (SEA, 2023d).

.....

Para una adecuada descripción del suelo de aguas superficiales corrientes y detenidas, el titular debe realizar la **identificación de los impactos** en forma preliminar o básica, de tal modo que permita **establecer cuáles serán las variables o propiedades que serán afectadas del suelo de aguas superficiales corrientes y detenidas**, para enfocar con ello su análisis detallado.

.....

Para una correcta evaluación ambiental del suelo de aguas superficiales corrientes y detenidas en el SEIA se recomienda considerar los documentos publicados por el SEA en su Centro de Documentación, en especial: *Guía área de influencia en humedales en el SEIA* (SEA, 2023a),

Guía para la predicción y evaluación de impacto ambiental en humedales en el SEIA (2023b), Guía de evaluación de efectos adversos sobre recursos naturales renovables (2023c) y el Criterio de evaluación en el SEIA: Alcances y principios metodológicos para la evaluación de los impactos ambientales (2023d), así como aquellas que las complementen o reemplacen.

A continuación, se entregan antecedentes referidos a la consideración de la alteración del régimen sedimentológico en la evaluación de impacto ambiental.

2.1 Factores generadores de impacto

Los impactos ambientales son causados por factores generadores de impactos (FGI), entendidos como aquellos elementos del proyecto o actividad, en consideración de su localización y temporalidad, así como por sus emisiones, efluentes, residuos, explotación, extracción, uso o intervención de recursos naturales, mano de obra, suministros o insumos básicos y productos o servicios generados, según correspondan, que por sí mismos, generan alteración en el medio ambiente y que son identificables en cada una de las fases del proyecto.

Dentro de las actividades propensas a generar alteración en el régimen sedimentológico se encuentra la extracción de áridos en ríos y costas. Esta actividad está directamente relacionada con el desarrollo de obras de construcción y actualmente es el recurso mineral más extraído, superando a los combustibles fósiles y la biomasa (Schandl *et al.*, 2016).

Este tipo de actividades, como FGI, pueden provocar cambios en la cantidad o calidad del agua, así como en la estructura y composición del suelo, llegando a ocasionar impactos acumulativos al interactuar con otros proyectos que intervienen el mismo suelo de aguas superficiales corrientes y detenidas, pudiendo incluso producir impactos acumulativos sobre un mismo componente, como el agua superficial o los Servicios Ecosistémicos (SSEE) que provee a la comunidad, ya que la extracción de áridos tiene la facultad de alterar la interacción del caudal superficial con los tapetes microbianos y la materia orgánica particulada, cuya degradación es importante para los diferentes procesos biológicos, afectando al fito y zooplancton, las plantas acuáticas, la fauna bentónica, los peces y la vegetación terrestre hidrófila. De esta manera, se alteran las cadenas tróficas que se encuentran en ese ecosistema y estas a su vez impactan otros ambientes aledaños, así como el paisaje y otros SSEE. La actividad de extracción de áridos también genera una pérdida de suelo de aguas superficiales corrientes y detenidas en el cauce y, por lo tanto, de hábitat para la biota.

2.2 Identificación de impactos

La identificación de impactos corresponde al reconocimiento de cualquier alteración sobre el régimen sedimentológico por parte de un proyecto o actividad. Para ello se deben reconocer las posibles **alteraciones directas e indirectas** sobre los ecosistemas dependientes del régimen sedimentológico (por ejemplo: recursos naturales renovables). Se pueden observar ejemplos

de potenciales impactos para ilustrar la definición en la Tabla 1, sin perjuicio de que pueden existir otras alteraciones relacionadas a estos dos tipos.

La **alteración directa** es aquella que tiene una incidencia inmediata sobre algún elemento del medio ambiente, y la **alteración indirecta** es aquella en que la incidencia inmediata sobre algún elemento del medio ambiente afecta a otro elemento de él.

Tabla 1. Potenciales impactos identificados por alteración directa y alteración indirecta frente a la extracción de áridos

ALTERACIÓN DIRECTA	ALTERACIÓN INDIRECTA
- Variación en el transporte de sedimentos suspendidos y de fondo en cuerpos de agua. - Alteración de la curva granulométrica de los sedimentos de fondo ya sea por pérdida de diámetros o acorazamientos, el que tendrá un impacto en el gasto sólido de fondo y en el diámetro de los sedimentos transportados.	- Cambios morfológicos del río, como cambios de posición o trazado del cauce, erosión o acreción del lecho y riberas, cambios de pendiente, cambios en la granulometría del lecho (pérdida de ciertos diámetros, acorazamiento, colmatación de intersticios por exceso de finos). Estos cambios podrían ocasionar, además, cambios en la clasificación del río (trenzado, recto, meandroso u otro, según la clasificación que se utilice). - Alteración de las condiciones hidráulicas de escurrimiento: velocidad, altura y régimen de escurrimiento. - Modificación en las planicies de inundación por erosión o acreción del lecho y riberas, o por cambios de posición del río. - Alteración de la interacción río-acuífero debido a una erosión o acreción del lecho. - Alteración de los ecosistemas ribereños: aumento, disminución y cambios en composición de los sistemas vegetacionales. Esto trae consigo alteración sobre la fauna terrestre. - Alteración de mesohábitats, ya sea por alteración de secuencias morfológicas (saltos y poza, rápido-pozas, u otra), de su granulometría, altura y velocidad de escurrimiento, entre otros. - Pérdida de zonas de reproducción y hábitat para distintas especies según su estado de desarrollo o crecimiento. Esto se genera debido a cambios granulométricos en el lecho del río, como pérdida de ciertos diámetros de sedimentos, acorazamiento o colmatación de intersticios por sedimentos finos. - Alteración de la línea de costa por una disminución de los sedimentos transportados. - Alteración de la calidad del agua. - Alteración sobre infraestructura pública y privada: puentes, defensas fluviales, bocatomas, entre otros. - Alteración sobre paisaje, turismo, entre otros. - Efectos negativos sobre derechos de aprovechamiento de aguas en el AI.

Fuente: elaboración propia

2.3 Delimitación y descripción del área de influencia

La letra a) del artículo 2° del Reglamento del SEIA define Área de Influencia (AI) como *“el área o espacio geográfico, cuyos atributos, elementos naturales o socioculturales deben ser considerados con la finalidad de definir si el proyecto o actividad genera o presenta alguno de los efectos, características o circunstancias del artículo 11 de la Ley, o bien para justificar la inexistencia de dichos efectos, características o circunstancias”*, para ello, en múltiples documentos publicado por el SEA en su Centro de Documentación, se han expuesto las directrices para una adecuada descripción y delimitación del área de influencia en el SEIA (SEA, 2017).

En particular, para la delimitación del AI sobre el OP suelo de aguas superficiales corrientes y detenidas, producto de la alteración del régimen sedimentológico, **se debe considerar el área máxima de extensión desde donde se percibe el impacto, hasta donde esta alteración se iguala con la condición basal del cauce natural**. Para ello, en el caso de proyectos que conlleven obras y acciones constructivas que generen alteraciones sobre el régimen sedimentológico de los cauces naturales, en la descripción del AI, se debe caracterizar el sistema fluvial según los lineamientos descritos en el numeral 3.1.1.

2.4 Predicción y evaluación de impactos

El literal f) del artículo 18 del Reglamento del SEIA establece que, en el marco de la evaluación de impacto ambiental, *“la predicción de los impactos ambientales se efectuará en base a modelos, simulaciones, mediciones o cálculos matemáticos. Cuando, por su naturaleza, un impacto no se pueda cuantificar, su predicción sólo tendrá un carácter cualitativo”*. Por lo tanto, se entiende por estimación de los impactos ambientales la valoración de la alteración sobre el elemento ambiental, a partir de alguna cualidad comparable (análisis cualitativo), mientras que por cuantificación de los impactos ambientales se entiende la determinación de magnitud numérica de alguna propiedad cuantificable o medible del elemento ambiental alterado (SEA, 2023d).

.....

La predicción y evaluación de los impactos para el OP suelo de aguas superficiales corrientes y detenidas deberá considerar la pérdida de suelo o de su capacidad para sustentar biodiversidad por degradación, erosión, impermeabilización, compactación o presencia de contaminantes⁴. Los potenciales impactos que puede generar un proyecto sobre la cantidad y calidad del suelo de aguas superficiales corrientes y detenidas se indica en Tabla 2 (SEA, 2023b). Esta no constituye un listado exhaustivo, por lo que es **responsabilidad del titular predecir y evaluar todos los impactos que se puedan originar producto de la ejecución de su proyecto o actividad, a fin de presentar toda la información relevante y esencial para una correcta evaluación ambiental**.

.....

4 Ref. Art. 6° letra a), Reglamento del SEIA.

Para ilustrar lo señalado anteriormente, en la Tabla 2 se entregan ejemplos de impacto, sin perjuicio de que puedan existir otros relacionados con este objeto de protección.

Tabla 2. Ejemplo de impactos sobre el objeto de protección suelo de aguas superficiales corrientes y detenidas

TIPO DE IMPACTO	EJEMPLOS DE IMPACTOS
Cambios en la cantidad y calidad del suelo de aguas superficiales corrientes y detenidas.	• Pérdida de suelo por extracción. • Pérdida de calidad de suelo por relleno. • Compactación del suelo. • Activación de procesos erosivos o erosión del suelo y riberas. • Alteración del régimen sedimentológico. • Cambio o deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo: - Cambio en la textura o granulometría. - Cambio de la capacidad de drenaje por impermeabilización, compactación, relleno o construcción de drenes. - Modificación de los valores de los parámetros físicos, químicos y biológicos, tales como: » pH » potencial oxidación-reducción (redox) » materia orgánica » sustancias contaminantes

Fuente: elaboración propia



3. CRITERIO DE EVALUACIÓN EN EL SEIA: ALTERACIÓN DEL RÉGIMEN SEDIMENTOLÓGICO

3.1 Descripción del objeto de protección

En el marco del SEIA, OP hace referencia al elemento o componente del medio ambiente que se pretende proteger de los potenciales impactos ambientales que pueda generar la ejecución de un proyecto o actividad.

.....

Para efectos de este documento, el sedimento es analizado como componente del OP **suelo de aguas superficiales corrientes y detenidas** (SEA, 2023c). No obstante, es importante relevar que la alteración del régimen sedimentológico puede tener incidencia sobre otros OP, ante lo cual **es responsabilidad del titular presentar toda la información relevante y esencial para la evaluación ambiental de su proyecto o actividad.**

.....

Con base en lo anterior es fundamental caracterizar el sistema fluvial utilizando los elementos del numeral 3.1.1 “Caracterización del sistema fluvial” del presente documento, en cantidad y nivel de detalle suficiente, con el objetivo de demostrar que (i) el impacto no es significativo o, en el caso exclusivo de los EIA, (ii) que el impacto sí es significativo, y (iii) se han propuesto medidas de mitigación, reparación o compensación efectivas. Además, se debe asegurar, tanto

para las DIA como para los EIA, que se ha elaborado un correcto Plan de Seguimiento de las Variables Ambientales (PSA) o un Compromiso Ambiental Voluntario (CAV), para asegurar que las variables se comporten según lo proyectado en la evaluación ambiental.

El nivel de detalle en la caracterización del régimen sedimentológico u otros elementos del medio ambiente deberá ser estructurado en función del cumplimiento de estos objetivos y, por lo tanto, la cantidad y nivel de detalle de la información dependerá de la magnitud y singularidades de cada proyecto.

3.1.1 Caracterización del sistema fluvial

Para determinar las alteraciones del régimen sedimentológico es necesario caracterizar el sistema fluvial. A continuación, se presenta un listado con el análisis que el titular debe realizar para caracterizar el sistema fluvial y referencias a documentos desarrollados por el SEA. Si el titular decide no realizar alguno de estos análisis, deberá justificar el porqué de esa decisión:

- a) **Caracterización del recurso hídrico**, con énfasis en la hidrología y calidad del agua, según lo indicado en el numeral 4.1 del documento *Criterio de Evaluación en el SEIA: Contenidos técnicos para la evaluación ambiental del recurso hídrico* (SEA, 2022).
- b) **Caracterización del sistema fluvial** según lo indicado en el numeral 2.1 de la *Guía metodológica para determinar el caudal ambiental para centrales hidroeléctricas en el SEIA* (SEA, 2016), en especial en lo referente a caracterización morfológica, tanto de macroescala como de mesoescala, identificación de mesohábitat, caracterización ecológica, caracterización de zonas ribereñas, caracterización antrópica, caracterización fisicoquímica. Además, resulta fundamental que el titular del proyecto determine y justifique debidamente la ecuación que mejor represente la dinámica del río en estudio y realice un análisis de sensibilidad del gasto sólido.
- c) **Caracterización topográfica** del tramo del río dentro del AI del proyecto y que abarque tanto la caja principal del cauce como las planicies de inundación, con una discretización espacial que permita representar adecuadamente el cauce en estudio y sus mesohábitats.
- d) **Clasificar morfológicamente** el cauce e identificar el cauce principal y planicies de inundación, esta última definida para la crecida de 100 años de período de retorno.
- e) **Caracterización granulométrica** del lecho fluvial y de sus mesohábitats. La caracterización debe ser tanto espacial como estratigráfica, de tal manera que sea representativa del tramo de río en estudio y de los distintos mesohábitats de interés ambiental. En ríos con lechos de grava estratificados se deben caracterizar los distintos estratos según los objetivos del estudio e indicar las metodologías utilizadas⁵. Además, el titular

⁵ Más detalles para el muestreo granulométrico de estos estratos, su variabilidad especial y vertical en distintos mesohábitats, representatividad y errores asociados a las distintas metodologías de muestreo, entre otros, pueden ser revisados en el documento de Bunte & Abt (2001), publicado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y en el Manual de Carreteras (2018) Volumen 3 Instrucciones y Criterios de Diseño. Numeral 3.707.102 *Granulometría de los sedimentos movilizados por las aguas*. MOP – DGOP – Dirección de Vialidad. Chile.

debe explicitar el criterio para determinar los sitios de muestreo, los cuales deben ser representativos del tramo en estudio y pueden requerir abarcar una extensión importante del río, de 5 a 7 veces su ancho (Bunte & Abt, 2001), como también incluir los mesohábitats de interés.

- f) Estimar el gasto sólido de fondo y en suspensión** a partir de formulaciones presentes en la literatura o mediciones en terreno. Para determinar la carga total de sedimentos transportados por el río se debe considerar el arrastre de fondo y en suspensión. Su estimación se realiza mediante mediciones en terreno de los sedimentos transportados (cuando esto sea posible) o mediante fórmulas semi-empíricas presentes en la literatura. Si se decide ocupar una de las fórmulas semi-empíricas presentes en la literatura, se debe tener presente que dichas fórmulas han sido desarrolladas para ciertas condiciones de flujo y rango de tamaño de sedimentos específicos, lo que genera una gran dispersión en la estimación del gasto sólido con una fórmula u otra. En general, los ríos chilenos presentan granulometrías extendidas con una alta presencia de gravas y bolones, en que regularmente las fórmulas existentes para estimar el transporte de fondo no aplican. Por tal motivo, es muy importante que el titular determine y justifique la ecuación que mejor represente la dinámica del río en estudio y realice un análisis de sensibilidad del gasto sólido. Queda a criterio de los especialistas y de las necesidades del proyecto realizar este tipo de cálculos, entendiendo las complejidades y representatividad de éstas⁶. No obstante lo anterior, si fuera relevante para la evaluación ambiental del proyecto en cuestión, la autoridad podrá solicitar esta estimación al titular del proyecto.
- g) El estudio de arrastre de sedimentos** debe abarcar tanto aguas arriba como aguas abajo de la ubicación del proyecto o actividad.
- h) Identificar zonas de erosión y depósito natural** de sedimentos en el tramo del cauce estudiado a partir de un modelo numérico de lecho móvil en 1-D o 2-D, según las características de cada proyecto y la geomorfología del cauce. Estimar el gasto sólido en suspensión y de fondo a partir de mediciones en terreno.
- i) Identificar infraestructura** como puentes, defensas fluviales, bocatomas asociadas a canales de riego, obras de agua potable rural, y otras obras hidráulicas y viales de importancia para grupos humanos que puedan verse afectadas.
- j) Identificar otros proyectos aguas arriba y aguas abajo de la actividad inicial**, como embalses, bocatomas, extracciones de áridos entre otros, que generen alteración del régimen sedimentológico y analizar su efecto sinérgico con el proyecto.
- k) Caracterizar otras componentes ambientales** que se puedan ver afectadas indirectamente por la alteración del régimen sedimentológico.
- l) Ampliar información** y tener especial atención en la caracterización de zonas de importancia ambiental, como áreas silvestres protegidas, sitios Ramsar, humedales urbanos, lugares que alberguen especies ícticas nativas protegidas, entre otros.

⁶ Recomendamos considerar el documento de Diplas *et al.* (2008).

3.2 Predicción y evaluación de impactos ante la alteración del régimen sedimentológico

La predicción y evaluación de impactos sobre los componentes ambientales que son objeto de protección ambiental se enmarca en la letra b) del artículo 11 de la Ley N°19.300, donde se señala la necesidad de evaluar los efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua y aire, para ello, el **titular debe tener presente que siempre se debe evaluar el escenario con y sin proyecto en una extensión que abarque tanto aguas arriba como aguas abajo de la zona intervenida por el proyecto o actividad.**

A continuación, se indican los lineamientos que se deben considerar en la predicción y evaluación de impactos, sin perjuicio de que el titular pueda proponer análisis y estudios adicionales. Estos lineamientos deberán ser utilizados por los titulares para el análisis del artículo 6° del RSEIA, en específico, lo referente a si:

- Se afecta la permanencia del recurso, asociada a su disponibilidad, utilización y aprovechamiento racional futuro.
- Se altera la capacidad de regeneración o renovación del recurso.
- Se alteran las condiciones que hacen posible la presencia y desarrollo de las especies y ecosistemas.

Para ello y con la finalidad de facilitar el diseño del proyecto, los titulares podrán tomar como referencia lo siguiente:

- a) Estimar los cambios en el arrastre de sedimentos y cambios morfológicos que podría provocar el proyecto. Para lograrlo es necesario que esto sea realizado a través de una modelación numérica con lecho móvil, en 1-D o 2-D, según las características de cada proyecto y la variabilidad espacial del cauce, tanto de su lecho fluvial como de mesohábitats. Se debe justificar la formulación utilizada, dentro de las habilitadas en el *software*, considerando las condiciones en las que fue formulada (experimental, diámetros de sedimentos, entre otros), de tal manera que ésta sea lo más representativa del tramo del cauce en estudio. Se debe incluir una sensibilización de gasto de sólido de entrada utilizado como condición de borde en el modelo.
- b) Evaluar los efectos del proyecto para distintas crecidas de período de retorno hasta 100 años, incluyendo aquella asociada al caudal formativo, y según corresponda para caudales frecuentes, como caudal medio anual, caudal medio mensual o caudales de 95%, 80% o 60% de probabilidad de excedencia. Si bien el titular debe justificar los caudales y períodos de retorno utilizados, siempre deberá analizar la crecida de 100 años de período de retorno, caudal formativo y caudal operacional en proyectos que controlen el régimen de caudales, e incluir, cuando corresponda, el caudal ambiental. Además, se deberá analizar la necesidad de incluir hidrogramas de crecidas con su respectiva duración en las modelaciones.

- c) Evaluar los potenciales impactos sobre los distintos elementos del medio ambiente producto de las alteraciones directas e indirectas del régimen sedimentológico.
- d) Evaluar los impactos acumulativos y el posible efecto sinérgico, considerando la ocurrencia de otros proyectos dentro del AI, tales como extracciones de áridos, embalses u otros proyectos que alteren el régimen sedimentológico. Considerar una sensibilización de las condiciones de borde de entrada de sedimentos en el modelo numérico. Dado lo anterior, surge la necesidad de realizar un análisis del proyecto sometido a evaluación, como de su interacción con el resto de los proyectos o actividades que comparten el territorio y que cuentan con RCA, independientemente de que dicho proyecto se esté evaluando mediante un EIA o una DIA.
- e) El titular deberá justificar el horizonte de tiempo considerado y la duración de los potenciales impactos posteriores a la vida útil del proyecto.
- f) Para el caso de los proyectos de extracción de áridos se deberán realizar los siguientes análisis:
 - Calcular el caudal formativo y determinar a qué período de retorno corresponde.
 - Comparar el volumen de extracción del proyecto con el sedimento potencialmente depositado por el cauce en un período igual a la vida útil del proyecto. El sedimento potencialmente depositado se deberá calcular mediante un balance de masas del sedimento transportado entre secciones transversales, considerando los gastos sólidos transportados por cada clase, según la metodología del caudal efectivo indicado en el Anexo 1.
 - Comparar el volumen de extracción anual del proyecto con el sedimento potencialmente depositado por el cauce promedio anual (ver Anexo 1).
 - Para este tipo de proyectos, en las letras a) y b) anteriormente indicadas, se espera que muestren la evolución morfológica del sitio de extracción cuando es alcanzado por las crecidas líquidas, iniciando con el caudal que logra interceptar el sitio de extracción hasta la crecida de 100 años. Dado que los sitios de extracción al ser alcanzados por crecidas pueden generar nuevos brazos del cauce o cambios de trazado, se recomienda utilizar modelos 2-D.
- g) Para el caso de los proyectos de embalse se deberán realizar los siguientes análisis:
 - Calcular el caudal formativo y determinar a qué período de retorno corresponde.
 - Calcular el caudal formativo aguas abajo del embalse en la situación con proyecto. Para ello se deberán utilizar los mismos caudales considerados para el cálculo del gasto sólido efectivo y aplicar la regla de operación del embalse.
 - Evaluar las modificaciones del cauce a largo plazo en términos de morfología, granulometría, erosión y mesohábitats, considerando el caudal formativo de la situación con proyecto y la ocurrencia de crecidas extremas hasta los 100 años de período de retorno.

3.3 Seguimiento ambiental

El seguimiento ambiental⁷ (SA) es una herramienta que permite verificar el comportamiento de las variables ambientales según lo proyectado y evaluado ambientalmente, confirmar la efectividad de las medidas o compromisos propuestos por el proponente y confirmar la no generación de impactos significativos conforme a lo evaluado. Si bien el diseño del SA es presentado durante la evaluación ambiental, su ejecución es posterior al otorgamiento de la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) y puede abarcar las fases de construcción, operación o cierre de un proyecto o actividad. Para ello es necesario monitorear los cambios morfológicos y calidad del agua del sistema fluvial derivados de la alteración del régimen sedimentológico.

En principio, las variables ambientales de interés que se deben monitorear son⁸:

- Calidad del agua.
- Geomorfología: cota o nivel del lecho, topografía de secciones transversales representativas del área de influencia y mesohábitat, posición o trazado del escurrimiento, patrón de escurrimiento, zonas de erosión y depósito. Complementar con imágenes satelitales o fotografías aéreas ortorectificadas.
- Arrastre de sedimentos en suspensión y de fondo.
- Granulometría del lecho.
- Calidad fisicoquímica de los sedimentos.
- Volumen de extracción y de recuperación (extracciones de áridos).

Las alteraciones morfológicas pueden persistir por varios años, por esto el SA se debe extender a la fase de cierre, por un período que deberá ser justificado.

Se deberá realizar un SA de aquellos elementos del medio ambiente que resulten afectados indirectamente, a través de la alteración directa del régimen sedimentológico como ecosistemas ribereños, fauna íctica, entre otros.

⁷ Término general que engloba tanto el seguimiento obligatorio de las variables ambientales con un Plan de Seguimiento de las Variables Ambientales (PSA), como el seguimiento de variables ambientales a través de un Compromiso Ambiental Voluntario (CAV) (SEA, 2022).

⁸ Estas variables pueden cambiar según el tipo de proyecto.



4. CONSIDERACIONES PARA PROYECTOS DE EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS

La arena y la grava se han utilizado durante mucho tiempo como agregados para la construcción de carreteras, edificios u otras obras. Actualmente, la demanda de estos materiales sigue aumentando. La principal fuente de arena y gravas se encuentra en los cauces naturales y se obtiene a partir de la explotación del cauce principal y planicies de inundación. Esta industria comúnmente se ubica en cauces cercanos a ciudades donde existe una demanda del recurso. De igual forma, se ubica cercano a rutas viales y puentes donde se tiene un acceso rápido y fácil para el transporte del material extraído, reduciendo así los costos. Sin embargo, la extracción de estos áridos rompe el equilibrio sedimentológico, es decir, el gasto sólido que entra es menor al que sale, junto a una paulatina pérdida de diámetros en el entorno del sitio de extracción. De esta forma, se produce una degradación del lecho de los cauces naturales afectando principalmente la infraestructura pública o privada, como puentes y bocatomas cercanas al lugar de extracción, así como erosión de las riberas y pérdida de hábitat para las especies acuáticas, flora y fauna ribereña.

La magnitud del impacto dependerá de la tasa de extracción, la cantidad de material extraído, la geometría del sitio de extracción, la cantidad de sedimentos transportados naturalmente por el río y de cómo estos interactúan con el sitio de extracción (acreción o erosión natural) y de los efectos acumulativos con otros proyectos que alteren el régimen sedimentológico en el cauce en estudio. La extensión de los efectos generados por la extracción de áridos puede alcanzar kilómetros, tanto aguas arriba como aguas abajo del sitio de extracción.

Como una forma de visibilizar los principales efectos de la extracción de áridos en cauces naturales se realiza un análisis más detallado de las alteraciones:

- Descenso (erosión) del lecho fluvial, tanto aguas arriba como aguas abajo del sitio de extracción.
- La extracción de sedimentos erosionará las barras ubicadas aguas abajo de la extracción, al recibir menor aporte de sedimentos.
- Cambios morfológicos del cauce hasta que el río alcance un nuevo equilibrio sedimentológico. Estos cambios van desde incisión en las riberas, cambios de pendientes, degradación del lecho, cambios en la ubicación del flujo principal y cambios granulométricos locales.
- La rápida degradación del lecho puede inducir el colapso y erosión de las riberas.
- En sectores donde se acumulan sedimentos, la extracción ralentizará su agradación, mientras que en sectores donde se degrada el lecho, la extracción acelerará su erosión.
- La erosión del lecho puede dejar expuestas las fundaciones de puentes, bocatomas, tuberías soterradas u otras estructuras.
- La degradación del lecho puede generar importantes cambios morfológicos y granulométricos del río, afectando distintos mesohábitats.
- La alteración del gasto sólido puede afectar el aporte de sedimentos y nutrientes a mesohábitats ubicados aguas abajo del proyecto.
- La degradación del lecho puede exponer otros materiales en estratos más profundos que alteren la calidad del agua.
- Si el río es alimentado por un acuífero subterráneo, la profundización de su lecho traerá consigo una alteración del nivel freático, afectando la vegetación ribereña y la disponibilidad del recurso hídrico para otros usos.
- La profundización del lecho disminuye el área de inundación, afectando así a los ecosistemas ribereños y el aporte de sedimentos y nutrientes a estos sectores.
- En lechos de granulometría extendida, se podría alterar la granulometría del lecho en ciertos sectores del río y del sitio de extracción, generando fenómenos que alteran el hábitat de los ecosistemas acuáticos como el acorazamiento, colmatación por finos o pérdida de diámetros mayores.
- Alteración de la calidad del agua producto de la extracción y flujo de camiones y maquinarias.
- Alteración de la vegetación ribereña ubicada dentro de las obras y partes del proyecto.

4.1 Recomendaciones para los proyectos de extracción de áridos

En este apartado se entregan recomendaciones consideradas como buenas prácticas para que el titular las pondere durante el diseño de proyectos de extracción de áridos.

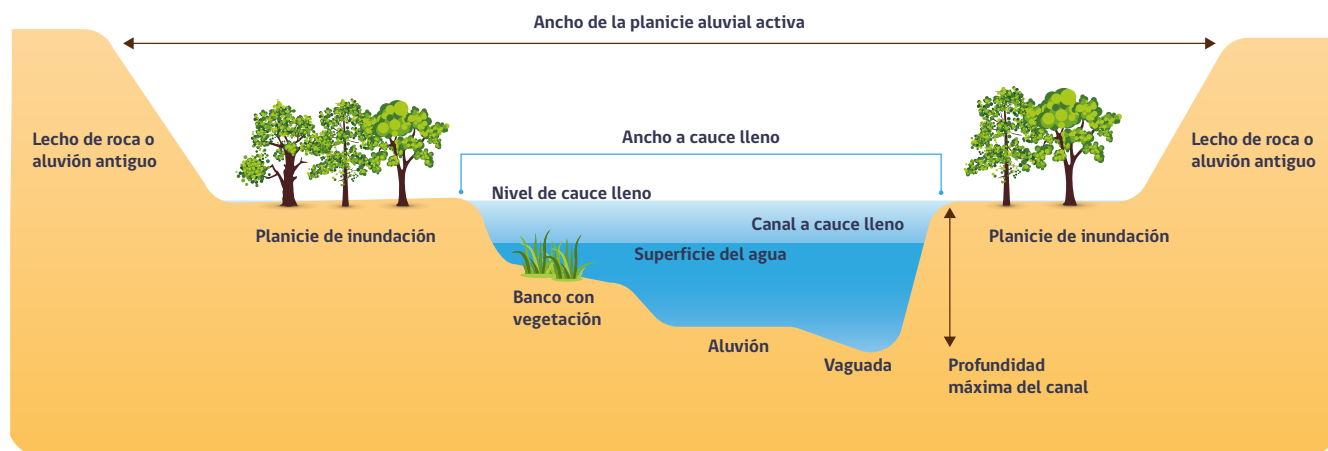
Existen dos tipos de extracción de áridos en cauces naturales, aquellas que se realizan directamente dentro del cauce principal (lecho y barras), conocidas también como *in-stream*, y aquellas que se desarrollan en las planicies de inundación. Para efectos del SEIA se entiende

como cauce la superficie que el agua ocupa y desocupa alternativamente en sus creces y bajas periódicas. Dicha superficie será la determinada para una crecida de 100 años de período de retorno. Esta definición incluye el cauce principal y a las planicies de inundación.

Para cada tipo de extracción se sugieren al titular las siguientes consideraciones ambientales:

- a) **Ubicación zona de extracción:** extracción ubicada en aquellos sectores del río donde se acumulen naturalmente sedimentos y no en zonas naturales de erosión del lecho. Se debe justificar con una modelación numérica del sector de estudio.
- b) **Determinar la cota mínima de extracción, bajo la cual no se puede seguir extrayendo:** la cota absoluta mínima de extracción deberá ser superior a la cota del *thalweg* o línea principal de flujo, de tal manera que se mantenga la sección de escurrimiento principal del río durante períodos de bajo caudal. Adicionalmente, la profundización debiera asegurar que queden protegidas aquellas estructuras como puentes, bocatomas, defensas fluviales, entre otras. Este criterio busca también proteger la vegetación ribereña que puede afectarse con una profundización excesiva del cauce.

Figura 1. Diagrama cota mínima

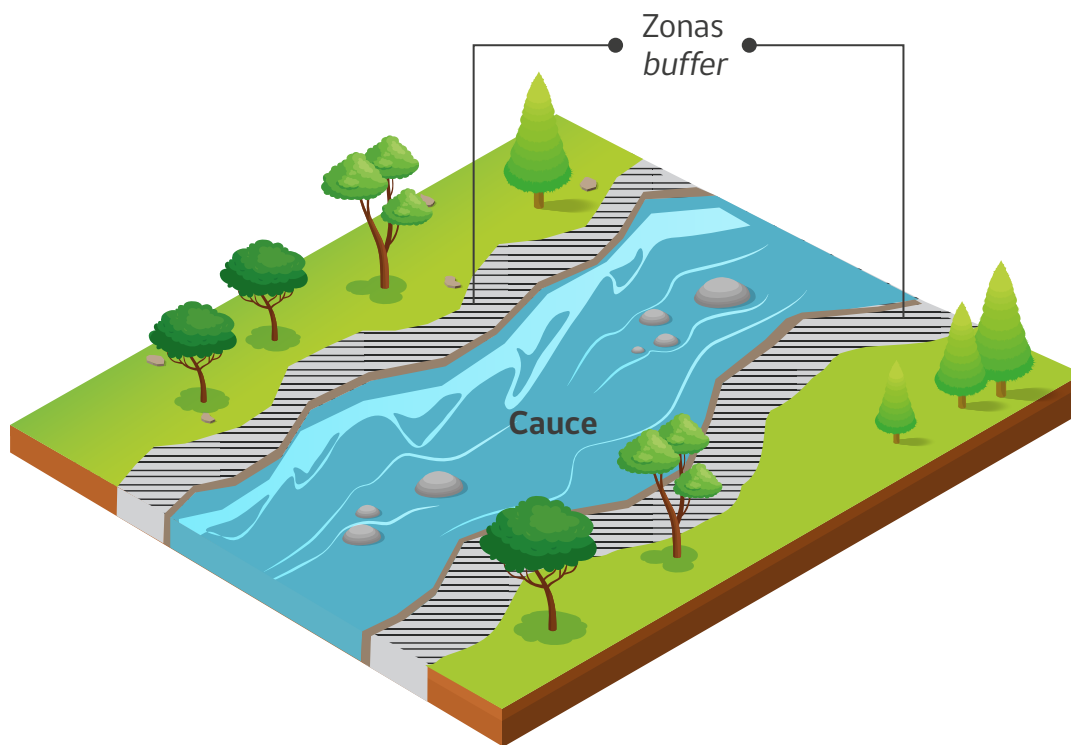


Fuente: elaboración propia

- c) **Se recomienda que la extracción dentro del cauce activo se realice sobre barras y en la porción de aguas abajo de éstas:** en general, se logra una disminución de los impactos si la extracción se desarrolla en la porción de aguas abajo (1/3 a 2/3) de la barra. De esta manera se permite la recuperación aguas abajo de la barra con las crecidas, y se protege el estrechamiento del cauce principal durante caudales bajos, esencial para la vida acuática. En cambio, si se extrae el sedimento en la cabecera de la barra, ésta probablemente desaparecerá en el futuro, se ensanchará el escurrimiento y habrá un mayor deterioro del hábitat.

- d) **Dejar un *buffer* como protección de las riberas:** en sitios de extracción ubicados cercanos a las riberas del cauce activo, se recomienda dejar un *buffer* entre la ribera y el sitio de extracción. Esto para mantener la vegetación ripariana que tiene una función importante en la estabilidad y control de la erosión de las riberas, así como un rol ecosistémico como hábitat de distintas especies, fuente de alimento, entre otros.

Figura 2. Esquema planificación área *buffer*



Fuente: elaboración propia a partir de imagen de Deposiphotos

- e) **Mantener la capacidad de transporte de caudal líquido del río:** la capacidad de transporte en crecidas del río debiera ser mantenida, sobre todo en sectores en que se pueda ver afectada la infraestructura pública, como puentes, bocatomas, entre otros.
- f) **Zona de extracción alejada del cauce principal:** en áreas donde hay existencia de arenas y gravas en las planicies de inundación, existe el riesgo potencial de que el río pueda migrar hacia el sitio de extracción, sobre todo en ríos meandrosos. Si el río erosiona la zona que lo separa del sitio de extracción, se podría generar una desviación completa del río y cambiar su patrón de escurrimiento. Para reducir estos riesgos se recomienda que el sitio de extracción esté alejado del cauce principal.

- g) **Determinar el caudal y período de retorno** que inunda el sitio de extracción y evaluar sus efectos a través de un modelo numérico.
- h) **Minimizar actividades que liberen sedimento fino:** las actividades de tamizado y procesamiento del material extraído deben desarrollarse fuera del cauce principal y estar por sobre o protegidas de la crecida de 25 años de período de retorno. Lo anterior, dado que estas actividades generan un alto contenido de finos que en caso de ser alcanzado por el agua puede afectar severamente la calidad del agua del río.
- i) **Evitar la extracción de áridos en el cauce bajo la superficie inundada por el escurrimiento:** se recomienda en estos casos que las extracciones se realicen en períodos de bajo caudal, cuando el sitio de extracción se encuentre sobre la superficie del agua. Cuando esto sea inevitable, se deberá reforzar el plan de monitoreo topobatómico y de calidad del agua.
- j) **Retener la vegetación ripariana:** proteger la vegetación ripariana que cumple una importante función sobre la geomorfología y procesos biológicos en los ríos. Por un lado, protege a las riberas contra la erosión, mientras que la vegetación (incluidas raíces y árboles caídos) sirve como refugio para peces, filtro de sedimentos y hábitat para invertebrados, aves y otro tipo de animales.
- k) **Mantener un caudal ambiental en el río:** las extracciones de áridos que desvíen una porción del flujo que escurre por el cauce natural, como parte de su método de extracción, deberán asegurar en todo momento un caudal ambiental⁹ por la sección de escurrimiento natural.
- l) **Plan de contingencias y emergencias:** ante una eventual crecida extraordinaria del cauce en el emplazamiento del proyecto o actividad se deberá considerar un plan de contingencia y emergencia.
- m) **Establecer monitoreo a largo plazo:** es fundamental monitorear la calidad del agua, la recuperación de los sectores de extracción y los cambios morfológicos del río dentro del área de influencia del proyecto. Para ello se deben definir secciones transversales de control en el cauce representativas del sitio de extracción y mesohábitat dentro del área de influencia e idealmente complementar el análisis con imágenes satelitales o fotos aéreas ortorectificadas. El monitoreo se debe extender a la fase de cierre durante un período mayor o igual al 25% de la duración del proyecto, el cual deberá ser debidamente justificado por el especialista.
- n) **Reporte anual ecosistémico:** realizar un reporte anual de la alteración de los ecosistemas acuáticos y terrestres. Reportar también cambios morfológicos, elevación del lecho, reposición de sedimentos, volumen extraído y volumen de extracción permitido, junto con las topografías de control correspondientes.

⁹ Se recomienda revisar la *Guía metodológica para determinar el caudal ambiental para centrales hidroeléctricas en el SEIA* (SEA, 2016) para el cálculo del caudal ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

- Bunte, K. & S. Abt. 2001. Sampling Surface and Subsurface Particle-Size Distributions in Wadable Gravel- and Cobble-Bed Streams for Analyses in Sediment Transport, Hydraulics, and Streambed Monitoring. General Technical Report RMRS-GTR-74. United States Department of Agriculture. 451 pp.
- Diplas, P., Kuhnle, R., Gray, J., Glysson, D. & T. Edwards. 2008. Sediment transport measurements. Sedimentation Engineering: Theories, Measurements, Modeling, and Practice. ASCE *Manuals and Reports on Engineering Practice*, 110, 165-252.
- Niño, Y. 2005. Apuntes Mecánica fluvial y transporte de sedimentos, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
- Rosgen, D.L. 1994. A classification of natural rivers. *Catena*, 22: 169-199.
- Schandl, H., Hatfield-Dodds, S., Wiedmann, T., Geschke, A., Cai, Y., West, J., Newth, D., Baynes, T., Lenzen, M. & A. Owen. 2016. Decoupling global environmental pressure and economic growth: scenarios for energy use, materials use and carbon emissions. *Journal of Cleaner Production*. 132, 45-56.
- Servicio de Evaluación Ambiental, 2016. Guía metodológica para determinar el caudal ambiental para centrales hidroeléctricas en el SEIA. Primera edición.
- Servicio de Evaluación Ambiental, 2017. Guía sobre el área de influencia en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Primera edición.
- Servicio de Evaluación Ambiental, 2022. Criterio de Evaluación en el SEIA: Contenidos técnicos para la evaluación ambiental del recurso hídrico. Primera edición.
- Servicio de Evaluación Ambiental, 2022. Criterio de evaluación en el SEIA: Objetos de protección. Primera edición.
- Servicio de Evaluación Ambiental, 2023a. Guía área de influencia en humedales en el SEIA. Primera edición.
- Servicio de Evaluación Ambiental, 2023b. Guía para la predicción y evaluación de impacto ambiental en humedales en el SEIA. Primera edición.
- Servicio de Evaluación Ambiental, 2023c. Guía de evaluación de efectos adversos sobre recursos naturales renovables. Segunda edición.
- Servicio de Evaluación Ambiental, 2023d. Criterio de evaluación en el SEIA: Alcances y principios metodológicos para la evaluación de los impactos ambientales. Primera edición.
- Wolman, M.G. & J.P. Miller. 1960. Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes. *J. Geol.* 68:54-74.



ANEXO 1. CÁLCULO DEL CAUDAL EFECTIVO

La metodología a utilizar es la detallada en el documento *Effective Discharge Calculation: A Practical Guide* (US Army Corps of Engineers, 2000), por lo que se recomienda revisarla.

A continuación se expone un ejemplo práctico.

1. Hidrología

- a) Se recomienda utilizar la serie histórica de caudales con la mayor frecuencia existente (15 minutos, 1 hora, 1 día). A mayor frecuencia (15 minutos) de los registros, más preciso será el resultado; en tanto los caudales medios diarios tienden a subestimar el transporte de sedimentos calculado. En este ejemplo se utilizan mediciones a intervalos de 1 hora y un total de 151.038 caudales. La cantidad de años a utilizar debiera fluctuar entre 15 a 20 años, de lo contrario se deberá justificar. Sobre 20 años se corre el riesgo de que se incorporen caudales que no correspondan a las condiciones climáticas actuales en la zona. Se debe tener especial precaución en que la ventana de tiempo no incorpore una alteración del régimen de caudales. Por ejemplo, la construcción de un embalse donde los caudales son regulados por este. En el caso donde el régimen de caudales esté alterado, se debe contar la serie de caudales posterior a la alteración. Si ésta es muy reciente, considerar la serie de caudales previo a su alteración e incluir el efecto de su operación sobre la serie de caudales.

Tabla 1. Serie histórica de caudales

AÑO	MES	DÍA	HORA	CAUDAL [M ³ /S]
2002	1	1	0	48,71
2002	1	1	1	48,71
2002	1	1	2	48,71
2002	1	1	3	50,21
...	...	...	...	...
2021	9	30	22	1,12
2021	9	30	23	1,24

b) Ordenar estadística de caudales menor a mayor.

Tabla 2. Serie histórica de caudales ordenada de menor a mayor

AÑO	MES	DÍA	HORA	CAUDAL [M ³ /S]
2020	3	27	8	1,07
2020	3	27	9	1,07
2019	5	27	14	1,26
2019	7	5	12	1,26
...	...	...	...	...
2006	7	13	2	247,09
2006	7	13	3	247,09

c) Luego se deben clasificar los caudales por rangos de caudal (o clases) y contar el número (n) de caudales observados dentro de cada clase. Notar que la sumatoria de "n" debe ser igual al total de caudales de la estadística utilizada y que la amplitud de cada rango es la misma. En este ejemplo se utilizaron 50 clases. La selección del número de clases puede influir el cálculo del gasto sólido efectivo. La elección del número de clases no es arbitraria. Se debe lograr obtener un histograma de gasto sólido en forma de campana de Gauss (ver Figura 1. Diagrama cota mínima del documento). Mientras mayor el número de clases, menor será el intervalo de caudales, sin embargo, se obtendrá como resultado un histograma de gasto sólido con múltiples *peaks*. Por lo tanto, el número de clases debe ser suficientemente pequeño para representar la "distribución de frecuencia de caudales", pero lo suficientemente grande para producir una distribución continua o sin singularidades. No existe una regla para definir el número de clases, pero según *US Army Corps of Engineers* (2000) el intervalo de caudales de cada clase no debiese ser mayor a $\sigma/4$ donde σ es la desviación estándar de la muestra de caudales. De todas formas, dependerá de cada cauce en estudio.

Tabla 3. Serie histórica clasificada por clases (rangos de caudales)

CLASE	DESDE [M ³ /S]	HASTA [M ³ /S]	N
1	1,07	5,99	14589
2	5,99	10,91	36899
3	10,91	15,83	26279
4	15,83	20,75	21255
...	...	...	...
49	237,25	242,17	0
50	242,17	247,09	3

- d) Calcular el caudal característico de cada clase (media aritmética), contar el número de veces que es excedido en la estadística utilizada y con ello determinar la probabilidad de excedencia.

Tabla 4. Serie histórica con cálculo de media aritmética y probabilidad de excedencia por clases

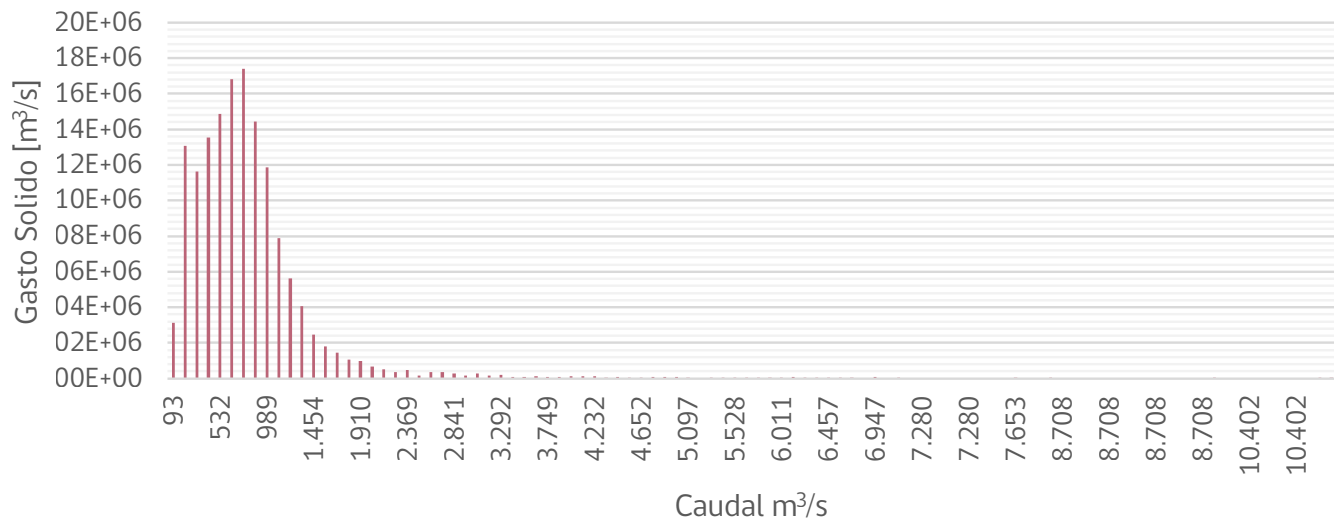
CLASE	DESDE	HASTA	N	QM	N EXCEDIDO	PE
1	1,07	5,99	14589	3,53	150687	99,8%
2	5,99	10,91	36899	8,45	116870	77,4%
3	10,91	15,83	26279	13,37	85557	56,6%
4	15,83	20,75	21255	18,29	61714	40,9%
...	...	...	...	...	...	...
49	237,25	242,17	0	239,71	3	0,002%
50	242,17	247,09	3	244,63	3	0,002%

2. Potencial de arrastre de sedimentos

- Identificar las estaciones de muestreo de sedimentos de fondo y en suspensión presentes en el sector de estudio o cercanas a él. Se debe excluir del análisis el sedimento registrado del tipo *wash load* o lavado de cauce. Si no hay estaciones de muestreo o estas no poseen registro de arrastre de fondo, considerar la fórmula de arrastre de sedimentos que mejor se ajuste a la morfología y diámetro de sedimentos presentes en el cauce.
- En el caso de considerar una fórmula para determinar el gasto sólido, identificar las secciones transversales representativas del tramo en estudio donde se estimará el gasto sólido transportado.
- Determinar la curva de gasto sólido. Esta se obtiene a partir del registro histórico de arrastre de sedimentos o, en su defecto, a partir de la formulación utilizada. Para este último caso y por simplicidad, considerar altura normal.

- d) En función de la curva de gasto sólido, aplicar dicha curva a cada clase identificada en la hidrología. Multiplicar el sedimento transportado por “n”, es decir, la frecuencia o el número de veces que el caudal observado se encontró en el rango definido para cada clase.
- e) Representar en un gráfico de barras el gasto sólido total transportado por cada clase. En el eje de las abscisas se considera cada clase y en el eje de las ordenadas el gasto sólido total transportado por cada clase. Se debe obtener un gráfico en forma de campana de Gauss con un solo máximo. En caso de existir más de un máximo, se debe ajustar el número de clases. Un exceso de clases podría generar muchos máximos locales.
- f) El valor máximo obtenido corresponde al gasto sólido efectivo. Y el caudal que transporte ese gasto sólido representa el caudal formativo, es decir, el caudal que transporta la mayor cantidad de sedimentos en el cauce y, por lo tanto, le da su forma.

Figura 1. Histograma gasto sólido. El *peak* representa el gasto sólido efectivo y el caudal que genera dicho *peak* al caudal responsable de transportar la mayor cantidad de sedimentos en el río y que, por lo tanto, le da su forma



Fuente: elaboración propia

- g) Determinar el período de retorno asociado al caudal formativo recientemente calculado. Este se encuentra generalmente entre 2 y 5 años de período de retorno, y muchas veces coincide con el caudal a cauce lleno. Si bien depende de las características de cada cauce, cuando no coinciden podría ser un indicativo de un desbalance en el régimen sedimentológico, por ejemplo, por la presencia de un proyecto aguas arriba que altera el régimen de caudales (bocatomas, embalses, otros.), o que altera el régimen sedimentológico (extracciones de áridos, embalses, otros).
- h) Determinar el gasto sólido promedio anual transportado por el cauce como la suma del gasto sólido total transportado por todas las clases, dividido por el número de años considerados en el análisis.



ANEXO 2. GLOSARIO

Arrastre de fondo: sedimento que se moviliza en la parte más cercana del lecho del río y que se mantiene en permanente contacto con él. En esta zona los sedimentos son de mayor tamaño y el flujo es capaz de movilizarlos, pero no es capaz de resuspenderlos. Los mecanismos de transporte de fondo son deslizamiento, rotación y saltación.

Arrastre de sedimentos: proceso por el cual los cauces transportan partículas de distintos tamaños que van, principalmente, en el rango de bolones, gravas, arenas y finos como limos y arcillas. Estos sedimentos son aportados al río principalmente desde las partes altas de la cuenca, pero es un proceso que ocurre a lo largo de todo el cauce y que también recibe aportes desde otros cauces tributarios o afluentes. Además, el uso de suelo impacta fuertemente en el aporte de sedimentos a los cauces, por ejemplo, los suelos de uso agrícola aportan una importante cantidad de sedimentos finos producto de la labranza y el riego.

Arrastre en suspensión: sedimento que producto de la turbulencia del flujo se mantiene de forma permanente o parcialmente en suspensión. Dentro de este sedimento se puede distinguir: i) lavado de cauce (*washload*), que se refiere al sedimento que se mantiene siempre en suspensión y, por ende, se encuentra en muy bajas cantidades en el lecho del río. Está formado principalmente por finos como limos y arcillas; y ii) material presente en el lecho del río, que es resuspendido por el flujo durante eventos de crecidas. Aquí se encuentran principalmente sedimentos en el rango de las arenas.

Canal meandroso: sucesión de curvas más o menos pronunciadas que se alternan a lo largo del cauce. La forma de las curvas es determinada principalmente por las características variables del terreno a través del cual pasa el río. Se producen pozas profundas en el lado externo de las curvas y zonas poco profundas en los cortos tramos rectos que conectan las curvas. El *thalweg*, o línea principal de flujo, fluye entre pozas siguiendo la forma zigzagueante del canal meandroso (Niño, 2005).

Canal recto: tramos de un río que son muy rectos a lo largo de una gran distancia. Son generalmente inestables, lo mismo que tramos con muchas islas o con curvas que migran muy rápidamente (Niño, 2005).

Canal trenzado: caracterizado por un curso de agua de alta pendiente, con múltiples divisiones alrededor de islas o bancos de sedimento. Relativamente ancho, con riberas mal definidas e inestables. El trenzamiento es un patrón que puede producirse por una combinación de dos factores: i) el tramo de río es alimentado con una mayor cantidad de sedimento que la que puede acarrear, lo cual resulta en el depósito de parte de la carga de sedimentos; y ii) el tramo es de alta pendiente con una caja del cauce suficientemente ancha, de modo que el flujo es de baja altura y se produce el afloramiento de barras de sedimento formándose islas en el cauce fácilmente (Niño, 2005).

Canales múltiples: se forman dentro de la caja de un río trenzado, formados por la presencia de barras o islas, son generalmente inestables y cambian de posición en el tiempo con las fluctuaciones de caudal. Otro aspecto que favorece la formación de canales trenzados corresponde a la existencia de riberas fácilmente erosionables (de arena o grava), las cuales permiten el ensanchamiento del cauce en crecidas. Ello conduce al afloramiento de barras en períodos de bajo caudal, las cuales suelen estabilizarse debido al crecimiento de vegetación y acorazamiento del lecho, formando islas. La respuesta de un cauce trenzado ante cambios externos es difícil de predecir debido a la inestabilidad propia de este tipo de sistema fluvial (Niño, 2005).

Caracterización granulométrica: muestreo representativo de los sedimentos presentes en el tramo del cauce en estudio y en el análisis para determinar su curva granulométrica. La estrategia y complejidad del muestreo será diferente dependiendo del tipo de sedimentos que se encuentren en el cauce. Así, por ejemplo, el muestreo en cauces con lechos de arenas será más sencillo que el de cauces con lechos de gravas y granulometrías extendidas.

Caudal efectivo: caudal que transporta la mayor cantidad de sedimentos. En este sentido, mientras mayor sea el caudal, mayor será el arrastre de sedimentos; sin embargo, al mismo tiempo, mientras más grande es el caudal, menor es la probabilidad de que dicho caudal ocurra. Por lo tanto, el caudal efectivo es una función de la magnitud de las crecidas, el transporte de sedimentos y la frecuencia de ocurrencia de dichas crecidas.

Caudal formativo: caudal que, si se mantiene constante en el tiempo, produciría un río con la misma geomorfología (ancho, profundidad, pendiente, trazado, entre otros) que el río actual. El cálculo del caudal formativo se puede realizar mediante metodologías como: i) caudal de cauce lleno (*bank-full discharge*), que se refiere al caudal que es capaz de ocupar completamente la sección transversal del cauce sin desbordar hacia las planicies de inundación; ii) según período de retorno, se realiza un análisis de frecuencia de las crecidas para luego escoger como caudal formativo el caudal de entre 1 a 3 años de período de retorno. Hay autores que han reportado valores entre 1 y 5, hasta incluso 10 años de periodo de retorno; y iii) caudal efectivo (*effective discharge*), se refiere al caudal que transporta la mayor cantidad de sedimentos en un tiempo determinado.

Clasificación de cauces: clasificación morfológica de cauces naturales o ciertos tramos de estos se pueden categorizar en rectos, trenzados o meandrosos. Excluye los cauces de lechos de roca, cuya geomorfología está definida por los afloramientos de roca.

Estrato superficial o coraza: propio de los cauces con lechos de grava, generalmente en contacto directo con el flujo, lo cual determina la rugosidad del lecho asociada a los granos y la estabilidad del lecho ante fenómenos erosivos. Bajo este estrato se encuentra el estrato subsuperficial que usualmente presenta sedimentos de menor tamaño y, en conjunto con el estrato superficial, tienen una importante función para el hábitat y zonas de reproducción de distintas especies acuáticas. Existe un tercer estrato bajo los dos estratos anteriores, que comúnmente posee características más homogéneas y que intercambia sedimentos con los estratos superficiales durante crecidas.

Formas de fondo: son estructuras ondulantes cuya geometría, escala y periodicidad espacial es bien definida y cubren un amplio espectro, desde las más pequeñas, del orden del tamaño de los granos que forman el lecho móvil, hasta las más grandes, del orden del tamaño del canal que las contiene. La presencia de formas de fondo son evidencia de la existencia del proceso de arrastre de sedimento de fondo, proceso natural y esencial del ecosistema fluvial que da origen además a la formación de diversos hábitats para la fauna acuática, por lo que su presencia se debe tener en consideración al momento de desarrollar proyectos que alteren el régimen sedimentológico natural del río.

Mesohábitat: conjunto de diferentes tipos de hábitat presentes en un tramo de río (mesoescala), los que están asociados a las formas del lecho y suelen presentar características hidromorfológicas similares. Por lo tanto, los mesohábitat están asociados a las formas de fondo descritas anteriormente, así como su patrón de secuencia y la longitud de alternancia. En un tramo de río pueden existir muchas variaciones de mesoescala asociadas a formas del lecho, pozas por socavación y barras de sedimentos. Estas singularidades provocan variaciones en la profundidad y velocidad del escurrimiento, creando un mosaico de unidades hidromorfológicas denominadas mesohábitats (SEA, 2016).

Morfología de cauces naturales: forma que tienen los cauces naturales y los procesos que los crean y modifican, mediante lo cual se comprende que los sistemas fluviales son dinámicos y cambian constantemente ante cualquier perturbación de sus procesos o componentes hasta alcanzar condiciones de equilibrio. Generalmente estos cambios son generados por las variaciones inherentes al ciclo hidrológico o por perturbaciones externas, como bocatomas, embalses, extracciones de áridos, entre otras.

