



SALUD AL AMBIENTE,  
AGUA PARA LA GENTE



Con el apoyo de la Alianza

FUNDACION  
GONZALO RÍO ARRONTE, I.A.P.

GUÍA

MEX

2011

# Guía para la determinación de caudal ecológico en México

Sistematización de experiencias  
de la Alianza WWF – Fundación  
Gonzalo Río Arronte I.A.P.

junio 2011

## La Alianza WWF-FGRA

En 2004, el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF por sus siglas en inglés) y la Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P. (FGRA) establecieron una Alianza con el objetivo de desarrollar nuevos modelos de manejo del agua en el país. Trabaja en el manejo integrado del agua, enfocado a la conservación de los recursos, la cooperación intersectorial para el manejo de cuencas y la protección y restauración de ecosistemas acuáticos. Para ello seleccionaron tres cuencas prioritarias de México: el río Conchos, en la ecorregión Desierto Chihuahuense; los ríos Copalita-Zimatán-Huatulco en la Sierra Costera de Oaxaca; y el río San Pedro Mezquital en Nayarit, Durango y Zacatecas, zona de influencia de la ecorregión Golfo de California.

El objetivo final de la Alianza es instrumentar modelos de gestión racional e integral del agua, y sólo se alcanzará en la medida en que se garantice el funcionamiento de los ecosistemas y la conservación del régimen hidrológicos en sus diversos componentes. En términos de manejo del agua se traduce en establecer límites de extracción que respeten la renovación anual del recurso, para lo cual se ha adoptado el concepto de caudal ecológico como herramienta de gestión.

Adicionalmente, el trabajo desarrollado en estas cuencas ha sido posible gracias al financiamiento de USAID, HSBC, Nokia, The Coca Cola Company, Hp, WWF Alemania, WWF Reino Unido, RICOH y a la Universidad de Texas.

Cómo citar esta publicación

Barrios Ordóñez, J.E., R. Sánchez Navarro, S.A. Salinas Rodríguez, J.A. Rodríguez Pineda, I. D. González Mora, R. Gómez Almaraz, H. Escobedo Quiñones y J.A. Reyes González. Guía para la determinación de caudal ecológico en México. Programa Manejo del Agua en Cuencas Hidrográficas: Desarrollo de Nuevos Modelos en México. Alianza WWF – Fundación Gonzalo Río Arronte, I. A. P. México, 98 pp.

Contacto

**J. Eugenio Barrios Ordóñez**  
Director del Programa Agua  
Telf. +52 (55) 5286 5631 Ext. 238  
ebarrios@wwfmex.org

**Sergio A. Salinas Rodríguez**  
Oficial de Programa Conservación  
de Ecosistemas Acuáticos  
Telf. +52 (55) 5286 5631 Ext 231  
ssalinas@wwfmex.org



### Por qué estamos aquí

Para detener la degradación del ambiente natural del planeta y construir un futuro en el cual los humanos convivan en armonía con la naturaleza

[www.wwf.org.mx](http://www.wwf.org.mx)

© 1986, Logotipo del Panda de WWF World Wide Fund for Nature (Inicialmente World Wildlife Fund).

® WWF es una Marca Registrada de WWF. Copyright © 2010 WWF. Todos los derechos reservados.

WWF México, Ave. México #51, Col. Hipódromo, México, D.F., C.P. 06100- Tel. 5286-5631.

Para más información visite [www.wwf.org.mx](http://www.wwf.org.mx)

# ÍNDICE

PRESENTACIÓN	5
I. INTRODUCCIÓN	7
II. ESCALA DE ANÁLISIS	10
III. OBJETIVOS AMBIENTALES	14
IV. FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS	20
V. ANÁLISIS HIDROLÓGICOS	34
VI. ANÁLISIS HOLÍSTICOS	60
VII. INTEGRACIÓN DE RESULTADOS Y PROPUESTA FINAL	66
VIII. GLOSARIO	72
IX. REFERENCIAS CITADAS	76
X. ANEXOS	79

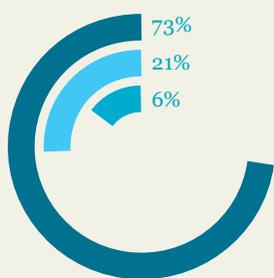


# CON EL CAUDAL DE TRES CUENCAS PRESENTACIÓN

A partir del 2004 en México, la alianza conformada por el Fondo Mundial para la Naturaleza y la Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P. (WWF – FGRA), ha trabajado en el manejo integrado del agua con especial énfasis en la conservación de los recursos, la cooperación intersectorial para el manejo de cuencas y la protección y restauración de ecosistemas acuáticos.

El modelo trabajado en este tiempo por la alianza, ha permitido la estimación de caudal ecológico (considerando distintos métodos) en tres cuencas bajo contextos de conservación y gestión muy distintos:

- i) el río Conchos, en la ecorregión Desierto Chihuahuense;
- ii) los ríos Copalita-Zimatán-Huatulco en la Sierra Costera de Oaxaca; y
- iii) el río San Pedro-Mezquital en Nayarit, Durango y Zacatecas, zona de influencia de la ecorregión Golfo de California.



Los resultados obtenidos sostienen que, de un total de 33 sitios analizados en las tres cuencas, en el 73% de los casos (24 sitios) el caudal ecológico ocurre bajo las condiciones actuales, debido a la transferencia de agua de las partes altas de las cuencas a las bajas; en un 21% (siete sitios) el manejo del agua requiere de regulación en las condiciones de extracción y operación de la infraestructura para que el caudal ecológico ocurra; y solo en un 6% (dos sitios, ambos en el río Conchos), se requieren adecuaciones en la asignación de agua a los usuarios (Barrios Ordóñez *et al.* 2010).

Esta experiencia de la alianza WWF-FGRA, rica en participación y contribución por parte de instituciones gubernamentales y académicas, así como de comunidades locales y otros usuarios del recurso (Barrios Ordóñez *et al.* 2010), ha motivado su sistematización para el desarrollo de la presente guía, considerando el contexto de gestión y conservación del recurso hídrico y de los ecosistemas acuáticos mexicanos.

La presente guía propone como principios científicos para la determinación de caudal ecológico el paradigma del régimen hidrológico natural (Poff *et al.* 1997) y el del gradiente de la condición biológica (USEPA, 2005; Davies y Jackson, 2006). Cualquier metodología será válida si se enfoca en entender el significado ecológico de cada componente del régimen natural y genera propuestas para su conservación o restablecimiento total o parcial, desde el punto de vista funcional. Asimismo, serán válidas si reconocen que un ecosistema acuático modifica sus atributos como respuesta al aumento de los niveles de estrés sobre el régimen hidrológico del cual dependa.

Desde el punto de vista conceptual, cualquier procedimiento para la determinación de caudales ecológicos partirá de reconocer las condiciones naturales del régimen hidrológico, su estado de alteración, las posibilidades de conservación o recuperación de sus componentes para alcanzar o mantener un estado ecológico deseado, es decir, un objetivo ambiental o de conservación.

El régimen de caudales ecológicos es así, un instrumento de la gestión del agua fundamentado en principios que buscan establecer un régimen para sostener a los ecosistemas, los usos del agua y las necesidades de almacenamiento a lo largo del año.

Este documento técnico busca ser una herramienta para fomentar el estudio de los caudales ecológicos en México y promover la sistematización de sus resultados con visión de cuenca y de futuro para el país.

El régimen de caudales ecológicos es así, un instrumento de la gestión del agua fundamentado en principios que buscan establecer un régimen para sostener a los ecosistemas, los usos del agua y las necesidades de almacenamiento a lo largo del año.



# I. INTRODUCCIÓN

---

En el último siglo, el régimen hidrológico de los ecosistemas acuáticos en todo el mundo ha sido modificado ante la necesidad de suministro de agua para uso agrícola o el desarrollo urbano-industrial, (entre otros). Esta modificación ha llevado a la reducción de los caudales y su variabilidad natural, la inversión de los patrones naturales o el descenso de los niveles de los acuíferos, solo por mencionar algunos, provocando un fuerte impacto ambiental, social y económico sobre los ecosistemas acuáticos asociados. Se estima que más del 60% de los ríos en el mundo han sido fragmentados por estas alteraciones hidrológicas, lo que ha dado lugar a una degradación generalizada de los ecosistemas acuáticos (Dyson *et al.* 2003; Postel y Richter, 2003; Ravenga *et al.* 2000; y Millenium Ecosystem Assessment, 2005, citados en Global Environmental Flows Network-GEFN, 2006).

Hoy en día, el régimen hidrológico en ríos y humedales ha sido identificado como un factor determinante de su estructura y funcionamiento, aspecto clave para que estos sistemas puedan seguir proporcionando una amplia variedad de servicios a la humanidad (Poff *et al.* 1997; Bunn y Arthington, 2002; Global Water Partnership-GWP- 2003; Millenium Ecosystem Assessment, 2005, citados en GEFN, 2006; y Forslund *et al.* 2009).

Los retos que enfrenta el mantenimiento del buen estado o la recuperación de los ecosistemas acuáticos en ríos y humedales, ante una sociedad ávida de un desarrollo social y económico, no son sencillos o menores. En este contexto, el caudal ecológico representa un instrumento de gestión que permite acordar un manejo integrado y sostenible de los recursos hídricos, como un proceso que promueve el desarrollo y el manejo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados en una cuenca, con la intención de maximizar el bienestar económico y social de una manera equitativa y sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales (GWP, 2000).

Determinar los caudales ecológicos de los ríos y las necesidades de agua de los humedales se convierte en una tarea de gran interés para la sociedad en su conjunto. Este hecho se evidencia por el número de metodologías que han surgido a nivel internacional. Tharme (2003) describió el uso de más de 200 metodologías de cálculo en 44 países, agrupadas en métodos hidrológicos, hidráulicos, hidrobiológicos o de simulación del hábitat y los holísticos. A pesar de esta variedad y cantidad de métodos para conocer los caudales ecológicos, sólo un número reducido de ellos responde a los principios científicos que los deben regir y a las exigencias derivadas del marco legal mexicano.

Ante esta creciente necesidad e interés en la determinación de caudales ecológicos, en México se han realizado distintos esfuerzos, tanto en la difusión técnica y la aplicación de metodologías (p.e. Alonso-Eguía Lis *et al.* 2007; Santacruz de León y Aguilar-Robledo, 2009), como en su intento de regularlo mediante el marco legal. (Anteproyectos de Norma Oficial Mexicana 2007 y Norma Mexicana 2010 para la determinación de caudales ecológicos en los ríos del país). A estas iniciativas se deben añadir los trabajos de la Alianza WWF-FGRA en la formulación de caudales ecológicos, experiencias ricas en participación y contribución por parte de instituciones gubernamentales y académicas, así como de comunidades locales y otros usuarios del recurso. La presente guía nace de estas experiencias, en donde de forma sintetizada se resumen principios y métodos para la determinación correcta de los caudales ecológicos en el contexto de los ríos mexicanos y en diferentes escenarios de gestión.



## II. ESCALA DE ANÁLISIS

La cuenca hidrológica deberá ser considerada la unidad primordial de análisis que engloba el estudio o evaluación del caudal ecológico, conforme a las unidades de gestión definidas por el estudio de disponibilidad NOM-011-CNA-2000.

La unidad de estudio de caudal ecológico (UECE) consiste en la escala de análisis en el territorio de la cuenca, que define la unidad para la evaluación,

el manejo y la administración del caudal ecológico. Se refiere a los cuerpos de agua superficiales (ríos, lagos, humedales, etc.) o parte de ellos, en una misma cuenca hidrológica, que presentan el mismo régimen hidrológico y a los que se les asigna el mismo objetivo ambiental.

Las unidades de estudio de caudal ecológico quedarán establecidas por cuencas, subcuencas o tramos específicos de una corriente en función de su importancia ecológica, del nivel de presión en el uso del agua y de la presencia de infraestructura de origen antrópico que pueda alterar el régimen hidrológico. Las condiciones en los factores antes mencionados deben ser similares en cada UECE.

Los elementos y aspectos de la escala de análisis a determinar son los siguientes:

- I. Cuenca hidrológica: escala de análisis principal en donde se integran las propuestas de caudal ecológico provenientes de unidades de estudio y sitios de referencia. Representa la unidad de planificación hídrica.
- II. Unidades de estudio de caudal ecológico (UECE): cuerpos de agua superficiales (ríos, lagos y humedales) o parte de ellos, en una misma cuenca hidrológica, que presenten el mismo régimen hidrológico y al que se le puede asignar el mismo objetivo ambiental. Representan las subunidades de gestión hídrica al interior de una cuenca hidrológica.
- III. Sitios de referencia: tramos o secciones del cuerpo de agua en la UECE donde se realizan los análisis detallados o el monitoreo de caudal ecológico. Representan la subunidad más fina de estudio, cuyos resultados se incorporan a la UECE correspondiente y posteriormente a la cuenca hidrológica. Su ubicación deberá ser asignada conforme a los siguientes criterios:
  - Zonas de alta importancia ecológica, particularmente aquellas sometidas a presión.
  - Presencia de infraestructura que afecte el régimen hidrológico.
  - Zonas representativas de los estudios de disponibilidad.
  - Conocimiento de la zona por parte de expertos y disponibilidad de información hidrológica, biológica o cualquier otra que sea de importancia para el estudio de los caudales ecológicos.

El procedimiento para determinar la escala de análisis es el siguiente:

1. Identificar la unidad de gestión del estudio de disponibilidad NOM-011-CNA-2000 o la cuenca hidrológica.
2. Asignar la escala de análisis de acuerdo con la finalidad del estudio de caudal ecológico, considerando las siguientes etapas:
  - a. Planificación hídrica: abordar el estudio conforme las unidades de gestión del estudio de disponibilidad, es decir, la cuenca hidrológica.
  - b. Gestión hídrica: identificar las UECE conforme a la presencia de infraestructura hidráulica o hidroeléctrica en la cuenca hidrológica.

- c. Gestión hídrica nivel avanzado y evaluación detallada de proyectos: adicionalmente a lo señalado en el inciso anterior, identificar al menos un sitio de referencia en cada UECE de la cuenca hidrológica donde se requiera información con mayor detalle (análisis *in situ*). Estos sitios deberán ser representativos de la UECE por su importancia ecológica, presión de uso y al conocimiento de la zona por parte de un grupo de expertos para:
- Resolver conflictos entre los usuarios
  - Validar o calibrar los resultados de caudal ecológico
  - Gestionar programas de manejo de áreas naturales profundas (ANP)
  - Desarrollar análisis de factibilidad de grandes proyectos
  - Evaluar impactos potenciales graves a la cuenca o un área con un valor natural excepcional (ANP o sitio Ramsar) por una gran obra hidráulica o hidroeléctrica.







# III. OBJETIVOS AMBIENTALES

## 1.1. El estado ecológico deseado

Los objetivos ambientales representan el estado ecológico que se pretende alcanzar o conservar en la escala de análisis (cuenca hidrológica, corrientes o cuerpos de agua), para la cual se desea determinar un caudal ecológico; establecen una relación entre el valor de conservación y su implicación para los usos productivos del agua, permitiendo flexibilidad para ajustar la cantidad de agua necesaria para alcanzar un

estado ecológico determinado.

La selección de un objetivo ambiental se realiza a partir de su condición o estado ecológico actual, es decir, mediante la valoración de su importancia ecológica y de la presión por el uso del agua. No obstante, se podrá determinar de forma directa cuando:

- i. Existan referencias explícitas de la normatividad ambiental, en particular en lo referente a las Áreas Naturales Protegidas, sitios Ramsar y los hábitats de especies endémicas, amenazadas o en peligro de extinción
- ii. Exista un acuerdo entre los usuarios, las comunidades locales y las autoridades competentes.

De manera conceptual, los objetivos ambientales se pueden evaluar por medio de indicadores ecológicos y de gestión del agua, definidos en cuatro clases (Tabla 1).

## 1.2. Determinación de objetivos ambientales

Los objetivos ambientales se deberán determinar a partir de un análisis del estado de la funcionalidad ecológica y de las posibilidades de conservarla, mejorarla o restaurarla. Son fundamentales los análisis de la importancia ecológica y la presión de uso del agua en la cuenca hidrológica objeto de estudio.

### 1.2.1. Importancia ecológica

Consiste en la riqueza biológica, tanto de especies, hábitats y ecosistemas, su singularidad, rareza y grado de amenaza, que dependen del régimen hidrológico. Conocer la importancia ecológica del área de estudio mediante estas características, permite matizar el mérito ambiental que la cuenca posee para ser conservada.

De manera conceptual, la importancia ecológica puede evaluarse conforme a los aspectos bióticos, abióticos y la presencia de alteración hidrológica en el régimen de caudales (Tabla 2).

En México, existen estudios como “Sitios prioritarios para la conservación de ecosistemas acuáticos epicontinentales” (CONABIO-CONANP, 2010) y “Evaluación del grado de alteración ecohidrológica de los ríos y corrientes superficiales de México” (Garrido *et al.* 2010). Por sus características y detalle, resultan adecuados ambos estudios como principio de partida para determinar la importancia ecológica de las cuencas del país.

**Tabla 1. Indicadores ecológicos y de gestión del agua a partir de la asignación de objetivos ambientales**

<b>Objetivo ambiental</b>	<b>Estado ecológico deseado</b>	<b>Estrategia de conservación</b>	<b>Indicadores ecológicos</b>	<b>Indicadores de gestión del agua</b>
A	Muy bueno	Conservación o reserva	Río en condiciones naturales que mantiene el régimen hidrológico natural y conserva todos sus componentes. Los indicadores de calidad y biológicos muestran valores asociados a condiciones inalteradas, sin indicios de distorsión o de escasa importancia. No existen alteraciones geomorfológicas ni fisicoquímicas.	Zonas de conservación o reservas de agua, generalmente asociadas con cuencas altas, zonas de captación y alimentación a los grandes usuarios. Manejo orientado a la máxima captación congruente con mantener o alcanzar el máximo nivel de conservación.
B	Bueno	Manejo o restauración	El régimen natural presenta leves alteraciones. Los indicadores de calidad y biológicos no exceden desviaciones leves de las condiciones inalteradas. Conserva la diversidad de especies con pérdidas mínimas o cambios en densidades.	Gestión orientada a pequeños usuarios y a grandes transferencias de volúmenes comprometidos aguas abajo. El abastecimiento a la población es de muy bajo impacto y las descargas de aguas negras se encuentran aisladas. Cauces libres sin actividad invasora y contaminación difusa de muy bajo impacto. El impacto de los usos en general puede ser controlado con relativa facilidad y la restauración ecológica sería asequible.
C	Moderado	Conectividad o rehabilitación	Los indicadores de calidad y biológicos se desvían respecto a las condiciones inalteradas. Permanecen especies sensibles, aunque dominan especies tolerantes; se mantiene cierta funcionalidad en el ecosistema, aunque ésta ha sido alterada. Las alteraciones significativas de las condiciones hidrológicas, geomorfológicas o fisicoquímicas explican estos cambios.	Zonas con extracción importante de aguas superficiales y subterráneas, pero sin llegar a la sobreexplotación. Cauces con problemas de delimitación debido a actividades evidentes de invasión. Descargas de aguas residuales evidentes, mas no dominantes. Infraestructura presente o necesaria para mejorar las condiciones de gestión.
D	Fuertemente modificado	Recuperación	Los indicadores de calidad y biológicos no reflejan las condiciones naturales. Se presentan severas alteraciones de la estructura y función del ecosistema. Hay presencia de especies invasoras (p.e. lirio.). Las condiciones hidrológicas, geomorfológicas o fisicoquímicas explican estos cambios en las comunidades biológicas.	Zona con sobreexplotación de fuentes superficiales y subterráneas, tramos secos, cauces invadidos, extracción de materiales con impactos severos en la geomorfología del cauce. Clara evidencia de aguas residuales y funcionamiento del cauce como drenaje. El río se considera un espacio insalubre.

**Tabla 2. Importancia ecológica**

<b>Importancia ecológica</b>	<b>Aspectos bióticos</b>	<b>Aspectos abióticos</b>	<b>Alteración hidrológica</b>
Muy alta	Una o más especies endémicas en la región y el país que además tienen relevancia internacional, en algún estado de protección según la NOM-059-SEMARNAT-2010 y/o otros listados similares internacionales.	Hábitats únicos por su diversidad y funcionamiento, que mantienen su estructura natural e integridad ecológica asociada a los servicios ecosistémicos aportados intactos. La zona de captación se conserva.	Nula o mínima. Se conserva el régimen natural.
Alta	Al menos una especie de relevancia regional o nacional bajo algún estado de protección en la NOM-059-SEMARNAT-2010 o en listados similares internacionales.	Hábitats únicos por su diversidad y funcionamiento en los que predomina su estructura natural, básicamente conservan su integridad ecológica y, en consecuencia, los servicios ecosistémicos que aportan. La zona de captación se conserva.	Presencia mínima de infraestructura antropogénica (camino, granjas, descargas domésticas de aguas residuales). Alteraciones moderadas al régimen natural.
Media	Presencia de poblaciones de diferentes especies, de relevancia regional por su aportación a servicios ecosistémicos o al desarrollo socioeconómico.	La zona de captación y los hábitats se encuentran moderadamente alterados. Conservan en alguna medida su funcionamiento, estructura y servicios básicos, a pesar de haber experimentado cambios físicos.	Presencia evidente de infraestructura antropogénica. Alteraciones evidentes y significativas, pero se mantienen ciertos componentes del régimen hidrológico.
Baja	Nula o muy baja presencia de especies (peces o macroinvertebrados) y vegetación totalmente perturbada.	Zona de captación sometida a fuerte presión por el agua y el cambio de uso del suelo. Cauces invadidos, obstruidos, abandonados, modificados, canalizados o destruidos por actividades de extracción, cuyos cambios en casos extremos son irreversibles. Integridad ecológica completamente perdida y en ocasiones solo se conservan los servicios más básicos.	Alta presencia de infraestructura antropogénica. Régimen completamente alterado.

### 1.2.2. Presión de uso del agua

Se determina a partir de la relación en porcentaje del volumen asignado más el concesionado entre la disponibilidad media anual por cuenca, conforme a la información publicada por la Comisión Nacional del Agua. El nivel de la presión de uso deberá establecerse de acuerdo a los valores de la Tabla 3.

**Tabla 3. Presión de uso**

<b>Presión de uso</b>	<b>Muy alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Media</b>	<b>Baja</b>
	≥ 80 %	≥ 40 %	≥ 11 %	≤ 10

### 1.3. Asignación de objetivos ambientales

La importancia ecológica y la presión de uso sobre el recurso, permiten reconocer las necesidades ambientales del agua conforme a la vocación específica de cada cuenca o tramo en particular, de acuerdo con las reglas de decisión o criterios mostrados en la Tabla 4.

**Tabla 4. Matriz de objetivos ambientales**

Importancia ecológica	Muy alta	A	A	B	B/C
	Alta	A	B	B	C
	Media	A	B	C	C
	Baja	A	B	C	C/D
	Presión de uso	Baja	Media	Alta	Muy Alta

Esta definición del estado ecológico deseado mediante el uso de objetivos ambientales, permite distinguir diferentes estrategias de cara a la conservación de la cuenca de forma congruente, transparente y asequible, conforme a la importancia ecológica y a la presión de uso existente. Aquellos sitios cuyo estado ecológico resulte “Muy bueno”, podrán gestionarse con la intención de crear una reserva de agua, por lo que su finalidad y estrategia sería la conservación. En el caso de aquellos asignados con un estado ecológico “Bueno”, resulta posible al menos mantener el sitio en sus condiciones actuales, por lo que la estrategia deberá concentrarse en su manejo. Por otra parte, en aquellas cuencas con un estado ecológico “Moderado”, la estrategia deberá concentrarse en al menos mantener las condiciones de conectividad hidrológica que actualmente poseen. Por último, la estrategia en cuencas con un estado ecológico “Deficiente”, deberá al menos dirigir los esfuerzos en recuperar la conectividad hidrológica mínima para promover que el ecosistema aporte los servicios más básicos.

Bajo este esquema, se concilia la demanda ambiental y socioeconómica del agua. Se reconoce que los bienes y servicios aportados por las cuencas hidrológicas dependen de procesos físicos, biológicos y sociales.

Mediante este modelo (Figura 1), se pretende en todo momento mejorar (o al menos mantener) las condiciones actuales del entorno (funciones del ecosistema, su estructura y biodiversidad), reconociendo que únicamente mediante la conservación de los ecosistemas como base para la asignación del agua a los usuarios en la cuenca, se garantiza su provisión futura.

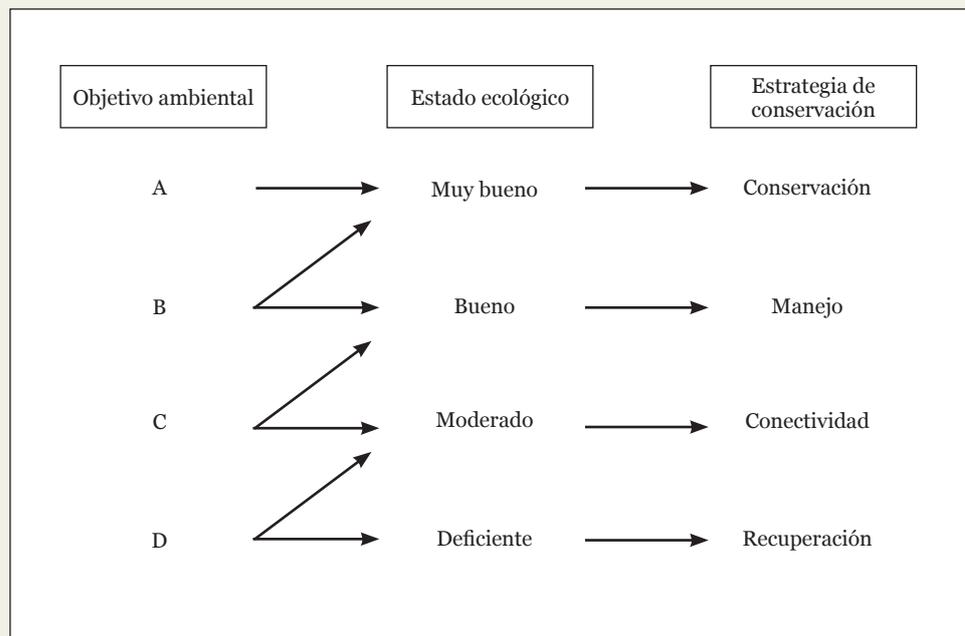


Figura 1. Modelo conceptual del objetivo ambiental, estado ecológico deseado y estrategia de conservación.



# IV. FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS

Desde los años ochenta se han desarrollado diversos conceptos y principios que ayudan a comprender mejor la dinámica y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos. Por su aplicación directa en el estudio de las necesidades hídricas de estos ecosistemas y sus implicaciones en las aproximaciones metodológicas, se han seleccionado dos conceptos clave: el Paradigma del Río Natural (PRN) y el Gradiente de la Condición Biológica (GCB).

## 1. El Paradigma del Río Natural (Poff et al. 1997)

El PRN señala que para conservar la biodiversidad, producción y sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos, es necesario destacar el papel central de un medio físico variable. El régimen hidrológico natural organiza y define este ambiente físico, y por ende, el ecosistema.

En la Figura 2 se muestran de forma simplificada las relaciones entre el régimen hidrológico y algunos componentes bióticos del ecosistema (Limno Tech, 2005).

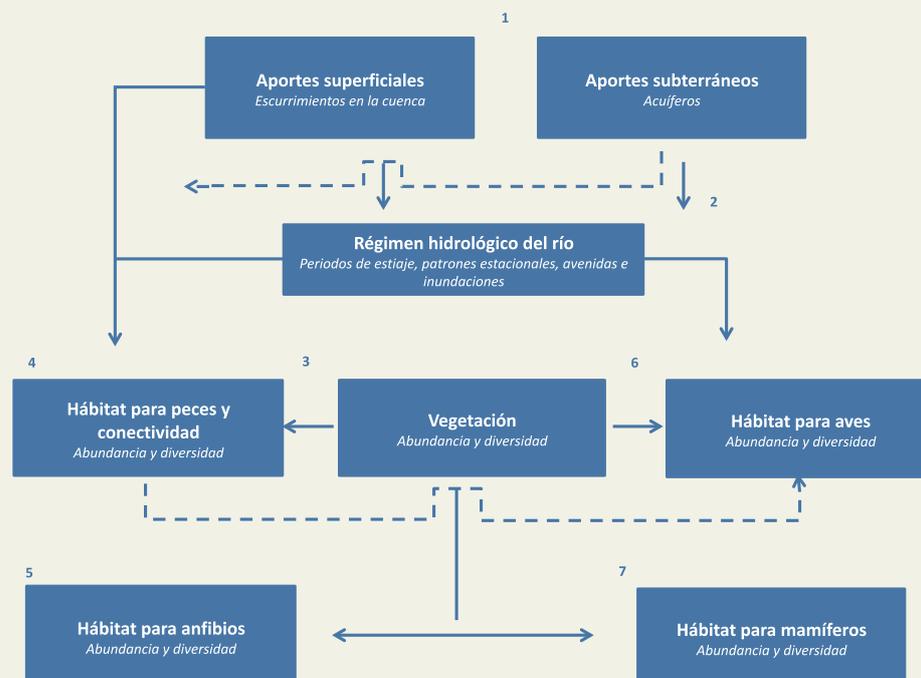


Figura 2. Modelo conceptual para relacionar la hidrología con los y diversos componentes bióticos del ecosistema. Tomado y adaptado de Barrios Ordóñez et al. 2010.

A raíz de este esquema simplificado, se observa que:

- Los aportes de agua en la cuenca están determinados por las entradas de ríos y arroyos, así como por la precipitación y las descargas de las aguas subterráneas (1).
- El balance hídrico (entradas y salidas del sistema) de la cuenca, junto con las características topográficas del terreno, el clima y la red de drenaje, determinan los periodos de estiaje, patrones estacionales y el régimen de avenidas e inundaciones. Estas pautas (número de días con agua, distribución estacional, magnitud, etc.) definen el régimen hidrológico de la cuenca (2).

- Los patrones temporales de inundación se traducen en determinadas condiciones físicas (profundidad media de encharcamiento, duración, etc.), que ejercen una gran influencia en la presencia y distribución de las comunidades vegetales (3).
- Las condiciones de inundación y la vegetación en el río ejercen un papel determinante en el ciclo biológico de peces (4), anfibios (5), aves (6) y mamíferos (7), proporcionando alimento, refugio, etc.

No obstante, la observación del régimen hidrológico permite profundizar mucho más en el alcance del PRN y su relación con otros conceptos e hipótesis científicas. En este hidrograma del río San Pedro (Figura 3) se pueden diferenciar claramente los eventos hidrológicos (régimen de avenidas en círculos azules y estiajes característicos en círculo rojo) de las situaciones más o menos estables (patrón característico de los caudales ordinarios estacionales en línea verde).

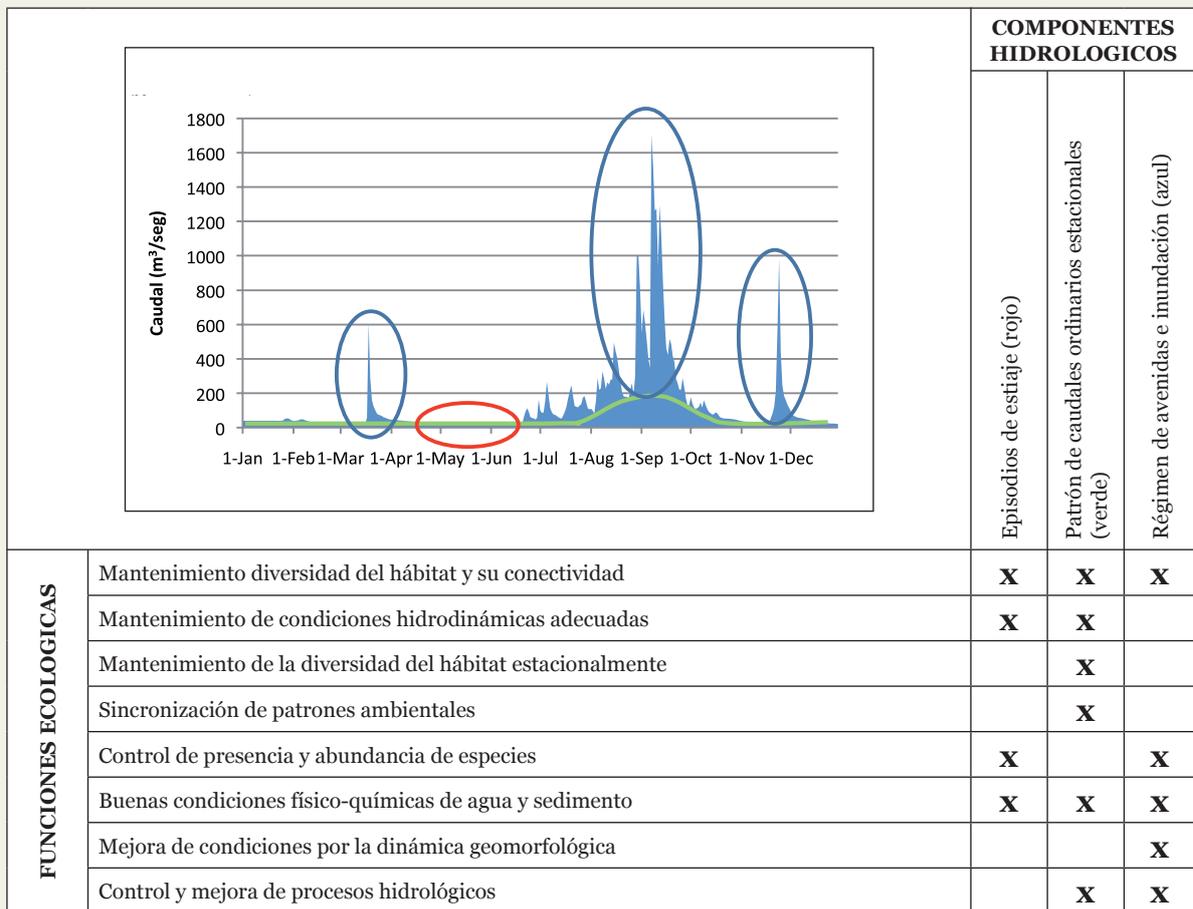


Figura 3. Elementos funcionales de un régimen hidrológico. Hidrograma del río San Pedro Mezquital a la altura de Ruiz, Nayarit, en 1944. Tomado de Barrios Ordóñez *et al.* 2010.

Los eventos hidrológicos observados en el hidrograma contribuyen en gran medida al conjunto de perturbaciones físicas naturales que sufren los ecosistemas acuáticos. Estos eventos pueden modificar las condiciones de humedad, oxígeno disuelto, disponibilidad de luz, nutrientes o cualquier otro recurso para beneficio o extinción de las especies del lugar. A menudo, pequeños parches experimentan disturbios en diferentes momentos e intensidades, creando un patrón de perturbación a escala en el paisaje. Tal como describe el concepto del Mosaico cambiante de los hábitats (Tockner *et al.* 2008), la estructura de este mosaico en los ecosistemas acuáticos cambia a través del tiempo asociado a los cambios en el régimen hidrológico natural.

Es importante resaltar que los organismos han evolucionado en estas condiciones cambiantes del hábitat. Las perturbaciones han acompañado a los ecosistemas a lo largo de su evolución, en muchos casos como la presión de selección más importante. El Concepto Pulso de Crecida o Avenida describe los cambios estacionales de los niveles de agua, las relaciones con la dinámica funcional y el mantenimiento de la diversidad de especies (Junk, 1982 y 1999; Bayley, 1995). Esta dinámica de expansión/retracción característica de las avenidas es fundamental para funciones tales como la producción, la descomposición y el consumo de la materia orgánica (Grubaugh y Anderson, 1988; Sparks *et al.* 1990), mientras que la fluctuación del nivel del agua conduce la sucesión (van der Valk, 1981; Finlayson *et al.* 1989). Ward *et al.* (1999) en su concepto de las Cuatro Dimensiones de los Ecosistemas Acuáticos, también relaciona las tres dimensiones espaciales de los ecosistemas acuáticos (longitudinal, lateral y vertical) con la dimensión temporal para comprender los procesos ecológicos dominantes (migración, transporte, intercambio de materia y energía).

Esta base teórica y experimental ha servido para enunciar dos conceptos ecológicos de gran utilidad en la gestión de ecosistemas:

- El Régimen de Perturbaciones Naturales (Menéndez *et al.* 2010). Este concepto defiende que el patrón y la dinámica de perturbaciones moldean a largo plazo la estructura y composición de las especies de un ecosistema.
- El Rango de la Variabilidad Natural (Richter *et al.* 1997) también es un concepto relevante para el mantenimiento de la biodiversidad y la resiliencia en ecosistemas que deben ser gestionados. Partiendo de la base de que no podemos conocer con exactitud las consecuencias de alterar los ecosistemas por parte del hombre, este concepto asume que mantener el rango de variabilidad natural en las condiciones y procesos de un ecosistema, ofrece el mejor modelo disponible para el mantenimiento de las condiciones a las que la mayoría de especies están adaptadas. En el caso de los ecosistemas acuáticos, el rango de variabilidad natural del régimen hidrológico es una variable clave.

Finalmente, a modo de síntesis y tomando como referencia el PRN diversos autores han formulado cuatro aspectos fundamentales para discutir la importancia del régimen hidrológico natural en la conservación de la biodiversidad:

- El régimen hidrológico es un importante determinante del hábitat físico, que a su vez determina la composición biótica y las estrategias vitales;
- Las especies acuáticas han evolucionado en respuesta directa al régimen hidrológico natural;
- El mantenimiento de los patrones naturales de la conectividad longitudinal y lateral es fundamental para la viabilidad de las poblaciones de las especies;
- El éxito de la invasión de especies exóticas e introducidas se ve facilitado por la alteración de los regímenes hidrológicos.

## 2. El Gradiente de la Condición Biológica (USEPA, 2005; Davies y Jackson, 2006)

El GCB es un modelo científico que describe la respuesta biológica frente a niveles crecientes de presión. Originalmente, este modelo describe cómo cambian diez atributos de los ecosistemas acuáticos en respuesta al aumento de los niveles de estrés, incluyendo varios aspectos de la estructura de la comunidad biológica, aspectos funcionales de los ecosistemas, etc.

El GCB divide la condición biológica en seis niveles a lo largo de la curva de estrés-respuesta (Figura 4), moviéndose desde las condiciones biológicas sin o bajos niveles de estrés hasta las que se encuentran en los altos niveles de estrés.

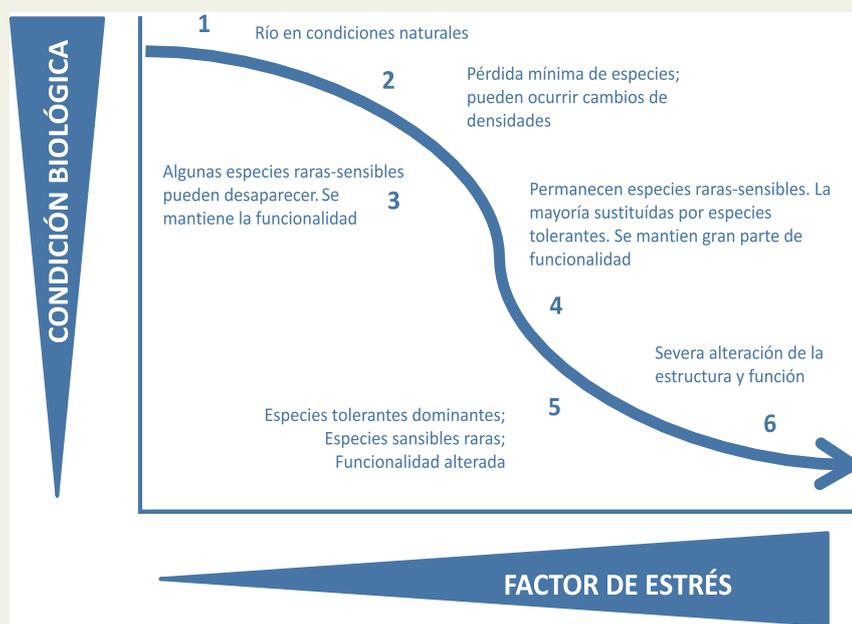


Figura 4. Gradiente de la Condición Biológica según un factor de estrés. Basado en Davies y Jackson, 2006.

Este modelo en un contexto de gestión, contribuye con la teoría de que el estado de conservación de un cuerpo de agua descenderá cuando se incrementa la alteración hidrológica. En sentido inverso, aquellas propuestas de caudales ecológicos que mantengan en mayor proporción las características del régimen hidrológico natural proporcionarán un mejor estado de conservación.

Actualmente los estudios de los caudales ecológicos se abordan desde este planteamiento, asumiendo que diferentes caudales ecológicos proporcionarán diferentes condiciones de conservación (King y Brown, 2006).

### 3. Tipos de métodos y características generales

En el panorama internacional se cuenta actualmente con numerosas metodologías para calcular los caudales ecológicos, pudiendo ser clasificadas en los siguientes grandes tipos:

1. **Métodos hidrológicos:** Se fundamentan en que el régimen hidrológico natural constituye el factor principal de organización de los ecosistemas acuáticos. Si consideramos que la presencia de hábitats y especies depende en gran parte de las condiciones y procesos que impone el régimen hidrológico, aquellas propuestas de gestión que reflejen el régimen natural mantendrán adecuadamente la estructura y el funcionamiento del humedal. A partir del

estudio del régimen de hidrológico, se trata de identificar los componentes y patrones con mayor significado ecológico y geomorfológico.

2. **Métodos hidráulicos:** Se fundamentan en la definición de parámetros físicos que pueden ser limitantes para el hábitat o las especies (tales como calados mínimos, superficies mojadas mínimas, etc.). Los modelos hidráulicos permiten definir variables físicas (velocidad, profundidad, etc.) para toda la gama de caudales.
3. **Métodos hidrobiológicos:** Analizan las respuestas de determinadas especies a los cambios en el régimen hidrológico. Se denominan también métodos de simulación de hábitat. Los estudios de presencia/ausencia de las especies en relación con parámetros hidráulicos, permite en algunos casos identificar de forma empírica umbrales que sirven para explicar la presencia y distribución de las especies. La relación de estos parámetros con los modelos hidráulicos permite definir las para los caudales simulados áreas potenciales para las especies.
4. **Métodos holísticos.** Aunque a principios de los años 90 no eran formalmente reconocidos, en la actualidad sus principios y métodos están emergiendo rápidamente en el ámbito internacional. Se trata de una aproximación global al sistema fluvial que incluye a todas sus formas de vida, así como al conjunto de procesos biológicos, físicos y químicos derivados de su propia organización estructural, funcional, espacial y temporal. La clave de su análisis radica en encontrar el papel que ejercen los caudales como soporte básico para todos los componentes y atributos del ecosistema fluvial.

Cada una de estas aproximaciones metodológicas presenta diferentes ventajas e inconvenientes, tanto en su aplicación como en los resultados obtenidos. En la Tabla 5 se muestra una comparación resumida entre los diferentes grupos de métodos.

A pesar del gran desarrollo de estas metodologías en los últimos años, aún falta un gran consenso entre científicos y gestores para adoptar un método plenamente satisfactorio. Esta falta de aceptación no impide visualizar que determinados métodos presentan enfoques, análisis y resultados claramente insuficientes para garantizar la conservación de los procesos y la biocenosis característicos de un sistema natural (Poff *et al.* 1997; Richter, 1997; Lytle y Poff, 2004; Arthington *et al.* 2006). No obstante, también ocurre lo contrario, es decir, existe cada vez una opinión más favorable hacia aquellas aproximaciones metodológicas que adoptan el “enfoque por ecosistemas”, prestando atención prioritaria a sus procesos naturales e incorporando en mayor o menor grado los componentes del régimen hidrológico natural. En este sentido, los enfoques holísticos son los mejor considerados en la bibliografía especializada (Carreño *et al.* 2008).

#### **4. Propuesta del método de cálculo**

La elección de un método de cálculo requiere considerar diferentes aspectos, tales como los objetivos del estudio de caudales ecológicos, los recursos económicos disponibles, las condiciones de aplicación del caso en cuestión, los valores naturales asociados al río o la posible conflictividad en el uso del agua en la zona, entre otros.

Teniendo en cuenta estos factores, las aproximaciones hidrológicas representan una muy importante ventaja en términos de eficiencia en el cálculo. No obstante, este primer paso es precedido de un proceso de selección (hay descritos más de 200 métodos hidrológicos en Tharme, 2003) donde ha sido posible identificar, mediante criterios técnicos y científicos, la metodología que mejor se adapta a un contexto de gestión, con aplicación en un marco regulatorio nacional.

El proceso de selección del método se ha desarrollado a partir del esquema que se muestra en la Figura 5.

**Tabla 5. Cuadro comparativo de líneas metodológicas en el estudio de los caudales ambientales.**

Tipo	Componentes considerados	Necesidad de datos	Nivel de experiencia	Complejidad	Intensidad recursos	Resolución resultados	Flexibilidad	Costo
Hidroológico	Todo el ecosistema, no específico	B-M (principalmente de gabinete) Registros históricos de caudales vírgenes o naturalizados. Uso de datos ecológicos históricos	B-M Hidrológica. Alguna experiencia en ecología.	B-M	B-M	B-M	B-M	B
Hidráulico	Requerimientos hidráulicos genéricos del hábitat acuático para especies objetivo.	B-M (gabinete y campo) Registros históricos de caudales. Variables de descarga hidráulica típicamente de secciones. Variables hidráulicas relacionadas con las necesidades de hábitat-caudal a nivel genérico.	M Hidrológica. Algo de modelización hidráulica. Alguna experiencia en ecología.	B-M	B-M	B-M	B-M	B-M
Simulación de hábitat	Principalmente hábitat para especies objetivo. Algunos consideran: forma del canal, transporte sedimentos, calidad del agua, vegetación de ribera, fauna silvestre	M-A (gabinete y campo) Registros históricos de caudales. Numerosas secciones transversales con múltiples variables hidráulicas. Datos de idoneidad del hábitat para las especies objeto.	M-A Hidrológica. Nivel avanzado en modelización hidráulica y del hábitat. Especialista en ecología sobre necesidades físicas de especies objetivo.	M-A	M-A	M-A	M-A	M-A
Holístico	Todo el ecosistema, algunos consideran: acuíferos, zonas húmedas, estuarios, llanura de inundación, dependencia social del ecosistema, así como los componentes acuáticos y de la ribera	M-A (gabinete y campo) Registros de caudales. Numerosas secciones transversales con múltiples variables hidráulicas. Datos biológicos sobre caudales y hábitat relacionados con todos los requerimientos de la biota y de los componentes del ecosistema.	M-A Hidrológica. Nivel avanzado en modelización hidráulica. Modelización del hábitat en algunos casos. Especialistas en todos los componentes del ecosistema. Alguna experiencia en requerimientos socioeconómicos.	M-A	M-A	M-A	A	M-A

**(A: nivel alto; M: nivel medio; B: nivel bajo). FUENTE: Original en King *et al.* 2000.**

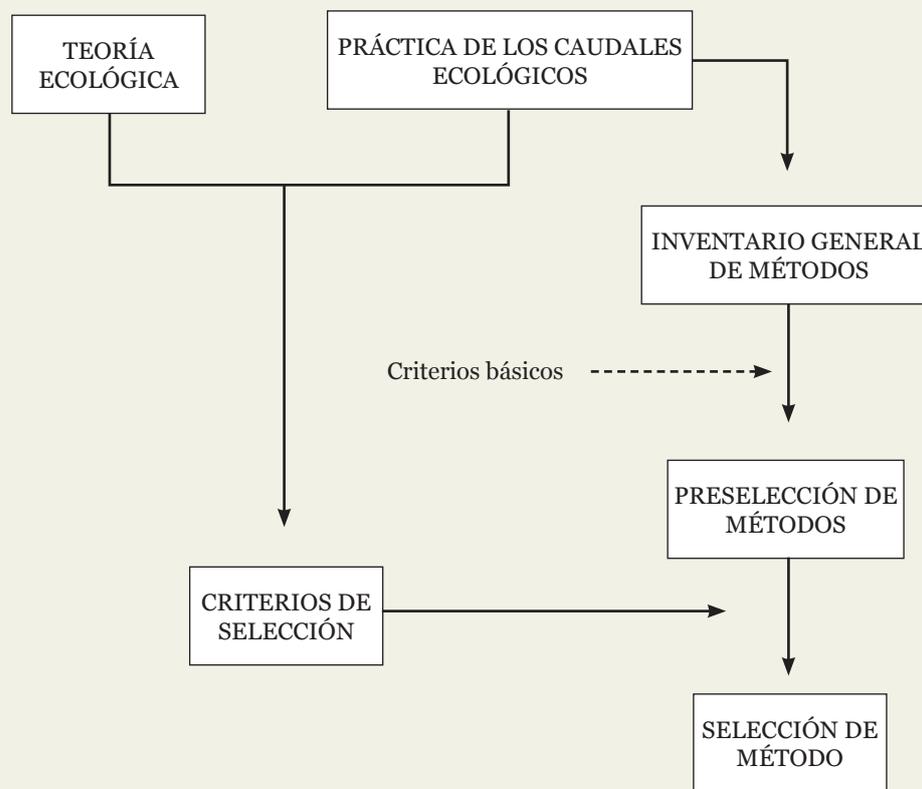


Figura 5. Esquema de trabajo para la identificación del método más eficiente de cálculo de caudales ecológicos. Tomado de Barrios Ordóñez *et al.* 2010.

Los pasos relevantes en el proceso de selección del método han sido los siguientes:

a. *Síntesis de principios ecológicos y buenas prácticas: implicaciones en los métodos de cálculo*

La revisión de conceptos y principios científicos relacionados con la práctica de los caudales ecológicos, así como de las tendencias internacionales en el uso de los métodos, ha permitido identificar algunos aspectos clave:

- Los caudales ecológicos serán diferentes según se trate de Áreas Naturales Protegidas, cuerpos de agua en condiciones de baja presión o cuerpos de agua muy modificados. Esto quiere decir que los métodos adoptados deben permitir ajustar las propuestas de caudales ecológicos a los objetivos de conservación del río o humedal. Esta adecuación de las propuestas se debe regir según la lógica del GCB si las propuestas mantienen en mayor proporción las características del régimen hidrológico natural, éstas proporcionarán un mejor estado ecológico o nivel de conservación.
- Los patrones naturales y el régimen de perturbaciones determinan las características funcionales de los ecosistemas acuáticos y la presencia de las comunidades biológicas, por lo que constituyen sus valores de conservación. En el caso de los métodos de cálculo implica que los caudales ecológicos deben ser formulados en referencia con el régimen hidrológico natural de cada río.
- Los ecosistemas acuáticos son heterogéneos y dinámicos, cambiando la composición de sus especies y la densidad de sus poblaciones. Los caudales ecológicos deben reflejar explícitamente estos cambios, relacionados con la

dinámica intrínseca de los ecosistemas. El régimen de perturbaciones (ciclos húmedos y secos) es imprescindible para la conservación de ríos y humedales a largo plazo. En el caso de los métodos, implica que se deben calcular diversos componentes del régimen hidrológico (estiajes, avenidas, etc.), considerando también la variabilidad interanual.

- Los cambios se deben producir siguiendo los patrones naturales y dentro del rango natural de variabilidad de estos ecosistemas. En el caso de los métodos de cálculo, esto implica que las propuestas deben considerar el rango natural de variabilidad de los parámetros hidrológicos y asegurar que no se produzca un desequilibrio en los ecosistemas más allá de su capacidad de recuperación.

b. *Condiciones mínimas que deben cumplir los métodos: criterios de selección*

A partir de la síntesis anterior, se identifican tres condiciones indispensables que deben cumplir los métodos de cálculo:

1. Criterio de la funcionalidad ecosistémica.

**Justificación**

Este criterio parte del papel funcional que cumple el régimen hidrológico en la dinámica de los ecosistemas. Los ecosistemas cambian, incluida la composición de sus especies y la densidad de sus poblaciones. La gestión, por tanto, debe adaptarse a estos cambios relacionados con la dinámica intrínseca de los ecosistemas, necesaria al mismo tiempo para su conservación a largo plazo (Smith y Malby, 2003). Dentro del régimen hidrológico se pueden identificar algunos elementos clave responsables de la configuración de los marcos ambientales (competencia, depredación, descomposición, colonización, ciclo de nutrientes, hidrodinámica, etc.).

**Implicación metodológica**

Los métodos deberían calcular al menos los siguientes elementos: episodios de estiaje, patrón de caudales ordinarios estacionales y régimen de avenidas o inundación. Estos elementos deberán tomar como referencia la magnitud, duración, frecuencia y el momento de ocurrencia de los mismos en régimen natural. Los métodos deberán considerar también la variabilidad interanual, incluyendo en sus cálculos propuestas para distintas condiciones hidrológicas (húmedas, medias, secas y muy secas).

2. Criterio del rango de variabilidad natural

**Justificación**

Los ecosistemas se deben gestionar dentro de los límites de su funcionamiento. Los cambios relacionados con la dinámica intrínseca de los ecosistemas son necesarios, pero se deben producir dentro del rango natural de variabilidad de estos ecosistemas, evitando producir un desequilibrio más allá de su capacidad de recuperación (Smith & Malby, 2003). En este sentido cabe destacar que los organismos acuáticos han evolucionado sus estrategias vitales en respuesta directa a sus regímenes naturales de caudales y a sus rangos de variabilidad (Bunn y Arthington, 2002).

**Implicación metodológica**

Los métodos deberán considerar el rango natural de variabilidad hidrológica, tanto en las condiciones de base como en el régimen de perturbaciones.

### 3. Criterio de ajuste al objetivo ambiental, de manejo o gestión

#### **Justificación**

Los caudales ecológicos serán diferentes según el interés de conservación del cuerpo de agua (Áreas Naturales Protegidas, sitios Ramsar o cualquier otro sitio con valor natural excepcional) y el grado de presión al que se encuentre sometido. El principio del GCB sugiere que en ausencia de otros factores de presión, las propuestas que mantengan mayor proporción las características del régimen hidrológico natural proporcionarán un mejor estado ecológico o nivel de conservación.

#### **Implicación metodológica**

Los métodos adoptados deben permitir ajustar las propuestas de caudales ecológicos a los objetivos ambientales del río o humedal.

#### *c. Inventario de métodos hidrológicos a nivel internacional.*

En respuesta a la creciente proliferación de métodos hidrológicos alrededor del mundo, se ha realizado una revisión sistemática a partir de algunos trabajos de referencia (Annear *et al.* 2004; Tharme, 2003; Dunbar *et al.* 1998; Arthington *et al.* 2000 y 2006). Como punto de partida se ha seleccionado la Base de datos sobre metodologías de evaluación de caudales ecológicos para los ecosistemas acuáticos (IWMI, 2003).

A partir de esta base inicial se realizó una preselección de métodos atendiendo a dos criterios básicos:

- Se consideraran los métodos originales, excluyendo posibles variaciones que no representan una evolución de los mismos o que están debidamente justificadas.
- También se consideraran aquellos métodos que, sin estar referenciados en una revista especializada, han sido recomendados o reconocidos por organismos internacionales (Banco Mundial, UICN, FAO, etc.)

#### *d. Selección final del método*

Después de realizar los análisis numéricos y evaluar sus resultados según diferentes métodos, la alternativa adoptada por su grado de eficiencia es una aproximación hidrológica para el cálculo de los diferentes elementos del régimen hidrológico a calcular.

- Para determinar el régimen estacional de los caudales ordinarios (diferenciando para condiciones hidrológicas húmedas, medias, secas y muy secas), la metodología adoptada se fundamenta en una aproximación por percentiles
- En el caso del régimen de avenidas, se han considerado tres categorías de avenidas: intraanuales (categoría I), interanuales de baja magnitud (categoría II) e interanuales de media magnitud (categoría III). Estas avenidas se caracterizarán mediante sus correspondientes atributos de magnitud, duración, frecuencia, momento de ocurrencia y tasa de cambio.
- El ajuste a los objetivos ambientales se ha realizado en función de la probabilidad de ocurrencia de las diferentes condiciones hidrológicas. Así, un objetivo ambiental alto lleva asociado una probabilidad de ocurrencia similar al natural (incluyendo episodios húmedos, medios, secos y muy secos). En el caso de objetivos ambientales inferiores, predominarán las ocurrencias de episodios secos o muy secos.

## 5. Propuesta de procedimiento y criterios para el cálculo de caudal ecológico

### 5.1 Caudales ordinarios estacionales

A partir de la serie hidrológica mensual histórica representativa del régimen natural del río en estudio, el régimen de caudales ecológicos se deberá asociar los percentiles 75, 25, 10 y 0 para cada condición hidrológica anual (año húmedo, medio, seco y muy seco, respectivamente), como muestra la Tabla 6.

**Tabla 6. Criterios para la elección del régimen de caudales ordinarios estacionales para años con diferentes condiciones hidrológicas**

Condiciones hidrológicas	Percentil característico
Años húmedos	75
Años medios	25
Años secos	10
Años muy secos	0

El ajuste de la propuesta de caudales ecológicos a los objetivos ambientales se realizará tomando como referencia las frecuencias de ocurrencia que se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7. Criterios para la integración de los caudales ordinarios a partir de las frecuencias de ocurrencia de distintas condiciones hidrológicas para distintos niveles de conservación**

Objetivo ambiental	Nivel de conservación	Frecuencias de ocurrencia			
		Húmedo	Medio	Seco	Muy seco
A	Muy bueno	0.1	0.4	0.3	0.2
B	Bueno	0.0	0.2	0.4	0.4
C	Moderado	0.0	0.0	0.4	0.6
D	Deficiente	0.0	0.0	0.0	1.0

La relevancia de esta frecuencia de ocurrencia, radica en que para aquellos sitios cuyo nivel de conservación deseado sea el máximo, deberán tener representación en un horizonte temporal X (por ejemplo, 10 años), caudales ordinarios estacionales para todas las condiciones hidrológicas anuales. En tanto que para aquellos sitios cuyo objetivo ambiental sea el máximo volumen sostenible de agua para su explotación, y por ende, el mínimo nivel de conservación, en el horizonte temporal se deberán asegurar al menos caudales ordinarios estacionales bajo el régimen obtenido mediante el percentil 0, es decir, el representativo a la condición hidrológica más extrema (años muy secos), de esta forma se asegura al menos la conectividad hidrológica mínima conforme a su rango natural de variabilidad, que sirve para recuperar; las funciones y servicios más básicos aportados por el río.

### 5.2 Régimen de avenidas

Para el ajuste de la propuesta de régimen de avenidas a los objetivos ambientales, se deberá tomar como referencia la ocurrencia de avenidas tipo para un periodo hipotético de 10 años, tal y como se muestra en la Tabla 8.

**Tabla 8. Ocurrencia de avenidas tipo según objetivos de conservación en un periodo hipotético de 10 años**

Objetivo ambiental	Nivel de conservación	REGIMEN DE AVENIDAS		
		Categoría III	Categoría II	Categoría I
A	Muy bueno	2	6	10
B	Bueno	2	3	5
C	Moderado	1	2	3
D	Deficiente	1	1	2

La importancia de esta ocurrencia de avenidas, es que para niveles de conservación muy buenos, en un periodo hipotético de 10 años, ocurrirían en dos ocasiones avenidas categoría o tipo III (2/10 años), en seis ocasiones avenidas tipo II (6/10) y en 10 ocasiones avenidas tipo I (10/10), lo que contribuirá en buena medida a una dinámica geomorfológica similar a la natural. Por otra parte, en sitios donde el nivel de conservación deseado sea deficiente, la ocurrencia de avenidas sería en una ocasión para las categorías o tipo III y II (1/10 cada una) y en dos ocasiones para la categoría I.

### 5.3. Volumen anual de reserva

El volumen anual que represente el caudal ecológico determinado bajo esta aproximación metodológica, se encontrará dado por la suma de los regímenes del caudal ordinario estacional y el de avenidas correspondientes. Este volumen será con finalidad ambiental exclusivamente.







# V. ANÁLISIS HIDROLÓGICOS

## 1. Casos en ríos

1.1 Planificación hídrica. Ríos sin presencia de infraestructura

Para casos de planificación hídrica, la determinación de caudal ecológico tiene por objeto asignar los volúmenes de reserva de agua con finalidad ambiental. Se aplica conforme a las unidades de gestión definidas en su estudio

de disponibilidad, donde se desee realizar una evaluación estratégica de los recursos hídricos, siempre y cuando no exista infraestructura hidráulica o hidroeléctrica que afecte el régimen hidrológico natural.

Para estos casos, se aplica el método hidrológico de Tennant (1976) modificado, el cual determina un volumen anual de escurrimiento en la cuenca, según las series históricas del régimen hidrológico natural y al uso de objetivos ambientales para alcanzar un estado de conservación deseado. Por otra parte, se consideran las tendencias de experiencias nacionales e internacionales que permiten el uso de valores de referencia (Tabla 9) expresados en porcentaje del escurrimiento medio anual y con base en la naturaleza de las corrientes (perenne o intermitente) presentes del país.

**Tabla 9. Valores de referencia para las unidades de gestión definidas por el estudio de disponibilidad**

Objetivo ambiental	Nivel de conservación	Caudal ecológico (% EMA)	
		Corrientes permanentes	Corrientes temporales
A	Muy bueno	>40	>20
B	Bueno	25-40	15-20
C	Moderado	15-25	10-15
D	Deficiente	5-15	5-10

### *Procedimiento a seguir*

El procedimiento para determinar los volúmenes de reserva con finalidad ambiental en una cuenca es el siguiente:

- i. Identificar la serie hidrológica histórica del régimen natural y organizarla por meses.

Este punto se refiere a las condiciones hidrológicas imperantes en el sistema, donde no se presenta ningún tipo de extracción de agua, o bien, a las condiciones previas a cualquier extracción que ha alterado significativamente algún componente del régimen hidrológico.

Una serie hidrológica de un régimen de este tipo es representativa si abarca al menos 20 años, preferentemente consecutivos y con una alternancia equilibrada entre años secos y húmedos (Tabla 10).

De no contar con esta información, el volumen medio anual de escurrimiento natural, puede ser determinado aplicando alguno de los métodos descritos en el Apéndice Normativo A de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000.

Cuando una serie hidrológica sea representativa de una cuenca del estudio de disponibilidad, esta podrá ser utilizada para todas las UECE identificadas en la misma cuenca. Adicionalmente, en cuencas con presas se podrá utilizar la información de niveles o balance del embalse, para determinar la serie de entrada en régimen natural.

**Tabla 10. Serie hidrológica ejemplo de un régimen natural de caudales (m<sup>3</sup>/seg). Caudal medio interanual o escurrimiento medio anual (EMA)= 44.61 m<sup>3</sup>/seg**

Año	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1967	7.48	8.50	5.82	3.46	2.81	5.75	3.64	4.85	20.81	22.09	8.15	4.10
1968	2.79	2.98	3.49	2.72	2.80	4.45	6.77	6.64	11.48	8.83	9.19	19.08
1969	7.86	7.17	6.28	6.59	12.51	2.02	9.26	18.07	24.59	16.87	14.57	8.77
1970	4.80	10.37	6.55	2.90	2.07	5.33	10.85	14.28	18.85	23.99	7.22	3.68
1971	5.68	10.17	8.94	9.18	6.64	6.06	6.22	12.52	8.98	20.87	22.95	9.80
1972	5.49	7.59	4.54	5.50	8.44	17.73	17.10	10.74	10.14	8.76	21.05	7.71
1973	4.36	6.04	4.00	3.96	9.33	8.44	15.48	17.92	9.37	13.45	4.20	10.46
1974	4.87	6.18	8.55	4.97	1.70	16.77	8.46	4.11	25.13	13.48	17.29	7.51
1975	5.31	18.94	2.85	3.25	3.07	8.58	6.75	4.85	27.91	19.82	7.16	12.73
1976	18.32	4.99	7.38	4.48	10.08	19.82	15.75	11.09	14.47	27.67	11.56	5.98
1977	4.43	7.14	3.34	3.03	1.82	3.11	5.48	4.62	4.66	12.87	19.30	10.79
1978	6.36	7.29	9.54	3.48	1.69	9.85	5.14	12.04	26.83	16.60	14.07	8.19
1979	7.80	8.14	4.69	4.64	10.97	11.10	7.18	17.92	41.64	5.05	15.54	9.96
1980	8.95	7.51	5.78	6.02	3.52	3.45	3.14	5.41	32.22	21.81	10.55	9.53
1981	10.04	12.44	5.76	8.81	8.92	88.52	20.13	25.95	80.70	15.06	7.54	11.41
1982	6.95	9.03	2.95	10.77	12.85	2.58	3.00	5.05	14.28	25.18	17.83	5.44
1983	7.00	9.20	1.95	1.64	0.88	2.68	18.00	16.33	23.24	15.84	21.18	19.48
1984	11.21	5.70	3.95	1.88	16.46	14.90	21.47	18.39	72.33	9.22	8.12	4.58
1985	4.40	6.55	7.57	8.56	4.55	5.68	13.82	10.29	21.15	20.79	6.26	12.90
1986	7.39	4.29	2.39	3.44	5.01	8.86	10.80	5.52	5.46	29.73	26.15	9.92
1987	4.42	6.57	5.86	4.14	4.56	11.86	13.00	10.83	25.05	9.58	10.61	8.95
1988	8.45	5.99	7.87	18.61	5.57	20.93	14.38	19.41	24.05	11.21	5.01	9.37
1989	6.42	6.53	4.72	3.42	2.99	2.75	9.60	12.85	36.45	10.88	16.70	11.86
1990	6.74	6.55	5.61	11.34	4.56	3.67	9.50	15.35	17.00	23.71	9.21	5.94
1991	11.90	5.26	4.08	8.99	2.45	7.24	8.66	4.04	12.86	18.40	20.82	7.64
1992	7.11	7.86	7.09	5.63	10.25	5.88	6.02	22.37	32.95	17.58	15.52	2.87
1993	4.20	5.41	3.10	3.98	8.14	13.74	8.64	9.07	28.90	21.41	5.37	3.64
1994	4.05	8.28	2.84	7.88	3.60	2.62	1.75	5.66	11.76	8.69	7.25	7.91
1995	5.33	4.94	3.58	2.54	1.43	1.46	9.72	11.93	14.29	19.17	27.84	12.80
1996	4.17	4.18	4.16	10.06	6.01	3.10	4.95	9.24	11.19	12.41	17.90	6.88
1997	3.81	5.76	7.52	7.17	6.64	3.13	10.82	3.56	17.70	20.65	6.82	5.85
1998	5.08	3.93	2.37	2.06	1.88	1.63	10.46	10.08	34.40	41.24	51.27	4.65
1999	4.45	4.24	2.17	4.11	2.10	8.17	20.99	10.28	27.18	49.05	3.22	4.93

- ii. Determinar el objetivo ambiental para la cuenca.
- iii. Según el objetivo ambiental y la naturaleza de la corriente (permanente o intermitente), considerar el intervalo de porcentajes del escurrimiento medio anual que aparece en la Tabla 9.
- iv. Asignar un porcentaje de reserva dentro del intervalo definido por el objetivo ambiental. El ajuste se realizará en función del interés de conservación de las cuencas (con especial observancia en las Áreas Naturales Protegidas, sitios Ramsar y la conservación de especies amenazadas) y de los posibles conflictos con otros usos del agua o las condiciones particulares de la masa de agua (contaminación, alteración morfológica, etc.).

1.2 Determinación de casos por conflictos

En aquellos casos en los que el resultado de la aproximación hidrológica para fines de planeación estratégica se presenten conflictos en cuanto al volumen asignado medio anual o al régimen mensual por la operación de infraestructura hidráulica o hidroeléctrica, será necesario detallar aún más el resultado del volumen asignado medio anual con finalidad ambiental, o bien, gestionar hídricamente la operación de la infraestructura presente al interior de la cuenca (ya sea en ríos, lagos o lagunas), es decir, de forma segmentada, donde se puedan evaluar hidrológicamente a mayor

detalle tramos con características similares y a los que se les pueda asignar el mismo objetivo ambiental.

Para reconocer los tramos en los que el régimen hidrológico actual presenta alteraciones con relación al natural, será necesario conocer la situación a detalle.

*Situación del régimen hidrológico actual. ¿Natural o alterado?*

Consiste en determinar el régimen de volúmenes circulantes de agua de manera mensual y anual, de su estado natural y actual así como del grado de afectación de este último sobre el primero. De esta forma se comprueba si existe o no infraestructura hidráulica o hidroeléctrica con afectación significativa al régimen hidrológico natural.

A partir de la información hidrométrica identificada para el régimen hidrológico natural, se determina el régimen de caudales ordinarios estacionales, los máximos definidos por el percentil 90, los mínimos por el percentil 10, y se verifica que los caudales circulantes mensuales y anuales se encuentren contenidos en dicho umbral, por al menos a un 50 % de cumplimiento.

*Procedimiento a seguir mediante un ejemplo ilustrado*

1. Identificar las corrientes donde se realizará el estudio de los caudales ecológicos.
2. A partir de la estación hidrométrica más representativa de la zona de estudio, determinar el régimen de caudales ordinarios estacionales (máximos y mínimos) según el procedimiento que se detalla a continuación:
  - i. Ordenar a partir de la información hidrológica de la serie diaria, los caudales medios mensuales, separando las series en régimen natural (RHN) y en régimen actual o presumiblemente alterado (RHA)
  - ii. Organizar los caudales mensuales en años naturales para ambas series
  - iii. Calcular para cada mes del año en la serie de RHN los percentiles 90 y 10, así como anuales
3. Verificar si los caudales circulantes actualmente (RHA) a manera mensual y anual se encuentran contenidos en el régimen de caudal ordinario estacional máximo (P90) y mínimo (P10) sugeridos por el RHN (Tabla 11 y Figuras 7, 8 y 9), en donde:
  - i. Si el régimen actual (RHA) cumple en magnitud mensual y anual más de un 50% con relación al RHN, se considerará hidrológicamente no alterado

**Tabla 11. Régimen de caudales ordinarios estacionales mínimos y máximos acorde al RHN (P10-P90) VS RHA para una corriente dada.**

Parámetro	P10	Mediana (P50)	P90	Q medio actual m <sup>3</sup> /s)	No. meses que cumple	Total meses	Porcentaje de cumplimiento	Clase
Enero	5.31	14.96	50.90	80.45	10	21	47.6	
Febrero	4.13	7.90	36.87	26.79	12	21	57.1	
Marzo	2.85	4.13	19.14	6.30	6	20	30.0	
Abril	1.41	2.67	4.86	1.74	3	20	15.0	
Mayo	0.98	1.99	5.62	1.17	4	21	19.0	
Junio	3.98	31.83	57.03	22.82	15	21	71.4	
Julio	75.63	166.85	250.21	192.68	15	21	71.4	
Agosto	123.72	226.62	385.85	283.33	17	21	81.0	
Septiembre	146.23	254.87	573.86	298.40	19	21	90.5	
Octubre	42.67	112.30	222.05	116.19	14	21	66.7	
Noviembre	10.15	18.09	61.73	43.17	13	21	61.9	
Diciembre	5.76	12.01	60.44	33.30	14	21	66.7	
Total mensual					142	250	56.8	NO ALTERADA

Parámetro	P10	Mediana (P50)	P90	Q medio actual m <sup>3</sup> /s)	No. años que cumple	Total años	Porcentaje de cumplimiento	Clase
Anual	422.82	854.22	1728.56	1106.34	20	21	95.2	NO ALTERADA

Nota: 1944-1975 Régimen Hidrológico Natural; 1976-1996 Régimen Hidrológico Actual

ii. Si el cumplimiento del régimen actual (RHA) es <50% en su magnitud mensual y anual con relación al RHN, se considerará alterado.

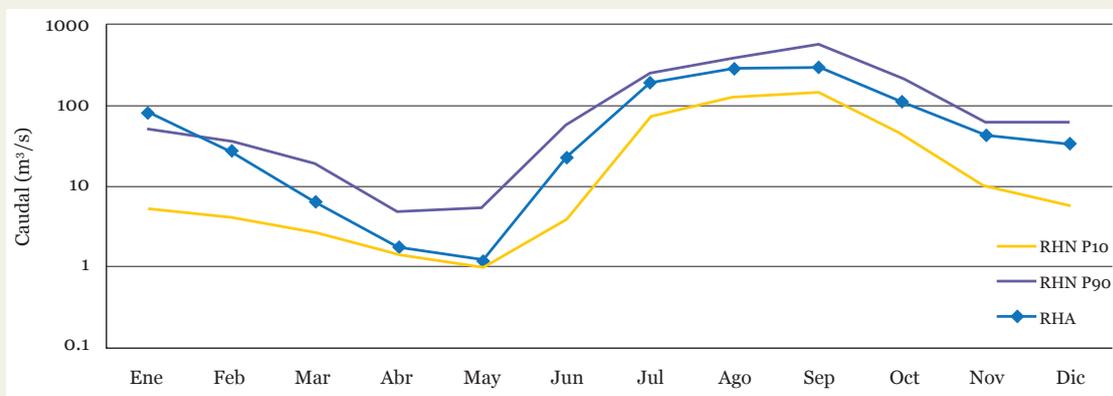


Figura 7. RHN VS RHA. Serie de aportación media mensual de 1976-1996 en escala logarítmica.

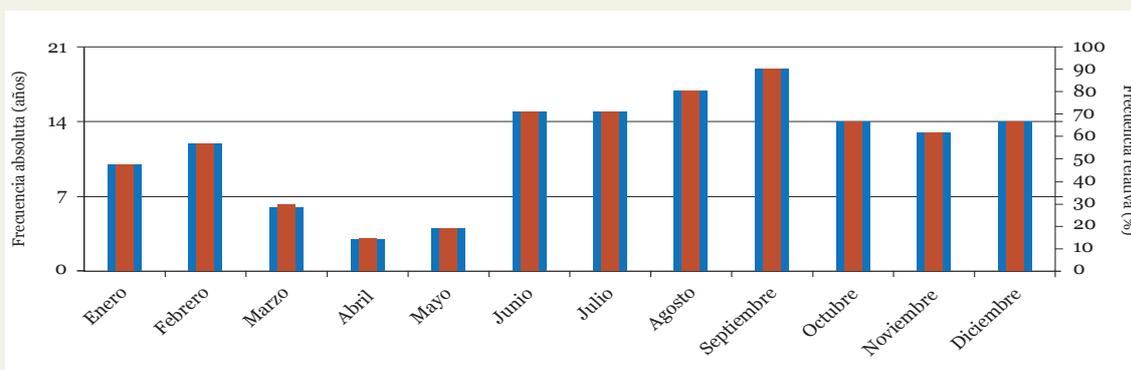


Figura 8. Cantidad de meses y proporción del RHA que se encuentran dentro del intervalo dado por el RHN.

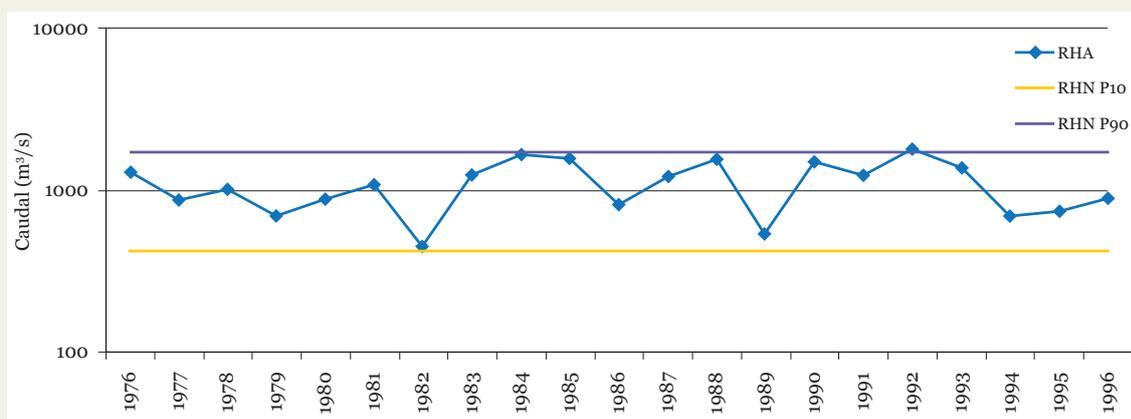


Figura 9. RHN VS RHA. Serie de aportación anual de 1976-1996 en escala logarítmica.

### 1.3 Gestión hídrica. Ríos con presencia de infraestructura

Dependiendo de las características de la infraestructura hidráulica que exista en el área de estudio, la alteración hidrológica podrá afectar a diferentes componentes del régimen. En aquellos casos donde una presa presente un gran volumen de almacenamiento frente a los aportes del río, la modificación podrá afectar a los caudales mínimos de estiaje, a los caudales de la época de lluvias y al régimen de avenidas. Por el contrario, si se trata solamente de una presa derivadora, se verán afectados los caudales mínimos, pero no las avenidas.

En cualquier caso, una propuesta completa de régimen de caudales ecológicos, en el supuesto de una alteración potencial de todos los componentes del régimen hidrológico, debe contemplar al menos los siguientes elementos:

- Régimen de caudales ordinarios estacionales para las condiciones hidrológicas húmedas, medias, secas y muy secas.
- Régimen de avenidas, considerando al menos tres categorías: intraanuales, interanuales de baja magnitud e interanuales de media magnitud con sus correspondientes atributos de magnitud, duración, frecuencia, momento de ocurrencia y tasa de cambio.
- Ambos regímenes deberán ajustarse a objetivos ambientales asociados al estado de conservación deseado, en función de la probabilidad de ocurrencia según diferentes condiciones hidrológicas, es decir, a mayor clase del objetivo ambiental asignada, la probabilidad de ocurrencia de ambos regímenes tendrá mayor similitud con el natural
- Volumen anual de reserva con finalidad ambiental

*Procedimiento a seguir con ejemplo ilustrado*

- Cálculo del régimen de caudales ordinarios estacionales

Para calcular el régimen de caudales ordinarios estacionales, proceder siguiendo los pasos que se muestran a continuación.

- i. Sobre la serie de datos hidrológicos disponible, identificar el periodo que presente un comportamiento hidrológico natural. No se trata de identificar el periodo con condiciones prístinas de la cuenca, sino aquel donde las acciones humanas que modificaban el régimen hidrológico, no afecten significativamente a las comunidades biológicas. Tomando como ejemplo del río San Pedro Mezquital a la altura de su desembocadura, se ha considerado el periodo en régimen natural desde 1944 hasta 1974.
- ii. Organizar la serie de caudales medios mensuales en años hidrológicos (Tabla 12). En caso de partir de una serie hidrológica en caudales diarios, agregarla en valores medios mensuales.
- iii. Sobre las series mensuales ya ordenadas, calcular los percentiles 75, 25, 10 y 0 para cada mes (Tabla 13).
- iv. Asociar el tipo de régimen de caudales ordinarios estacionales (húmedo, medio, seco y muy seco) a los percentiles 75, 25, 10 y 0, respectivamente (Tabla 14 y Figura 10).
- v. Según la clase del objetivo ambiental definida para el río, en la implementación del régimen de necesidades hídricas se utilizarán las frecuencias de ocurrencia que se muestran en la Tabla 15.

**Tabla 12. Caudales medios mensuales. Aportación media anual natural histórica –EMA histórico = 2,753 hm<sup>3</sup>/año – 86 m<sup>3</sup>/seg**

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1944	41.6	32.6	71.5	33.5	20.2	33.5	128.6	291.2	633.0	88.9	127.4	44.2
1945	29.2	37.0	9.6	4.7	3.5	2.9	201.9	219.7	163.5	146.6	13.0	4.3
1946	42.9	7.9	4.7	2.9	2.0	31.8	157.4	208.9	216.3	220.5	34.2	14.1
1947	76.7	10.1	7.3	3.7	3.2	24.9	75.6	308.1	364.8	49.6	13.4	9.1
1948	24.2	21.7	4.5	2.7	5.7	57.4	186.0	246.3	415.0	132.2	62.2	21.0
1949	29.8	14.9	6.3	4.1	3.0	39.2	212.3	175.3	231.2	131.4	15.2	9.3
1950	7.3	5.2	3.7	2.6	1.8	83.9	264.5	151.2	219.4	87.5	10.4	6.6
1951	15.0	4.9	3.9	3.1	2.3	10.2	109.0	120.7	196.6	31.3	10.9	9.5
1952	4.7	3.7	2.8	2.0	1.6	53.8	213.4	207.1	122.9	45.2	8.9	6.5
1953	3.5	69.9	19.1	4.7	2.0	13.1	105.0	191.9	241.2	64.1	12.2	9.1
1954	8.4	4.1	2.7	1.7	1.2	38.1	176.7	226.6	173.2	99.0	12.7	6.6
1955	27.4	6.9	3.7	2.2	1.5	10.2	179.4	450.4	455.0	112.3	15.2	7.2
1956	5.5	4.4	3.0	1.8	6.7	65.0	146.8	167.6	145.0	21.1	7.2	5.2
1957	4.3	3.3	3.4	2.4	1.5	2.8	68.4	81.0	101.7	206.7	17.0	5.7
1958	8.1	6.9	29.6	2.7	1.8	94.9	297.9	248.4	584.8	290.9	221.9	38.5
1959	18.4	7.9	4.5	16.6	2.9	40.8	201.8	372.0	156.9	111.5	37.7	11.3
1960	35.1	6.8	3.6	1.8	1.0	3.9	93.0	182.6	113.6	30.8	13.9	48.8
1961	39.8	10.8	5.0	3.2	1.9	38.6		311.0	348.0	66.5	12.0	9.8
1962	6.5	8.7	3.9	2.4	1.6	54.3	158.6	120.3	247.8	139.9	20.1	13.7
1963	12.2	5.3	4.8	2.5	2.0	34.8	289.7	308.2	346.3	254.7	28.7	62.1
1964	13.9	11.1	5.6	3.3	2.6	26.8	121.0	208.9	460.4	214.7	19.2	17.8
1965	11.1	9.3	4.3	2.4	1.7	5.1	71.0	243.6	336.9	75.3	12.1	68.4
1966	39.2	68.9	10.2	6.1	5.7	40.8	173.8	471.6	475.3	145.6	25.3	19.1
1967	51.3	11.3	6.2	4.2	2.0	22.0	178.8	376.5	604.2	105.0	22.3	46.8
1968	14.4	36.1	175.9	13.0	6.3	12.7	231.4	353.7	722.1	202.5	57.4	138.8
1969	56.7	21.9	8.8	5.0	3.5	4.2	161.7	150.5	254.9	297.3	22.4	102.5
1970	80.8	50.4	19.9	5.4	2.8	30.0	207.3	365.9	427.8	222.2	25.2	11.8
1971	8.8	6.2	4.0	2.6	2.1	42.2	172.0	258.3	297.0	180.3	21.3	12.0
1972	14.2	7.0	4.6	2.7	2.2	10.4	69.1	109.7	205.3	42.4	202.0	51.6
1973	54.4	26.4	12.3	4.4	3.3	15.1	145.1	614.0	456.5	153.0	39.5	12.8
1974	9.8	6.8	4.3	2.7	4.5	38.2	145.0	176.7	198.0	88.9	11.2	35.4

**Tabla 13. Régimen hidrológico a partir del cálculo de percentiles. Caudal en m<sup>3</sup>/seg.**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P0	3.5	3.3	2.7	1.7	1.0	2.8	68.4	81.0	101.7	21.1	7.2	4.3
P10	5.5	4.4	3.4	2.0	1.5	4.2	75.2	120.7	145.0	42.4	10.9	6.5
P25	8.6	6.5	3.9	2.5	1.8	11.5	122.9	176.0	197.3	70.9	12.5	9.1
P75	39.5	21.8	9.2	4.6	3.4	40.8	201.9	309.6	441.4	191.4	31.5	41.4

**Tabla 14. Régimen de caudales ordinarios estacionales**

Condición hidrológica anual	Percentil	Caudal (m³/s)											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Seco	P0	3.5	3.3	2.7	1.7	1.0	2.8	68.4	81.0	101.7	21.1	7.2	4.3
Seco	P10	5.5	4.4	3.4	2.0	1.5	4.2	75.2	120.7	145.0	42.4	10.9	6.5
Medio	P25	8.6	6.5	3.9	2.5	1.8	11.5	122.9	176.0	197.3	70.9	12.5	9.1
Húmedo	P75	39.5	21.8	9.2	4.6	3.4	40.8	201.9	309.6	441.4	191.4	31.5	41.4

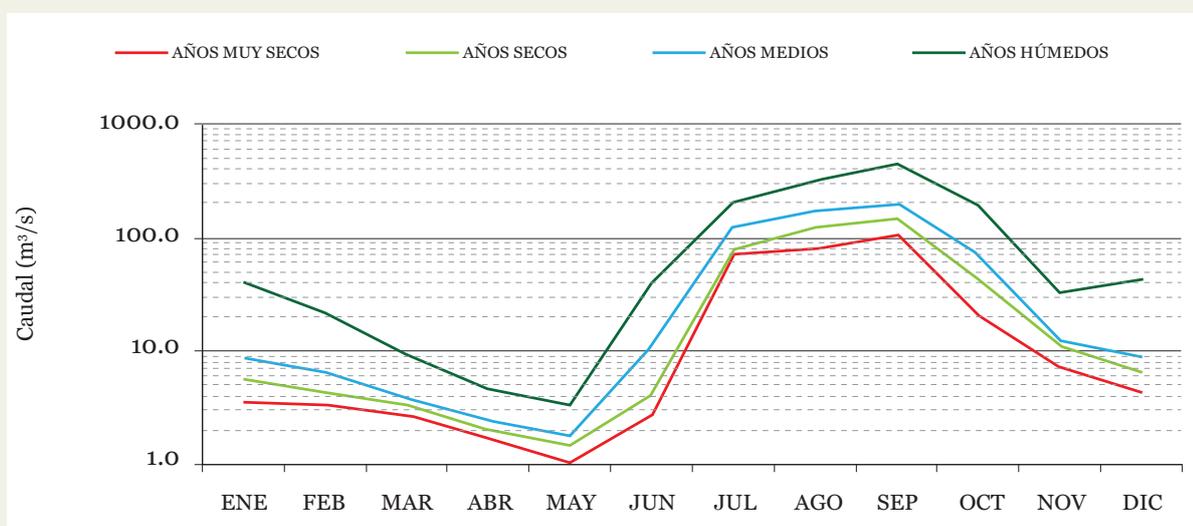


Figura 10. Régimen de caudales ordinarios estacionales

**Tabla 15. Criterios para la integración de los caudales ordinarios a partir de las frecuencias de ocurrencia de distintas condiciones hidrológicas para distintos niveles de conservación**

Objetivo ambiental	Nivel de conservación	Tipo de régimen de caudales ordinarios estacionales			
		Húmedo	Medio	Seco	Muy seco
A	Muy bueno	0.1	0.4	0.3	0.2
B	Bueno	0.0	0.2	0.4	0.4
C	Moderado	0.0	0.0	0.4	0.6
D	Deficiente	0.0	0.0	0.0	1.0

vi. Una vez obtenidos los caudales ordinarios estacionales y definido el objetivo ambiental para la cuenca de análisis, los regímenes de caudales ordinarios estacionales serán definidos a partir del volumen anual de cada uno multiplicado por sus correspondientes frecuencias de ocurrencia. Este volumen se determina mediante la siguiente expresión:

$$V_{t_{Coe}} = (f_{CoeH} \times V_{CoeH}) + (f_{CoeM} \times V_{CoeM}) + (f_{CoeS} \times V_{CoeS}) + (f_{CoeMS} \times V_{CoeMS})$$

En donde:  $V_{t_{Coe}}$  = Volumen total del caudal ordinario estacional;  $f_{Coe}$  = frecuencia de ocurrencia de un régimen “i”;  $V_{Coe}$  = Volumen del régimen de caudales ordinarios estacionales “i”, siendo “i” las condiciones húmedas, medias, secas y muy secas.

Así por ejemplo, si se toma en consideración un objetivo ambiental clase “A”, el régimen de caudales ordinarios estacionales para años bajo condiciones hidrológicas húmedas, medias, secas y muy secas, se muestra en la Tabla 16.

**Tabla 16. Régimen de caudales ordinarios estacionales para un objetivo de conservación clase “A”**

Tipo de año	Muy secos		Secos		Medios		Húmedos	
Percentil	Po		P10		P25		P75	
Unidad	m <sup>3</sup> /s	hm <sup>3</sup> /mes	m <sup>3</sup> /s	hm <sup>3</sup> /mes	m <sup>3</sup> /s	hm <sup>3</sup> /mes	m <sup>3</sup> /s	hm <sup>3</sup> /mes
Enero	3	9	5	15	9	23	40	106
Febrero	3	8	4	11	7	16	22	53
Marzo	3	7	3	9	4	11	9	25
Abril	2	5	2	5	2	6	5	12
Mayo	1	3	1	4	2	5	3	9
Junio	3	7	4	11	12	30	41	106
Julio	68	183	75	201	123	329	202	541
Agosto	81	217	121	323	176	471	310	829
Septiembre	102	264	145	376	197	511	441	1,144
Octubre	21	57	42	114	71	190	191	513
Noviembre	7	19	11	28	12	32	31	82
Diciembre	4	12	6	17	9	24	41	111
Volumen del régimen de caudal ordinario estacional ( $V_{t_{coe}}$ hm <sup>3</sup> /año) para cada condición	790		1,114		1,649		3,529	
% Esc. medio anual	29		41		61		130	
Frecuencia de ocurrencia ( $f_{coe}$ )	0.2		0.3		0.4		0.1	
Volumen total del caudal ordinario estacional ( $V_{t_{coe}}$ ) para efecto del balance de disponibilidad de la cuenca	1,505 hm <sup>3</sup> al año							

- Cálculo del régimen de avenidas

Con este análisis se trata de identificar aquellas avenidas que activan procesos clave (ecológicos, hidrológicos y geomorfológicos) necesarios para mantener a largo plazo los ecosistemas. El régimen de avenidas en un río queda configurado por su amplio espectro a lo largo del tiempo. En el estudio de los caudales ecológicos se considera necesario identificar al menos tres tipos de avenidas y caracterizarlas mediante sus correspondientes atributos: magnitud, duración, frecuencia, momento de ocurrencia y tasa de cambio.

La aproximación que se presenta a continuación analiza el régimen de avenidas en condiciones naturales y adopta una propuesta que se asemeja más o menos al patrón natural, según los objetivos de conservación. Los dos pasos para calcular este régimen de avenidas son la tipificación y caracterización de avenidas y la adopción de una propuesta para el caso en cuestión.

- Tipificación y caracterización de avenidas

Para separar los tipos de avenidas se utiliza inicialmente el criterio de la magnitud, su caudal máximo, y su probabilidad de ocurrencia a lo largo del tiempo (frecuencia).

La caracterización de las avenidas consiste en describir su duración, momento de ocurrencia y la tasa de cambio para cada tipo de avenida.

Los pasos son los siguientes:

- i. Sobre la serie de datos hidrológicos disponible, identificar el periodo que presente un comportamiento hidrológico donde no se encuentre afectado significativamente el régimen de avenidas. En el ejemplo del río San Pedro Mezquital se ha considerado este el periodo desde 1944 hasta 2003.
- ii. Para cada año natural identificar el caudal máximo diario (Figura 11), de esta forma se obtiene una serie de caudales máximos anuales (60 años en el ejemplo del río San Pedro).

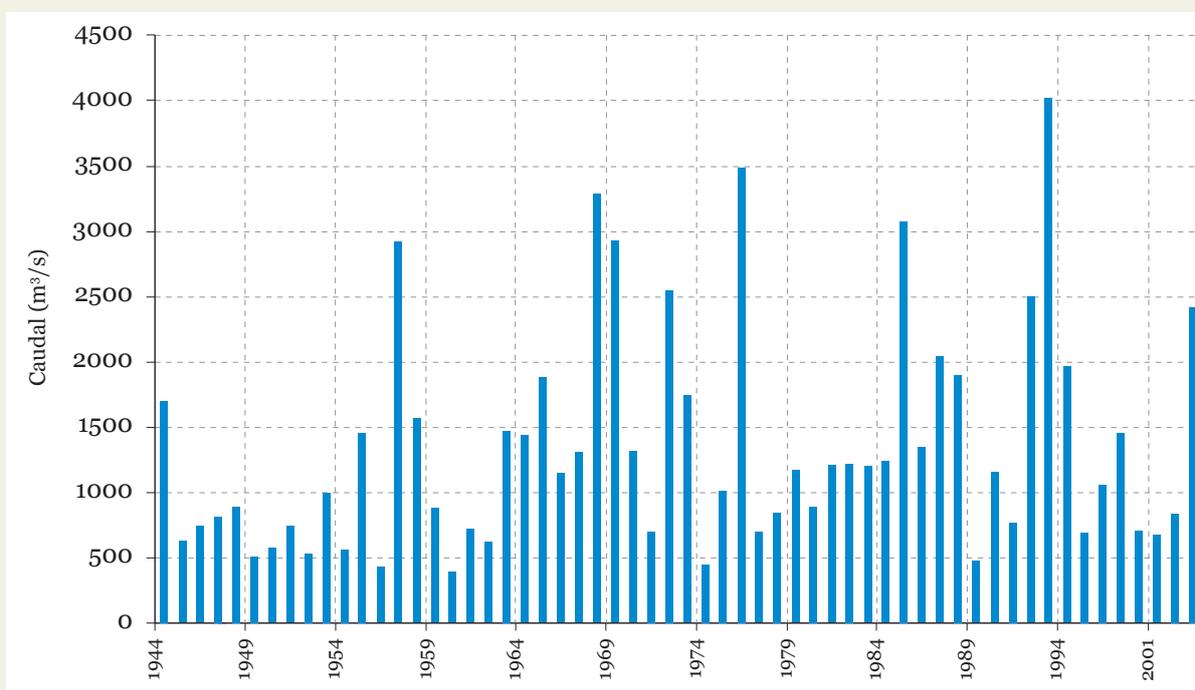


Figura 11. Caudal máximo diario en la serie hidrológica ejemplo (Río San Pedro Mezquital).

- iii. Determinar la magnitud de las avenidas asociadas los siguientes periodos de retorno:

- Avenida con periodo de retorno de 1 año (categoría I)
- Avenida con periodo de retorno de 1.5 años (categoría II)
- Avenida con periodo de retorno de 5 años (categoría III)

Para identificar la magnitud de las avenidas tipo, tomar los caudales máximos anuales de la serie histórica y comprobar los ajustes según diferentes distribuciones estadísticas (Gumbel Tipo I, Log Pearson Tipo III, Log Normal, etc.). En la Figura 12 se muestran gráficamente las diferentes distribuciones a partir de la serie de datos históricos.

La Tabla 17 muestra que la avenida anual (categoría I) se sitúa en un valor de unos 350 m<sup>3</sup>/s, la avenida con periodo de retorno de 1.5 años (categoría II) 800 m<sup>3</sup>/s, y 1,900 m<sup>3</sup>/s la avenida con periodo de retorno de 5 años (categoría III).

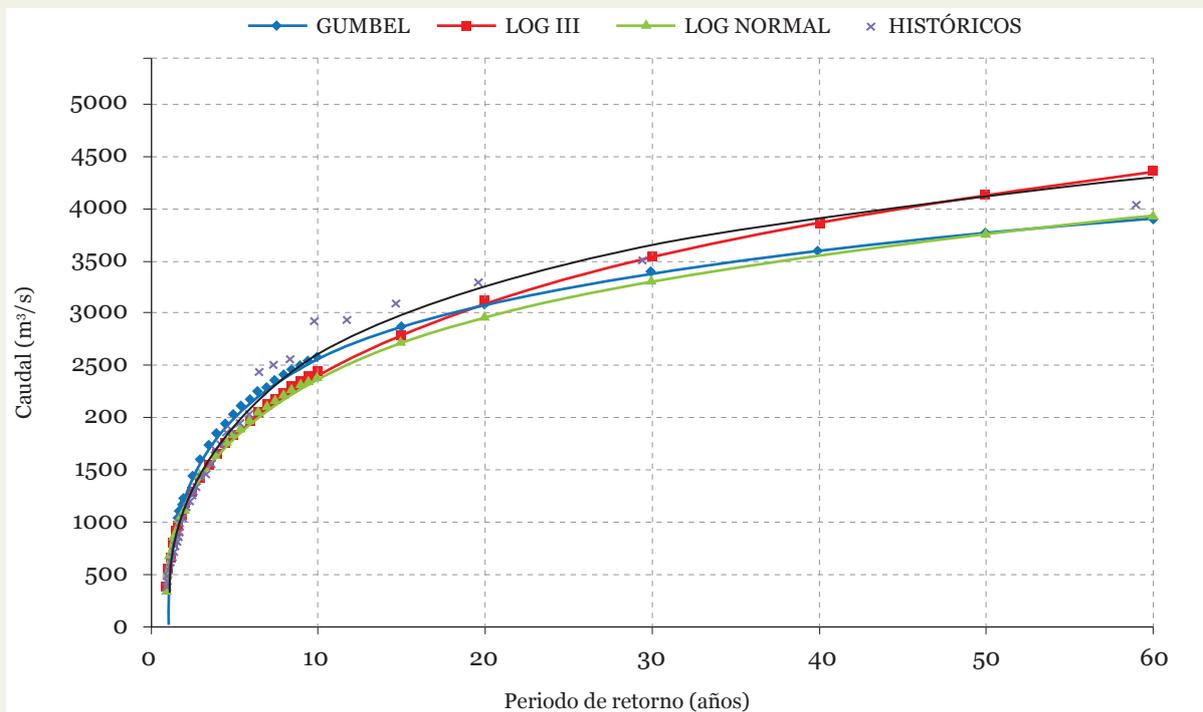


Figura 12. Magnitud VS Periodo de retorno. Distribuciones estadísticas a partir de la serie histórica

- iv. A partir de los umbrales identificados ( $350 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $800 \text{ m}^3/\text{s}$ , y  $1,900 \text{ m}^3/\text{s}$ ), se realiza un análisis de valores sobre umbral, uno por cada tipo o categoría sobre la serie de caudales diarios (Figura 13).

Tabla 17. Ajuste sobre la magnitud de las avenidas para distintos periodos de retorno

PERIODO DE RETORNO	m <sup>3</sup> /s	DISTRIBUCION ESTADISTICA				PROMEDIO	VALOR SELECCIONADO
		HISTORICOS	GUMBEL	LOG III	LOG NORMAL		
	1.0	393.7		376.5	342.7	371.0	350.0
	1.5	814.2	879.3	860.4	880.2	858.5	800.0
	2.0	1,154.6	1,211.4	1,097.9	1,130.5	1,148.6	
	5.0	1,903.2	2,028.6	1,830.4	1,850.1	1,903.1	1,900.0
	10.0	2,918.6	2,569.8	2,432.8	2,394.0	2,578.8	
	20.0	3,279.5	3,088.8	3,105.1	2,961.7	3,108.8	

- v. Para conocer la duración de las avenidas para cada categoría, contabilizar el número de días seguidos con valor por encima de sus correspondientes umbrales (los días seguidos constituyen eventos – Tabla 18).

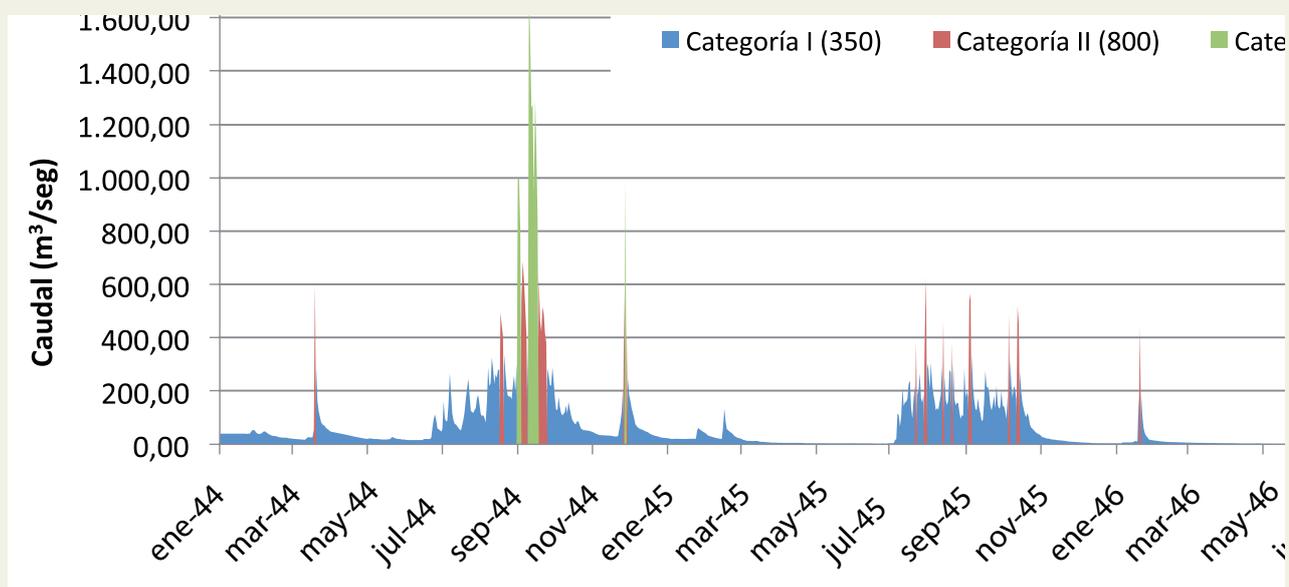


Figura 13. Valores umbral sobre la serie de caudales diarios

Tabla 18. Duración de los eventos por categoría

	Categoría I		Categoría II		Categoría III	
	Nº eventos	%	Nº eventos	%	Nº eventos	%
<b>1 día</b>	126	38.0	48	57.8	11	78.6
<b>2 días</b>	85	25.6	14	16.9	3	21.4
<b>3 días</b>	35	10.5	8	9.6	0	0.0
<b>4 días</b>	19	5.7	1	1.2	0	0.0
<b>5 días</b>	11	3.3	4	4.8	0	0.0
<b>6 días</b>	5	1.5	3	3.6	0	0.0
<b>7 días</b>	6	1.8	2	2.4	0	0.0
<b>&gt; 7 días</b>	45	13.6	3	3.6	0	0.0
	<b>332</b>	<b>100</b>	<b>83</b>	<b>100</b>	<b>14</b>	<b>100</b>

- vi. Para conocer el momento de ocurrencia, contabilizar para cada categoría los meses en los que se producen. Cuando los tres tipos de avenida se presenten en el calendario de forma similar, se podrá considerar una nueva columna que aglutine por meses todos los eventos de avenida (categoría I + categoría II + categoría III – Tabla 19).
- vii. Para determinar la tasa de cambio de los caudales diarios en los eventos de avenidas, sobre la serie de caudales diarios (1944-2003) separar inicialmente los días de avenida (caudal mayor de 350 m³/s) del resto de días. Sobre esta nueva serie (incluye sólo los caudales de avenida) calcular las tasas de cambio entre días consecutivos mediante la ecuación (Figura 14):

$$Tc = ((Q_i - Q_{i+1}) / Q_i) \times 100$$

En donde Tc: Tasa de cambio (%);  $Q_i$ : Caudal medio en un día “i”;  $Q_{i+1}$ : Caudal medio del día siguiente. En esta serie aparecen tasas de incrementos positivos (curva de ascenso en los eventos de avenida) y negativos (curva de descenso).

**Tabla 19. Momento de ocurrencia de las avenidas por cada categoría**

	Categoría I		Categoría II		Categoría III		Todas las categorías	
	Nº eventos	%	Nº eventos	%	Nº eventos	%	Nº eventos	%
ENE	41	3.0	20	11.1	5	29.4	66	4.2
FEB	16	1.2	1	0.6	0	0.0	17	1.1
MAR	5	0.4	2	1.1	0	0.0	7	0.4
ABR	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
MAY	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
JUN	8	0.6	0	0.0	0	0.0	8	0.5
JUL	158	11.6	12	6.7	0	0.0	170	10.9
AGO	431	31.5	44	24.4	1	5.9	476	30.4
SEP	560	41.0	71	39.4	5	29.4	636	40.7
OCT	107	7.8	19	10.6	4	23.5	130	8.3
NOV	25	1.8	9	5.0	2	11.8	36	2.3
DIC	16	1.2	2	1.1	0	0.0	18	1.2
	<b>1,367</b>	<b>100</b>	<b>180</b>	<b>100</b>	<b>17</b>	<b>100</b>	<b>1,564</b>	<b>100</b>

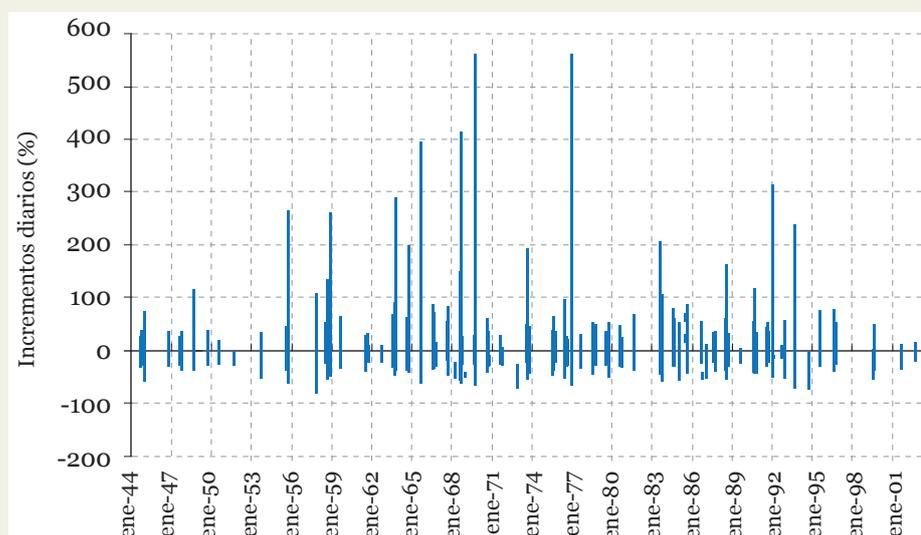


Figura 14. Tasa de cambio en los caudales diarios por eventos de avenidas

ii. *Adopción de una propuesta de régimen de avenidas*

La adopción de una propuesta de avenidas consiste en identificar el tipo y las características de las avenidas que formarán parte de la propuesta global de caudales ecológicos.

Los criterios serán los siguientes:

- a. La **magnitud** representativa de los tres tipos de avenidas es aquella que ha servido para identificarlas, es decir, la avenida categoría I se sitúa en un valor

de unos 350 m<sup>3</sup>/s, la avenida de categoría II son unos 800 m<sup>3</sup>/s, y 1,900 m<sup>3</sup>/s la avenida de categoría III.

- b. Para adoptar una **duración** representativa de cada tipo de avenida, se han agrupado los eventos que sumaban aproximadamente el 75% de los casos. Entre 1-3 días representa el 73% de los casos en las avenidas tipo I, entre 1-2 días el 74.7% de los casos en las avenidas tipo II mientras que 1 día representa el 78.6% de los casos de las avenidas tipo III.
- c. Para adoptar un **momento de ocurrencia** representativo de las avenidas, se han agrupado los meses que sumaban aproximadamente el 90% de los días en los que tuvo lugar una avenida. Entre los meses de julio y octubre suman el 90.3% de los días donde se registró un evento de avenida.
- d. Para adoptar una **tasa de cambio** representativa de los eventos de avenida, seleccionar para los incrementos positivos el percentil 90 (tasa de ascenso sólo superada en el 10% de las ocasiones) y para los incrementos negativos el percentil 10 (que al ser negativo también implica que la tasa de descenso sólo superada en el 10% de las ocasiones). En el ejemplo del río San Pedro Mezquital, la tasa de ascenso en las avenidas se sitúa aproximadamente en el 75%, mientras que la tasa de descenso de las avenidas se sitúa en torno al 40% (Figura 15).

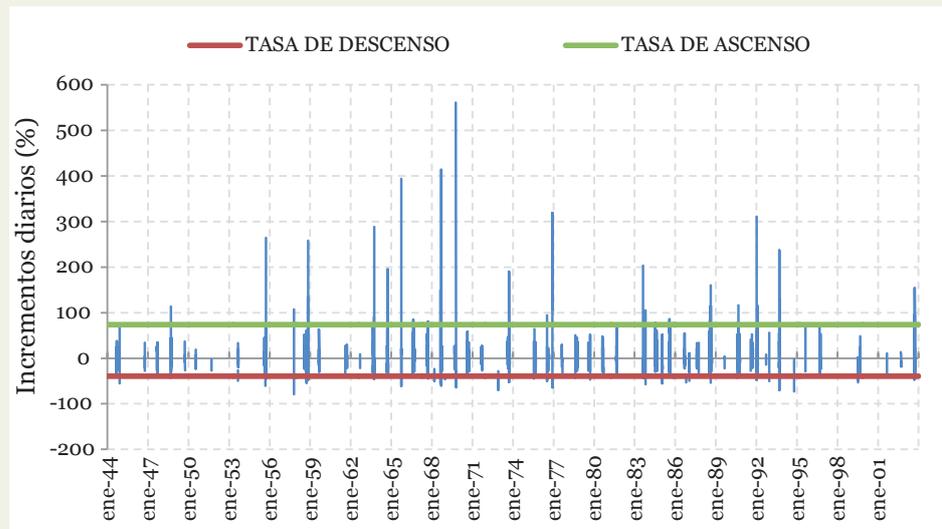


Figura 15. Tasas de cambio ascendentes y descendentes para los eventos de avenidas

- e. La **frecuencia de ocurrencia** de las avenidas sirve para ajustar la propuesta de régimen de avenidas a los objetivos de conservación. Tomando como referencia la ocurrencia de avenidas tipo para un periodo hipotético de 10 años, la frecuencia de cada tipo de avenidas en función de los objetivos de conservación se muestra en la Tabla 20.

**Tabla 20. Criterios de integración de las avenidas tipo a partir de sus frecuencias de ocurrencia según objetivos ambientales**

Régimen de avenidas			
Objetivo ambiental	Categoría I	Categoría II	Categoría III
A	10	6	2
B	5	3	2
C	3	2	1
D	2	1	1

Una vez obtenido el régimen de avenidas para estas condiciones y tras definir el objetivo de conservación deseado para la cuenca de análisis, se calcula el régimen de avenidas a partir del volumen anual de cada tipo de avenida multiplicado por sus respectivas frecuencias de ocurrencia por medio de la siguiente expresión:

$$V_{t_{Ra}} = (f_{aI} \times d_{aI} \times V_{aI}) + (f_{aII} \times d_{aII} \times V_{aII}) + (f_{aIII} \times d_{aIII} \times V_{aIII})$$

En donde:  $V_{t_{Ra}}$  = Volumen total del régimen de avenidas;  $f_a$  = frecuencia de ocurrencia de una avenida "i";  $d_a$  = duración de una avenida "i";  $V_a$  = Volumen de una avenida "i", siendo "i" las avenidas tipo I, II y III.

Así por ejemplo, un régimen de avenidas que considere las tres categorías señaladas con sus respectivos atributos de magnitud, duración, frecuencia, momento de ocurrencia y tasa de cambio, conforme a un objetivo de conservación clase "A", se muestra en la Tabla 21:

**Tabla 21. Régimen de avenidas conforme a un objetivo de conservación clase "A"**

Atributo del régimen hidrológico		Categoría I	Categoría II	Categoría III
Magnitud	m <sup>3</sup> /s	350	800	1,900
	hm <sup>3</sup> al día ( $V_a$ )	30	69	164
Frecuencia de ocurrencia ( $f_a$ )		10	6	2
Duración (número de días - $d_a$ )		3	2	1
Momento de ocurrencia		Jul-Oct		
Tasa de cambio (%)	Ascenso	75		
	Descenso	40		
$V_{t_{Ra}}$ a 10 años		2,065		
$V_{t_{Ra}}$ al año		206 hm <sup>3</sup>		

Considerando tanto el régimen de caudales ordinarios estacionales, como el de avenidas, y si se realiza una proyección hipotética para un horizonte temporal de 10 años (Figura 16), se asegura en el ejemplo dado suficiente representación de todos los componentes del régimen hidrológico conforme a la variabilidad natural del río.

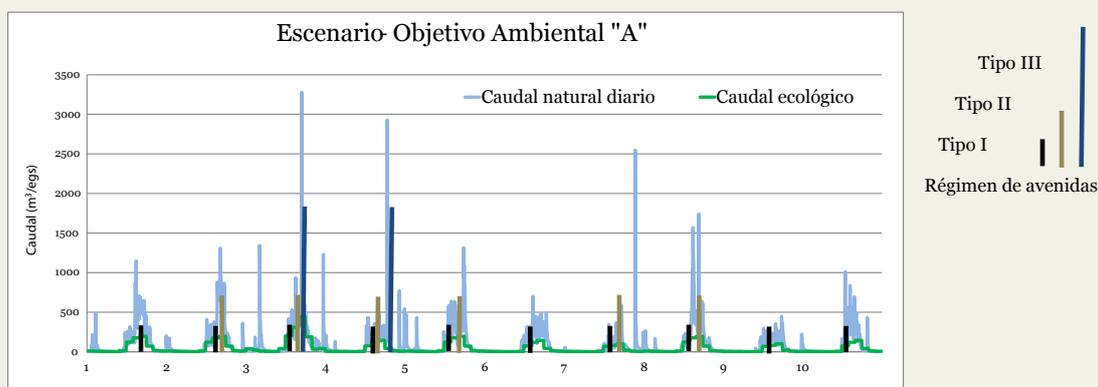


Figura 16. Representación gráfica del caudal ecológico proyectado a 10 años

Resumen de caudal ecológico para el ejemplo dado (Tablas 22, 23 y Cuadro 1)

**Tabla 22. Volumen anual a partir del régimen de caudales ordinarios estacionales para años con condiciones hidrológicas húmedas, medias, secas y muy secas.**

Tipo de año	Muy secos	Secos	Medios	Húmedos
Percentil	P <sub>0</sub>	P <sub>10</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>75</sub>
Unidad	hm <sup>3</sup> /mes	hm <sup>3</sup> /mes	hm <sup>3</sup> /mes	hm <sup>3</sup> /mes
Volumen del régimen de caudal ordinario estacional (V <sub>t<sub>Coe</sub></sub> hm <sup>3</sup> /año)	790	1,114	1,649	3,529
% Escurrimiento medio anual	29	41	61	130
Frecuencia de ocurrencia (F <sub>Coe</sub> )	0.2	0.3	0.4	0.1
<b>Volumen total del caudal ordinario estacional (V<sub>t<sub>Coe</sub></sub>) a efecto del balance de disp. de la cuenca</b>	<b>1,505 hm<sup>3</sup> al año</b>			

**Tabla 23. Régimen de avenidas para tres categorías de dadas (intraanuales, interanuales de baja magnitud e interanuales de media magnitud) con sus correspondientes atributos de magnitud, duración, frecuencia, momento de ocurrencia y tasa de cambio.**

Atributo del régimen hidrológico		Categoría I	Categoría II	Categoría III
Magnitud	m <sup>3</sup> /s	350	800	1,900
	hm <sup>3</sup> al día (V <sub>a</sub> )	30	69	164
Frecuencia de ocurrencia (f <sub>a</sub> )		10	6	2
Duración (número de días - d <sub>a</sub> )		3	2	1
Momento de ocurrencia			Jul-Oct	
Tasa de cambio (%)	Ascenso	75		
	Descenso	40		
V <sub>t<sub>Ra</sub></sub> a 10 años			2,065	
V <sub>t<sub>Ra</sub></sub> al año			206	

**Cuadro 1. A efecto de integración del Volumen final de reserva (Vfr) o caudal ecológico al balance de disponibilidad de la cuenca**

$$\begin{aligned} Vfr &= Vt_{Coe} + Vt_{Ra} \\ Vfr &= 1,505 + 206 = 1,711 \text{ hm}^3/\text{año} \\ Vfr &= 1,711 \text{ hm}^3/\text{año} = 63\% \text{ del EMA} \end{aligned}$$

## 2. Casos en humedales

### 2.1 Planificación hídrica. Humedales sin presencia de infraestructura

Dada la existencia de humedales de relevancia para la conservación ecológica, en casos de planificación hídrica de humedales sin presencia de infraestructura, se deberán determinar los volúmenes anuales de agua reservada con finalidad ambiental. La información requerida para determinar las necesidades hídricas de los humedales son:

- Hidrológica. Serie larga y representativa en régimen natural de las siguientes variables hidrológicas: escurrimiento superficial al humedal, escurrimiento subterráneo al humedal y escurrimiento superficial a la salida del humedal
- Climática. Serie suficientemente larga y representativa de datos para conocer las siguientes variables: evaporación y precipitación

Las necesidades hídricas de los humedales se deberán establecer como las “pérdidas” por evaporación menos la precipitación efectiva.

#### *Procedimiento a seguir*

El procedimiento para calcular estas necesidades hídricas será el siguiente:

- a. Determinar la superficie de la cuenca del humedal y el acuífero asociado (si es el caso).
- b. Determinar la superficie media del humedal.
- c. Determinar las siguientes variables hidrológicas y climáticas:
  - i. Escurrimiento medio superficial del humedal.
  - ii. Descarga natural al humedal de la unidad hidrogeológica.
  - iii. Precipitación sobre la superficie media del humedal considerando la precipitación media de la zona.
  - iv. Evaporación directa, multiplicando la superficie media del humedal por una lámina de agua equivalente a una fracción de la evaporación potencial medida en las estaciones climatológicas.
  - v. Descarga media del humedal hacia otras corrientes

Para los puntos (i), (iii) y (v) de este inciso, se sugiere utilizar el procedimiento establecido por el Apéndice Normativo A de la NOM-011-CNA-2000, relativo a los métodos para determinar el volumen medio anual de escurrimiento natural. Por otra parte, para el punto (ii) se podrá utilizar el procedimiento establecido por el Apéndice Normativo B de la misma NOM, relativo al método para determinar la recarga total media anual de la unidad hidrogeológica.

- d. En caso de ser necesario, determinar las variables con ausencia de información a partir del balance hídrico estacionario del humedal. Para ello se podrá utilizar la siguiente expresión:

$$P + E_{sp} + E_{sb} = ET + E_s$$

En donde: P = Precipitación directa en la superficie del espejo del humedal (cubeta);  $E_{sp}$  = E scorrimiento superficial que entra en el humedal;  $E_{sb}$  = E scorrimiento subterráneo que entra en el humedal; ET = Evaporación del humedal;  $E_s$  = E scorrimiento superficial que sale del humedal

- e. En este nivel de análisis se asume que las necesidades hídricas del humedal son equivalentes a sus pérdidas de agua, deduciendo la precipitación directa sobre su espejo o cubeta. Estas necesidades hídricas se deducirán a partir de la siguiente expresión:

$$N_h = ET + E_s - P$$

En donde:  $N_h$  = Necesidades hídricas del humedal; ET = Evaporación del humedal;  $E_s$  = E scorrimiento superficial que sale del humedal; P = Precipitación directa en el área de la cubeta

- f. A efectos de su consideración en los estudios de disponibilidad, este volumen de reserva  $N_h$  será repartido proporcionalmente entre aguas superficiales (como caudal ecológico) y aguas subterráneas (descarga natural comprometida por razones ecológicas) según su contribución respectiva al humedal.

## 2.2 Gestión hídrica. Humedales con presencia de infraestructura

En todos aquellos humedales donde exista un uso del agua de las aguas superficiales o subterráneas (bombeos, derivaciones, presas, etc.) que afecten significativamente su régimen hidrológico, y en consecuencia a los ecosistemas acuáticos asociados, será necesario determinar un régimen de necesidades hídricas para el humedal.

La propuesta completa deberá contener los siguientes elementos:

- Régimen del volumen ordinario estacional del humedal, así como los niveles de lámina de agua para condiciones hidrológicas húmedas, medias y secas
- Ajuste del régimen anterior a objetivos ambientales asociados al estado de conservación deseado, en función de la probabilidad de ocurrencia según diferentes condiciones hidrológicas
- Volumen anual de reserva con finalidad ambiental

La información específica para esta determinación es:

- Hidrológica. Serie mensual de al menos 20 años en régimen natural de las siguientes variables hidrológicas: escurrimiento superficial al humedal, escurrimiento subterráneo al humedal y escurrimiento superficial a la salida del humedal. Esta información hidrológica podrá ser obtenida mediante modelización, para lo cual se sugiere utilizar las especificaciones de la NOM 011-CNA-2000
- Información climática. Serie mensual de al menos 20 años de datos para conocer la evaporación y precipitación
- Batimetría del humedal y sus curvas de llenado/vaciado con correspondientes relaciones de cota, superficie y volumen. Siempre que ofrezcan suficiente nivel

de precisión, se podrán utilizar batimetrías obtenidas a partir de un modelo digital del terreno

- Se podrá disponer de una serie de niveles de lámina de agua del humedal y fotografías aéreas o imágenes de teledetección para calibrar el modelo hidrológico del humedal. Cuando sea posible también se dispondrá de una serie de niveles freáticos para entender el comportamiento de las aguas subterráneas

El procedimiento conceptual para determinar el régimen de necesidades hídricas del humedal se detalla a continuación:

1. Determinar el objetivo ambiental del humedal
2. Determinar la superficie de la cuenca del humedal y el acuífero asociado al mismo (si es el caso), así como la superficie media del humedal
3. Definir una serie mensual de al menos 20 años para cada una de las siguientes variables hidrológicas y climáticas, siempre y cuando contribuyan significativamente a la dinámica hidrológica del humedal:
  - i. Esguerrimiento medio superficial al humedal
  - ii. Descarga natural al humedal de la unidad hidrogeológica
  - iii. Precipitación sobre la superficie media del humedal, considerando la precipitación media de la zona
  - iv. Evaporación directa, multiplicando la superficie media del humedal por una lámina de agua equivalente a una fracción de la evaporación potencial medida en las estaciones climatológicas
  - v. Descarga media del humedal hacia otras corrientes
  - vi. Curvas de llenado/vaciado con correspondientes relaciones de cota, superficie y volumen a partir de la batimetría del humedal

En los casos de los puntos (i), (iii) y (v) de este inciso, se sugiere utilizar el procedimiento establecido por el Apéndice Normativo A de la NOM-011-CNA-2000 relativo a los métodos para determinar el volumen medio anual de esguerrimiento natural. Por otra parte, para el punto (ii) se podrá utilizar el procedimiento establecido por el Apéndice Normativo B de la misma NOM, relativo al método para determinar la recarga total media anual de la unidad hidrogeológica.

4. A partir del balance hídrico mensual, determinar la serie de volúmenes del humedal utilizando la siguiente expresión:

$$V_i = V_{i-1} + (P_i \times S_{i-1}) + E_{spi} + E_{sbi} - (ET_i \times S_{i-1}) - E_{si}$$

En donde:  $V_i$  = Volumen de agua del humedal para un mes "i";  $V_{i-1}$  = Volumen de agua del humedal resultante del mes anterior;  $P_i$  = Precipitación directa sobre la cubeta un mes "i";  $S_{i-1}$  = Superficie del humedal del mes anterior a "i" (obtenido a partir de las curvas de llenado);  $E_{spi}$  = Esguerrimiento superficial que entra en el humedal el mes "i";  $E_{sbi}$  = Esguerrimiento subterráneo que entra al humedal el mes "i";  $ET$  = Evaporación del humedal el mes "i";  $E_{si}$  = Esguerrimiento superficial que sale del humedal el mes "i"

En caso de que se conozcan otras variables hidrológicas que ejerzan una influencia significativa en el balance del humedal (p.e. infiltración) y se disponga de información, se incorporarán en la ecuación del balance hídrico.

En la Tabla 24 se muestra un ejemplo. Obsérvese que en el caso de la precipitación y evaporación se presentan directamente sus volúmenes, una vez multiplicada la superficie del humedal del mes por la lámina correspondiente de precipitación y evaporación.

**Tabla 24. Valores mensuales de las variables utilizadas para el balance hídrico de un humedal. Volúmenes en decametros cúbicos (Dm<sup>3</sup>) y superficie en hectáreas (ha)**

MES/AÑO	V <sub>i</sub>	P <sub>i</sub>	E <sub>SPi</sub>	E <sub>SBi</sub>	EV <sub>i</sub>	E <sub>Si</sub>	S <sub>i</sub>	Balance
10/1986	500.00	0.01	30.61	0.00	0.03	0.00	25.00	30.60
11/1986	525.45	4.40	4.51	0.00	0.01	0.00	26.67	8.89
12/1986	543.09	4.93	5.03	0.00	15.13	0.00	26.81	-5.17
01/1987	585.37	19.58	20.05	0.00	22.16	0.00	26.73	17.47
02/1987	596.57	7.18	7.20	0.00	18.10	0.00	27.03	-3.72
03/1987	591.66	0.86	0.86	0.00	30.50	0.00	26.96	-28.78
04/1987	587.15	1.45	1.50	0.00	38.80	0.00	26.50	-35.86
05/1987	623.67	20.82	21.94	0.00	49.29	0.00	26.18	-6.54
06/1987	584.65	2.24	2.36	0.00	65.30	0.00	26.12	-60.71
07/1987	518.41	3.94	4.40	0.00	76.53	0.00	25.08	-68.19
08/1987	452.33	2.78	3.46	0.00	82.24	0.00	23.04	-76.00
09/1987	424.97	4.28	6.60	0.00	64.81	0.00	19.67	-53.92
10/1987	457.77	9.32	17.66	0.00	33.95	0.00	16.57	-6.97
11/1987	470.64	5.51	10.79	0.00	17.71	0.00	16.13	-1.41
12/1987	501.19	8.04	15.81	0.00	16.50	0.00	16.04	7.34
01/1988	544.83	10.16	19.30	0.00	13.79	0.00	16.51	15.67
02/1988	551.54	1.24	2.18	0.00	10.59	0.00	17.47	-7.17
03/1988	554.29	1.00	1.83	0.00	21.63	0.00	17.04	-18.80
04/1988	636.91	20.88	41.67	0.00	21.92	0.00	15.85	40.63
05/1988	667.42	5.83	9.64	0.00	27.36	0.00	18.33	-11.89
06/1988	696.93	16.83	29.29	0.00	37.57	0.00	17.64	8.55
07/1988	624.30	1.02	1.70	0.00	51.68	0.00	18.13	-48.96
08/1988	551.37	0.23	0.49	0.00	56.26	0.00	15.08	-55.54
09/1988	530.13	0.21	0.62	0.00	35.69	0.00	11.03	-34.86

Las curvas de llenado/vaciado del humedal permiten conocer las superficies y profundidades correspondientes para un volumen de agua determinado (Figura 17). De esta forma se pueden calcular con mucha mayor precisión los valores de la precipitación y evaporación, parámetros de gran peso en el balance del humedal.

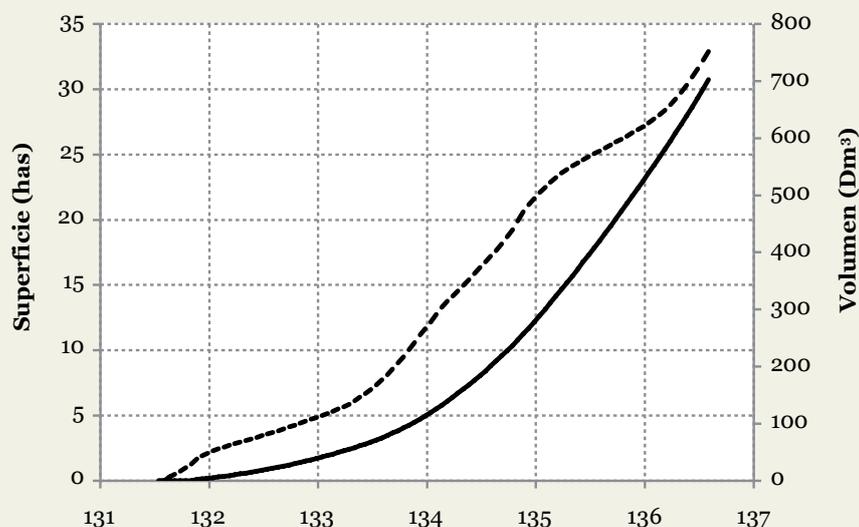


Figura 17. Curva de relación volumen VS superficie

*Procedimiento a seguir mediante ejemplo ilustrado*

- Cálculo del régimen de volumen ordinario estacional del humedal
  - i. Sobre la serie mensual de volúmenes obtenida en la sección anterior, determinar el régimen de necesidades hídricas del humedal para cada condición hidrológica anual (año húmedo, medio, y seco)
    - Organizar la serie de volúmenes mensuales en años naturales y determinar el volumen medio anual (Tabla 25)

**Tabla 25. Organización de la serie hidrológica. Volúmenes en decímetros cúbicos (Dm<sup>3</sup>)**

Año	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Volumen medio
1986/87	500.0	525.5	543.1	585.4	596.6	591.7	587.2	623.7	584.7	518.4	452.3	425.0	544.4
1987/88	457.8	470.6	501.2	544.8	551.5	554.3	636.9	667.4	696.9	624.3	551.4	530.1	565.6
1988/89	556.4	552.6	554.0	567.5	590.0	615.3	642.0	652.8	622.5	557.2	518.6	514.4	578.6
1989/90	506.6	526.3	538.5	563.9	553.6	554.7	573.9	605.1	596.2	532.0	495.0	494.2	545.0
1990/91	547.7	551.0	566.9	590.8	610.2	651.5	675.7	695.3	657.3	566.1	497.9	495.6	592.2
1991/92	504.3	510.2	524.2	543.3	544.8	549.6	554.9	581.3	617.0	547.5	476.9	477.3	535.9
1992/93	503.4	488.1	500.2	508.0	515.6	518.6	537.2	570.2	539.2	469.9	419.1	419.9	499.1
1993/94	447.9	443.8	447.2	450.4	458.0	447.7	463.3	471.8	435.1	361.0	294.9	328.6	420.8
1994/95	371.4	375.8	381.7	393.7	394.8	398.2	410.5	407.3	376.6	307.4	255.2	248.9	360.1
1995/96	258.7	259.7	289.5	342.1	362.5	377.2	395.3	412.5	395.4	343.3	316.6	318.0	339.2
1996/97	346.6	370.4	445.7	517.4	527.5	543.3	591.3	653.0	679.4	642.0	622.2	634.6	547.8
1997/98	621.9	617.3	644.7	659.9	659.7	659.8	680.8	701.9	664.7	575.7	515.4	497.2	624.9
1998/99	527.7	534.3	586.7	616.1	630.2	712.2	761.8	798.7	779.0	714.7	641.5	686.3	665.8
1999/00	697.9	703.1	709.3	738.4	733.6	746.3	776.5	792.9	787.0	693.9	611.5	576.6	713.9
2000/01	630.0	641.3	662.2	685.9	691.5	699.3	719.3	753.8	713.0	630.5	564.7	556.7	662.4
2001/02	555.6	565.6	581.8	607.0	610.5	629.1	646.7	734.8	707.9	640.3	601.5	604.9	623.8
2002/03	624.7	626.6	649.9	678.6	706.0	748.3	808.8	895.2	850.7	740.7	672.3	712.1	726.2
2003/04	741.0	746.0	761.2	771.6	806.6	863.4	943.3	980.8	925.9	834.5	739.3	691.9	817.1
2004/05	679.9	669.3	691.5	696.6	704.7	709.4	703.3	722.3	677.5	579.7	514.3	516.4	655.4
2005/06	529.8	541.6	550.4	576.5	589.4	597.1	596.6	580.2	559.1	478.8	420.9	456.1	539.7

- ii. Formulación de la propuesta. Se deberá identificar un régimen de inundación del humedal que permita conservar sus comunidades biológicas, así como las funciones asociadas al mismo.
- Sobre la serie de volúmenes medios anuales (al menos 20 años) utilizar el percentil 25 y 75 para separar en tres grupos los años húmedos, medios y secos. Para ello, sobre la serie completa de valores medios anuales (Tabla 26 izquierda), utilizar el umbral del percentil 25 (539 Dm<sup>3</sup>) y percentil 75 (657 Dm<sup>3</sup>), agrupando los años en estas tres clases (Tabla 26 derecha).

**Tabla 26. Grupos de años secos, medios y húmedos**

Año	Dm <sup>3</sup>		Año	Dm <sup>3</sup>
1986/87	544.4	Años secos	1995/96	339.2
1987/88	565.6		1994/95	360.1
1988/89	578.6		1993/94	420.8
1989/90	545.0		1992/93	499.1
1990/91	592.2		1991/92	535.9
1991/92	535.9		2005/06	539.7
1992/93	499.1	Años medios	1986/87	544.4
1993/94	420.8		1989/90	545.0
1994/95	360.1		1996/97	547.8
1995/96	339.2		1987/88	565.6
1996/97	547.8		1988/89	578.6
1997/98	624.9		1990/91	592.2
1998/99	665.8		2001/02	623.8
1999/00	713.9		1997/98	624.9
2000/01	662.4	Años húmedos	2004/05	655.4
2001/02	623.8		2000/01	662.4
2002/03	726.2		1998/99	665.8
2003/04	817.1		1999/00	713.9
2004/05	655.4		2002/03	726.2
2005/06	539.7		2003/04	817.1

- Para cada uno de estos grupos de años (secos, medios y húmedos), determinar los percentiles característicos a escala mensual. Estos percentiles reflejan el rango natural de variabilidad del humedal (Tabla 27).

**Tabla 27. Años agrupados en la clase de años secos. Volumen en Decímetros cúbicos (Dm<sup>3</sup>)**

Años	Percentiles												
	1991/92	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96	0	10	25	50	75	90	100	
OCT	504.3	503.4	447.9	371.4	258.7	258.7	303.8	371.4	447.9	503.4	504.0	504.3	OCT
NOV	510.2	488.1	443.8	375.8	259.7	259.7	306.1	375.8	443.8	488.1	501.3	510.2	NOV
DIC	524.2	500.2	447.2	381.7	289.5	289.5	326.4	381.7	447.2	500.2	514.6	524.2	DIC
ENE	543.3	508.0	450.4	393.7	342.1	342.1	362.7	393.7	450.4	508.0	529.2	543.3	ENE
FEB	544.8	515.6	458.0	394.8	362.5	362.5	375.4	394.8	458.0	515.6	533.1	544.8	FEB
MAR	549.6	518.6	447.7	398.2	377.2	377.2	385.6	398.2	447.7	518.6	537.2	549.6	MAR
ABR	554.9	537.2	463.3	410.5	395.3	395.3	401.4	410.5	463.3	537.2	547.8	554.9	ABR
MAY	581.3	570.2	471.8	407.3	412.5	407.3	409.4	412.5	471.8	570.2	576.9	581.3	MAY
JUN	617.0	539.2	435.1	376.6	395.4	376.6	384.1	395.4	435.1	539.2	585.9	617.0	JUN
JUL	547.5	469.9	361.0	307.4	343.3	307.4	321.8	343.3	361.0	469.9	516.5	547.5	JUL
AGO	476.9	419.1	294.9	255.2	316.6	255.2	271.1	294.9	316.6	419.1	453.8	476.9	AGO
SEP	477.3	419.9	328.6	248.9	318.0	248.9	276.6	318.0	328.6	419.9	454.4	477.3	SEP

- La propuesta de volúmenes ambientales del humedal se formulará a partir del percentil que refleje las condiciones medias naturales para cada grupo de años (caracterizados por el valor correspondiente al percentil 50) hasta las condiciones naturales más extremas (percentil 0). Para seleccionar el percentil adecuado se deberá identificar un valor umbral a partir del cual las condiciones impuestas al humedal no permitirían alcanzar los objetivos de conservación o ambientales propuestos. En este ejemplo, se ha utilizado el régimen del percentil 25 para cada grupo de años, para la propuesta de volúmenes ambientales del humedal (Tabla 28)

**Tabla 28. Propuesta de volúmenes ambientales (en Dm<sup>3</sup>) para distintas condiciones hidrológicas**

Mes	Secos	Medios	Húmedos
OCT	371.4	501.6	624.7
NOV	375.8	525.7	626.6
DIC	381.7	539.7	649.9
ENE	393.7	564.8	678.6
FEB	394.8	562.6	691.5
MAR	398.2	563.9	712.2
ABR	410.5	592.6	761.8
MAY	412.5	630.9	792.9
JUN	395.4	602.8	779.0
JUL	343.3	538.3	693.9
AGO	294.9	495.7	611.5
SEP	318.0	494.5	576.6

- Asociar el tipo de régimen de necesidades hídricas (seco, medio y húmedo) al percentil 25 de cada grupo, según aparece en la Tabla 29

**Tabla 29. Percentiles para el cálculo de las necesidades hídricas asociadas a distintas condiciones**

Condiciones hidrológicas	Percentil	Grupo de años
Volúmenes ambientales para años húmedos	25	Húmedo
Volúmenes ambientales para años medios	25	Medio
Volúmenes ambientales para años secos	25	Seco

- Frecuencia de ocurrencia de los volúmenes ambientales

Según la clase del objetivo ambiental definido, utilizar para la implementación del régimen de necesidades hídricas del humedal las siguientes frecuencias de ocurrencia (Tabla 30).

**Tabla 30. Criterios para la integración de volúmenes para el cálculo las necesidades hídricas a partir de las frecuencias de ocurrencias para distintas condiciones hidrológicas y según el nivel de conservación deseado**

Objetivo ambiental	Nivel de conservación	Tipo de régimen de volúmenes ambientales		
		HUMEDO	MEDIO	SECO
A	Muy bueno	0.1	0.4	0.5
B	Bueno	0.0	0.3	0.7
C	Moderado	0.0	0.2	0.8
D	Deficiente	0.0	0.0	1.0

- iii. Para determinar el volumen final de reserva (Vfr) a efecto de integración al estudio de disponibilidad en la cuenca, se utilizará el siguiente razonamiento: Para los regímenes estacionales de volúmenes ecológicos (húmedos, medios y secos), se considerará el volumen anual de cada uno multiplicado por sus correspondientes frecuencias de ocurrencia, esto conforme a la clase del objetivo ambiental asignado

Lo anterior se determina mediante la siguiente expresión:

$$Vfr = V_{Roe} = (f_{OvaH} \times V_{OeH}) + (f_{OvaM} \times V_{OeM}) + (f_{OvaS} \times V_{OeS})$$

En donde: Vfr = Volumen final de reserva;  $V_{Roe}$  = Volumen del régimen ordinario estacional;  $f_{Ova}$  = frecuencia de ocurrencia de un régimen "i";  $V_{Oe}$  = Volumen ordinario estacional de un régimen "i", siendo "i" las condiciones hidrológica húmedas, medias y secas

Así por ejemplo, la propuesta completa del régimen del volumen ordinario estacional ajustada a un objetivo ambiental clase "A" en función de su probabilidad de ocurrencia según distintas condiciones hidrológicas se muestra en la Tabla 31 y Figura 18.

**Tabla 31. Resumen de la aportación anual a partir del régimen estacional de volúmenes ecológicos y sus frecuencias de ocurrencia**

Condiciones hidrológicas	Secas	Medias	Húmedas
Volumen anual ( $V_{Oe}$ ) $Dm^3 / hm^3$	4,490 / 4	6,613 / 7	8,199 / 8
Frecuencia de ocurrencia ( $f_{Ova}$ )	0.5	0.4	0.1
Volumen para efecto del balance de disponibilidad ( $V_{Roe}$ )	5,710 $Dm^3 = 5.7 hm^3$		

## Régimen estacional de volúmen ecológico

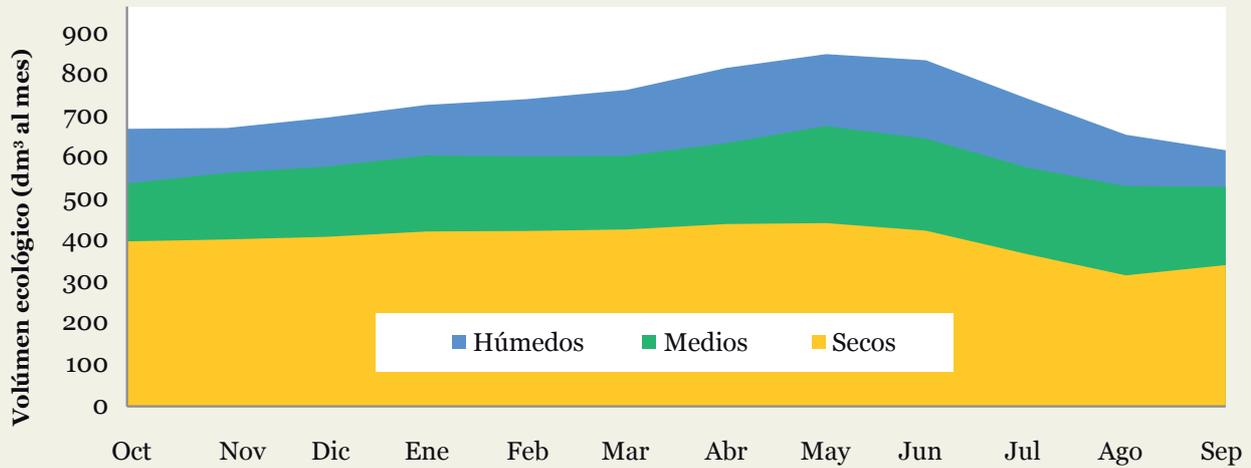


Figura 18 Representación gráfica del régimen estacional de volúmenes ecológicos para cada condición hidrológica





## VI. ANÁLISIS HOLÍSTICOS

La determinación del caudal ecológico por medio de alguna metodología holística, como la de Construcción por Bloques (Building Block Methodology–BBM), debe generar propuestas fundamentadas atendiendo a las características particulares de las zonas estudiadas, en particular debe identificar el significado ecológico de los diferentes componentes del régimen hidrológico, y su relación con la importancia ecológica y el impacto en los usos del agua.

Los análisis realizados deben permitir la evaluación de escenarios de conservación, o el riesgo presumible de diferentes alternativas de gestión del recurso hídrico, para los diferentes objetivos de conservación.

La determinación del régimen de caudal ecológico mediante el uso de metodologías holísticas, es recomendable para casos donde se requiere detallar propuestas de caudal ecológico dada la complejidad, dificultad o conflictividad social o ambiental, ocasionadas por:

- Conflictos potenciales entre los caudales ecológicos y el resto de usos del agua, en cantidad y estacionalidad.
- Áreas de interés prioritario para su conservación (ANP, sitios Ramsar, etc.) donde los resultados de caudal ecológico previsiblemente causen un impacto sobre las mismas.
- En el caso de ecosistemas que por sus características funcionales no se aborde adecuadamente la determinación de los caudales ecológicos mediante métodos hidrológicos o hidrobiológicos (lagos, humedales, estuarios, etc.)
- Estudios de factibilidad para el desarrollo de proyectos.
- Sitios de referencia en las cuencas donde se pongan en práctica programas específicos de monitoreo o sirvan para desarrollar el conocimiento de la práctica de los caudales ecológicos.

El análisis de caudales ecológicos debe generar propuestas fundamentadas atendiendo a las características particulares de las zonas estudiadas, en particular su importancia ecológica y el impacto en los usos del agua. Los análisis realizados deben permitir la evaluación de escenarios de conservación o el riesgo presumible de diferentes alternativas de gestión del recurso hídrico, para distintos objetivos de conservación.

### 1. Actividades preliminares

Se deberá integrar información actualizada del sitio mediante la participación de un grupo multidisciplinario de expertos que abarque las siguientes áreas de conocimiento: hidrología, hidráulica, geomorfología, calidad del agua, geohidrología, peces, macroinvertebrados acuáticos y aspectos socioeconómicos.

### 2. Selección de sitios de referencia

Se debe realizar una evaluación preliminar para la identificación de sitios de referencia con fotografías aéreas, sobrevuelos o imágenes de satélite.

Los sitios de referencia son aquellos donde se lleva a cabo un estudio detallado y deberán ser identificados en función de la extensión del cuerpo de agua, su diversidad biológica y los recursos disponibles, aplicando los siguientes criterios:

- Facilidad para el acceso.
- Alta diversidad de hábitats físicos para especies acuáticas y riparias y su representatividad de las unidades de estudio de caudal ecológico.
- Hábitat crítico para especies endémicas o bajo algún estatus de protección.

- Hábitats sensibles a la variación de caudales.
- Facilidad para desarrollar el modelo hidráulico.
- Proximidad a estaciones de aforo con información hidrométrica disponible.
- Aceptación por la mayoría de los especialistas participantes.
- Otros criterios: aguas arriba de afluentes importantes, buen estado de conservación, relación con proyectos relevantes o con potencial de sitio de monitoreo.

Los sitios de referencia deberán tener una dimensión general de al menos cinco veces el ancho del cauce federal. Para cada uno, las áreas de conocimiento podrán seleccionar su propia área o sitio de trabajo, según sus necesidades técnicas, para desarrollar los estudios correspondientes.

Los sitios de referencia no deben ubicarse en meandros, planicies arenosas de baja diversidad o zonas estancadas que impidan desarrollar un modelo hidráulico.

Los sitios de referencia podrán ser utilizados para monitorear la ocurrencia del caudal ecológico y el cumplimiento de los objetivos de conservación, con base en los Indicadores Ecológicos y de Gestión del Agua que sean oportunamente identificados.

### 3. Evaluación de la importancia ecológica

A partir de la información biológica previamente recopilada se realizarán al menos dos campañas con reconocimiento de campo y toma de muestras biológicas. Una campaña se realizará en la segunda mitad de la época de lluvias y otra al final de la época de sequía.

En las campañas de campo se realizarán muestreos orientados a conocer la composición específica de las diferentes comunidades biológicas que se describen en los apartados siguientes.

A partir del listado de especies presentes y el nivel de rareza, amenaza o sensibilidad de las mismas, se evaluará la importancia ecológica del sitio de referencia.

La importancia ecológica se podrá cuantificar con la aplicación de índices que consideren oportunamente las diferentes especies y su situación (Tabla 32).

**Tabla 32. Ejemplo de valoración en la información biológica. Para mayor detalle consultar Manual “Metodología de construcción por bloques” (BBM)**

DETERMINANTE	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN	PUNTUACIÓN
Especies amenazadas y raras	Una o más especies raras a escala nacional	Muy alta	4
	Una o más especies raras a escala regional	Alta	3
	Más de una especie rara a escala local	Moderada	2
	Una especie rara a escala local	Marginal	1
	No hay especies	Ninguna	0
Especies únicas	Una o más poblaciones o especies a escala nacional	Muy alta	4
	Una o más poblaciones o especies a escala regional	Alta	3
	Más de una especie o población a escala local	Moderada	2
	Una población a escala local	Marginal	1
	No hay poblaciones de especies	Ninguna	0

Especies intolerantes	Muy alta proporción de especies dependientes de caudal	Muy alta	4
	Alta proporción de especies dependientes de caudal	Alta	3
	Pequeña proporción de especies dependientes de caudal	Moderada	2
	Muy pequeña proporción de especies dependientes de caudal	Marginal	1
	No hay especies dependientes	Ninguna	0
Riqueza de especies	A escala nacional	Muy alta	4
	A escala regional	Alta	3
	A escala local	Moderada	2
	No significativa a ninguna escala	Marginal	1

#### 4. Talleres de discusión del grupo de trabajo

El taller tiene por objeto que a partir de la información, análisis y productos generados por cada una de las disciplinas se realizarán sesiones de trabajo para la discusión del estado ecológico actual, importancia ecológica y sensibilidad, objetivos ambientales, identificación de especies objetivo y escenarios hidrológicos, para posteriormente integrar la propuesta de caudal ecológico para la UECE.

El contenido y pasos a seguir en estas sesiones de discusión es el siguiente:

- I. Evaluación del estado ecológico actual o condiciones de referencia. Presentar el estado actual del sitio de referencia desde el punto de vista de cada disciplina
- II. Evaluación de la importancia ecológica y sensibilidad. Identificar la importancia del sitio de referencia y el proceso hidrológico asociado a partir de condiciones de referencia asociados con procesos, especie dominante y en función de los caudales circulante (especies objetivo). Identificar amenazas, sensibilidad al régimen, etc.
- III. Determinar el estado ecohidrológico actual. Se deberá caracterizar con base en condiciones de referencia que permitan evaluar su estado actual.
- IV. Determinar el estado actual de la presión por el agua (demanda). Con base en su evaluación, adicionalmente se deberá obtener la desviación del estado ecohidrológico actual respecto a las condiciones naturales.
- V. Establecimiento de objetivos de manejo ambientales. Se deberá identificar el estado de conservación potencial más elevado, considerando las condiciones actuales que causan la degradación del sitio y la voluntad de las partes interesadas en conservar o gestionar el tramo.
- VI. Análisis de escenarios hidrológicos para determinar el caudal ecológico asociado a la conservación de las especies objetivo y el estado ecológico deseado. La propuesta de caudales ecológicos deberá considerar al menos un régimen de caudales ecológicos para años secos y medios. Para cuantificar cada componente del régimen de caudales se partirán de los caudales naturales característicos del sitio, considerando específicamente su rango natural de variabilidad. El ejercicio consiste en ir desplazándose desde las condiciones medias de cada estación del año (caracterizadas por el valor de caudal correspondiente al percentil 50) hasta las condiciones naturales más extremas (percentil 0), a partir de las cuales el grupo de trabajo discute y acuerda el caudal ecológico para el tramo objeto de estudio.
- VII. Integrar propuesta de caudales. Se deberá identificar e integrar, con base en la información aportada por las áreas de conocimiento, una propuesta de caudal

ecológico que contenga la relación existente entre la alteración de cada componente del régimen hidrológico y determinado estado ecológico, es decir, qué parte del régimen hidrológico actual debe modificarse y en cuánto para obtener una respuesta ecológica que permita alcanzar el estado de conservación deseado en el tramo y/o para la especie objetivo.

Son de gran importancia los datos sobre el régimen hidrológico natural y su análisis, ya que generalmente sirve de base para vincular y orientar el desarrollo en los análisis del resto de las disciplinas y del taller mismo (Figura 19).

Por último, en casos donde sea necesario realizar un análisis más profundo debido a un proyecto de infraestructura que represente impactos considerables o potencialmente irreversibles al régimen hidrológico asociados a su alteración, adicionalmente al análisis de caudal ecológico se deberán incorporar:

- Modelación hidrológica
- Métodos de simulación de hábitats
- Modelación de escenarios de apoyo a la toma de decisiones (modelo hidrológico, ecológico y de la operación de infraestructura)

Como resultado de esta aplicación, se deberá integrar una propuesta de caudales ecológicos para cada uno de sus componentes con posibilidad de ser alterado, que identifique qué parte del mismo y en qué cantidad se verá afectado, con base a la información aportada por las áreas de conocimiento y a sus modelos predictivos. La propuesta de caudales ecológicos deberá estar planteada para alcanzar el estado de conservación de las especies objetivos y la conectividad hídrica en la cuenca, aún y con la operación del posible proyecto de infraestructura (de ser ese el caso). La propuesta deberá contener un régimen para años secos y medios, y en la media de lo posible, también para años muy secos y húmedos. Además, deberá especificar las condiciones del régimen de avenidas y tasas de cambio. En los Anexo 1 y 2 se muestran los requerimientos de información y un ejemplo de aplicación para el caso de metodologías holísticas, respectivamente.

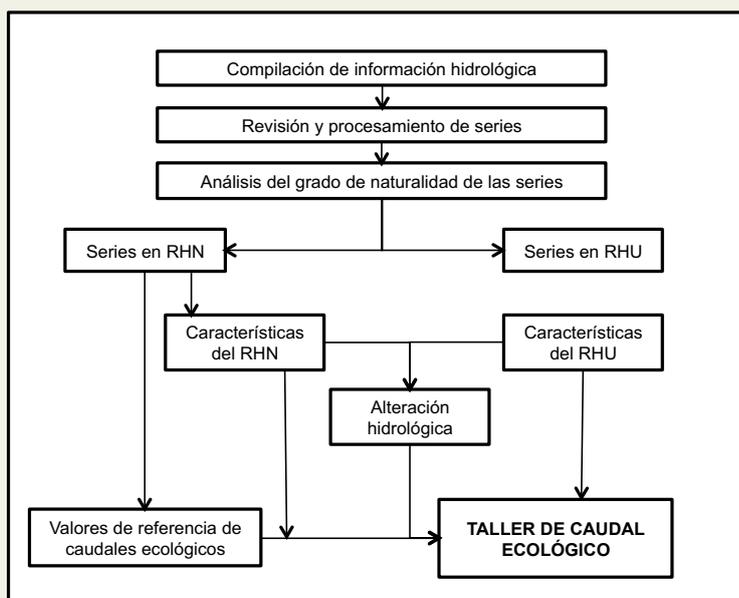


Figura 19. Procedimiento recomendado para el análisis hidrológico. RHN: Régimen hidrológico natural; RHU: Régimen hidrológico en uso





# VII. INTEGRACIÓN DE RESULTADOS Y PROPUESTA FINAL

## 1. Balance hídrico en la cuenca

Los estudios de caudales ecológicos por sitio de referencia deben ser incorporados a su UECE, los que a su vez se incorporarán a la cuenca o unidad de análisis del estudio de disponibilidad, y éstas a su vez al balance de la cuenca hidrológica. Para la integración de las determinaciones se debe seguir las siguientes reglas:

### Cuenca propia:

Cuando una misma corriente presente diferentes caudales ecológicos ( $Qec_{xx1}$ ,  $Qec_{xx2}$ ,  $Qec_{xx3}$ , ...  $Qec_{xxn}$ ), el caudal ecológico considerado para el cálculo de la disponibilidad será el mayor de ellos. Para lo anterior, se hará uso de la siguiente expresión:

$$Qec_{xx} = \text{máx} (Qec_{xx1}, Qec_{xx2}, Qec_{xx3}, \dots Qec_{xxn})$$

Donde:

$Qec_{xx}$  = caudal ecológico de cuenca propia

$Qec_{xn}$  = caudal ecológico para el tramo "X" (1, 2, 3, etc.) de cuenca propia

Cuando una misma cuenca disponga de varias corrientes de agua ( $C_1, C_2, \dots, C_n$ ) con sus respectivos caudales ecológicos ( $Qec_{C_1}, Qec_{C_2}, Qec_{C_3}, \dots, Qec_{C_n}$ ), el caudal ecológico considerado para la cuenca será la suma de los caudales comprometidos para cada una de las corrientes, tal y como lo muestra la siguiente expresión:

$$Qec_{xx} = Qec_{C_1} + Qec_{C_2} + Qec_{C_3} + \dots + Qec_{C_n}$$

Donde:

$C_n$  = corriente "n" (1, 2, 3, etc.) de la cuenca "X"

$Qec_{C_n}$  = caudal ecológico para la corriente "n" de la cuenca "X"

### Cuencas intermedias:

Se deberán considerar tanto los caudales ecológicos en cuenca propia ( $Qec_{xx}$ ) como compromisos de caudales ecológicos cuencas abajo ( $Qec_{xy}$ ). No obstante, ambos volúmenes no son suplementarios entre sí, sino complementarios. Es decir, en el caso de que ambos compromisos dentro y fuera de la cuenca fueran diferentes, el volumen comprometido en el cálculo de la disponibilidad no será la suma de ambos, sino el mayor de ellos como lo indica la siguiente expresión:

$$Qec_{TOT} = \text{máx} (Qec_{xx}, Qec_{xy})$$

Donde:

$Qec_{TOT}$  = caudal ecológico total a transferir

En el ámbito del balance de disponibilidad del agua de la cuenca hidrológica, los caudales ecológicos generalmente se contabilizan como una fracción o la totalidad del "volumen anual comprometido aguas abajo", y que en algunos casos deberá complementarse con un "volumen anual de extracción", tal como lo establece la NOM-011-CNA-2000. Este volumen anual de extracción asociado al uso ambiental o para conservación ecológica, presenta un retorno del 100% y por lo tanto contribuye a su vez, al "volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo".

## 2. Análisis progresivo de caudales ecológicos

El uso de distintas metodologías para la determinación de caudales ecológicos se diferencia por el grado de detalle en el tipo, cantidad y procesamiento de información

requerida para hacer una determinación confiable para la gestión del recurso, además del costo de la evaluación.

El nivel de detalle de una u otra metodología es conveniente conforme a los diferentes ámbitos en la gestión del recurso (planificación, administración, operación y diseño de proyectos) y la conservación de los ecosistemas. En función del objetivo perseguido en la determinación de caudales ecológicos en una cuenca, se requiere diferente nivel de información y confiabilidad en los resultados de caudal ecológico.

Conforme a la experiencia nacional en las cuencas de trabajo de la Alianza WWF-FGRA, así como a la internacional, se considera pertinente el uso de niveles de análisis atendiendo a los requisitos y finalidades que establecen particularmente la Ley de Aguas Nacionales y la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, así como sus respectivos reglamentos, la NOM-011-CNA-2000 para la “Conservación del recurso agua – Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales” y la NOM-059-SEMARNAT-2010 para la “Protección ambiental – Especies nativas de México de flora y fauna silvestres – Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – Lista de especies en riesgo”.

A partir de estas experiencias se plantea el uso de cuatro niveles de análisis, cuyos resultados alcanzan distintos grados de confiabilidad y que son compatibles para distintas finalidades del estudio:

Planificación hídrica general (Nivel 0). Este nivel de análisis se deberá abordar para casos de evaluación estratégica, con la finalidad de estimar los volúmenes de reserva de agua con finalidad ambiental.

Básico de gestión hídrica (Nivel 1). Provee de un régimen de caudales ecológicos para regular la operación de infraestructuras hidráulicas o hidroeléctricas actualmente en funcionamiento. También, puede suponer una pre-factibilidad de otros proyectos de infraestructura

Análisis detallado (Nivel 2). Provee de información a suficiente grado de detalle ante situaciones donde se requiere mayor nivel de confiabilidad del resultado, tales como resolución de conflictos entre los usuarios del agua y la requerida para el ambiente, programas de manejo de ANP, generación de conocimiento, evaluación de sitios de referencia, calibración en resultados obtenidos mediante los Niveles 0 y 1, enriquecimiento en los valores de referencia, factibilidad de proyectos, etc.

Evaluación de detalle para proyectos de infraestructura (Nivel 3). Es requerido para evaluar proyectos con impactos potenciales graves o de gran alcance.

A continuación se presentan los contenidos mínimos de información para cada nivel (Tabla 33).

Cabe mencionar que los distintos niveles son parte de un procedimiento de análisis que resuelve de lo sencillo a lo complejo, en función del objetivo para el cual se desea determinar el caudal ecológico. De esta forma, no se compromete la resolución de toda la cuenca y proporciona un escenario de referencia progresivo para los administradores del agua. En términos de desarrollo de proyectos de infraestructura, proporcionan una herramienta adecuada a los diferentes niveles de análisis de proyectos: prefactibilidad, factibilidad, diseño y operación (Figura 20)

**Tabla 33. Niveles de análisis, características de UECEs, tipo de aplicación, contenidos mínimos de la información y su fuente**

Nivel	Características de las UECE	Aplicación	Información mínima	Fuente
Nivel 0 Básico de planificación hídrica	Unidades de gestión sin presión por el recurso y poca o nula alteración del régimen hidrológico natural.	Planificación hídrica general.	Información hidrológica mensual y anual. Información de importancia ecológica de gran visión.	CONAGUA, CONABIO e INE
Nivel 1 Básico de gestión hídrica	Unidades de gestión con baja presión por el recurso y poca o nula alteración del régimen hidrológico natural.	Operación y reglamentación. Mejora en la operación de infraestructura. Análisis de pre-factibilidad de proyectos.	Información hidrológica diaria y mensual. Prioridad de conservación y Alteración ecohidrológica potencial.	CONAGUA, CONABIO e INE
Nivel 2 Análisis detallado	Presión moderada por el recurso. alteraciones reversibles en el régimen natural hidrológico y en las comunidades biológicas	Situaciones particulares y resolución de conflictos. Análisis de factibilidad de proyectos.	Hidrológica, hidráulica, geomorfológica, biológica, físico-química, geohidrológica, socioeconómica.	Información histórica (bases de datos, cartografía temática, estudios previos, etc.) y trabajo de campo.
Nivel 3 Evaluación de detalle para proyectos de infraestructura	Fuerte presión por el recurso. Alteraciones permanentes en el régimen natural hidrológico y en las comunidades biológicas. Pérdida de conectividad y comunidades biológicas en el río.	Evaluación de proyectos.	Hidrológica, hidráulica, geomorfológica, biológica, físico-química, geohidrológica, socioeconómica, y modelación predictiva.	Información histórica (bases de datos, cartografía temática, estudios previos, etc.) y trabajo de campo.

### 3. Estructura y reporte del estudio

Finalmente, el análisis, la discusión y los resultados de la determinación de caudal ecológico para la cuenca hidrológica se deben documentar de manera clara y precisa. Esta documentación debe permitir su revisión, monitoreo y evaluación periódica.

Los informes deben contener lo siguiente:

- Descripción de la cuenca hidrológica
- Selección y características de las unidades de estudio de caudal ecológico
- Determinación preliminar caudales ecológicos (Niveles 0 y 1)
- Identificación de UECE para ser evaluadas a mayor detalle (Niveles 2 y 3)
- Evaluación intermedia de UECE (Nivel 2)
  - Selección de sitios de referencia
  - Propuesta de régimen de caudales ecológicos
- Evaluación de detalle para proyectos de infraestructura (Nivel 3)
- Balance de integración de los valores de caudal ecológico al estudio de disponibilidad de la cuenca hidrológica
- Anexos
  - Fichas técnicas de cada sitio de referencia analizado (Nivel 2 y 3)

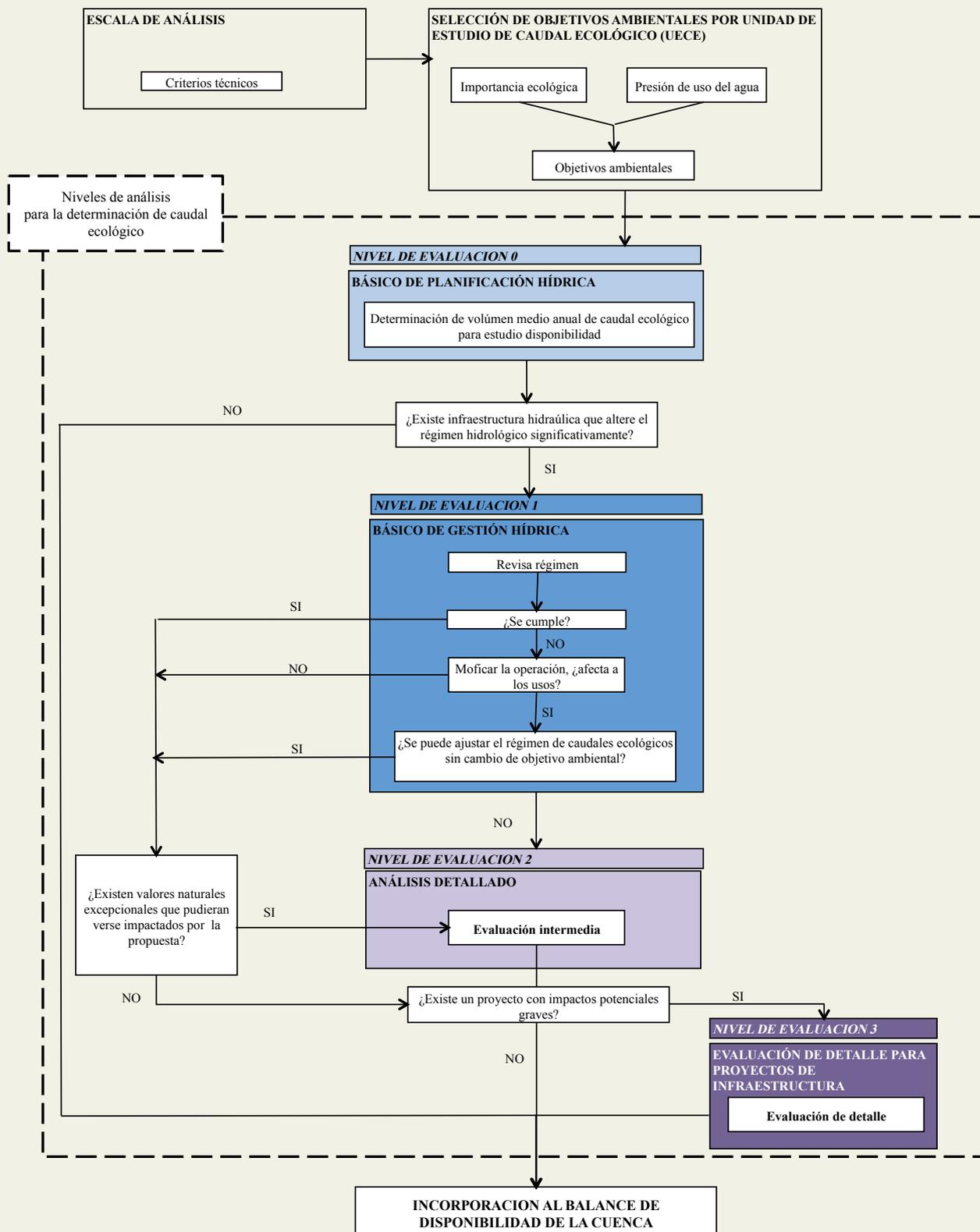


Figura 20. Procedimiento progresivo para la determinación de caudales ecológicos en una cuenca.





## VIII. GLOSARIO

---

**Acuífero o unidad hidrogeológica:** Cualquier formación geológica o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectados entre sí, por las que circulan o se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento y cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales del subsuelo.

**Afluente:** Río secundario que desagua en el río principal. Cada afluente tiene su respectiva microcuenca.

**Alteración hidrológica:** Es la valoración del impacto antrópico sobre el régimen hidrológico natural y su área de captación, es decir, la cuenca hidrológica.

**Caudal o gasto:** Cantidad o volumen de agua que pasa por una sección (área) determinada del cuerpo de agua en un tiempo dado.

**Caudal ecológico:** Es la calidad, cantidad y régimen del flujo o variación de los niveles de agua requeridos para mantener los componentes, funciones, procesos y la resiliencia de los ecosistemas acuáticos epicontinentales que proporcionan bienes y servicios a la sociedad, conforme objetivos ambientales previamente definidos.

**Caudal generador:** Caudal cuya finalidad es conservar la morfología del cauce y sanearlo de partículas finas y orgánicas que se acumulan en el mismo, entre otras.

**Caudal máximo o de lluvias:** Caudal correspondiente a la temporada de lluvias.

**Caudal medio interanual ó Escurrimiento medio anual:** Caudal promedio calculado a partir del caudal medio, por lo regular al menos en un periodo de 20 años.

**Caudal mínimo o de estiaje:** Caudal correspondiente a la temporada de sequía o que no es de lluvia. Generalmente es recurrente todos los años en la misma época.

**Caudal natural medio interanual:** Caudal promedio calculado a partir de los caudales originales o naturales medios, por lo regular al menos en un periodo de 20 años.

**Caudales ordinarios estacionales:** Cantidad o volumen de agua mínimo y máximo que pasa en condiciones ordinarias por una sección determinada de un tramo de corriente, conforme a su rango natural de variabilidad y en un tiempo determinado. En la presente Guía, es obtenido mediante el rango natural de variabilidad aplicado sobre el régimen hidrológico anual del tramo de corriente y asociado mediante los percentiles 0, 10, 25 y 75 a distintas condiciones hidrológicas (años muy secos, secos, medios y húmedos, respectivamente).

**Caudales originales o naturales:** Caudales que se presentan naturalmente en un cauce, sin interferencia por obras de desarrollo o por aprovechamiento y/o explotación del mismo.

**Cuenca hidrológica:** Territorio donde las aguas fluyen al mar a través de una red de cauces que convergen en uno principal, o bien, el territorio en donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciada de otras, aún sin que desemboquen en el mar. La cuenca, conjuntamente con los acuíferos, constituye la unidad de gestión del recurso hídrico.

**Descarga natural:** Volumen de agua que descarga una unidad hidrogeológica a través de manantiales, vegetación, ríos y humedales, o subterráneamente a cuerpos de agua (mares, lagos y lagunas).

**Descarga natural comprometida:** Fracción de la descarga natural de una unidad hidrogeológica, que está comprometida como agua superficial para diversos usos o que debe conservarse para prevenir un impacto ambiental negativo a los ecosistemas o la migración de agua de mala calidad a una unidad hidrogeológica.

**Diversos usos:** Todos los usos definidos en la Ley de Aguas Nacionales, como doméstico, agrícola, acuícola, industrial, conservación ecológica, pecuario, público urbano, recreativo, generación de energía y otros.

**Ecosistema:** Unidad funcional básica de interacción de los organismos vivos entre sí y de éstos con el ambiente, en un espacio y tiempo determinados.

**Ecosistemas acuáticos epicontinentales:** ecosistemas que tienen por biotopo algún cuerpo de agua, como pueden ser: ríos, lagos, pantanos, humedales, lagunas, estuarios, etc.

**Elemento abiótico:** Elemento no vivo que se presenta en un ecosistema.

**Elemento biótico:** Elemento con vida que se presenta en un ecosistema.

**Escala de análisis:** Espacio geográfico donde, para efectos de esta Guía, se determina el caudal ecológico.

**Ecurrimiento natural:** Volumen medio anual de agua superficial que se capta por la red de drenaje natural de la propia cuenca hidrológica.

**Estado ecológico:** Condición de las especies, hábitats y ecosistemas.

**Estudio holístico:** Aproximación global al sistema fluvial que incluye a todas sus formas de vida, así como al conjunto de procesos biológicos, físicos y químicos derivados de su propia organización estructural, funcional, espacial y temporal. La clave para el análisis de caudales radica en encontrar el papel que ejercen éstos como soporte básico para todos los componentes o atributos del ecosistema fluvial, a partir del reconocimiento del régimen de caudales naturales.

**Importancia ecológica:** Singularidad, rareza y grado de amenaza de las especies, sus hábitats o ecosistemas que dependen del régimen hidrológico, y en consecuencia de caudales ecológicos en la escala de análisis. Para su valoración se consideran aspectos bióticos y abióticos. Los bióticos son la diversidad de especies, su rareza, presencia de aquellas en peligro de extinción o amenazadas, endemismos e intolerantes a las alteraciones del régimen hidrológico; las condiciones abióticas son las relativas a la diversidad de hábitat, en el cauce y en las zonas riparias, su funcionamiento como refugio, corredores biológicos para rutas migratorias, su sensibilidad geomorfológica, a la calidad del agua y a las alteraciones del régimen hidrológico.

**Indicadores ecológicos:** Unidad de información que documenta cambios en la condición ecológica de una unidad de estudio de caudal ecológico o sitio de referencia.

**Indicadores de gestión del agua:** Unidad de información que documenta cambios en las condiciones de gestión del agua en una unidad de estudio de caudal ecológico o sitio de referencia.

**Intervenciones antrópicas:** Son las obras construidas por el ser humano como viviendas, centros de población, campos de cultivo, vías de comunicación, etc. Así mismo, aquellas referidas en la Ley de Aguas Nacionales, Fracción VII, artículo 113, destinadas a la prestación de servicios hidráulicos a cargo de la Federación.

**Nivel de análisis:** Grado de detalle en el tipo, cantidad y procesamiento de información requeridos para hacer una determinación de caudal ecológico confiable para la gestión del recurso.

**La Ley:** La Ley de Aguas Nacionales.

**Léntico:** Referente a ambientes lacustres, aguas estáticas, estancadas.

**Lótico:** Ambiente fluvial, caracterizado por un movimiento horizontal de la columna de agua.

**Objetivo ambiental:** Estado ecológico que se pretende alcanzar o conservar en la escala de análisis, ya sea cuenca hidrológica, unidad de estudio o sitio de referencia. Establece una relación entre el valor de conservación y los usos productivos del agua, lo que permite flexibilidad para conciliar un balance sostenible entre las demandas de la sociedad y los ecosistemas.

**Percentil.** Medición estadística utilizada para describir la distribución de una población de datos en 100 partes iguales. Esta técnica es utilizada para determinar el punto en que un valor ("x") supera un determinado porcentaje de los miembros de una población ("y"). Hidrológicamente, es un instrumento utilizado para describir la variabilidad del régimen hidrológico entre las condiciones más extremas (percentiles 0 y 100), y todos sus puntos intermedios (percentiles 1-99), siendo la serie de registro hidrométrico de caudal (Q) la población bajo análisis.

**Periodo evaluado:** Número de años de registros hidrométricos que se consideran para el cálculo de los caudales ecológicos.

**Presión de uso del agua:** Porcentaje de agua para uso consuntivo respecto a la disponibilidad total. Si es mayor al 40% se considera que se ejerce un alto grado o fuerte presión sobre el recurso.

**Presa:** Obra de infraestructura hidráulica que permite la explotación, uso, aprovechamiento, control de avenidas, protección contra inundaciones y manejo de las aguas nacionales.

**Régimen:** Distribución predominante del caudal o flujo de aguas en un periodo determinado que depende de la precipitación en un área o región determinada.

**Régimen de avenidas:** Conjunto de eventos de avenidas que ocurren en un cuerpo de agua a partir del cual se generan los procesos geomorfológicos y ecológicos característicos de su dinámica fluvial. Para efectos de la presente Guía, cada avenida deberá tener caracterizada su magnitud, duración, frecuencia, momento de ocurrencia y tasa de cambio.

**Resiliencia:** Capacidad que tienen los organismos y sistemas naturales de soportar presiones y regresar a su estado de equilibrio sin modificar sus condiciones originales.

**Río principal:** Es el curso con mayor caudal de agua (medio o máximo), o bien, con mayor longitud o área de drenaje.

**Ripario:** Lo relativo a la zona de ribera, ya sea flora, fauna, o cualquier otro elemento biótico o abiótico.

**Sitios de referencia:** Tramos representativos del cuerpo de agua en la unidad de estudio de caudal ecológico donde se realiza el análisis detallado o monitoreo de caudales ecológicos.

**Sitio Ramsar:** Humedal considerado de importancia internacional debido a su riqueza biológica conforme a la Convención Relativa a Humedales llevada a cabo en 1971 en la ciudad de Ramsar, Irán. Generalmente sirve de refugio de un número significativo de

aves acuáticas migratorias estacionales.

**Tasas de cambio:** Diferencia entre dos valores sucesivos en una serie hidrológica -que representa al régimen de caudales- por unidad de tiempo, tanto para las condiciones de ascenso como de descenso de caudal.

**Tramo de corriente:** El espacio a lo largo de una corriente, situado entre dos de sus afluentes, o entre una presa y el siguiente afluente, aguas abajo de ésta o entre dos presas o dos explotaciones, usos o aprovechamientos significativos, o entre dos estaciones de medición.

**Tramo de corriente con flujo intermitente:** Tramo que no tiene escurrimiento superficial en alguna época del año.

**Tramo de corriente con flujo permanente o perenne:** tramo que tiene un escurrimiento superficial que no se interrumpe en alguna época del año.

**Unidades de estudio de caudal ecológico (UECE):** Territorio de la cuenca o subcuenca hidrológica que se define o determina como una unidad para la evaluación, manejo y administración de los caudales ecológicos. Se refiere a los cuerpos de agua superficiales (ríos, lagos, humedales, etc.) o parte de ellos, en una misma cuenca hidrológica, que presentan el mismo régimen hidrológico y al que se le asigna el mismo objetivo ambiental.

**Valores de referencia:** Porcentajes del escurrimiento medio anual, a manera de intervalos, que son necesarios para alcanzar o mantener el estado ecológico deseado de la cuenca o tramo objeto de análisis.

# IX. REFERENCIAS CITADAS

---

- Alonso-EguíaLis, P.E. Ma.A. Gómez-Balandra y P. Saldaña-Fabela (eds.). 2007. Requerimientos para implementar el caudal ambiental en México, IMTA-Alianza WWF/FGRA-PHI/UNESCO-Semarnat. Juitepec, Morelos. 176 pp.
- Annear T., I. Chisholm, H. Beecher, A. Locke and 12 other authors. 2004. Instream Flows for Riverine Resource Stewardship, revised edition. Instream Flow Council. Cheyenne, WY.
- Arthington A.H., S.E. Bunn, N.L. Poff and R.J. Naiman. 2006. The challenge of providing environmental environmental flow rules to sustain river ecosystems. *Ecological Applications* 16:1311-1318.
- Arthington A.H., S.O. Brizga, S.C. Choy, M.J. Kennard, S.J. Mackay, R.O. McCosker, J. L. Ruffinin, and J.M. Zalucki. 2000. Environmental flow requirements of the Brisbane River downstream from Wivenhoe Dam. South East Queensland Water Corporation and Centre for Catchment and In-stream Research. Brisbane, Australia.
- Barrios Ordóñez J.E., J.A. Rodríguez Pineda, I.D. González Mora, R. Gómez Almaraz, J.A. Reyes González, H. Escobedo Quiñones, R. Sánchez Navarro y S.A. Salinas Rodríguez. 2010. Tres propuestas de caudal ecológico en México. En Prensa. Programa Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas: Desarrollo de Nuevos Modelos en México. Alianza WWF – Fundación Gonzalo Río Arronte, I. A. P. México. 35 Pp.
- Barrios Ordóñez J.E., R. Gómez Almaraz, J.A. Rodríguez Pineda, I.D. González Mora, J.A. Reyes González, H. Escobedo Quiñones, R. Sánchez Navarro y S.A. Salinas Rodríguez. 2010. Propuesta de caudal ecológico en la cuenca del río San Pedro Mezquital en Marismas Nacionales y su consideración en el estudio de disponibilidad de aguas superficiales. Programa Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas: Desarrollo de Nuevos Modelos en México. Alianza WWF – Fundación Gonzalo Río Arronte, I. A. P. México. 32 Pp.
- Bayley P.B. 1995. Understanding large river-floodplain ecosystems. *BioScience* 45: 153–158.
- Bunn S.E. y A.H. Arthington. 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management* 30:492-507.
- Carreño M.F., J. Martínez, M.R. Vidal-Abarca y M.L. Suárez. 2008. Indicadores bibliográficos para la valoración de las metodologías de determinación de los caudales ambientales. Actas del VI Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua. Fundación Nueva Cultura del Agua. Vitoria.
- CONABIO-CONANP. 2010. Sitios prioritarios para la conservación de los ecosistemas acuáticos epicontinentales. Escala 1:250,000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México, D.F.
- Davies S.P. y Jackson S.K. 2006. The Biological Condition Gradient: A Descriptive Model for Interpreting Change in Aquatic Ecosystems. *Ecological Applications*: Vol. 16, No. 4 pp. 1251–1266
- Dunbar M. J., A. Gustard, M.C. Acreman and C.R.N. Elliot. 1998. Overseas approaches to setting river flow objectives. Institute of Hydrology, Wallingford, Oxon, United Kingdom. R&D Technical Report W6-161. 83pp.
- Finlayson C.M., B.J. Bailey and I.D. Cowie. 1989. Macrophyte Vegetation of the Magela

Creek Floodplain, Alligator Rivers Region, Northern Territory. Supervising Scientist for the Alligator Rivers Region, Australian Government Publishing Service, Canberra.

Forslund A. *et al.* 2009. Securing Water for Ecosystems and Human Well-being: The Importance of Environmental Flows. Swedish Water House Report 24. SIWI.

Garrido Pérez A., Cuevas M.L., Cotler H., González D.I. y R. Tharme. 2010. Evaluación del grado de alteración ecohidrológica de los ríos y corrientes superficiales de México. En Prensa. Revista Investigación Ambiental. Ciencia y Política Pública. INE-SEMARNAT. México, D.F. No. 1 Vol. 2

Global Environmental Flows Network (GEFN). 2006. Sitio web de la Red Global de Caudales Ambientales. Sitio web y fecha de consulta: <http://www.eflownet.org/index.cfm?linkcategoryid=1&siteid=1&FuseAction=main>. Marzo de 2011. UICN, IWMI, DHI Water & Environment, Delft Hydraulics, SIWI, TNC, Swedish Water House, Centre for Ecology and Hydrology, Global Water for Sustainability y WWF.

Global Water Partnership (GWP). 2000. Integrated Water Resources Management (IWRM): A way to sustainability. InfoResources FOCUS No. 1/03. Disponible en línea: <http://www.gwpforum.org/gwp/library/Tacno4.pdf>

Grubaugh J.W. and R.V. Anderson. 1988. Spatial and temporal availability of floodplain habitat: Long-term changes at Pool 19, Mississippi River. *American Midland Naturalist* 119: 402–411.

IWMI. 2003. Environmental flow assessment for aquatic ecosystems: a database of methodologies. International Water Management Institute.

Junk W.J. 1982. Amazonian floodplains: Their ecology, present and potential use. In *Proceedings of the International Scientific Workshop on Ecosystem Dynamics in Freshwater Wetlands and Shallow Water Bodies*, pp. 98–126. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), United Nations Environment Program (UNEP), New York.

Junk W.J. 1999. The flood pulse concept of large rivers: Learning from the tropics. *Archiv für Hydrobiologie* 115: 261–280.

King J.M., R.E. Tharme and M.S. de Villeers (editors). 2000. *Environmental Flow Assessments for Rivers: Manual for the Building Block Methodology*. Water Research Commission Report No.: TT 131/00. Freshwater Research Unit, University of Cape Town, South Africa.

King J. and C. Brown. 2006. Environmental Flows: Striking the Balance between Development and Resource Protection. *Ecology and Society* 11(2): 26

Limno Tech, Inc. 2005. Development of an Integrated Ecological Response Model (IERM) for the Lake Ontario-St. Lawrence River Study. Technical report.

Lytle D.A. and N.L. Poff. 2004. Adaptation to natural flow regimes. *Trends in Ecology & Evolution* 19:94-100.

Menéndez L., E. Stone, D. Wang and M. McGinley. 2010. Natural disturbance regime. In: *Encyclopedia of Earth*. Eds. Cutler J. Cleveland (Washington, D.C.: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment). [First published in the *Encyclopedia of Earth* May 5, 2009; Last revised Date May 5, 2009;

Poff N.L., J.D. Allan, M.B. Bain, J.R. Karr, K.L. Prestegard, B. Richter, R. Sparks and J. Stromberg. 1997. The natural flow regime: a new paradigm for riverine

- conservation and restoration. *BioScience* 47:769-784.
- Richter B. D., J.V. Baumgartner, R. Wigington and D.P. Braun. 1997. How much water does a river need? *Freshwater Biology* 37: 231-249.
- Santacruz de León G. y M. Aguilar-Robledo. 2009. Estimación de los caudales ecológicos en el río Valles con el método de Tennant. *Hidrobiológica* 19 (1): 25-32.
- Smith R.D. and E. Maltby. 2003. Using the Ecosystem Approach to Implement the Convention on Biological Diversity: Key issues and case studies. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK x + 118pp.
- Sparks R.E., P.B. Bayley, S.L. Kohler and L.L. Osborne. 1990. Disturbance and recovery of large floodplain rivers. *Environmental Management* 14: 699-709.
- Tennant D.L. 1976. Instream flow regimes for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries* 1(4), 6-10.
- Tharme R. 2003. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications* 19: 397-441.
- Tockner, Klement, Stuart E. Binn, Christopher Gordon, Robert J. Naiman, and Jack A. Stanford. 2008. Flood plains: critically threatened ecosystems. *Aquatic Ecosystems Trends and Global Prospects*. N.V.C. Polunin. Cambridge University Press: 45-61, Chapter 4.
- USEPA. 2005. Use of Biological Information to Better Define Designated Aquatic Life Uses in State and Tribal Water Quality Standards: Tiered Aquatic Life Uses.
- van der Valk, A.G. 1981. Succession in wetlands: A Gleasonian approach. *Ecology* 62: 688-696.
- Ward J.V., K. Tockner and F. Schiemer. 1999. Biodiversity of floodplain ecosystems: Ecotones and connectivity. *Regulated Rivers: Research and Management* 15:125-139.

# X. ANEXOS

---

## **Anexo 1. Requerimientos de información, estructura y análisis para los estudios holísticos**

Los requerimientos de información para las diferentes disciplinas involucradas, los objetivos del análisis, los elementos a analizar y los productos de cada una que se deberán generar, se presentan a continuación.

### ***Hidrología***

Requerimientos de información:

- Información hidrológica expresada en forma de caudales o aportaciones procedente de la red de estaciones hidrométricas, datos procedentes del balance de embalses o modelos Precipitación-Escorrentamiento desarrollados al efecto.
- Las series hidrológicas estarán a escala diaria, con una extensión mínima recomendable superior a 20 años.
- Cuando no exista información específica de una cuenca, se podrán emplear los datos de una cuenca colindante siempre y cuando se empleen las técnicas hidrológicas adecuadas y las extrapolaciones se realicen con la suficiente confiabilidad.
- El periodo que abarquen las series deberá ser representativo de las condiciones hidrológicas de la zona, incluyendo años húmedos, medios, secos y muy secos, conforme al régimen mensual dado por los percentiles 75, 25, 10 y 0, respectivamente.
- Para completar los análisis se emplearán series en régimen natural y en régimen de uso (si es el caso)

Objetivo del análisis:

- Conocer el funcionamiento hidrológico de los ecosistemas acuáticos epicontinentales con la caracterización de los valores habituales y extraordinarios de caudal de una corriente, así como sus tendencias de evolución.
- Evaluar los cambios que se han introducido en un río por efecto del uso del agua.
- Conocer la relación existente entre las aguas subterráneas y superficiales en la UECE, en particular en el sitio de referencia, para identificar si se trata de un río perene, intermitente o efímero.

Elementos a analizar

Se deberán analizar los diferentes componentes del régimen hidrológico, incluyendo:

- Caudales mínimos y su distribución a lo largo del año
- Caudales máximos y su distribución a lo largo del año
- Régimen de avenidas
- Tasa de cambio

Se recomienda utilizar la aproximación metodológica presentada en el punto “V. Análisis hidrológicos - 1.3. Gestión hídrica. Ríos con presencia de infraestructura”

Productos

- Caracterización del régimen natural
  - *Caudales mínimos y su distribución a lo largo del año.* Emplear el análisis de percentiles sobre series a escala mensual, utilizando el rango de percentiles entre 5-25.

- *Caudales máximos y su distribución a lo largo del año.* Emplear el análisis de percentiles sobre series a escala mensual, utilizando el rango de percentiles entre 75-95.
- *Régimen de avenidas.* Identificar la magnitud de la avenida máxima ordinaria, con los criterios definidos en la Ley de Aguas Nacionales. La avenida máxima ordinaria también se podrá definir con criterios geomorfológicos. A partir de este valor umbral analizar sobre la serie histórica natural la duración, frecuencia, duración y momento de ocurrencia de aquellos caudales por encima del valor establecido.
- *Tasa de cambio.* Se establecerá una tasa máxima de cambio, definida como la máxima diferencia de caudal entre dos valores sucesivos de una serie hidrológica por unidad de tiempo, tanto para las condiciones de ascenso como de descenso del caudal.

Se calcularán las series clasificadas anuales de tasas de cambio, tanto en ascenso como en descenso. Al establecer un percentil de cálculo en dichas series, se podrá contar con una estimación media de las tasas de cambio. Se recomienda que dicho percentil no sea superior al 90-70%, tanto en ascenso como en descenso.

En determinados casos particulares será necesario considerar otra escala temporal que permita limitar la tasa de cambio a nivel horario.

- Caracterización del régimen hidrológico modificado y evaluación de la alteración

- Se caracterizarán los mismos elementos del régimen hidrológico que se emplearon para la caracterización del régimen natural, es decir, caudales mínimos y máximos y su distribución, régimen de avenidas y tasa de cambio. Para ello se utilizarán los mismos criterios numéricos (percentiles, umbral de avenidas, etc.).
- Se compararán los valores obtenidos en las condiciones del régimen natural de referencia con las condiciones de uso del agua. Los cambios observados entre ambas condiciones (natural y en uso) representan la alteración hidrológica.
- Se considerará que la desviación es significativa cuando la magnitud del parámetro anual o mensual se desvíe significativamente de los valores del percentil del 10% al 90% de la serie en régimen natural.

### ***Hidráulica***

Requerimientos de información:

- Levantamientos topográficos de la sección transversal y longitudinal del sitio de referencia.
  - Características hidráulicas tales como, sección, pendiente, curvas de frecuencia, velocidad, profundidad media, etc.
- Aforos que deberán realizarse al mismo tiempo que los estudios de biológicos.

Objetivos del análisis:

- Caracterización hidráulica secciones transversales en los sitios de referencia. Se seleccionará la sección transversal que limite las condiciones hidráulicas por su menor profundidad, mayor susceptibilidad para secarse y perder conectividad.

#### Elementos a analizar

- Perfiles o secciones longitudinales y transversales levantadas en campo incluyendo sus características hidráulicas, así como los caudales circulantes por dichas secciones.

#### Productos

- Modelo hidráulico unidimensional que permita establecer para los diferentes escenarios de caudal los parámetros hidráulicos asociados (velocidad y profundidad).

### ***Geomorfología***

#### Requerimientos de información:

- Topografía, relieve y tipo de suelos presentes en la UECE
- Pendiente longitudinal basado de carta topográfica y longitud total del cauce
- Pendiente de laderas de influencia al cauce, así como su amplitud y la del canal con agua, además de las formas de deposición de sedimentos y vegetación dentro del mismo.
- Grado de sinuosidad del cauce
- Tipo y tamaño del sustrato presente en el cauce
- Fotografías aéreas o imágenes de satélite tomadas en distintos momentos

#### Objetivos del análisis

- Caracterizar la forma del cauce resultado de la relación erosión – sedimentación a partir del escurrimiento del agua, los materiales y sedimentos que por el mismo discurren y se depositan.
- Determinar la calidad y disponibilidad de hábitat a través de variables hidráulicas, así como la proporción, distribución y tamaño del sustrato.

#### Elementos a analizar

- Localización, fuentes de aportación y características de los sedimentos con base al origen geológico y tipos de suelos susceptibles a erosión en la cuenca
- Características del valle de influencia al cauce, el tipo cauce y corriente
- Perfil longitudinal, transversal y grado de dinamismo en la sinuosidad del cauce y de la vegetación de ribera
- Tipo, tamaño y distribución del sustrato presente en el cauce
- Relación erosión – sedimentación

#### Productos

- Identificación de zonas para la contribución de sedimentos y su tipo dentro de la cuenca
- Clasificación geomorfológica
  - Tipo de valle de influencia
  - Tipo de cauce – canal
  - Tipo de corriente

- Perfiles del cauce
  - Longitudinal
  - Transversal
- Índice de sinuosidad del cauce – canal
- Clasificación granulométrica del sustrato presente en el cauce

### ***Calidad del Agua***

Requerimientos de información:

- Parámetros físico-químicos
  - Variables del sistema: pH, temperatura del agua y oxígeno disuelto
  - Componentes no tóxicos: conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y en suspensión, cationes y aniones base
  - Nutrientes: Fósforo total, fosfato soluble reactivo, nitrógeno total, nitratos, nitrógeno amoniacal y carbón orgánico total
  - Componentes tóxicos: metales pesados, pesticidas, hidrocarburos y todos aquellos de los cuales se sospeche su presencia

Objetivos del análisis

- Identificar principales impactos directos y potenciales sobre los parámetros físico-químicos del agua
- Identificar la relación entre los caudales circulantes, los parámetros físico-químicos del agua y la biota presente en río
- Identificar los usos del suelo predominantes en la UECE y su contribución como fuente de aportación de contaminación difusa
- Determinar el estado actual de la calidad del agua

Elementos a analizar

- Impacto del conjunto de información físico-química del agua sobre la biota, al menos de forma estacional a lo largo del ciclo anual, en y particular de forma interanual para zonas áridas y de ser posible su tendencia histórica a lo largo del tiempo
- Impacto de la magnitud, duración y periodos de retorno de los caudales bajos y altos sobre la calidad del agua y de ser posible su tendencia histórica a lo largo del tiempo

Productos

- Listado de rangos de tolerancia cualitativos de la biota a los cambios en la calidad del agua, en particular para las especies más sensibles seleccionadas previamente (bioindicadores).
- Presencia de aguas residuales, nivel de saturación de la capacidad de dilución y asimilación y estado actual de la calidad del agua en la UECE

### ***Geohidrología***

Requerimientos de información:

- Geología, litología, topografía, estratigrafía y fisiografía de la UECE
- Información de niveles piezométricos en la cuenca hidrológica o la UECE.

- Características del acuífero en la cuenca hidrológica o la UECE (capacidad de almacenaje, potencial de recarga, volumen de extracción de agua, etc.)
- Calidad del agua subterránea

#### Objetivos del análisis

- Conocer la interacción de las aguas subterráneas con la corriente principal
- Determinar caudales de base y entender su evolución en el tiempo
- Determinar el porcentaje de aportación de las aguas subterráneas al escurrimiento medio anual

#### Elementos a analizar

- Dinámica del acuífero asociado (dirección de flujo, descarga natural, recarga, aportaciones y extracciones)
- Aportación del agua subterránea a los ríos y humedales como caudal base (en particular en aquellos no perennes), así como el suministro de agua para la biota del sistema en temporadas de estiaje

#### Productos

- Modelo conceptual sobre el funcionamiento, cantidad de aportación de agua y el papel que juegan los acuíferos en la UECE de forma intra e interanual

### **Vegetación**

#### Requerimientos de información:

- Listado de especies y su distribución espacial de la vegetación acuática y riparia en el cauce y el bosque de galería contiguo al mismo.
- Caracterización hidrológica a partir de información hidrométrica y del nivel que alcanzan los caudales altos y bajos en los cauces.
- Pendiente transversal en ambos márgenes, la exposición de las laderas, su altitud, distancia horizontal y altura vertical desde el nivel del agua hasta los límites más altos y bajos de cada zona de vegetación, características del valle donde se encuentra inmerso el río y otras de la vegetación adyacente.
- Tipo de sustrato y las características del suelo en cada zona de vegetación.
- Signos de erosión, depósito de sedimentos, otros disturbios presentes (entre ellos los antrópicos) en cada zona de vegetación y signos de cambios históricos de posición del cauce.

#### Objetivos del análisis

- Caracterizar la estructura, composición y distribución espacial –vertical y temporal– de la vegetación en el cauce (incluyendo la zona riparia) mediante un perfil transversal en el mismo.
- Vincular e identificar la magnitud, duración y periodos de retorno de los caudales bajos y altos que la vegetación acuática y riparia necesita para proveer sus funciones y servicios.
- Análisis retrospectivo y tendencial a partir de la información histórica de presencia (listado de especies)

#### Elementos a analizar

- Porcentaje de cobertura vegetal, altura media y abundancia de cada especie.
- Estructura y composición del bosque o manchón de vegetación.

- Impacto de la magnitud, duración y periodos de retorno de los caudales bajos y altos en la vegetación.

#### Productos

- Identificación de la composición y estructura en las poblaciones y comunidades de especies de vegetación acuática y riparia.
- Elaborar el perfil de vegetación acuática (macrófitos y algas) y riparia (pastos, arbustos y árboles) asociando a zonas con distintos niveles de inundación equivalente a 5 veces la anchura o amplitud media del cauce.
- Identificar la magnitud, duración y periodos de retorno de los caudales necesarios para inundar cada una de las zonas o bandas del cauce en las que se encuentra la vegetación riparia.

#### **Macroinvertebrados**

##### Requerimientos de información:

- Listado histórico y actual de especies (o al menos familias) de macroinvertebrados acuáticos y su distribución espacial y temporal en el hábitat acuático epicontinental.
- Listado, tipo de sustrato y distribución espacial y temporal del hábitat.
- Caracterización hidrológica a partir de información hidrométrica y del nivel que alcanzan los caudales altos y bajos en los cauces

##### Objetivos del análisis

- Caracterizar la estructura, composición y distribución especial y temporal de macroinvertebrados acuáticos.
- Vincular e identificar los requerimientos hidrológicos e hidráulicos necesarios para la formación y configuración de los distintos hábitats acuáticos que dan soporte a las comunidades de macroinvertebrados.
- Análisis retrospectivo y tendencial a partir de la información histórica de presencia (listado de especies)

##### Elementos a analizar

- Índice de abundancia relativa de cada especie de macroinvertebrados.
- Estructura y composición de poblaciones y comunidades de macroinvertebrados, así como de los hábitats en los que habitan.
- Impacto de la magnitud, duración y periodos de retorno de los caudales bajos y altos en la dinámica de las especies presentes

#### Productos

- Identificación de la composición, estructura y abundancia de las poblaciones y comunidades de macroinvertebrados acuáticos.
- Listado para las especies sensibles seleccionadas sobre la cuantificación de rangos de tolerancia del hábitat hidráulico y en cada hábitat acuático identificado.

#### **Peces**

##### Requerimientos de información:

- Listado histórico y actual de la ictiofauna presente en el sitio de referencia

- Listado del hábitat hidráulico y físico disponible para todo el ciclo de vida de la ictiofauna en cada una de las zonas geomorfológicas del cauce

#### Objetivos del análisis

- Caracterizar la estructura, composición y distribución espacial y temporal de peces
- Vincular e identificar los parámetros hidrológicos e hidráulicos críticos para cada especie, asociados a sus hábitats preferidos
- Evaluar la importancia ecológica de cada especie y la sensibilidad asociada a su ciclo de vida
- Evaluar la importancia, integridad ecológica, biológica y la sensibilidad del río.
- Análisis retrospectivo y tendencial a partir de la información histórica de presencia (listado de especies)

#### Elementos a analizar

- Índices de riqueza, biodiversidad, estructura y composición (ejemplo: IBI)
- Requerimientos ecológicos de los peces
- Impacto de la magnitud, duración y periodos de retorno de los caudales bajos y altos en la dinámica de las especies presentes

#### Productos

- Inventario de todas las especies de peces, su importancia ecológica y grado de sensibilidad.
- Identificación de especies como bioindicadores del estado ecológico del río
- Hábitat hidráulico y físico (geomorfológico) requerido por la ictiofauna en sus diferentes etapas de vida

#### **Aspectos sociales**

##### Requerimientos de información:

- Listado de localidades y poblaciones en la UECE
- Identificación de los usos del agua y recursos asociados, tales como abastecimiento de agua, pesca, turismo, lavado de ropa u otras prácticas similares, recreación, protección contra eventos extremos, insumos materiales, cuerpo receptor de descargas de aguas residuales, abrevaderos, etc.

#### Objetivos del análisis

- Proporcionar información sobre los recursos ribereños y el uso del agua que las comunidades rurales utilizan del río y la relevancia de mantener sus medios de vida.

#### Elementos a analizar

- Identificación de grupos de usuarios
- Descripción de los patrones de uso y consumo, asociados a la disponibilidad del recurso, sus bienes y servicios (cantidad, estacionalidad, sustitutos, frecuencia, etc.)
- Relación de los bienes y servicios con el régimen de caudales en la UECE.
- Identificación de amenazas a los bienes y servicios.

#### Productos

- Censo de población de los usuarios del agua.
- Patrón de uso y volumen o consumo.
- Bienes o servicios aportados por los recursos ribereños.

**Anexo 2. Ejemplo ficha técnica. Sitio de trabajo en la Evaluación de Caudales Ecológicos en el Río Conchos**

VM1. Cuchillo Parado



## **HIDROLOGÍA**

### **Descripción general**

El sitio de interés VM1 en la localidad de Cuchillo Parado se encuentra aguas abajo de la presa Luis L. León y el flujo que se presenta en este punto corresponde a las salidas (obra de toma, desfogues y derrames) de la presa así como la aportación por cuenca propia hasta este punto. La presa satisface las demandas de agua de las Unidades de Desarrollo Rural establecidas en los municipios de Coyame y Ojinaga, así como las necesidades del Distrito de Riego 090 Bajo Río Conchos en Ojinaga y los pagos de agua para satisfacer el Tratado de 1944 con Estados Unidos. El volumen anual de agua concesionada para uso agrícola en estos dos municipios es de 115,348,333 m<sup>3</sup>. El uso pecuario tiene concesionado 1,278,313 m<sup>3</sup> y el público urbano 356,502 m<sup>3</sup>, representando en total el 7.5% del agua concesionada en la cuenca para usos consuntivos.

La presa L. L. León comenzó a operar a partir de 1968. Los flujos a partir de esa fecha se ven afectados por su funcionamiento. La estación hidrométrica en el punto ya no opera y se cuentan con registros desde 1976 a 1993 únicamente. Los flujos naturales de requerirse así como estimaciones en otras fechas diferentes a estas provendrían de la modelación hidrológica. La Figura 1 muestra la ubicación del punto dentro del diagrama esquemático de la cuenca.

### **Histograma de volumen anual (natural y actual)**

Para las condiciones históricas, se presenta en la Figura 2 el histograma de flujos correspondiente a la estación hidrométrica Pegüis (Clave 24388) que se encontraba en el sitio de interés.

### **Distribución estacional del volumen de escurrimiento**

En la Figura 2 se puede apreciar la variación mensual de los volúmenes de escurrimiento registrados en la estación Pegüis y se contrastan estos volúmenes con las salidas mensuales de la presa León observándose el mismo comportamiento para ambos puntos. La temporada de mayor escurrimiento ocurre de agosto a septiembre, extendiéndose eventualmente de mayo a octubre. La temporada de menores flujos se observa de noviembre a febrero.

Los años con mayor flujo reportado fueron 1978, 1986, 1990 y 1991. El año más secos fueron 1980 y 1983.

### **Relación caudal-frecuencia para flujos diarios**

Se presenta en la Figura 3 la curva caudal-frecuencia para los flujos promedios diarios del periodo 1976 a 1993.

### **Series de tiempo de flujos diarios**

En la Figura 4 se muestra la serie de tiempo de flujos promedio diarios reportados para Estación Pegüis para los años húmedos. Se muestra también en la Figura 6 la serie de tiempo para los años secos de 1980 y 1983.

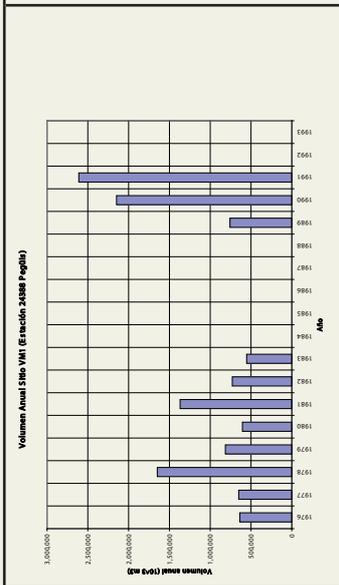


Figura 1. Volúmenes anuales en estación hidrométrica Pegüis (Clave 24388) en miles de metros cúbicos. (Fuente: BANDAS)

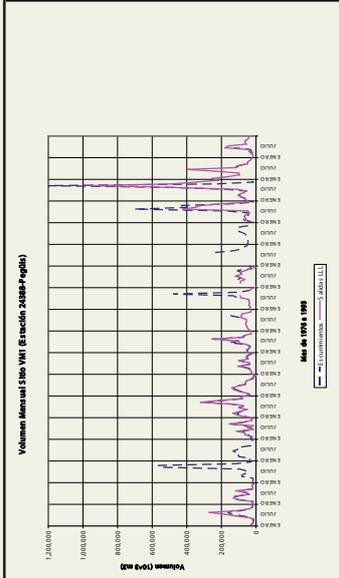


Figura 2. Histograma de volúmenes. Estación Pegüis (Clave 24388)

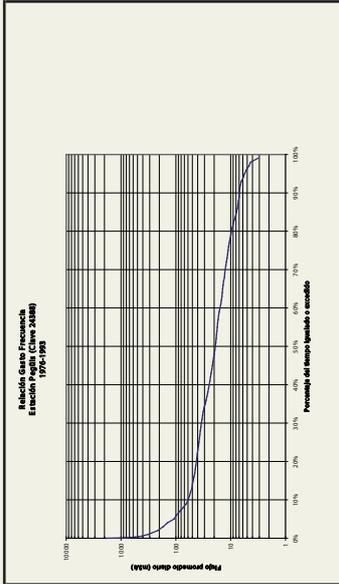


Figura 3. Relación gasto diario-frecuencia. Estación Pegüis (Clave 24388) 1976 a 1993.

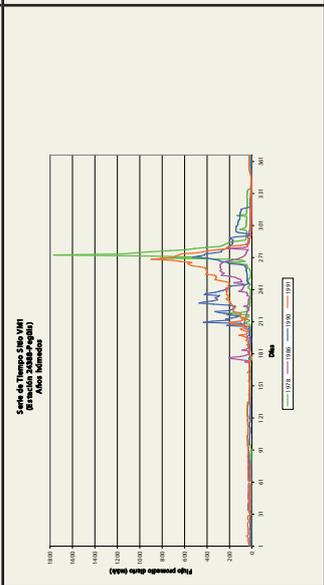


Figura 4. Serie de tiempo flujos promedio diarios. Estación Pegüis (Clave 24388)

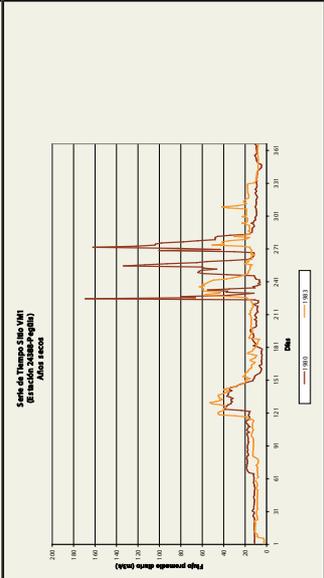
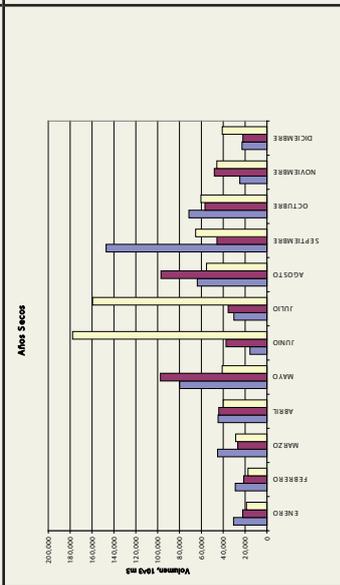
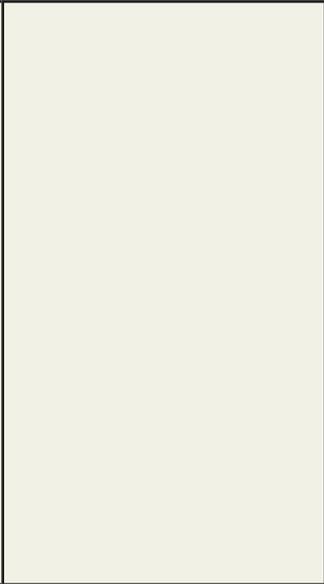
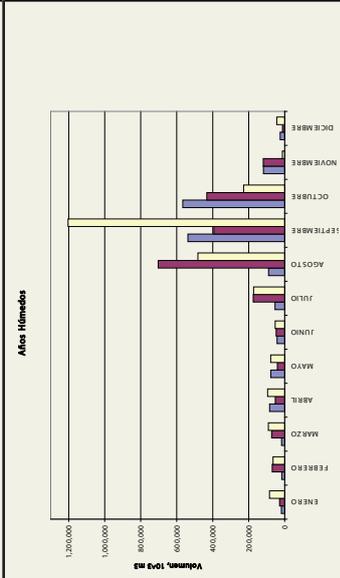


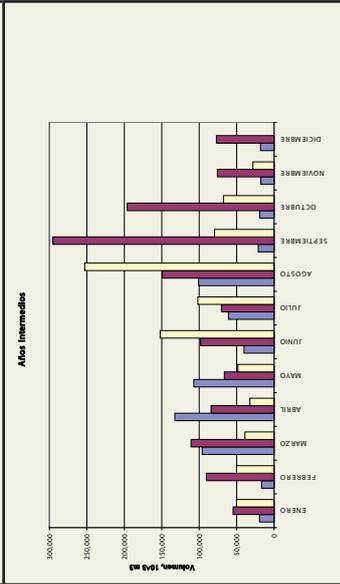
Figura 5. Serie de tiempo flujos promedio diarios. Estación Pegüis (Clave 24388)



Histograma de volúmenes mensuales para tres años secos. Estación Pegüis (Clave 24388)



Histograma de volúmenes mensuales para tres años húmedos. Estación Pegüis (Clave 24388)



Histograma de volúmenes mensuales para tres años intermedios. Estación Pegüis (Clave 24388)

### Descripción de eventos extremos.

**Tabla 1: Resumen de datos de flujo para el periodo 1976 a 1993 para la Estación Pegüis (clave 24388).**

Mes	Flujo Base (m <sup>3</sup> /s)		No. Eventos	Flujos Máximos (m <sup>3</sup> /s)		Duración (d)
	min	max		min	max	
Enero	2.5	13.5	1	32.0	46.0	3-4
Febrero	5.5	37.0	0	-	-	-
Marzo	5.6	48.0	0	-	-	-
Abril	4.0	47.5	0	-	-	-
Mayo	6.0	42.0	2	73.0	103.0	6-23*
Junio	4.4	50.0	3	189.0	266.0	4-5
Julio	7.6	88.0	4	139.0	432.0	3-4
Agosto	6.0	100.0	2	67.0	150.0	3-4
Septiembre	10.0	280.0	2	900.0	1766.0	18-36*
Octubre	3.3	44.0	2	184.0	335.0	3-10*
Noviembre	2.0	41.0	2	41.5	132.0	2-4
Diciembre	2.5	17.0	2	26.0	43.0	11-28

\*Los flujos reportados corresponden a las salidas de la presa L.L. León (obra de toma, derrames y desfogues). Existen eventos que claramente se ve que son resultado de lluvias intensas, sin embargo, los flujos máximos de septiembre corresponden a desfogues y derrames prolongados de la presa, sin embargo, se incluyen en este resumen para representar la variación y permanencia en el flujo de estas descargas.

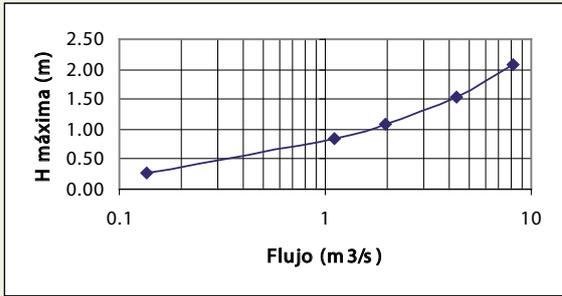
### HIDRÁULICA

Tabulación de los datos observados de la descarga vs. Profundidad del agua y coeficiente de resistencia.

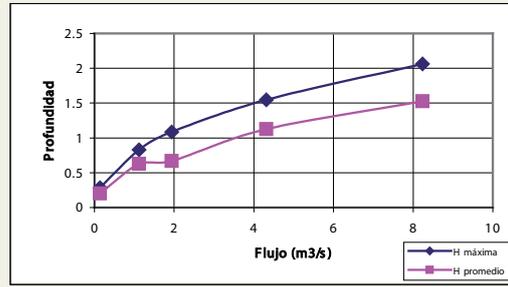
El formato y datos correspondientes a los datos observados en campo se muestran en la tabla 1:

**Tabla 1: Formato para el registro de datos de descarga (Cuchillo Parado)**

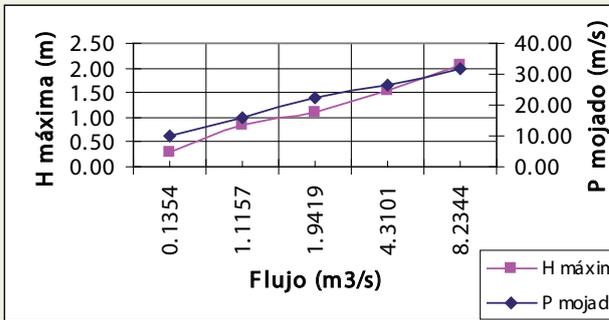
<b>REGISTRO DE CAMPO-CUCHILLO PARADO</b>									
								<i>Coef. Rugosidad (n)</i>	<b>0.035</b>
<b>PUNTO H2-B2</b>									
Descripción	Coordenadas			Profundidad	Velocidad				
	N	E	Z		0.4H	0.2H	0.8H		
Estación	100.00	100.00	100.00						
Referencia	-38.955	112.998	106.491						
Liga	101.657	100.085	99.892						
Liga	102.017	97.952	99.654						
	102.281	96.194	99.219						
ZA (MD)	102.527	94.853	98.915						
	102.895	92.606	98.729	0.20		0.07			
	102.968	90.332	98.640	0.34		0.09			
	103.615	88.641	98.425	0.51		0.12			
	103.893	86.999	98.066	0.88			0.10	0.20	
	104.264	85.081	97.919	1.00			0.20	0.27	
	104.872	81.990	97.797						
	105.489	78.836	97.828	1.15			0.17	0.24	
	105.772	77.145	98.111	0.82			0.11	0.15	
	106.092	75.339	98.658	0.29		0.15			
ZA (MI)	106.514	73.139	98.960						
	106.847	70.799	99.373						
	107.480	67.394	100.330						
ZA'(MI)	106.453	73.223	98.947						
Pendiente A. Arriba	48.922	78.406	98.407						
Pendiente A. Abajo	153.187	88.312	98.059						



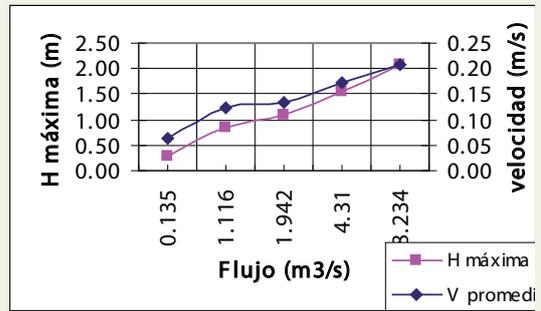
Flujo vs. Profundidad máxima)



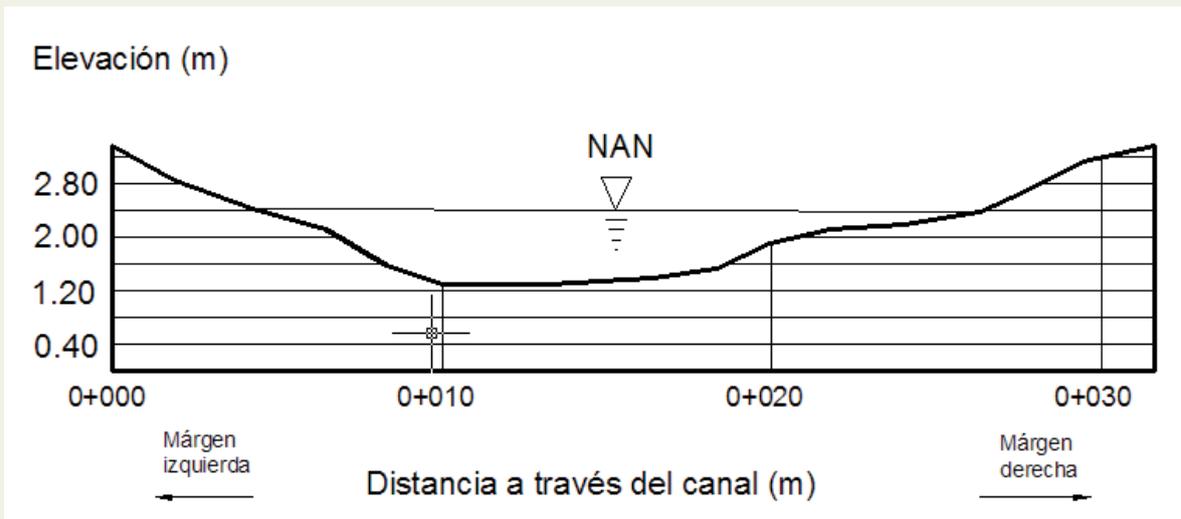
máxima y promedio



Flujo vs. Profundidad máxima y perímetro mojado



Flujo vs. Profundidad máxima y velocidad



Sección transversal Cuchillo Parado

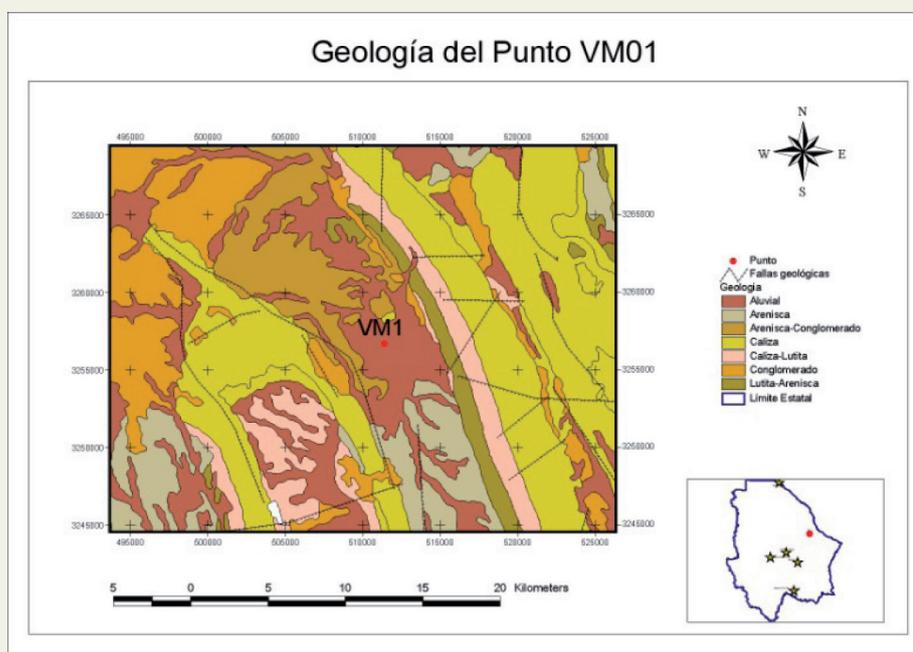
## GEOMORFOLOGÍA

### Localización

La sección VM\_01 se encuentra localizada al Noreste del estado de Chihuahua, la zona donde se ubica la sección se encuentra bien comunicada; el acceso terrestre se lleva a cabo a través de la carretera federal No. 16 y posteriormente por el camino vecinal que comunica al poblado de Cuchillo Parado.

### Marco Físico

La sección se encuentra ubicada en la provincia fisiográfica de Sierras y Llanuras del norte; las topografías son más bajas y abruptas. En general, las estructuras serranas se orientan al NNW-SSE, y entre ellas se pueden encontrar complementarias de bajadas y llanuras, estas últimas constituidas por material aluvial.



Plano del Consejo de Recursos Mineros Esc 1: 500000

La sección VM\_01 se encuentra localizada sobre suelo aluvial que pertenece al Cuaternario Continental (Qal). Bajo esta denominación se incluyen suelos residuales y transportados de poco espesor, sedimentos fluviales y lacustres originados por corrientes y lagunas aun existentes, y depósitos eólicos. Los cursos de las corrientes principales suelen estar bordeados por terrazas conglomeráticas cementadas en varios grados por caliche. Los sedimentos lacustres son arenas de grano fino, limos, arcillas y depósitos salinos.

### Descripción del Sitio

La sección transversal se encuentra localizada en un Meandro, en la cual el farallón se encuentra en la parte izquierda del río y la playa o zona de inundación en la parte derecha. Cerca de la sección se encuentra una pequeña isleta la cual está constituida por vegetación y sedimentos por arenas y gravas.

Al revisar los sedimentos en el cauce del río nos encontramos con grava de origen sedimentario teniendo la partícula más grande un diámetro de 15 cm. y va graduando de tamaño hasta llegar a arena, los sedimentos son aportados por las sierras ya mencionadas anteriormente.

## CALIDAD DEL AGUA

### Aprovechamiento del agua: Presa Luis R. León

<b>Físicos</b>	<b>MAYO - 05</b>	<b>AGOSTO - 05</b>	<b>ENERO - 06</b>
Conductividad, mS	1,901	1,760	
Sólidos totales, mg/L	1,325	1,355	1,110
Sólidos suspendidos totales, mg/L	14	13	22
Sólidos disueltos totales, mg/L	1,311	1,343	1,088
Temperatura, °C	26.8	31.1	13.7
Turbidez, utn	12.7	18.3	
Oxígeno Disuelto, mg/L	8.50	8.76	
<b>Químicos</b>			
Alcalinidad, mg/L	160	150	
Arsénico, mg/L		0.035	
Cloruros, mg/L	84.2	64.0	158.8
Dureza total, mg/L	461	340	
Fierro, mg/L	0.080	0.021	
Fosfatos tot, mg/L	0.50	0.92	0.865
Fosfatos sol, mg/L			0.418
Nitratos, mg/L		1.06	5.278
Nitrógeno Amoniacal, mg/L			3.382
pH	7.76	7.89	7.90
Sulfatos, mg/L	620.4	606.7	
<b>Biológicos</b>			
Coliformes fecales, # Col / 100 mL	588	69	
Coliformes totales, # Col / 100 mL	2,400	76	
DBO <sub>5</sub> , mg/L	34.7	3.6	
<b>Sedimentos</b>			
Sólidos secos, %	76.90	56.58	
Sólidos volátiles, %	0.60	0.56	

De acuerdo a los valores reportados, se puede considerar un efluente ligeramente superior a los 1,000 mg/L, concentración limitante para diferentes usos del agua.

Revisando los resultados obtenidos en los meses anteriores, se puede justificar que el agua en este sitio manifiesta altos contenidos de sulfatos, dureza total, incremento en el contenido de cloruros y alcalinidad media. Esto justifica la salinidad del agua.

El contenido de nutrientes, particularmente las altas concentraciones de nitrógeno amoniacal y de nitritos y de fosfatos totales, son indicadores de agua empleada en cultivos.

La presencia de colonias bacterianas totales no representa mayor problema sanitario, principalmente por los bajos conteos. En síntesis representa agua de drenaje agrícola.

VEGETACIÓN

<b>Río: Conchos, cuenca media</b>							
<b>Sitio BBM: VM1-Cuchillo Parado</b>				<b>Sección transversal botánica: Única</b>			
<b>Tipo de canal: Pozas (remansos)</b>							
Ind. N°	Especie	Altura (m)	Banco	Posición en Macro Canal	Tipo de substrato superficial	Posición vertical (m)	Posición lateral (m)
1	<i>Thypha dominguensis</i>	0.15	Der.	Piso	Canto	0.18	0.40
2	<i>Nasturtium officinale</i>	0.05	Der.	Piso	Canto	0.05	0.00
3	<i>Prosopis pubescens</i>	2.2	Der.	Banco	Aluvial	3.2	3.00
4	<i>Tamarix ramosissima</i>	2.2	Der.	Banco	Aluvial	3.2	3.00
5	<i>Baccharis glutinosa</i>	2.0	Der.	Banco	Aluvial	3.0	4.2
6	<i>Baccharis glutinosa</i>	2.0	Der.	Banco	Aluvial	3.0	5.6
7	<i>Baccharis glutinosa</i>	2.0	Der.	Banco	Aluvial	3.0	6.9
8	<i>Salix taxifolia</i>	4.5	Der.	Banco	Aluvial	6.5	50.0
9	<i>Parkinsonia aculeata</i>	2.4	Der.	Banco	Aluvial	4.4	45.0
10	<i>Cynodon dactylon</i>	0.05	Izq.	Banco	Aluvial	1.65	0.10
11	<i>Prosopis glandulosa</i>	1.9	Izq.	Banco	Aluvial	2.7	1.6
12	<i>Prosopis glandulosa</i>	1.2	Izq.	Banco	Aluvial	2.2	4.3
13	<i>Prosopis glandulosa</i>	3.2	Izq.	Banco	Aluvial	4.7	1.9

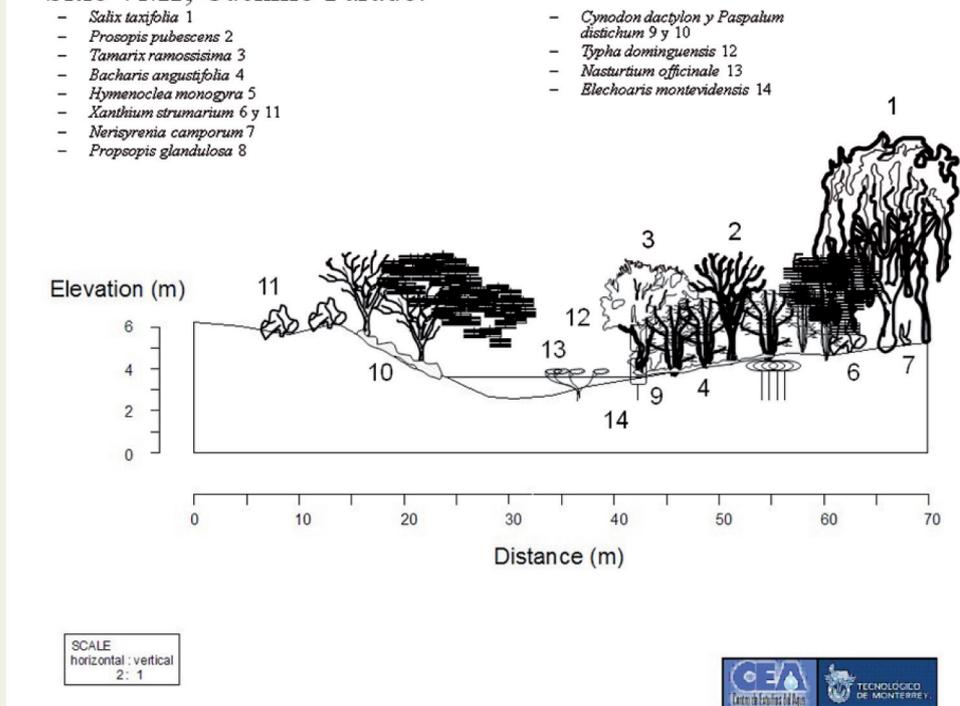
<b>Datos de la vegetación riparia</b>		<b>Colector:</b>	<b>Sitio BBM: VM1</b>
<b>Nombre del río: Conchos, cuenca baja</b>		<b>Fecha:</b>	<b>Banco: N S E O</b>
<b>Altitud: 904</b>	<b>Aspecto:</b>	<b>Geología: Sedimentario</b>	
<b>Latitud: 511582</b>	<b>Longitud: 3257476</b>		

<b>Medidas en metros</b>	<b>Zona 1</b>	<b>Zona 2</b>	<b>Zona 3</b>	<b>Zona 4</b>	<b>Zona 5</b>	<b>Zona 6</b>
<b>Nombre</b>	<b>Acuática</b>	<b>Banco húmedo Juncos</b>	<b>Banco húmedo arbustos</b>	<b>Banco seco zona cercana</b>	<b>Banco seco Arbustos/ Árboles</b>	<b>Banco seco zona alejada</b>
Área muestra	1 X 2	1 X 2	10 X 10	5 X 10	20 X 20	
% de cobertura	10 %	1 %	80 %	45 %	5 %	
% cobertura hojarasca	--	--	5 %	10 %	2 %	
Profundidad del suelo						
<b>Nombre del substrato</b>	<b>% de cobertura</b>	<b>% de cobertura</b>	<b>% de cobertura</b>	<b>% de cobertura</b>	<b>% de cobertura</b>	<b>% de cobertura</b>
Guijarro						
Canto rodado	100 %	100 %				
Arena						
Aluvión			100 %	100 %	100 %	
Roca						
Distancia actual desde la orilla del agua	0.00 m	0.15 m	0.60 m	1.2 m	2.0 m	
Altura por encima del agua	0.05 m	0.20 m	2.0 m	2.0 a 2.4 m	4.5 a 5.0 m	
Estrato superior	Forma de vida				Árbol	
	Especie dominante				<i>Salix taxifoliata</i>	
	Altura y cobertura					
Estrato medio	Forma de vida		Arbusto	Arbusto		
	Especie dominante		<i>Baccharis Glutinosa</i>	<i>Parkinsonia Aculeata</i>		
	Altura y cobertura					
Estrato inferior	Forma de vida	Hierba enraizada	Hierba enraizada	Hierba		
	Especie dominante	<i>Nasturtium officinale</i>	<i>Typha dominguensis</i>	<i>Cynodon dactylon</i>		
	Altura y cobertura					

Listado de especies vegetales. En rojo las exóticas y en el relleno celeste las acuáticas obligadas.			
Familia	Nombre científico	nombre comun	VM 1
Asteraceae	<i>Baccharis glutinosa</i>	Jarilla	47
Asteraceae	<i>Xanthium strumarium</i>	Cadillo	6
Asteraceae	<i>Hymenoclea monogyra</i>	Técota	4
Brassicaceae	<i>Brassica campestris</i>	Mostacilla	26
Cyperaceae	<i>Eleocharis montevidensis</i>		200
Fabaceae	<i>Parkinsonia aculeata</i>	Retama	4
Fabaceae	<i>Prosopis glandulosa</i>	Mezquite	12
Fabaceae	<i>Prosopis pubescens</i>	Mezquite tornillo	8
Hydrophyllaceae	<i>Nama hispidum</i>		9
Papaveraceae	<i>Argemone mexicana</i>	Cardo	2
Poaceae	<i>Echinochloa crus-galli</i>		X
Poaceae	<i>Cynodon dactylon</i>	Zacate Bermuda	X
Poaceae	<i>Paspalum distichum</i>		X
Potamogetonaceae	<i>Potamogeton aff. Pectinatus</i>		X
Salicaceae	<i>Populus x acuminata</i>	Alamillo	2
Salicaceae	<i>Salix taxifolia</i>	Sauce	3
Solanaceae	<i>Nicotiana glauca</i>	Tabaquillo	2
Tamaricaceae	<i>Tamarix ramosissima</i>	Tamarix	4
Typhaceae	<i>Typha dominguensis</i>	Typha	2
Viscaceae	<i>Phoradendron sp.</i>		10

• Sitio VM1, Cuchillo Parado.



Perfil transversal de vegetación de ribera

## INVERTEBRADOS ACUÁTICOS

Listado de especies del sitio VM1 Cuchillo Parado

Orden	Familia	Género	Nombre común	No. Ind	E	To	C. Trófica	Hábitat	Imagen
Coleoptera	<i>Dytiscidae</i>	<i>Laccophilus</i>		7	A	5-10	PR		
	<i>Hydrophilidae</i>	<i>s</i>		12	A	5	PR	SW/DW	
		<i>Tropisternus</i>		1	L	5-10	PR		
Diptera	<i>Chironomidae</i>			9	L	6	GC	BU	
Ephemeroptera	<i>Baetidae</i>	<i>Procloeon</i>		29	L	4	OM/GC	SW/CN	
	<i>Leptophlebiidae</i>	<i>Habrophlebia</i>		5	L	2	GC		
	<i>Leptophlebiidae</i>	<i>Habroplebiodes</i>		2	L	2	GC		
Hemiptera	<i>Belostomatidae</i>	<i>Belostoma</i>		1	A	9.8	PR	CB/SW	
	<i>Belostomatidae</i>	<i>Belostoma</i>		5	L	9.8	PR	CB/SW	
	<i>Corixidae</i>	<i>Cenocorixa</i>		10	A	5-10	PR	SW	
	<i>Corixidae</i>	<i>Cenocorixa</i>		1	L	5-10	PR	SW	
	<i>Corixidae</i>	<i>Hesperocorixa</i>		8	A	5-10	PR	SW	
	<i>Naucoridae</i>	<i>Ambrysus</i>		1	A	5	PR	CB/SW	
	<i>Naucoridae</i>	<i>Ambrysus</i>		37	L	5	PR	CB/SW	
	<i>Veliidae</i>	<i>Microvelia</i>		6	A	6	PR	SK	
	<i>Veliidae</i>	<i>Rhagovelia</i>		37	A	6	PR	SK	
	<i>Veliidae</i>	<i>Rhagovelia</i>		13	L	6	PR	SK	
Odonata	<i>Coenagrionidae</i>	<i>Argia</i>		1	L	5.1-6	PR		
	<i>Gomphidae</i>	<i>Progomphus</i>		3	L	8.7	PR	BU	
	<i>Libellulidae</i>	<i>Libellula</i>		1	L	9	PR	SP	

\*No. Ind= Número de Individuos, E= Estadio, To= Tolerancia

\*\*Tolerancia: PA=Parasite, PR=Predator, OM=Omnivore, GC=Gatherer/Collector, FC=Filter/Collector, SC=Scraper, SH=Shredder, PI=Piercer. Hábitat: CN=Clinger, CB=Climber, SP=Sprawler, BU=Burrower, SW=Swimmer, DV=Diver, SK=Skater

**PECES**

Listado de especies del sitio VM1 Cuchillo Parado

Familia	Especie	Nombre común	Sensibilidad	Norma	Origen	Hábitat	Imagen	Imagen
Characidae	<i>Astyanax mexicanus</i>	Sardinita mexicana	T		N	Corriente Lenta		
Catostomidae	<i>Cycleptus elongatus</i>	Matalote azul	S	Pr*	N	Agua profundidad clara		
	<i>Scartomyzon austrinus</i>	Matalote chuine	T		N			
Cyprinidae	<i>Cyprinella lutrensis</i>	Carpita roja	T		N			
	<i>Cyprinella panarcys</i>	Carpita del Conchos	S	P*	E			
	<i>Cyprinus carpio</i>	Carpa común	T		Ex	Poca profundidad		
	<i>Pimephales promelas</i>	Carpita cabezona	T		N	Poca profundidad		
	<i>Notropis braytoni</i>	Carpita tamaulipeca	S	A*	E	Poca profundidad		
	<i>Rhinichthys cataractae</i>	Carpita rinconera	T		N	Poca profundidad		
Poeciliidae	<i>Gambusia affinis</i>	Guayacón mosquito	T		Ex	Poca profundidad		
Ictaluridae	<i>Ictalurus furcatus</i>	Bagre azul	T		N	Poca profundidad lodoso		
	<i>Ictalurus punctatus</i>	Bagre de canal	S	*	N	Poca profundidad lodoso		
	<i>Pylodictis olivaris</i>	Bagre piltontle	T		N	Poca profundidad lodoso		
Lepisosteidae	<i>Lepisosteus osseus</i>	Catán aguja	S	*	N	Media agua		

Ex: Exótica; N: Nativa; E: Endémica; T:Tolerante; S: Sensible; P: Protección especial; y A: Am



# Con caudal ecológico

1. SE CONSERVA  
EL RÉGIMEN  
HIDROLÓGICO  
SALUDABLE

2. SE RECONOCE  
AL AMBIENTE EN LA  
GESTIÓN DEL AGUA



3. SE MANTIENEN  
FUNCIONES Y SERVICIOS  
ECOLÓGICOS EN BUEN  
ESTADO

4. SE FACILITA  
EL MANEJO  
INTEGRADO  
DEL AGUA



**Por qué estamos aquí**

Para detener la degradación del ambiente natural del planeta y construir un futuro en el cual los humanos convivan en armonía con la naturaleza.

[www.wwf.org.mx](http://www.wwf.org.mx)