

PROTOCOLO GENERAL

MANEJO DE EMBALSES



COSTA RICA
GOBIERNO DEL BICENTENARIO
2018 - 2022



MINAE
Ministerio de Ambiente y Energía



PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

2021

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

Con el apoyo de:



AUTORES

Mario Alvarado, **ACOPE**

Maikol Gamboa, **COOPELESCA**

Wendy Solís, **COOPESANTOS**

Luis Rolier Lara, **CNFL**

Dinnia Ramírez, **ESPH**

Carlos Roberto Rodríguez, **ICE**

Alejandro Hernández, **JASEC**

Laura Lizano, **SEPSE**

Francine Solera, **SEPSE**

Paúl Delgado, **SEPSE**

COLABORADORES

Rocío Chavez, **CNFL**

Gerson Rodríguez, **RECOPE**

Ingrid Regidor, **CMI**

REVISORES

José Zúñiga Mora

Gerardo Umaña Villalobos

Alberto Jiménez Cordero

ACRÓNIMOS

CONAGEBIO	Comisión Nacional para la Gestión de la Biodiversidad
EIA	Evaluación de Impacto Ambiental
ENB2	Estrategia Nacional de Biodiversidad
EsIA	Estudio de Impacto Ambiental
LB	Línea Base
M40	Meta 40
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
PNB	Programa Nacional de Biodiversidad
PNDIP	Plan Nacional de Desarrollo y Inversión Pública 2
PO	Plan Operativo
SEPSE	Secretaría de Planificación del Subsector Energía
SETENA	Secretaría Técnica Nacional Ambiental
SINAC	Sistema de Nacional de Áreas de Conservación

GLOSARIO

- **Área de influencia:** área que potencialmente recibirá los impactos biológicos, físicos y sociales ocasionados directamente por la operación y mantenimiento de una planta de generación.
- **Avenida:** crecida de un arroyo o de un río. El nivel del curso de agua se eleva, superando su flujo habitual. Cuando el aumento del caudal es significativo, puede desbordar el lecho y provocar una inundación. Las avenidas pueden ser periódicas y previsibles y durar periodos prolongados.
- **Barra:** banco de sedimentos depositados en el lecho del río o en su desembocadura, que obstruye el flujo o la navegación.
- **Biodiversidad:** variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, ya sea que se encuentren en ecosistemas terrestres, aéreos, marinos, acuáticos o en otros complejos ecológicos. Comprende la diversidad dentro de cada especie, así como entre las especies y los ecosistemas de los que forma parte.¹
- **Cambio climático:** Es el cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmosfera mundial y que suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.²
- **Cauce:** depresión natural de longitud y profundidad variable en cuyo lecho fluye una corriente de agua permanente o intermitente, definida por los niveles de las aguas alcanzados durante las máximas crecidas ordinarias.

¹ Estrategia Nacional de Biodiversidad 2016-2025 Costa Rica. Ministerio de Ambiente y Energía y Telecomunicaciones MINAE-2ª. ed. – San José, C.R, 2016. Página 29.

² Convención marco de las naciones unidas sobre el Cambio Climático (cmnuc). Naciones Unidas, 1992. Página 3.

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

- **Desembalse:** operación de salida del agua contenida en un embalse, sea total o parcial.
- **Dragado:** conjunto de operaciones necesarias para la extracción, el transporte y la salida de materiales situados bajo el agua, ya sea en el medio marino, fluvial o lacustre.
- **Ecosistema:** complejo dinámico de comunidades de plantas, animales y microorganismos con su ambiente no vivo, interactuando como una unidad funcional.
- **Embalse:** acumulación de agua producida por la construcción de una presa sobre el lecho de un río o arroyo, la cual cierra parcial o totalmente su cauce. Cuando los embalses cumplen más de una función, se les denominan embalses multipropósito. Por otro lado, desde el punto de vista de su capacidad reguladora, el embalse puede tener un ciclo diario, mensual, anual e, incluso, en algunos pocos casos, multianual. Esto significa que el embalse acumula el agua durante, por ejemplo, 20 horas por día, para descargar todo ese volumen para la generación de energía eléctrica durante las 4 horas de pico de demanda; o acumula las aguas durante el período de lluvias, 3 a 6 meses según la región, para usarlas en el período seco.
- **Embalse flotante:** embalse construido fuera del cauce principal del río.
- **Evaluación de Impacto Ambiental (EIA):** “Procedimiento administrativo científico-técnico que permite identificar y predecir cuáles efectos ejercerá sobre el ambiente, una actividad, obra o proyecto, cuantificándolos y ponderándolos para conducir a la toma de decisiones. De forma general, la Evaluación de Impacto Ambiental, abarca tres fases: a) la Evaluación Ambiental Inicial, b) la confección del Estudio de Impacto Ambiental o de otros instrumentos de evaluación ambiental que corresponda, y c) el Control y Seguimiento ambiental de la actividad, obra o proyecto a través de los compromisos ambientales establecidos”³.

³ Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) N.º 31849-MINAE-S-MOPT-MAG-MEIC.

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

- **Política pública:** “El curso o línea de acción definida para orientar o alcanzar un fin, que se expresa en directrices, lineamientos, objetivos estratégicos y acciones sobre un tema y la atención o transformación de un problema de interés público. Explicitan la voluntad política traducida en decisiones y apoyo en recursos humanos, técnicos, tecnológicos y financieros y se sustenta en los mandatos, acuerdos o compromisos nacionales e internacionales”⁴.
- **Sedimentación:** proceso mediante el cual la materia que, después de haber estado en suspensión en un líquido, termina en el fondo por su mayor gravedad.
- **Sedimentos:** partículas de suelo y roca de una cuenca que pueden ser arrastradas, transportadas y/o depositadas en un nuevo lugar.
- **Ribera:** parte del cauce determinado a partir del límite del terreno definido por los niveles de las aguas alcanzados durante las máximas crecidas ordinarias.
- **Variabilidad climática:** Se refiere a las variaciones del estado medio del clima y a otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, entre otros.) en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos.

⁴ Guía para la elaboración de políticas públicas. Ministerio de Planificación. Nacional y Política Económica(MIDEPLAN)- San José, CR : MIDEPLAN, 2016,.Página 6.

CONTENIDO

1	PRESENTACIÓN	9
2	¿POR QUÉ UN PROTOCOLO?	10
3	MARCO JURÍDICO	16
3.1	Ley N°7554. Ley Orgánica del Ambiente (1995)	16
3.2	Ley N°7788. Ley de Biodiversidad (1998)	17
3.3	Directriz Ministerial No. 0005-2020 para la ejecución de la ENB2, dirigida a las dependencias del MINAE	18
4	PLAN NACIONAL DE DESARROLLO Y DE INVERSIÓN PÚBLICA 2019-2022 (PNDIP)	19
5	OBJETIVOS, ALCANCE Y PRINCIPIOS EN LA APLICACIÓN DEL PROTOCOLO.....	20
5.1	Objetivo	20
5.2	Alcance	20
5.3	Principios	20
6	PROCEDIMIENTO PARA LA GESTIÓN DE EMBALSES HIDROELÉCTRICOS	22
6.1	Caracterización del embalse	22
6.2	Definición del área de influencia durante la fase operativa.....	26
6.3	Definición de línea base	26
6.4	Plan operativo.....	31
6.5	Programa de monitoreo	40
7	ANEXOS	44
8	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	49

PRESENTACIÓN

La Estrategia Nacional de Biodiversidad (ENB2) 2016-2025 tiene como objetivo primordial establecer acciones orientadas a la conservación, el uso sostenible y la distribución equitativa de los beneficios de la biodiversidad de Costa Rica. Como parte de su plan de acción define en sus metas, específicamente en la número 40, elaborar un protocolo para el manejo de embalses donde se describan las políticas, lineamientos y maniobras para su limpieza y acciones asociadas a dichas operaciones.

Por la naturaleza del tema, la meta fue asumida por el sector energía al determinarse que era necesario crear una guía para orientar el manejo de embalses de plantas hidroeléctricas, tomando como punto de partida toda la experiencia país desarrollada a lo largo de los años en la gestión de embalses, considerando el impacto aguas abajo producto de las maniobras. Sin embargo, muchos de los elementos que se consideran para el manejo de embalses hidroeléctricos podrían también tener aplicación en embalses con otros usos.

Con el fin de atender esta tarea, el Consejo Subsectorial de Energía, como máximo órgano del subsector asignó la responsabilidad de su cumplimiento a la Secretaría de Planificación del Subsector Energía (SEPSE). La SEPSE asumió la coordinación del proyecto y conformó un equipo de expertos técnicos integrado por representantes de las diversas empresas eléctricas: ICE, CNFL, JASEC, ESPH, COOPESANTOS, COOPELESCA, COOPEGUANACASTE y COOPERALFARORUIZ, así como de la Asociación Costarricense de Productores de Energía (ACOPE). Este equipo trabajó a lo largo del 2020 para lograr presentar esta primera versión de protocolo.

El proceso llevado a cabo para la creación de este documento brindó la oportunidad para compartir experiencias en la operación de embalses de plantas hidroeléctricas. Esta es la primera ocasión donde se genera un espacio de intercambio de este tipo, que no solo produce un documento con las mejores prácticas de manejo de embalses desde el punto de vista de ingeniería y ambiente; si no que además abre un proceso de intercambio para conocer y analizar tanto las maniobras como las acciones asociadas que realizan las distintas empresas eléctricas del país.

¿POR QUÉ UN PROTOCOLO?

En el 2015 se establece la Política Nacional de Biodiversidad de Costa Rica 2015-2030 (PNB)⁵ mediante el Decreto Ejecutivo N°39118-MINAE, instrumento de política que señala la ruta para la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad. Bajo este marco, se elaboró la Estrategia Nacional de Biodiversidad 2016-2025 (ENB2),⁶ en la cual se proponen las principales herramientas a nivel nacional para lograr los niveles adecuados de la salud de nuestros ecosistemas y para tener la capacidad de rehabilitar aquellos elementos de la biodiversidad que ya han sufrido algún grado de deterioro.

Ambos instrumentos, la PNB y la ENB2 constituyen el marco de política pública para la conservación, el uso sostenible y la distribución equitativa de los beneficios de la biodiversidad de Costa Rica.

La PNB presenta el diagnóstico sobre el estado de la biodiversidad, analiza el estado de situación de los ecosistemas y especies, así como las amenazas a los mismos y las causas de dichas amenazas. En él se expone el deterioro y pérdida de la biodiversidad en sus diferentes manifestaciones, en particular para algunos ecosistemas claves entre los cuales se pueden mencionar los humedales, arrecifes de coral y en general los ecosistemas marino-costeros. Ecosistemas en regiones vulnerables a la variabilidad y cambio climático y, por otro lado, regiones con un grado de alteración o presión pueden estar sujetos a mayor vulnerabilidad (por ejemplo: ecosistemas dulce-acuícolas, bosques secos y bosques de tierras altas como bosques nubosos). A nivel de especies, se reporta un aumento en poblaciones amenazadas, así como a nivel de recursos genéticos.

⁵ CONAGEBIO, SINAC. 2015. Política Nacional de Biodiversidad 2015-2030, Costa Rica. GEFPNUD, San José, Costa Rica. 72 p.

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

⁶ Ministerio de Ambiente y Energía, Comisión Nacional para la Gestión de la Biodiversidad, Sistema Nacional de Áreas de Conservación. 2016. Estrategia Nacional de Biodiversidad 2016-2025, Costa Rica. FMAM-PNUD, Fundación de Parques Nacionales-Asociación Costa Rica por Siempre, San José, Costa Rica. p.146.

La PNB tiene como visión:

“Procurar la conservación, el uso sostenible y la resiliencia de la biodiversidad; promoviendo el desarrollo económico inclusivo, ampliando la participación social para la conservación y gestión de la biodiversidad, procurando la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la misma y asegurando y reconociendo el respeto a las diferentes formas de conocimiento e innovación (principalmente las que corresponden a las comunidades locales y los pueblos indígenas, a través de la aplicación de medidas efectivas que aseguren el bienestar de las personas y del ambiente)”.

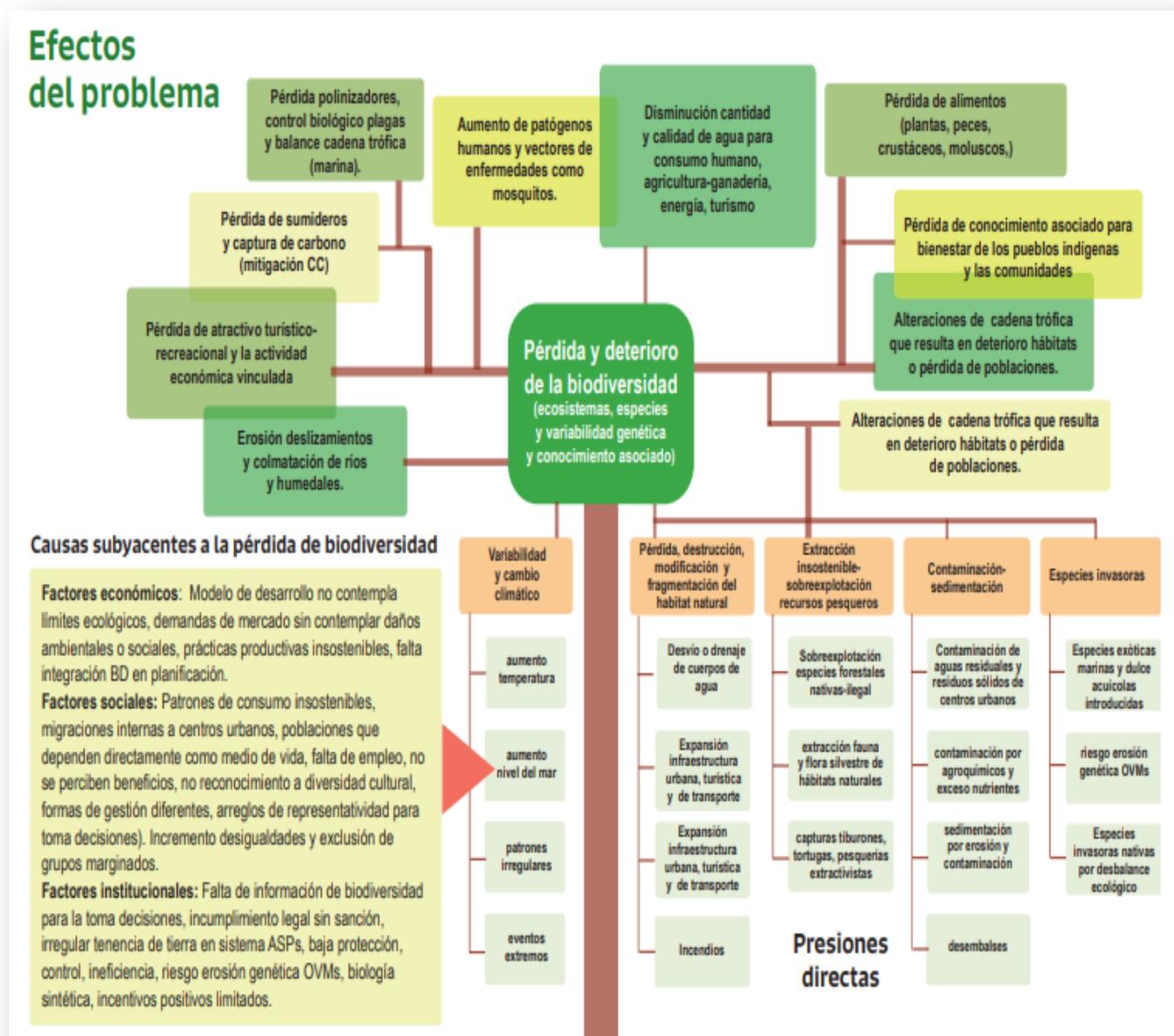
La ENB2 es el principal instrumento de implementación de la PNB y aunque parte del marco temático establecido en la PNB, contó con su propio desarrollo para establecer prioridades, objetivos y metas⁷.

El problema que busca atender la ENB2 es *“la pérdida y deterioro de la biodiversidad que a su vez repercute en el bienestar humano actual y futuro.”*⁸ En la Figura 2.1 se muestran las causas subyacentes a la pérdida de biodiversidad identificadas en la ENB2, entre las cuales se citan la pérdida y fragmentación de hábitats naturales, la extracción insostenible de recursos pesqueros, la contaminación y sedimentación, y las especies invasoras. Los desembalses se identifican como una de las presiones existentes sobre los ecosistemas, relacionados con la sedimentación.

⁷ Estrategia Nacional de Biodiversidad 2016-2025 Costa Rica. Ministerio de Ambiente y Energía y Telecomunicaciones MINAE-2ª. ed. – San José, C.R, 2016. Página 37.

⁸ Estrategia Nacional de Biodiversidad 2016-2025 Costa Rica. Ministerio de Ambiente y Energía y Telecomunicaciones MINAE-2ª. ed. – San José, C.R, 2016. Página 29.

Figura 2.1. Árbol de problema con respecto a la pérdida y deterioro de la biodiversidad.



PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

En Costa Rica, la mayor parte de los embalses han sido construidos para atender la demanda de generación eléctrica del país. Desde la publicación de la Ley 449. Ley de creación del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) se le encomienda a éste “el desarrollo racional de las fuentes productoras de energía física que la Nación posee, en especial los recursos hidráulicos. La responsabilidad fundamental del Instituto, ante los costarricenses será encauzar el aprovechamiento de la energía hidroeléctrica con el fin de fortalecer la economía nacional y promover el mayor bienestar del pueblo de Costa Rica.” (Artículo 1)

Esto orientó el desarrollo eléctrico al aprovechamiento del recurso agua, que permitió a Costa Rica tener un desarrollo de energía renovable, complementado en años posteriores por otras fuentes como la geotermia y el viento.

Actualmente la generación hidroeléctrica es la principal fuente de energía eléctrica, representando para el año 2019 un 69.18% del total de electricidad⁹.

Las centrales hidroeléctricas son actividades productivas que realizan un uso no consuntivo del agua. Éstas extraen la fuerza del agua, convirtiendo la energía cinética en energía eléctrica para el país, devolviendo la totalidad del recurso aguas abajo de donde es tomada.

A diferencia de las actividades con un uso consuntivo del agua, el proceso de generación de energía hidroeléctrica no adiciona ninguna sustancia o elemento al agua. Si bien es cierto la producción hidroeléctrica no genera sedimentos en sí, dado que éstos son producidos por condiciones naturales e incrementados por actividades antrópicas ajenas al proceso de generación de electricidad, la operación de las centrales hidroeléctricas debe contemplar la gestión de estos.

El río transporta en forma natural un volumen de sedimento que aumenta en épocas de avenidas, por la mayor capacidad de arrastre del agua, el cual puede verse aumentado por condiciones antrópicas. Cuando el agua con sedimento entra al embalse, su velocidad disminuye y el sedimento se deposita, haciendo que se produzca una acumulación de este en el embalse, en algunos casos poniéndolo en riesgo de colmatación. El embalse retiene materia orgánica, sedimentos (gruesos y finos), inclusive residuos ordinarios; de ahí que las actividades humanas que se dan aguas arriba de la presa influyen significativamente en la acumulación de material en el embalse, y por ende en los impactos ambientales asociados.

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

⁹ Informe Anual 2019. Centro Nacional de Control de Energía (CENCE), 2019. Página 4.

Mantener un embalse libre de sedimentos es de interés primordial para la producción de electricidad, dado que estos interfieren con el funcionamiento de la planta, y pueden llegar incluso a provocar salidas de operación de esta.

La presencia de una presa en el cauce de un río provoca un impacto ambiental al crearse una barrera física que provoca fragmentación en la continuidad del ecosistema y por ende afectación sobre la biodiversidad. Esto incluye la interrupción del flujo natural de sedimentos y el cambio en el patrón temporal de descarga de estos. Un principio básico en la sostenibilidad de las maniobras de operación y mantenimiento de embalses es que la gestión de sedimentos se debe realizar de forma que minimice los impactos aguas abajo del embalse.

La ENB2 establece una serie de ejes, metas globales y metas específicas para abordar los problemas identificados. En relación con el tema de la sedimentación, en la Figura 2.2 se muestran el tema estratégico (TE2), la meta global (MG10) la meta específica (M40) con su indicador de cumplimiento. El tema estratégico se refiere específicamente a la *“Prevención, protección, Seguimiento y control del impacto adverso sobre la biodiversidad y cumplimiento de la legislación ambiental”* (TE2C). Todo lo anterior enmarcado en el Eje 1 de la PNB, *“Mejorar las condiciones y resiliencia de biodiversidad salvaguardando la integridad de los ecosistemas, las especies y la diversidad genética”*.

Figura 2.2. Procedimiento estratégico y metas de la ENB2 para atender el manejo de embalses.



PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

La M40 establece que “al 2020 existirá un protocolo sobre manejo de embalses donde se describan las políticas, lineamientos y maniobras para su limpieza y acciones asociadas a dichas operaciones”. El indicador de cumplimiento de esta meta es un protocolo oficializado. Es importante mencionar que a la fecha no existe una guía para el manejo de embalses en el país.

El desafío que plantea la atención de esta meta es la elaboración de un protocolo que aborde los efectos de la acumulación de sedimentos desde dos puntos de vista:

- Sobre los ecosistemas aguas abajo, que van desde los efectos a la biodiversidad generados por maniobras de limpieza de los embalses hasta cambios geomorfológicos en las zonas estuarinas o desembocaduras de los ríos en zonas que dependen del aporte gradual de sedimentos finos.
- Sobre las plantas hidroeléctricas, dado que los embalses atrapan los sedimentos que el río lleva naturalmente, provocando colmatación y pérdida de volumen útil para la generación de electricidad.

De ahí que, como parte de las medidas de operación de las plantas hidroeléctricas, deben buscarse alternativas para manejar los sedimentos de manera sostenible, que permitan mantener los embalses con la capacidad de volumen de agua para el cual fueron diseñados, pero que a la vez provoque el menor impacto ambiental posible.

Es importante destacar que la preservación del volumen de los embalses trasciende la necesidad de operar adecuadamente las plantas de generación eléctrica. Mantener operativas dichas plantas disminuye la presión por construir plantas nuevas. Ante la variabilidad hidrológica y los efectos del cambio climático, la posibilidad de almacenar agua se vuelve más importante aún. Se han identificado diferentes razones para ello (International Hydropower Association, 2019)

- La capacidad de almacenamiento de las plantas hidroeléctricas forma parte de la resiliencia ante la variabilidad hidrológica provocada por el cambio climático.
- La mayor frecuencia de los eventos hidrológicos extremos puede causar variaciones en los flujos de sedimentos.
- Una planta hidroeléctrica que no sea sostenible, no podrá contribuir a la mitigación de gases de efecto invernadero.

Por lo tanto, conservar el volumen de agua es un tema de desarrollo sostenible. Finalmente, pero no menos importante, se debe tomar en cuenta que los embalses le dan al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) la firmeza y los respaldos necesarios para atender el suministro de electricidad, además de dar la flexibilidad necesaria para integrar otros tipos de recursos energéticos más variables, como los recursos provenientes del viento y del sol.

MARCO JURÍDICO

Existe una pluralidad de fuentes jurídicas de carácter nacional, que deben ser observadas en la creación de un protocolo que busque mejorar las acciones relacionadas con el manejo de embalses para prevenir y reducir los impactos producidos por la sedimentación y la descarga de sedimentos, y restringir el deterioro de la biodiversidad a nivel nacional. A continuación, se describen las más importantes.

LEY N°7554. LEY ORGÁNICA DEL AMBIENTE (1995)

La “evaluación de impacto ambiental” (EIA) fue establecida en el artículo 17 de la Ley Orgánica del Ambiente, No. 7554 en el año 1995 como la aprobación previa de parte de la Secretaría Técnica Nacional de Ambiental (SETENA), para las actividades, obras o proyectos que alteren o destruyan elementos del ambiente o generen residuos, materiales tóxicos o peligrosos.

A partir de la reglamentación de esta ley, se exigió a los proyectos de desarrollo, entre los que se encuentran los proyectos hidroeléctricos, realizar una Evaluación Impacto Ambiental (EIA), que generalmente incluye un Estudio de Impacto Ambiental (EsIA). La EIA incluye los efectos específicos, su evaluación global, las alternativas de mayor beneficio ambiental, un programa de control y minimización de los efectos negativos, un programa de monitoreo, un programa de recuperación, así como la garantía de cumplimiento ambiental.

Es de destacar que existen proyectos hidroeléctricos previos a las promulgaciones de estas leyes que no realizaron evaluaciones de este tipo, no obstante, la operación de estos proyectos y los posteriores a la entrada en vigor de estas leyes, podrían generar impactos en ecosistemas y biodiversidad, por lo que la Ley de Biodiversidad permite una intervención para restaurar o recuperar y rehabilitar la biodiversidad, ecosistemas y especies y sus servicios ambientales.

LEY N°7788. LEY DE BIODIVERSIDAD (1998)

La ley de Biodiversidad, N° 7788 de 1998 establece en sus artículos 1, 2 y 3 lo siguiente:

- El artículo 1: El objeto de la presente ley es conservar la biodiversidad y el uso sostenible de los recursos, así como distribuir en forma justa los beneficios y costos derivados.
- El artículo 2: El estado ejercerá la soberanía completa y exclusiva sobre los elementos de la biodiversidad.
- El artículo 3: Esta ley se aplicará sobre los elementos de la biodiversidad que se encuentran bajo la soberanía del estado, así como sobre los procesos y las actividades realizados bajo su jurisdicción o control, con independencia de aquellas cuyos efectos se manifiestan dentro o fuera de las zonas sujetas a jurisdicción nacional. Esta ley regulará específicamente el uso, manejo, el conocimiento asociado y la distribución justa de los beneficios y costos derivados del aprovechamiento de los elementos de la biodiversidad.

El artículo 13 de la Ley de Biodiversidad establece que el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) coordina la organización administrativa encargada del manejo y la conservación de la biodiversidad integrada por la Comisión Nacional para la Gestión de la Biodiversidad (CONAGEBIO) y el Sistema de Nacional de Áreas de Conservación (SINAC).

Por su parte la CONAGEBIO tiene las siguientes atribuciones:

1. Formular las políticas nacionales referentes a la conservación, el uso ecológicamente sostenible y la restauración de la biodiversidad, sujetándose a la convención sobre la biodiversidad biológica y otros convenios y tratados internacionales correspondientes, así como a los intereses nacionales.
2. Formular las políticas y responsabilidades, entre otras, relacionadas con la restauración, recuperación y rehabilitación de los ecosistemas, y los servicios ambientales que brindan y coordinarlos con los diversos organismos responsables de la materia.
3. Formular la estrategia nacional de biodiversidad y darle seguimiento.
4. Velar porque las acciones públicas y privadas relativas al manejo de los elementos de la biodiversidad cumplan con las políticas establecidas en esta Comisión.

En el artículo 54 de la Ley de Biodiversidad se prevé que cuando existe daño ambiental en un ecosistema, el Estado debe tomar medidas para restaurarlo, recuperarlo y rehabilitarlo.

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

Así las cosas, CONAGEBIO formula las políticas nacionales y ENB2 relacionadas con conservación, uso sostenible, restauración de biodiversidad, y formula responsabilidades con la restauración, recuperación y rehabilitación de los ecosistemas, las especies y los servicios ambientales que brindan y coordina lo necesario con los responsables.

DIRECTRIZ MINISTERIAL NO. 0005-2020 PARA LA EJECUCIÓN DE LA ENB2, DIRIGIDA A LAS DEPENDENCIAS DEL MINAE

La Directriz Ministerial No. 0005-2020 del MINAE indica el proceso que deben seguir los directores de las dependencias ministeriales para el seguimiento y la ejecución de la ENB2. El Comité de Gestión y Seguimiento está conformado por el Viceministro de Recursos Naturales del MINAE, el Director Ejecutivo del SINAC, el Director Ejecutivo de la CONAGEBIO, la Secretaría de Planificación Sectorial de Ambiente, Energía, Mares y Ordenamiento Territorial (SEPLASA) y un representante del MIDEPLAN, así como por sus respectivos suplentes. Además, la Unidad de Gestión de la ENB2 (USENB2) estará conformada por un representante de la Secretaría Ejecutiva del SINAC, un representante de la CONAGEBIO y un representante de SEPLASA.

Asimismo, los directores de las dependencias ministeriales deben ejecutar las acciones que se requieran, de forma oportuna y eficaz, para alcanzar las metas nacionales e incluir dentro de sus instrumentos anuales de planificación operativa y presupuestaria, como la realización de un Plan Anual Operativo, Plan Presupuesto, Matriz de Articulación del Plan Presupuesto u otros, las acciones y el presupuesto respectivo para el cumplimiento de las metas de la ENB2. De esta manera se deben incluir dentro de los informes semestrales de avance en el cumplimiento de las metas.

El director de cada dependencia ministerial será el responsable de garantizar el cumplimiento y velar por el avance en la implementación de las metas de la ENB2, en donde se elabore un Plan de Acción específico para cada meta que sea de su responsabilidad y brindar informes semestrales sobre el avance en el cumplimiento de las metas a la Unidad de Gestión de la ENB2. El sitio web www.enbcr.go.cr, será la plataforma que brindará acceso continuo y transparente a la información más actualizada sobre el grado de cumplimiento de la ENB2.

PLAN NACIONAL DE DESARROLLO Y DE INVERSIÓN PÚBLICA 2019-2022 (PNDIP)

El cumplimiento de la ENB2 es una intervención estratégica del PNDIP, según se muestra en la Figura 4.1.

Figura 4.1. Metas del Área “Sector Ambiente, Energía y Mares”

 Intervención estratégica	 Objetivo	 Indicador	 Línea base	 Meta del periodo	 Estimación Presupuestaria en millones €, fuente de financiamiento y programa presupuestario	 Responsable ejecutor
Estrategia Nacional de Biodiversidad	Contribuir a la conservación, el uso sostenible y la resiliencia de la biodiversidad.	Porcentaje de la biodiversidad de Costa Rica conservada y usada de manera sostenible, justa y equitativa ⁶	2017: 2% de avance	2019-2022: 40% avance 2019: 10% 2020: 10% 2021: 10% 2022: 10%	2019-2022: \$70,13 millones \$70 millones Fuentes varias: (PNUD, Costa Rica x siempre, Humane Society International, UICN, CATIE, FUNDECOR, FAO, ICE, Fundación Neotrópica, UCR, UNA, Fundecooperación, Municipalidad de San Jose, Fonde Frances para el medio ambiente) \$130 mil Cooperación no reembolsable por parte del programa BIOFIN del PNUD. 60.904,34 Programa Presupuestario: Financiamiento Forestal	Comisión Nacional para la Gestión de la Biodiversidad (CONAGEBIO).

OBJETIVOS, ALCANCE Y PRINCIPIOS EN LA APLICACIÓN DEL PROTOCOLO

OBJETIVO

La operación de plantas hidroeléctricas requiere de una adecuada gestión de sedimentos, especialmente si cuenta con un embalse para almacenamiento de agua, que además de proveer regulación en la generación eléctrica, funciona además como un gran sedimentador del material transportado por las corrientes de agua. La gestión de sedimentos es fundamental para el buen funcionamiento de la planta y para suministrar la energía eléctrica necesaria para el desarrollo económico de la población. En dicha gestión se debe también considerar la posible afectación a la biodiversidad, lo cual aumenta la complejidad del problema y hace que se requieran de soluciones integrales, que por un lado permitan el mejor uso del recurso y por otro se protejan los ecosistemas.

Este protocolo presenta una guía técnica para regular las maniobras de manejo de sedimentos en los embalses y mitigar el impacto ambiental que se genera con esta actividad.

El objetivo de este protocolo es definir los lineamientos generales que deben ser respetados para realizar maniobras de gestión de sedimentos en los embalses de centrales hidroeléctricas manteniendo un equilibrio ambiental y operacional en el tiempo.

ALCANCE

Aplica para cualquier empresa, cooperativas e instituciones que tenga la necesidad de realizar maniobras de manejo de sedimentos en embalses de sus centrales hidroeléctricas; ya sea como parte del proceso de operación y mantenimiento del emplazamiento, o como una acción independiente en el tiempo producto de un evento no rutinario (efectos de extremos hidro-meteorológicos, o por requerimientos de la obra civil).

PRINCIPIOS

El protocolo de manejo de embalses debe regirse por los siguientes principios:

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

- *Transparencia*

Se requiere el compromiso de las empresas para actuar con transparencia, poniendo a disposición del público la información que pueda ser generada con la aplicación de este protocolo, con base en la legislación nacional.

- *Resguardo de la seguridad de las personas*

Toda medida o conjunto de medidas adoptadas por las empresas para la gestión de sedimentos procurarán siempre el resguardo de la vida humana y de los bienes materiales en la zona de influencia directa.

- *Adecuación ecológica de los impactos ocasionados por las maniobras de limpieza en el embalse*

La aplicación responsable del protocolo ayudará a reducir los impactos negativos de las maniobras de limpieza y a establecer planes de mejora y restauración, en un proceso de mejora continua.

- *Respeto de los usos del agua para quienes tienen actividades aguas abajo del embalse*

Aunque los usos del agua en las áreas de influencia de la planta no se tratan específicamente en este protocolo, se parte del principio del respeto a que las actividades aguas abajo del embalse se continúen realizando de una manera sostenible y responsable. Se busca garantizar el uso del recurso para generación eléctrica, pero también para otros usos necesarios para el desarrollo económico y social.

- *Estandarización, pero cada embalse es diferente*

El presente protocolo establece los criterios y recomendaciones para la gestión de sedimentos, el cual aplica a los embalses del país. Se busca estandarizar el procedimiento general, sin embargo, es importante recordar que cada embalse está en un entorno diferente, que abarca desde la producción de sedimentos en la cuenca, las características geomorfológicas del río, la hidrología, las propiedades de los sedimentos, el emplazamiento de las obras, la geometría, su funcionamiento y condiciones de operación, así como el entorno socio-ambiental. Por lo tanto, cada solución será única para cada embalse.

PROCEDIMIENTO PARA LA GESTIÓN DE EMBALSES HIDROELÉCTRICOS

En la gestión de embalses se deben seguir los siguientes pasos:

- Caracterizar el embalse.
- Determinar el área de influencia de las maniobras de manejo de sedimentos en los embalses en cada uno de los proyectos con base en los impactos biológicos y físicos derivados de estas.
- Definir la línea base estableciendo los aspectos ambientales a los cuales se les dará seguimiento durante las maniobras de gestión de sedimentos.
- Formular un plan operativo para ejecutar las maniobras de manejo de sedimentos que considere el impacto ambiental generado y la eficacia en la remoción de sedimentos, determinando las acciones que sean necesarias para mantener el equilibrio operacional y ambiental a lo largo del tiempo.
- Programa de monitoreo.

A continuación, se describe con más detalle cada uno de estos pasos.

CARACTERIZACIÓN DEL EMBALSE

Una caracterización apropiada del embalse permitirá determinar el nivel de afectación que podrán ocasionar posteriormente las maniobras de manejo de sedimentos.

Se han seleccionado una serie de características que se consideran de interés para evaluar el impacto de las posibles maniobras.

Se recomienda que para cada embalse se recopile la información presentada en la Tabla 6.1.

Esta representa una guía con información mínima, pudiendo adoptarse otros formatos o contenidos más detallados, como los que se muestra en el Anexo 1.

Cada uno de los parámetros que se deben determinar se describen a continuación.

Tabla 6.1. Características del embalse

Característica	Valor
Descripción general	
Coordenadas geográficas	
Tipo de operación de la planta	
Tipo de embalse según ubicación	
Área (m ²)	
Volumen total (m ³)	
Volumen útil (m ³)	
Profundidad (m)	
Nivel máximo de operación (msnm)	
Nivel mínimo de operación (msnm)	
Cota de coronamiento de obras (msnm)	
Técnicas de manejo de sedimentos previstas	
Caudal de entrada al embalse (m ³ /s)	

ELABORACIÓN PROPIA.

DESCRIPCIÓN GENERAL

La descripción del embalse debe incluir a cuál planta hidroeléctrica pertenece, su función o razón por la cual se diseñó, tipo de cierre para su conformación, además de cualquier información relevante para caracterizarlo. Asimismo, su ubicación en términos generales (provincia, cantón, distrito) y a cuál cuenca hidrográfica pertenece, así como los ríos que aprovecha y los ríos a los cuales hace descargas.

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

Coordenadas de ubicación

Se deben indicar las coordenadas geográficas, con el fin de poder ubicarlos en un sistema de información geográfica.

Tipo de operación de la planta

Una clasificación comúnmente usada para plantas hidroeléctricas se basa en su capacidad de almacenamiento de agua. Las plantas que no tienen capacidad para almacenar se llaman “filo de agua” y producen electricidad a partir del agua disponible en el río menos lo que se tenga que dejar como caudal ambiental. Normalmente son plantas pequeñas. Cuando las plantas pueden almacenar agua durante el día para poder dar energía en las horas de máxima demanda, se llaman plantas de regulación diaria. Plantas que pueden abastecer energía en los meses de la época seca, utilizando el agua almacenada durante la estación lluviosa se llaman plantas de regulación estacional. Según el nivel de regulación, las plantas pueden recibir otros nombres, como regulación semanal, mensual, plurianual.

Para cada embalse, se debe indicar qué tipo de regulación provee. En otras palabras, indicar si la operación permite regulación horaria, diaria, mensual o estacional.

Tipo de embalse según ubicación

Existen diferentes tipos de embalse, según la ubicación en relación con el cauce del río. Esta ubicación definirá el impacto de la sedimentación en el mismo, así como el manejo más recomendable de los sedimentos.

Si el agua se almacena detrás de una presa ubicada en el cauce del río, el embalse generado recibirá de forma natural los sedimentos que bajen por el cauce, los cuales se acumularán paulatinamente en el embalse, haciendo necesario maniobras de manejo de estos. Si la planta hidroeléctrica tiene un embalse flotante, este no estará expuesto al flujo directo de sedimentos, será menos vulnerable y el manejo de los sedimentos será diferente a los embalses situados en el lecho del río.

Es importante indicar para cada embalse si es flotante o no.

Área

Es la extensión del embalse a nivel máximo de operación, expresada en hectáreas (Ha).

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

Volumen total

El volumen total es el volumen máximo al inicio de operación de la planta hidroeléctrica. Como unidad debe utilizarse metros cúbicos (m³).

Volumen útil

Es el volumen máximo disponible para la regulación de la planta. Como unidad debe utilizarse metros cúbicos (m³).

Profundidad

Dado que la profundidad es variable según la ubicación en el embalse, la profundidad requerida es una media, medida desde el nivel máximo de operación de la planta hidroeléctrica.

Nivel máximo de operación

Es la elevación máxima que alcanza el nivel del agua, en condiciones normales de operación, tomando como referencia el nivel del mar. No se refiere a condiciones extremas durante avenidas.

Nivel mínimo de operación

Es la mínima elevación que puede alcanzar el agua para poder operar la planta hidroeléctrica en forma segura, tomando como referencia el nivel del mar.

Cota de coronamiento de las obras

Es la elevación del nivel máximo de las estructuras de concreto (losas) en el sitio del embalse, tomando como referencia el nivel del mar.

Técnicas de manejo de sedimentos previstas

Existen diferentes métodos de manejo de sedimentos según el punto en el proceso de sedimentación, a saber (Morris, G. & Fan, J, 1988)

- Técnicas para manejo de cuencas, con el objetivo de reducir el flujo de sedimentos que llega al embalse.
- Técnicas para evitar que se deposite el sedimento en el embalse.

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

- Técnicas de remoción de sedimento, aplicables una vez que el sedimento llegó y se depositó en el embalse. Entre ellas están:
 - Excavación (extracción mecánica)
 - Dragado
 - Hidrosucción
 - Compuerteo
 - Descargas a flujo libre

La selección del mejor método va a depender de las características de cada embalse, de su entorno ambiental. Puede ser también una combinación de varios.

Es importante examinar si existen condiciones particulares que influyan en la producción de sedimentos (por ejemplo, movimientos en masa) y que se realice una valoración sobre los sedimentos afluentes al embalse, que sirva como insumo para la selección del método de manejo de los mismos.

Caudal de entrada al embalse (m³/s)

Es el promedio anual de la cantidad de agua por unidad de tiempo que entra al embalse.

DEFINICIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DURANTE LA FASE OPERATIVA

Las empresas deben definir el área de influencia de las maniobras de gestión de sedimentos. Esta labor se debe hacer con información de campo producto de monitoreos, estudios existentes y utilizando información secundaria (referencias bibliográficas).

Una vez que la central hidroeléctrica entra en operación, el área de influencia debe revisarse según la afectación en el cauce del río aguas abajo de la presa que recibirá los efectos de las diferentes maniobras que se consideran dentro de los programas de operación y mantenimiento del embalse. Esto debe de tomarse en cuenta e incluirse en los planes de gestión ambiental.

DEFINICIÓN DE LÍNEA BASE

La línea base comprende una descripción lo más detallada posible de los parámetros contra los cuales se compararán los resultados obtenidos con las maniobras de manejo de sedimentos del embalse. Para cada embalse se debe definir su línea base según su dimensión y nivel de afectación.

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

Cada empresa eléctrica generará la línea base con parámetros técnicamente comparables a lo largo del tiempo, considerando aspectos biológicos, físico-químicos, morfológicos, sociales y cualquier otro que sea relevante para el caso.

Se debe tener un conocimiento detallado del tramo del río que se afectaría con las maniobras de gestión del embalse:

- **Geomorfología:** tiene gran importancia en la biología, ya que influye en las formas de vida y los tipos de ecosistemas acuáticos, composición y abundancia de especies, incluso sobre los parámetros físico-químicos. Se debe describir la forma del cauce del río, en los tramos que serían afectados (como ejemplo, si es trezado, rectilíneo, meándrico).
- **Caudales medios:** se deben determinar caudales promedio anuales, caudales promedio mensuales, orden de variación estacional (curvas de duración).
- **Caudales de avenidas:** se refiere a los caudales máximos registrados históricamente, caudales máximos mensuales, análisis de frecuencias.
- **Concentración de sedimentos en suspensión en condiciones medias y extremas:** se deben construir registros, y conocer la concentración de sedimentos para la avenida anual. Se deben acompañar de fotografías que permitan comparar la variación de la turbiedad observada antes, durante y después de la maniobra de limpieza.

Tabla 6.2. Parámetros de línea base

Aspecto	Parámetro
Biológicos	<p>Riqueza de especies de fauna acuática</p> <p>Composición, abundancia (número de individuos) y distribución de tallas de fauna acuática (peces y camarones).</p> <p>Índice de calidad del agua, BMWP-CR</p>
Físico-químicos	<p>Temperatura del agua</p>

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

	<p>Concentración de oxígeno disuelto</p> <p>Conductividad del agua</p> <p>pH del agua</p> <p>Turbidez</p> <p>Sólidos</p>
Geomorfológicos	<p>Descripción y caracterización física de cada tramo a monitorear, que sirva como base para reconocer los diferentes tipos de hábitat</p>
Sociales	<p>Descripción de las comunidades posiblemente afectadas por las variaciones de la cantidad y calidad del agua del río (*)</p>

Elaboración propia

(*) Aunque este tema se sale del alcance del protocolo, se menciona en la tabla para reconocer que es un tema fundamental a tomar en cuenta en las maniobras de limpieza.

Parámetros biológicos

Son los parámetros que se basan en algún o varios indicadores biológicos y en este caso se trata de flora y fauna acuática, que por alteraciones ambientales mostrarían cambios en sus poblaciones debido a los patrones atípicos en la carga de sedimentos arrastrados por el río, provocados por un embalse (tanto en la retención como en las descargas de sedimentos).

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

Entre los parámetros biológicos a utilizar podemos citar la riqueza y abundancia de especies de peces, camarones y/o macroinvertebrados acuáticos (moluscos, microcrustáceos, anélidos, insectos, entre otros. Los grupos de fauna acuática a seleccionar para un programa de monitoreo, dependerá de la presencia por distribución de las especies.

La distribución de tallas de las poblaciones de cada especie monitoreada, permite entender procesos de reproducción, migración y reclutamiento; procesos que forman parte en la ecología de un cuerpo de agua saludable ambientalmente.

Parámetros físico-químicos

Son las características físicas y químicas que determinan el ambiente de los diferentes ecosistemas acuáticos, sus hábitats, composición de fauna acuática y todas las relaciones ecológicas. Por lo que alteraciones en alguno o varios de estos parámetros traería cambios en los ecosistemas. Entre los parámetros físico-químicos del agua básicos podemos citar la temperatura, conductividad, concentración de oxígeno disuelto, pH, turbidez y sólidos.

Temperatura del agua: parámetro físico que permite medir las sensaciones de calor y frío. La temperatura determina fuertemente la distribución de las especies; y en todas las especies de fauna acuática influye en diferentes aspectos reproductivos y hasta en la actividad de especies migratorias.

Conductividad del agua: La conductividad del agua es una medida indirecta de la cantidad de iones disueltos en el agua. Este parámetro influye en algunos procesos biológicos y físico-químicos.

Concentración de Oxígeno Disuelto en el agua (O.D): es la cantidad de oxígeno que puede tener el agua a una temperatura determinada. El O.D. influye en procesos biológicos, físicos y químicos.

pH del agua: indica la acidez o alcalinidad del agua, pero es en realidad una medida de la actividad del potencial de iones de hidrógeno (H⁺). Las mediciones de pH se ejecutan en una escala de 0 a 14, con el valor 7 considerado neutro. Las soluciones con un pH inferior a 7 se consideran ácidas y con un pH por encima de 7 se consideran bases o alcalinas.

Turbidez del agua: Es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. La penetración de luz dentro de un cuerpo de agua determina su productividad primaria por medio de algas bentónicas (sujetas al sustrato) y/o algas suspendidas (fitoplancton); y con esto el desarrollo saludable en las redes tróficas.

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

Los cuerpos de agua en Costa Rica están adaptados al periodo de lluvias y a la época más seca. En este último, es cuando mayormente se dan los procesos dependientes de una adecuada entrada de luz, aspecto que es primordial para mantener la vida de un ecosistema acuático.

Sólidos: son materiales suspendidos o disueltos en el agua.

Parámetros geomorfológicos (Geomorfología fluvial)

Son las características físicas (estructura y forma) del río, basándose en su cauce (forma del fondo); incluyendo la configuración transversal y longitudinal del mismo y la geometría de las secciones transversales; composición del sustrato, entre otras. Las características geomorfológicas determinan los diferentes ecosistemas acuáticos, los hábitats para las especies de flora y fauna asociada, por lo que influyen en la composición y abundancias de organismos de un cuerpo de agua.

Para Costa Rica tenemos especies de flora y fauna acuática adaptadas a ambientes lénticos (lagos y lagunas) y lóticos (quebradas y ríos). Por ejemplo, en un lago las especies se distribuyen por las características físicas y químicas del litoral y por la profundidad. Los ríos y quebradas son más complejos en cuanto a la variedad de ambientes que se forman por los aspectos hidrológicos, podemos encontrar tramos con pozas, rápidos y remansos, o una combinación de estos; y en estos ambientes hay diferencias en el tipo y tamaño de sustrato, profundidad, velocidad de corriente, vegetación riparia, entre otros.

Las características descritas anteriormente determinan la composición de las especies de flora y fauna acuática; de ahí lo importante de realizar una caracterización de los tramos que están bajo el programa de monitoreo.

Es importante contar con una línea base de información ambiental que sirva de referencia para detectar los cambios. Si no se tienen datos de los ríos afectados previos a la construcción y puesta en operación del embalse, se puede realizar un muestreo en un momento del año en que no haya habido desfuegos u otras operaciones de mantenimiento. También se puede comparar con la situación en ríos vecinos y de condiciones similares de caudal pero que no poseen represas en su cauce.

PLAN OPERATIVO

Cada empresa eléctrica debe diseñar un plan operativo (PO) que contenga la descripción de las maniobras que se pretenden realizar para la gestión de los sedimentos, acorde con el diseño y las características de la obra, buscando la sostenibilidad durante todo el ciclo de vida de la planta.

Para diseñar el PO y planear la gestión del embalse debe conocerse cómo se depositarán los sedimentos en el embalse. El cambio de velocidad del agua al entrar a un embalse produce que las partículas de sedimento en suspensión se decanten. La medida en que esto ocurre depende de varios factores, uno de ellos es la eficiencia de atrape, que a su vez es función de la relación entre la capacidad del embalse y el caudal promedio anual que entra al embalse (Factor CIR). Algunos autores han propuesto metodologías para determinar la eficiencia de atrape teóricamente, los más conocidos: método de Churchill y curva de Brune (Morris, G. & Fan, J, 1988)

Los sedimentos se depositan desde el extremo aguas arriba del embalse hasta la presa, según la granulometría del sedimento y la forma del embalse. En términos generales, los sedimentos más gruesos se depositan en la cola del embalse, mientras que los más finos en la cercanía de la presa. Además de la granulometría y la naturaleza química del sedimento, son variables importantes la distribución de caudales en el tiempo, la topografía del embalse, su eficiencia de atrape y la variación de temperaturas. El patrón de sedimentación y el volumen total de sedimento atrapado va a depender de la forma de operación del embalse y la existencia o no de descargas de fondo.

En general, embalses más grandes pueden proveer un volumen suficiente para almacenar los sedimentos durante toda la vida útil de la planta (como ejemplo el embalse Arenal). Sin embargo, hoy en día se reconoce que esta filosofía no considera la sostenibilidad del recurso, y que una mejor práctica es buscar soluciones para extender la vida útil del embalse, aprovechando este recurso con una visión de largo plazo. Renunciar un embalse que ha sido colmatado implica sustituirlo y esto podría generar impactos ambientales y económicos mayores, si se compara con una adecuada gestión del mismo.

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

Por otro lado, una planta a filo de agua debe permitir que los sedimentos pasen directamente, para asegurar la operación de esta. La mayor parte de las plantas estarán ubicadas entre estos dos extremos, con volúmenes de regulación horaria, semanal o mensual.

La Figura 6.1 muestra la relación entre el factor CIR y el tipo de regulación del embalse, así como los rangos de CIR donde se pueden esperar problemas de sedimentación en un embalse.

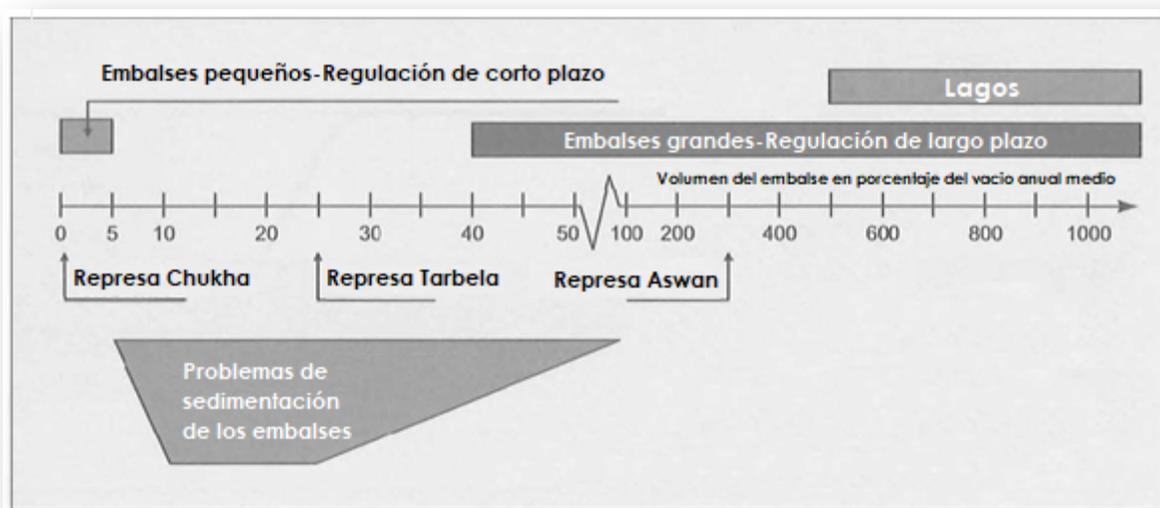


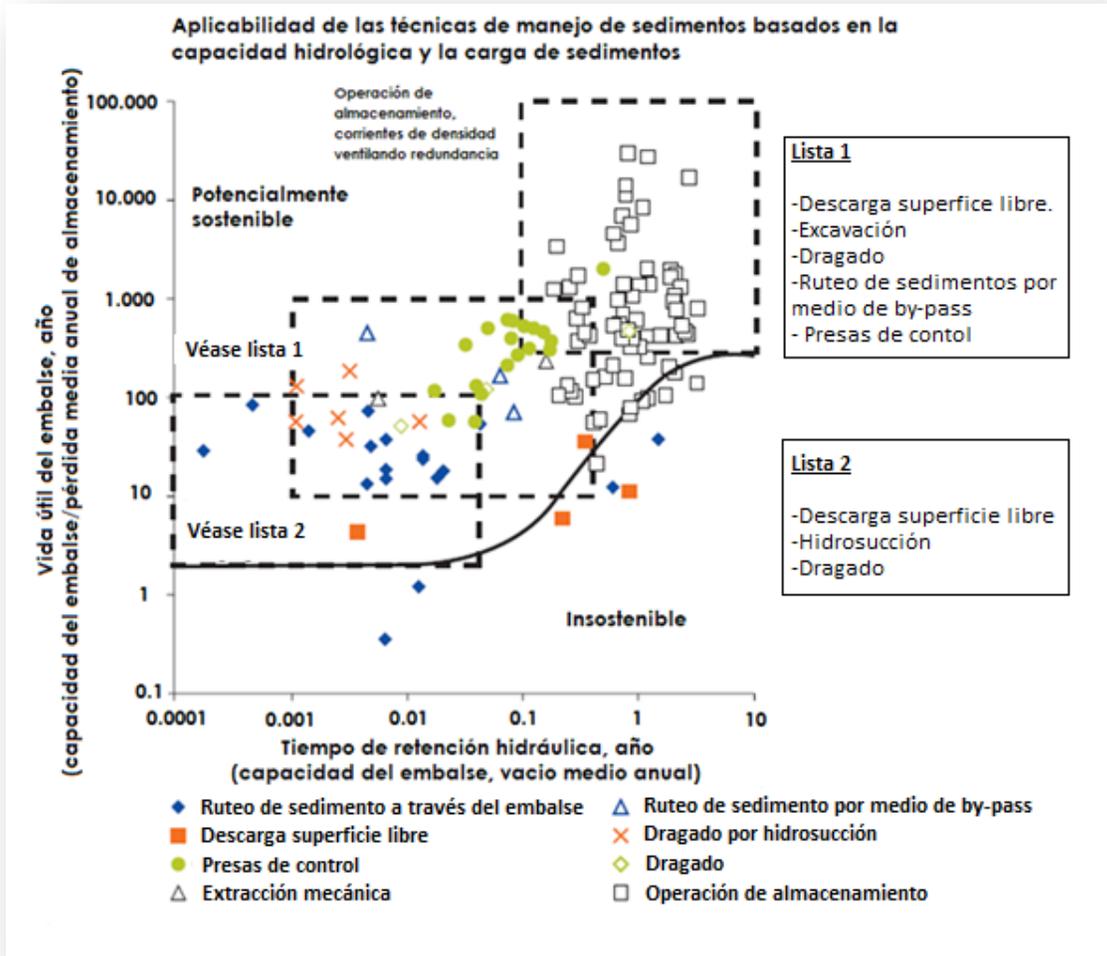
Figura 6.1. Relación entre factor CIR y regulación del embalse (Lysne, D., Glover, B., Stole, H. & Tesaker, E., 2003).

Expertos internacionales han desarrollado metodologías para estimar de manera preliminar las opciones de manejo de sedimentos (Efthymiou, N., Palt, S., Annandale, G., Karki, P, 2017). La Figura 6.2 muestra estas opciones de acuerdo con dos parámetros: el tiempo de retención (en el eje x) y la vida del embalse (en el eje y).

En la Tabla 6.3 se muestran las diferentes opciones disponibles para el manejo de sedimentos en los embalses. No se incluyeron las medidas relacionadas con el manejo de cuencas, que tiene incidencia en la disminución del sedimento que llega a los cursos de agua, sino solamente aquellas que evitan que se deposite el sedimento en el embalse o las que remueven el sedimento una vez que se ha depositado.

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

Figura 6.2. Estimación preliminar de las opciones de manejo de sedimentos de acuerdo a (Efthymiou, N., Palt, S., Annandale, G., Karki, P, 2017)



PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

Tabla 6.3. Guía para medidas para manejo de sedimentos, ventajas y desventajas

Medida	Breve descripción	Condiciones favorables	Ventajas y desventajas
Ruteo de sedimentos a través del embalse	<p>Consiste en una serie de maniobras para dejar pasar los sedimentos que transporta el agua durante grandes avenidas evitando que se depositen en el embalse. Normalmente, el nivel del agua en el embalse se baja de previo a la avenida, aumentando la velocidad y los esfuerzos cortantes sobre el lecho del río, lo que provoca el desplazamiento del material hacia aguas abajo.</p>	<p>Tiene sentido para embalses localizados en el cauce del río y que cuenten con estructuras de desagüe, como vertedores y descargas de fondo, localizados en zonas favorables y con suficiente capacidad y para realizar las maniobras.</p> <p>Son recomendables cuando hay una serie de plantas en cascada en un mismo río, para evitar acumulación de sedimentos, producto de las limpiezas de las plantas ubicadas aguas arriba.</p> <p>Requiere de un sistema de alerta temprana basado en información hidrometeorológica, que permita monitorear con suficiente antelación para realizar las maniobras.</p>	<p>Desde el punto de vista económico, implica perder agua que podría usarse en generación eléctrica.</p> <p>En principio, esta maniobra replicaría lo que sucede naturalmente en los ríos, en el tramo aguas abajo del embalse, dejando pasar las avenidas con las concentraciones de sedimento naturales, por lo que ambientalmente sería conveniente. Sin embargo, si la maniobra implica bajar niveles en el embalse, deben evaluarse los efectos sobre las concentraciones de sedimento, al producirse la evacuación de sedimento previamente depositado en el embalse.</p>
Ruteo de sedimentos por medio de un by-pass	<p>Consiste en el uso de estructuras de by-pass, normalmente túneles, que permitan el paso de las avenidas, evitando su entrada en el embalse.</p>	<p>Es una medida que se establece desde la etapa de conceptualización y diseño de la planta.</p> <p>Son poco utilizadas dado que requieren condiciones topográficas y geológicas favorables</p>	<p>Desde el punto de vista económico, pueden hacer el proyecto inviable.</p> <p>Desde el punto de vista ambiental, sería favorable al permitir la ocurrencia de avenidas extremas en el tramo aguas abajo del embalse.</p>

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

		para el diseño de los túneles. Además de que pueden ser soluciones costosas.	
Extracción mecánica	Se refiere a la extracción de materiales mediante maquinaria.	Su uso se limita normalmente a un área de extracción, por lo que funciona de manera localizada, por lo que puede usarse de manera complementaria con otras medidas de extracción del sedimento. Por ejemplo, para extraer sedimento grueso de la cola del embalse, para lograr recuperar el volumen útil del mismo.	<p>Se requiere bajar el nivel del embalse para que la maquinaria pueda trabajar.</p> <p>Para grandes áreas de sedimento depositado, este método no es viable económicamente.</p> <p>Es más efectivo para manejo de sedimento grueso (que no absorbe agua).</p> <p>Debe buscarse un sitio apropiado desde el punto de vista ambiental, para el depósito de los sedimentos.</p> <p>Puede no ser conveniente para embalses con fondo impermeabilizado con membranas, dado que la puede poner en riesgo, salvo que se haya dejado algún tipo de previsión.</p> <p>Puede provocar un desequilibrio en la cantidad de sedimentos aguas abajo.</p>
Dragado	Se refiere a la extracción de material depositado en el embalse por medio de equipo especializado que afloja el sedimento (erosionándolo), lo succiona y lo transporta por medio	Dado que en general los costos de bombeo son altos, esta solución puede ser costo-efectiva para embalses de poco tamaño. Para embalses grandes puede no ser económico, pero en ocasiones puede ser la única solución, para	<p>Existen límites con respecto a la profundidad máxima que puede alcanzar la draga.</p> <p>Para embalses impermeabilizados con membranas debe llevarse un control riguroso de las profundidades de dragado,</p>

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

	<p>de tuberías sea aguas abajo del embalse o hacia algún otro sitio, sin necesidad de bajar el nivel del embalse.</p>	<p>mantener limpio ciertas áreas de interés.</p>	<p>para no poner en peligro la estabilidad de la membrana.</p> <p>Debe analizarse la conveniencia desde el punto de vista ambiental. Por un lado, puede ser positivo proveer de sedimentos al tramo del río aguas abajo del embalse. El suministro de sedimentos puede disminuir el impacto producido por la presa, que corta el flujo de estos hacia aguas abajo. Sin embargo, debe evaluarse la medida en relación con la concentración de sedimentos producto del uso de la draga en comparación con las concentraciones usuales en el río.</p> <p>Si el sitio de deposición final de los sedimentos está fuera del río, deben proveerse las condiciones ambientales apropiadas.</p> <p>Debe también analizarse la composición de los sedimentos, con el fin de tomar medidas en caso de que exista contaminación.</p>
<p>Dragado por hidrosucción</p>	<p>El concepto es similar al anterior, salvo que utiliza una tecnología que aprovecha la diferencia de altura entre el nivel del agua en el embalse y el nivel al pie de la</p>	<p>La factibilidad técnica depende de la carga disponible y la longitud de la tubería de descarga.</p> <p>Si es factible, puede ser una opción económica</p>	<p>Depende de las características de los sedimentos depositados.</p> <p>Al igual que con el dragado convencional, debe analizarse la conveniencia desde el punto de vista ambiental. Por un lado,</p>

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

	<p>presa, para la succión de los sedimentos sin necesidad de bombeo.</p>	<p>para pequeños y medianos embalses.</p> <p>Cuando se está en etapa de diseño, puede incorporarse la salida de los sedimentos en la estructura de la presa.</p>	<p>puede ser positivo proveer de sedimentos al tramo del río aguas abajo del embalse. El suministro de sedimentos puede disminuir el impacto producido por la presa. Sin embargo, debe evaluarse en relación con la concentración de sedimentos producto del uso de la draga en comparación con las concentraciones usuales en el río.</p> <p>Si el sitio de deposición final de los sedimentos está fuera del río, deben proveerse las condiciones ambientales apropiadas.</p> <p>Debe también analizarse la composición de los sedimentos, con el fin de tomar medidas en caso de que exista contaminación.</p>
<p>Descarga superficie (flushing)</p>	<p>a libre</p> <p>Consiste en bajar el nivel del embalse hasta vaciarlo, de tal manera que se incrementa la velocidad y la capacidad de arrastre de la corriente, lo cual permite transportar los sedimentos hacia aguas abajo, hasta ser evacuados del embalse por medio de la descarga de fondo. Se establece</p>	<p>Dependiendo de la geometría del embalse, esta medida puede ser considerada como la más efectiva desde el punto de vista de recuperación del volumen del embalse.</p> <p>Tiene mayor efectividad para embalses alargados, con cauces más bien estrechos y localizados.</p> <p>Su aplicación debe limitarse a embalses con relación</p>	<p>Como desventaja, se puede citar la pérdida de agua durante las maniobras, requiere un vaciado total. Aunque parcialmente se puede aprovechar para generación eléctrica, una porción se pierde para estos efectos.</p> <p>Su efectividad puede limitarse a la limpieza de un canal central en el embalse, dejando por fuera áreas no recuperadas.</p>

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

	<p>flujo a superficie libre.</p>	<p>volumen/caudal anual bajos dado que vaciados para embalses muy grandes no son económicamente viables.</p>	<p>Debe coordinarse con las necesidades de producción de energía eléctrica.</p> <p>Requiere de monitoreo hidrológico previamente y durante las maniobras.</p> <p>Desde el punto de vista ambiental puede ser impactante debido a que la evacuación de los sedimentos en períodos de tiempo relativamente cortos y con poca cantidad de agua (poca dilución) puede afectar la calidad del agua y los ecosistemas.</p>
<p>Compuerteo (Flushing a presión o Sluicing)</p>	<p>Consiste en bajar el nivel del embalse de tal manera que se incrementa la velocidad y la capacidad de arrastre de la corriente, lo cual permite transportar los sedimentos hacia aguas abajo, hasta ser evacuados del embalse por medio de la descarga de fondo.</p> <p>Sin embargo, en este caso, no se logra el flujo a superficie libre, sino que se mantiene flujo a presión a través de la descarga de fondo.</p>	<p>Aunque su aplicación no es tan efectiva como el flushing a superficie libre, su impacto ambiental puede ser más controlado.</p>	<p>Al no permitirse el flujo libre, la limpieza es limitada, muchas veces solamente se limpia el área adyacente a la descarga de fondo.</p> <p>Como ventaja, no se pierde mucha agua durante los vaciados.</p> <p>Adicionalmente, se tiene mayor control del impacto ambiental que puede ocurrir debido a altas concentraciones de sedimento, si se compara con la descarga a superficie libre.</p>

Elaboración propia. Basado en (Annandale, George W., Gregory L. Morris, and P, 2016) y (Morris, G. & Fan, J, 1988) .

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

Lo anterior pretende ser una guía básica sobre las opciones disponibles para el manejo de embalses, desde el punto de vista de la gestión de los sedimentos, sin embargo, como se dijo anteriormente, la solución depende de cada caso, no hay una receta única. Inclusive, puede ser conveniente hablar de una combinación de medidas, en lugar de una sola. No existe una recomendación absoluta para el marco temporal, es decir la duración de las medidas o de la época del año en la que se deben efectuar. Tampoco es factible establecer los valores límite de parámetros, como concentraciones de sedimentos y de niveles de oxígeno, ya que estos son también específicos para cada sitio y dependerán de las condiciones geológicas o hidrológicas, entre otras.

Algunos de los parámetros que deben considerarse son: el tipo de embalse, el volumen, la geometría o configuración de este; las condiciones hidrológicas y sus posibilidades de monitoreo; el funcionamiento de las obras hidráulicas (máxima capacidad de la descarga de fondo, niveles de operación del embalse); características de los sedimentos; y por supuesto los aspectos ambientales.

El PO debe contener el esquema de operación de las compuertas, los niveles esperados del espejo de agua, el tiempo de escurrimiento libre, método utilizado para el manejo de sedimentos y los sitios para colocación del material (escombreras, u otros).

Para el caso de compuerteo o descargas a flujo libre, es importante tomar en consideración que son maniobras con grandes impactos potenciales. A nivel de impactos físico-químicos se han descrito impactos tales como descargas de agua con menor contenido de oxígeno disuelto, menores temperaturas y mayores concentraciones de metales pesados, reducción de la visibilidad y penetración de luz, relleno de vacíos con sedimento fino entre partículas más gruesas; a nivel de impactos biológicos se ha identificado estrés en la biota, asfixia de peces y destrucción de sitios de desove (International Hydropower Association, 2019). Por otro lado, los sedimentos son necesarios para algunos ecosistemas. Por lo que se debe de hacer un balance entre la necesidad de mantener el volumen del embalse y la restauración de sedimento en los tramos aguas abajo del río e inclusive en el delta. El PO debe tomar en cuenta los periodos del año en que las maniobras para el manejo de los sedimentos afecten en menor grado la biodiversidad; por ejemplo, los periodos en donde la mayor frecuencia de lluvias permite la dilución de la carga de sedimentos que se descarga sobre el río. Se deben tomar en cuenta los procesos ecológicos de los diferentes grupos de fauna asociada aguas abajo de la presa, procurando la menor afectación posible según sea el caso.

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

Las descargas deben ser graduales de forma que los individuos de los ecosistemas aguas abajo puedan migrar para buscar refugio.

En aras de propiciar un balance entre la eficacia en mantener el volumen del embalse en el menor impacto sobre los ecosistemas acuáticos, el número de veces en que se realicen las descargas de sedimentos en los periodos establecidos, debe definirse a partir de la posibilidad operativa de la planta y la afectación a los ecosistemas. Una mayor frecuencia favorece que el embalse acumule menor carga de sedimentos y por lo tanto menor riesgo de colmatación, a la vez que puede mitigar los impactos de descargas menos frecuentes y más concentradas.

Para el caso de las medidas que impliquen la disposición de material en escombreras (como dragados o extracción mecánica), se debe de definir el sitio de escombrera tomando en cuenta aspectos como la permeabilidad del suelo, afectación a la flora y fauna local, así como solicitar los permisos respectivos y finalmente ejecutar el seguimiento ambiental de la escombrera.

Cada organización determinará las mejores técnicas para realizar la gestión de los sedimentos acumulados en las diferentes áreas del proyecto (embalse, toma, desarenadores y embalses), buscando la sostenibilidad y mantener el equilibrio operacional y ambiental a lo largo del tiempo. Se recomienda realizar análisis de riesgos asociados a la gestión de sedimentos.

Es importante contar con especialistas en cada una de las ramas que deben integrarse en el PO (hidrólogos, ingenieros hidráulicos, especialistas en sedimentación y especialistas en las áreas ambientales).

PROGRAMA DE MONITOREO

Es necesario que las empresas eléctricas o administradores del embalse el cuenten con un programa de monitoreo. Algunos de estos monitoreos y tipos de análisis a realizar son: biológicos, físico-químicos y geomorfológicos del río, acorde a lo definido en la línea base.

Es recomendable realizar estos monitoreos al menos 2 veces al año, tomando en cuenta la época seca y época lluviosa. Además, es factible desde el punto de vista logístico realizar el monitoreo posterior a las maniobras importantes, pues revelaría información más cercana a la realidad del impacto provocado por una maniobra (esto porque el ambiente tiene la

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

capacidad de recuperarse) y así poder realizar análisis comparativos y determinar cambios en algunos de los parámetros mencionados anteriormente.

A continuación, se describen aspectos a considerar durante los monitoreos ambientales:

1. Muestreo de especies de fauna acuática (peces, camarones y/o macroinvertebrados): Su objetivo es determinar la riqueza (número de especies), la abundancia y tamaños de ejemplares de las poblaciones de fauna acuática del área de influencia de la central en el río y su comportamiento en el tiempo. El monitoreo permite evaluar la modificación en la composición y abundancia de especies, y la estructura de las poblaciones en el área de influencia. Es importante indicar que cada río tiene características biológicas propias según variables ambientales, altitud, tipo de sustrato, pendiente, caudal, velocidad de caudal, vertiente, entre otros, que determinan la presencia de las diferentes especies de fauna acuática; de ahí que los especialistas de las empresas eléctricas deben valorar el grupo de fauna a monitorear. La identificación de especies indicadoras, cambios en la riqueza de especies, en sus abundancias, permiten valorar alteraciones a nivel biótico provocadas por las maniobras de desembalse. Por ejemplo, el levantamiento en campo de datos como presencia de especies clave o indicadoras por sus patrones migratorios, sensibles, tolerantes, aspectos ecológicos asociados, como periodos reproductivos, migratorios, importancia trófica (redes de alimentación), entre otros.
2. Muestreos biológicos: el índice BMWP-CR que indica el Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de Cuerpos de Agua Superficiales del Decreto N.º 33903 del MINAE es utilizado para determinar la calidad del agua, de acuerdo con presencia o ausencia de grupos de macroinvertebrados, basándose en la sensibilidad o tolerancia de las especies a la concentración de oxígeno disuelto producto de la contaminación orgánica y/o alteración física del ambiente.
3. Análisis físico químico del agua: El objetivo de este es determinar variaciones en los parámetros físico químicos del agua en el área de influencia. Un ecosistema acuático tiene características físico-químicas propias que determinan la presencia la de especies acuáticas; por lo tanto, cualquier alteración en alguno de esos parámetros ambientales provocaría cambios en la composición de especies. Por ejemplo: temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, turbidez, concentración de sólidos en suspensión, entre otros.

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

4. Geomorfológicos: La descripción de tramos con rápidos, remansos, pozas, ancho, profundidad y tipo de sustrato. Estas características del río determinan de igual manera la composición de especies de fauna acuática; cambios en la geomorfología a largo plazo que podría provocar alteraciones sobre la fauna. Puede también considerarse el uso de indicadores de idoneidad de hábitat para especies indicadoras.

Adicionalmente, durante las maniobras de limpieza y para los casos que aplique, se deberá medir la carga de sedimentos en puntos clave, desde el punto de vista ambiental. Se seleccionarán los sitios de muestreo que sean representativos, donde el flujo esté totalmente mezclado, para medir las concentraciones de sedimentos. La frecuencia de las mediciones dependerá de la planta y de las maniobras seleccionadas. En aquellos casos que aplique, se debe realizar monitoreos del comportamiento de los peces durante las maniobras, con el objetivo de retroalimentar el proceso y hacer las correcciones que sean necesarias en el momento. Posteriormente, deberá determinarse la afectación a las riberas del río o quebradas del área de influencia, formación, o desaparición de barras de material en sitios dentro del área de influencia directa.

Luego de una maniobra de evacuación de sedimentos, se debe realizar un análisis de resultados sobre la efectividad de la maniobra y los impactos asociados sobre los ecosistemas acuáticos río abajo.

Es importante que las empresas eléctricas puedan proveer los recursos necesarios para estas mediciones y el programa de monitoreo.

3.1. Análisis de resultados y optimización del plan operativo

Como norma general, es recomendable realizar una valorización de las maniobras realizadas, ya sea luego de la misma, o al menos una vez por año. Existen varias formas de realizar este análisis de resultados, según el enfoque de las maniobras (Véase Anexo 2).

Algunas sugeridas son:

- Comparar el costo de indisponibilidad del embalse por energía no despachada, con la posibilidad de contar con el volumen recuperado para la generación en tiempo de mayor demanda.

PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

- Comparar el costo operativo de la maniobra (operarios, maquinaria, etc.) con el costo de reparación de estructuras comprometidas si no se realiza la maniobra (normalmente hechas en condición de emergencia y sin holgura de ejecución). Otro factor que puede ser considerado en el análisis es la estimación de las emisiones de carbono en cada caso.
- La información que se obtenga del análisis de las acciones realizadas se debe tomar como insumo para la planificación de maniobras similares. Como retroalimentación dentro del ciclo de mejora continua para la operación y mantenimiento de los embalses.
- Los análisis de los resultados del programa de monitoreo permiten valorar la efectividad de la maniobra desde el punto de vista ambiental; valorando la estabilidad ecológica de los ecosistemas acuáticos durante la vida operativa del embalse. Esto es determinado partiendo de la línea base (descrita en el apartado 6.3), por medio del análisis temporal de los parámetros físico-químicos (figura A 2.1.), biológicos (figuras A 2.2. y A 2.6.) y geomorfológicos, y la combinación de análisis entre los mismos, tomando en cuenta siempre los cambios que se dan en el ambiente por factores naturales (como las crecidas durante la época de lluvias); es normal que las poblaciones de fauna acuática disminuyan en abundancia durante la época de lluvias por inestabilidad en el hábitat a causa de cambios constantes de caudal y registrando también otras actividades antropogénicas que se dan en el río.
- Cambios permanentes en alguno o varios parámetros físico-químicos, geomorfológicos y/o cambios en la composición de especies de fauna acuática, desaparición de especies clave y/o declive a lo largo del tiempo de las abundancias de fauna, son indicativos del impacto causado por las maniobras. Existen metodologías más sofisticadas que pueden utilizarse (como el análisis de calidad de hábitat por celdas para especies clave) pero que requieren mayor información de base.

ANEXOS

Anexo 1 Ficha técnica de categorización de la Planta Hidroeléctrica Peñas Blancas.

Propietario	ICE
Ubicación geográfica	San Ramón, San Carlos, Alajuela
Cuenca hidrográfica	Peñas Blancas
Fecha de inicio de operación	oct 2002

ETAPA DE ESTUDIO-AÑO	En operación
----------------------	--------------

RIOS APROVECHADOS	Peñas Blancas
Area de cuencas	156,5 km ²
Caudal medio natural tomas	23 m ³ /s
Estación(es) hidrológica	Pocosol y Peñas Blancas
Factores de contribución	
Planta aguas abajo	

GENERACION		
Potencia instalada (placa)	38,2	MW
Potencia Efectiva	37,0	MW
Generación promedio anual	183,8	GWh
Años hidrológicos	69-93	
Caudal turbinado máximo (diseño)	33	m ³ /s
Caudal ecológico	2,35	m ³ /s
Caudal máximo captación	33	m ³ /s
Equivalente energético medio	1,00	MW/(m ³ /s)

OPERACION		
Indisponibilidad promedio	8	% (IH)
Indice de salida forzada	1	% (ICP)

EMBALSE		
Nivel máximo de operación	305,0	msnm
Nivel mínimo de operación	295,0	msnm
Nivel de alerta de operación		msnm
Cota de coronamiento obras	311,0	msnm
Area a nivel máximo normal	35	km ²
Volumen útil máximo	2	Hm ³

PRESA		
Tipo	Gravedad vertedora RCC	
Largo coronamiento	203	m
Altura máx. sobre lecho del río	37	m
Volumen de materiales	155.700	m ³
Tipo de obras de alivio	Vertedor libre	
Capacidad obras de alivio	1.600	m ³ /s

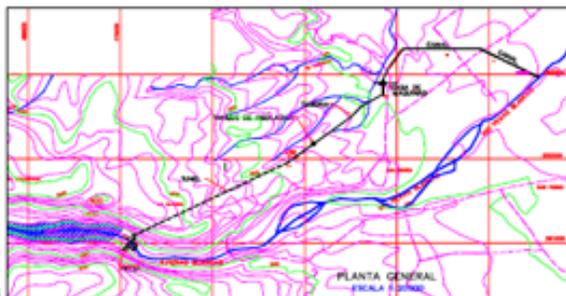
CONDUCCIONES		
Baja presión (túnel)	3,90	2.080
Baja presión (tubería)		
Alta presión	3.5-3.3	1368
Pérdidas totales a caudal de diseño	5,00	m

CENTRAL		
Número de unidades	2	
Tipo de unidades	Francis	
Potencia nominal por unidad	18,3	MW
Nivel de restitución normal	174,50	msnm
Caída neta nominal	125,50	m
Velocidad de rotación	514	rpm
Generadores potencia nominal	2x20	MVA

REFERENCIAS		
Estudio de Factibilidad y Diseño Básico, Subgerencia de Desarrollo de Energía, ICE, 1997		
Inform. de costos: Fideicomiso Peñas Blancas, feb 2002		

Descripción del proyecto

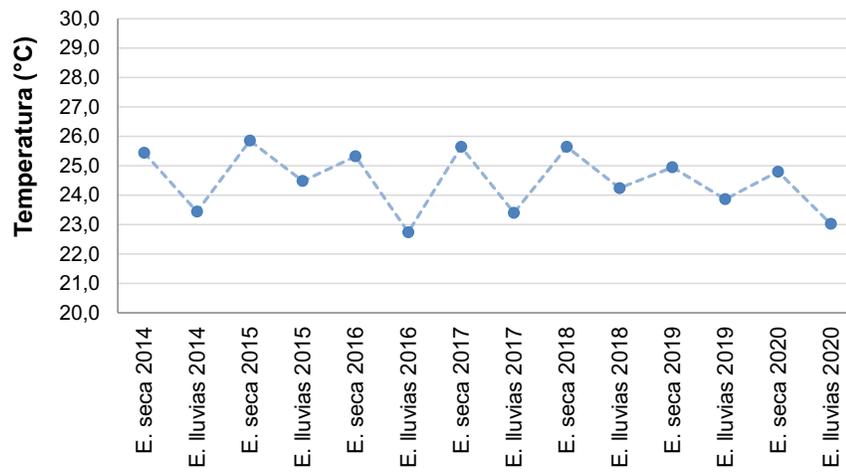
El río Peñas Blancas se capta a la cota 274 msnm mediante una presa de 37 m de altura sobre el lecho, para formar un embalse de 2 Hm³ de volumen útil. Presa: de gravedad, de RCC, con las obras de excedencia y descarga de fondo incorporadas. Vertedor: 65 m de ancho con una capacidad de descarga de 1600 m³/s. Toma de aguas: estructura independiente de la presa en la margen izquierda del río con una capacidad de derivación de 33 m³/s. Conducción: túnel de 2080 m de longitud, seguido de una tubería de 1368 m de longitud. En el túnel los primeros 1725 m son revestidos de concreto de 3.9 m de diámetro. Los restantes 355 m son blindados de 3.3 m de diámetro. El primer tramo de la tubería de 370 m de longitud y 3.3 m de diámetro va desde el portal al tanque de oscilación. El tramo restante de 998 m tiene diámetros variables entre 3.5 y 3.3 m. Tanque de oscilación: expuesto, de 11 m de diámetro y 47 m de altura. Casa de máquinas: descarga en un canal trapecial de 1805 m de longitud revestido de gaviones que lleva las aguas de nuevo al río.



PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

Anexo 2 Ejemplos de análisis de resultados de parámetros ambientales.

Figura A.2.1. Análisis temporal del parámetro temperatura del agua, medido en el río, del año 2014 al 2020.



PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

Figura A.2.2. Análisis entre sitios; a) número de individuos y b) número de especies de peces, para cada sitio muestreado en el río, durante el periodo de época seca del año 2020.

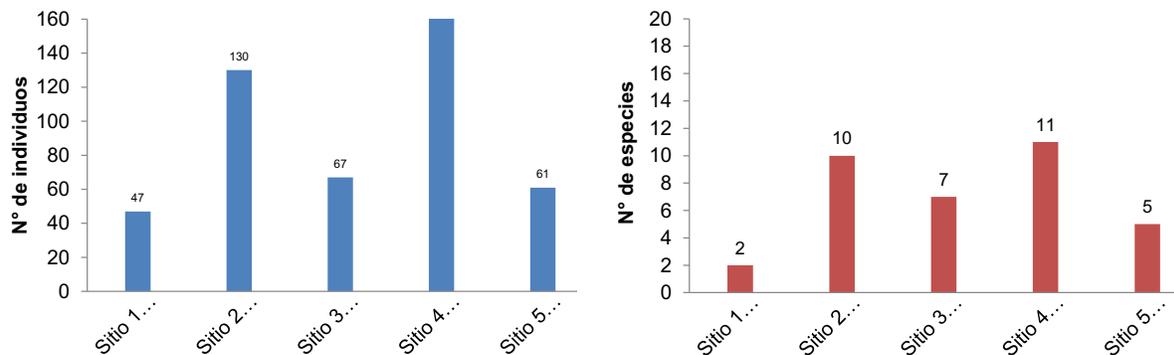
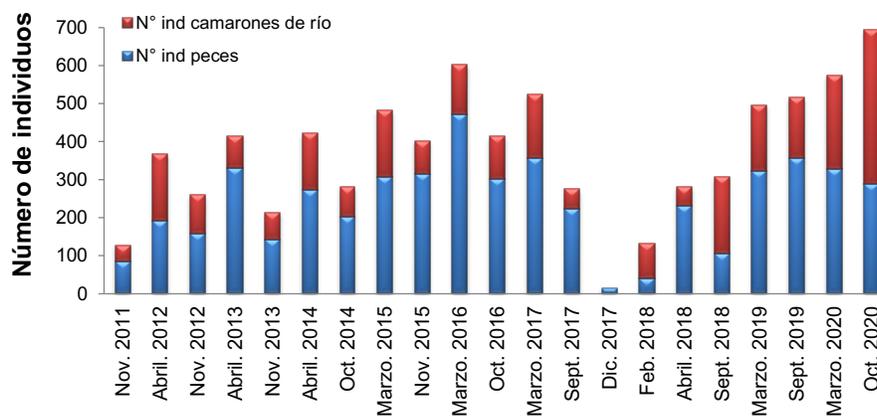


Figura A.2.3. Análisis temporal del número total de individuos de fauna acuática (peces y camarones de río), de los cinco sitios muestreados en el río, del año 2011 al 2020.



PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

Figura A.2.4. Análisis temporal del número total de especies de fauna acuática (peces y camarones de río), de los cinco sitios muestreados en el río, del año 2011 al 2020.

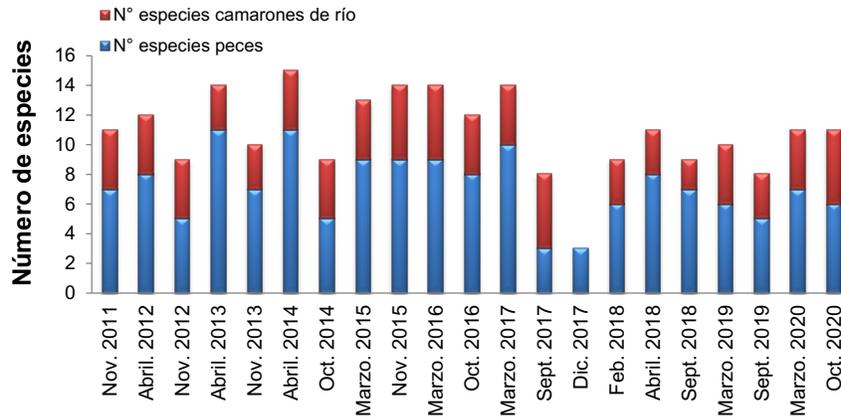
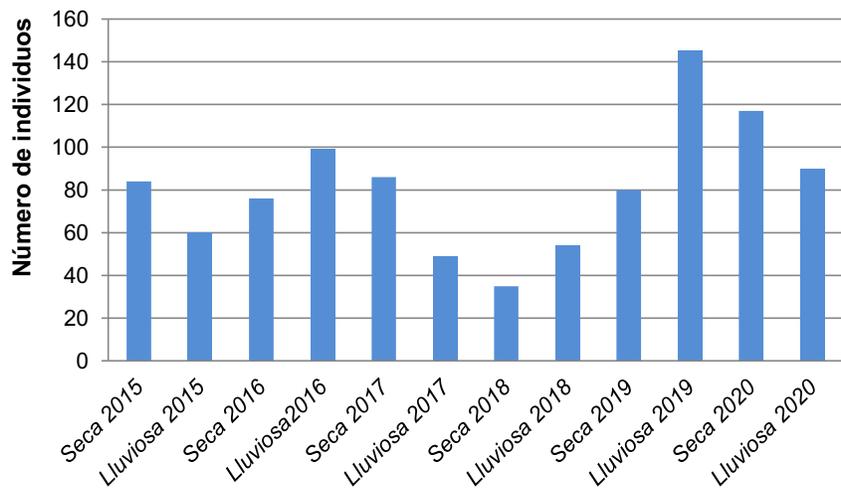
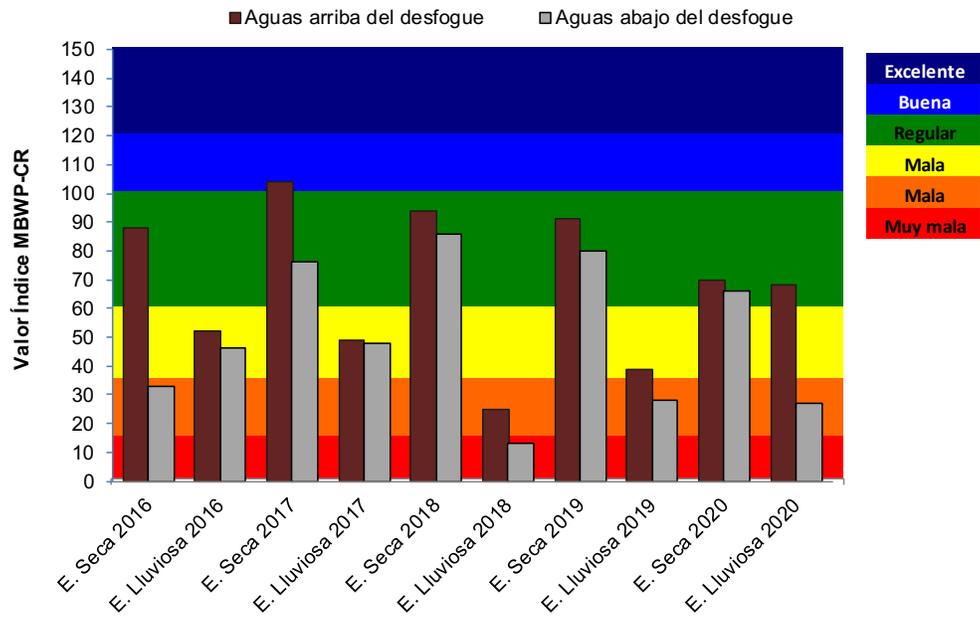


Figura A.2.5. Análisis temporal del número total de individuos del pez tepemechín (*Agonostomus monticola*), de los cinco sitios muestreados en el río, del año 2015 al 2020.



PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

Figura A.2.6. Resultados del Índice de calidad de agua (BMWP-CR) de dos sitios muestreados en el río, del año 2016 al 2020.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (EIA), R. G. (s.f.). *Procuraduría General de la República*. Obtenido de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.asp?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=53029&nValor3=93264&strTipM=TC
- Alvarado, J. C. (s.f.). *Obras Hidráulicas: Embalses y Erosión-Sedimentos*. Obtenido de https://www.academia.edu/33804854/QUE_ES_UN_EMBALSE
- Annandale, George W., Gregory L. Morris, and P. (2016). *Extending the Life of Reservoirs: Sustainable Sediment Management for Dams and Run-of-River Hydropower. Directions in Development. Washington, DC: World Bank. doi: 10.1596/978-1-4648-0838-8*. Creative Commons Attribution CCBY 3.0 IGO.
- Biodiversidad, C. N. (2016-2025). *Estrategia Nacional de Biodiversidad*. Obtenido de https://www.conagebio.go.cr/Conagebio/public/documentos/EstrategiaNacionalBiodiversidad_0217.pdf
- Delgado, F. C. (2017). *Criterios para la evaluación de la capacidad necesaria de los desagües profundos. Granada, España*. Obtenido de https://www.spancold.org/wp-content/uploads/2017/08/VIIIJEP_055.pdf
- Efthymiou, N., Palt, S., Annandale, G., Karki, P. (2017). *Reservoir Conservation Model, RESCON 2, Economic and Engineering Evaluation of Alternative Sediment Management Strategies, World Bank*.
- International Hydropower Association. (2019). *Hydropower erosion and sedimentation*. Obtenido de www.hydropower.org
- Jiménez, J. C. (s.f.). *Conceptualización de Caudal Ambiental en Costa Rica: Determinación inicial para el Río Tempisque. Editorial UICN*. Obtenido de <https://books.google.co.cr/books?id=Hz9e0ptAPakC&pg=PT7&dq=definicion+de+caudal&hl=es&sa=X&ved=0ahUKewjTj4yilvfoAhXndN8KHeWBDAQ6AEILzAB#v=onepage&q=definicion%20de%20caudal&f=false>



PROTOCOLO GENERAL MANEJO DE EMBALSES

Lysne, D., Glover, B., Stole, H. & Tesaker, E. (2003). *Hydraulic Design*. Hydropower Development Series, N°8.

Ministerio de Ambiente, E. y. (2015-2030). *POLITICA-NACIONAL-DE-BIODIVERSIDAD*.
Obtenido de
<https://www.conagebio.go.cr/Conagebio/public/documentos/POLITICA-NACIONAL-DE-BIODIVERSIDAD-2015.pdf>

Morris, G. & Fan, J. (1988). *Reservoir Sedimentation Handbook*. New York.: McGraw-Hill Book Co.

Oreamuno, R. &. (2015). *Estudios Hidrológicos e Hidráulicos en la Cuenca Quebrada Seca-Río Burío*. . Obtenido de <http://ciedes.ucr.ac.cr/docs/informe-final-quebrada.pdf>