



The Coca-Cola Company

CAUDAL ECOLÓGICO

WWF MESOAMÉRICA

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	5
2. ANTECEDENTES	8
3. FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS DE CAUDAL ECOLÓGICO	14
4. METODOLOGÍAS PARA CALCULAR LOS CAUDALES ECOLÓGICOS	19
5. CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO TECULUTÁN, GUATEMALA	37
6. CONCLUSIONES	46
7. ANEXOS	49

CAUDAL ECOLÓGICO

WWF MESOAMÉRICA



CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

El ciclo del agua es vida y, en este sentido, el régimen de caudales de ríos es el “pulso” que sostiene el planeta. Es lo que sustenta los procesos, las funciones y la integridad ecológica que conlleva a la provisión de servicios ecosistémicos, como el abastecimiento del agua, la regulación de eventos meteorológicos extremos (sequías e inundaciones), algunos servicios de soporte y aquellos asociados con aspectos culturales.

La demanda creciente de los recursos hídricos ha afectado a las especies y los ecosistemas en las cuencas, que incluyen los lagos, las lagunas, los ríos, riachuelos y quebradadas, así como las zonas costeras. El consumo de agua para uso humano está ejerciendo estrés o presiones sobre el agua, derivado de sus diversos usos en los diferentes sectores productivos, tanto agropecuario como industrial, olvidando el agua para el ambiente o los ecosistemas. El aumento poblacional descontrolado, los cambios en el uso del suelo, la degradación de la calidad del agua y el impacto y la vulnerabilidad causada por el cambio climático también generan un deterioro de los ecosistemas y de la calidad de vida de los habitantes que dependen de los servicios ecosistémicos. Estas intervenciones y los daños acumulados a lo largo del tiempo han ocasionado un descenso de la disponibilidad del recurso y una consecuente incapacidad de los sistemas hidrológicos para mantener los servicios ecosistémicos y los caudales de agua de los cuales depende mucha gente. De esta cuenta, un nuevo tipo de conflicto de agua ha surgido entre la capacidad de satisfacer las demandas económicas del recurso a corto plazo y los diversos procesos y servicios ecosistémicos que el agua provee. Resulta imperativo atender este emergente conflicto, pues si se ignoran las señales de estas degradaciones, los servicios ecosistémicos se verán restringidos, y cada vez será más difícil mantener los medios de vida que dependen de una disponibilidad continua del agua.

Como resultado de los estudios que abordan el desafío de encontrar un equilibrio en el uso del agua para un futuro abastecimiento de calidad para todos los usuarios, se ha planteado la necesidad de garantizar el régimen de caudal ecológico. El caudal ecológico se define como el régimen hidrológico que se requiere para mantener los procesos ecológicos (reproducción, migración, alimentación, sucesión de especies, etc.), la conectividad en toda la cuenca y el balance hidrológico a largo plazo, de lo que depende la disponibilidad de agua para todos.





CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES

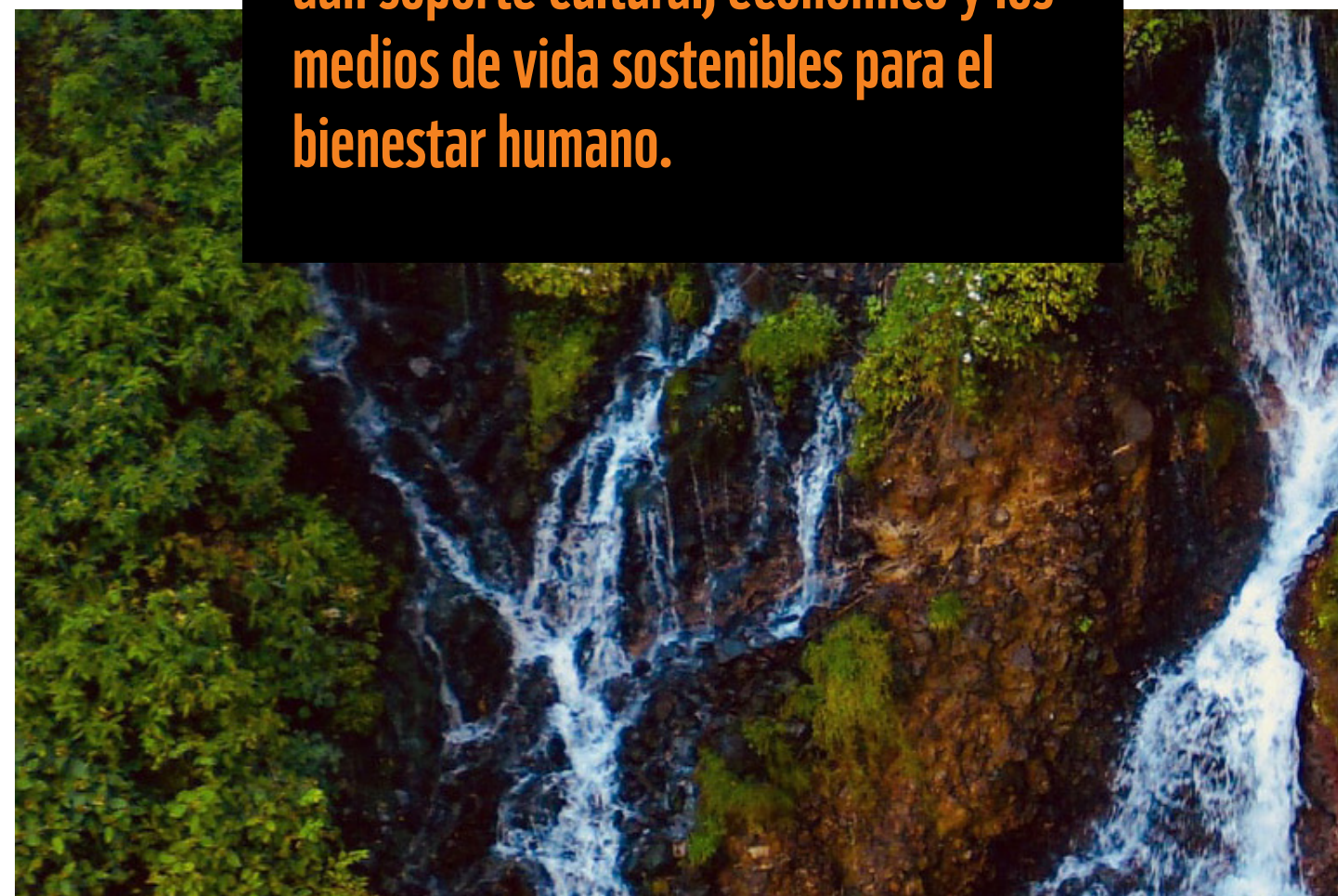
Las actividades humanas ocupan diversos usos del agua y eso ha tenido un costo sobre el capital natural que se evidencia con la pérdida de más del 80% de la diversidad de agua dulce en los últimos 40 años. Asimismo, se ha perdido casi el 40% de las especies que dependen de los humedales. Solo hemos podido conservar un tercio de los grandes ríos del mundo en buen estado de conectividad. Estas son solo algunas de las causas que han provocado una crisis que se ve reflejada por la escasez severa de agua. Aproximadamente 2/3 de la población humana padece de severo estrés hídrico, al menos durante un par de meses al año. Se estima que habrá un incremento de un 55% de la demanda global de agua para el 2050, sin mencionar que el cambio climático intensificará aún más esta presión.

El concepto de caudal ecológico se originó en la década de los 60 y se comienza a abordar de una manera sistemática, sobre todo, con la necesidad de dejar una cierta cantidad de agua para el ambiente, específicamente para protección contra inundaciones, como suministro de agua o para la generación de energía hidroeléctrica. En los años 70, esta contribución sobre los caudales ecológicos se enfocaba en mantener caudales mínimos con el objetivo de que los ríos tuvieran agua todo el tiempo. El concepto de caudales ecológicos fue migrando hacia una visión más holística en los años 90. Atrás quedó el concepto de caudal mínimo y los especialistas comenzaron a analizar los componentes y atributos. De manera que el concepto de régimen con sus componentes y atributos, se comenzó a entender desde un punto de vista holístico, lo que implicaba un enfoque biótico del sistema, es decir, todo lo relativo a los seres vivos y a sus procesos dentro de este sistema. La nueva perspectiva permitió que el concepto de desarrollo sustentable y la vida de las personas y el medio ambiente se interrelacionaran estrechamente. En consecuencia, el desarrollo sustentable, además del objetivo de incrementar la calidad de vida de los seres humanos, también toma en cuenta la capacidad de soporte de los ecosistemas.

Las diversas investigaciones generan información para comprender mejor el régimen hidrológico desde un enfoque ecosistémico, orientado a una restauración y conservación de los caudales ecológicos. Este modelo holístico integra especialistas en diferentes disciplinas para trabajar en sintonía bajo un marco conceptual común. Para establecer los objetivos, es necesario definir previamente las necesidades hídricas del ambiente, con el propósito de conservar un amplio espectro de especies, al igual que los procesos y servicios. Asimismo, el caudal ecológico se debe ver como una herramienta que forma parte de una serie de instrumentos que servirán para hacer una buena gestión integral de los recursos hídricos, en la que deben intervenir otras entidades.

En el 2007, surge un acuerdo conocido como la Declaración de Brisbane que define al caudal ecológico como la “cantidad, periodicidad y calidad del agua que se requiere para sostener los ecosistemas dulceacuícolas, estuarios y el bienestar humano que depende de estos ecosistemas”. Diez años después, la comunidad científica se reunió para revisar el concepto, lo cual generó algunas enmiendas al respecto. La nueva definición de caudal ecológico que emitió la Declaración de Brisbane en el 2017 quedó así:

Cantidad, calidad y el régimen de caudales y niveles de agua dulce necesarios para sostener los ecosistemas acuáticos que, a cambio, dan soporte cultural, económico y los medios de vida sostenibles para el bienestar humano.



A partir de la Conferencia del Agua, en Mar de Plata, Argentina, y de Dublín, Irlanda, en 1992, el concepto de manejo integrado de los recursos hídricos reconoce al agua como una parte integral del ecosistema. Esto incluye agua superficial y subterránea, la calidad del agua, los ecosistemas acuáticos y el manejo de la tierra. Quiere decir que, como parte del manejo integral del recurso hídrico, hay que tomar en cuenta sus procesos y la biodiversidad de una manera sostenible. Actualmente se trabaja para considerar a los ecosistemas relacionados como usuarios del recurso hídrico, para lo cual se debe garantizar un régimen de caudal ecológico en los cauces de agua. En este sentido, es necesario tomar muy en cuenta el agua subterránea como un elemento que juega un papel importante en el caudal ecológico, y vincular la relación entre el escurrimiento y la recarga para el abastecimiento de las zonas urbanas y otros usos.

Desde hace muchos años, se ha ido recolectando información acerca de las fuentes de agua superficiales y subterráneas, que sirven de indicadores para determinar el caudal de los cuerpos de agua en las cuencas. Un caudal puede considerarse ecológico, siempre que sea capaz de mantener el funcionamiento, la composición y la estructura de un ecosistema fluvial, igual o similar que en condiciones naturales.

El caudal ecológico es un término polisémico (que tiene diversos significados), según el objetivo de uso. Una breve definición de caudal ecológico indica que es aquel que asegura el abastecimiento de todos los seres vivos y que mantiene el flujo regular en el tiempo, lo más cercano posible a lo natural, garantizando la persistencia de la sostenibilidad de los ecosistemas. En términos de gestión, el caudal ecológico es un instrumento que permite acordar un manejo integrado y sostenible de los recursos hídricos; que establece la calidad, cantidad y régimen del flujo de agua requerido para mantener los componentes, funciones y procesos. Asimismo, promueve la resiliencia de los ecosistemas acuáticos que proporcionan bienes y servicios a la sociedad. Este tipo de gestión es el proceso por el cual se promueve el desarrollo y 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.

Anteriormente, los planes de manejo de cuencas se basaban en el inventario biológico, es decir, las especies que contenía el área y sus ecosistemas, y muchas veces no se consideraba el requerimiento hídrico para que las especies y los ecosistemas subsistieran. Los recursos hídricos de las áreas protegidas se pueden convertir en corredores biológicos, según la trayectoria que tenga un río, por ejemplo. El principio actual de caudal ecológico especifica que, luego de definir el caudal (volumen a través del tiempo) de un río, se puede reservar una porción de este caudal para uso ambiental. En consecuencia, los demás usuarios ya no tendrían acceso a este volumen adjudicado al ambiente. Para que el proceso sea eficiente, la responsabilidad debería recaer en una entidad que tenga el criterio para conceder el volumen de agua que un usuario solicite, el cual será otorgado según la disponibilidad del recurso en ese lugar, como ya lo hace México con sus recursos hídricos.

En resumen, el objetivo del caudal ecológico es reproducir en alguna medida el régimen hidrológico natural, tratando de conservar los patrones estacionales de caudales mínimos y máximos (temporadas de sequías y lluvias), régimen de crecidas y tasas de cambio. Estos parámetros son útiles para la gestión de la infraestructura hidráulica o hidroeléctrica.



CAPÍTULO 3

FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS DE CAUDAL ECOLÓGICO

¿CUÁNTA AGUA NECESITA UN RÍO?

En los últimos años, ha surgido el concepto de caudal socioecológico o caudal socioambiental. Tradicionalmente, se ha hablado de caudales ecológicos cuando el objetivo de la evaluación o de la implementación de alguna porción del régimen sea conservar procesos ecológicos. Y, generalmente, se habla de caudal ambiental cuando el objetivo es conservar alguna porción de agua para los servicios ecosistémicos. Para que el sistema provea estos servicios, es necesario que los procesos ecológicos estén en un estado apto, pues están intrínsecamente vinculados. Sin embargo, el objetivo de cada caso es diferente, porque la coexistencia entre los intereses sociales y los servicios ecosistémicos es más estrecha que con los procesos ecológicos. Por definición, los usos del agua implican el menoscabo en alguna proporción de los procesos ecológicos del ecosistema. De manera que cada vez se habla más de caudales socioambientales o caudales socioecológicos, en los que se incorporan los indicadores sociales a la evaluación ecológica del régimen.

El caudal ecológico consiste en analizar la cantidad, el tiempo y la calidad de los flujos de agua dulce y los regímenes necesarios para sostener los ecosistemas acuáticos, lo que, a su vez, apoya a las culturas humanas, las economías, los medios de vida sostenibles y el bienestar. En esta definición, los ecosistemas acuáticos se refieren a ríos, manantiales, riberas, llanuras de inundación, humedales, lagos y cuerpos de agua costeros, como lagunas y estuarios, además de ecosistemas dependientes de aguas subterráneas. También contempla todos los usos a nivel de cuenca.

Los atributos y los componentes del régimen sostienen la integridad ecológica. Los componentes constituyen los caudales bajos, extremadamente bajos, altos e inclusive las pequeñas y grandes inundaciones. Estos componentes se analizan a partir de sus atributos. Los atributos se refieren a la magnitud en la que esos caudales ocurren, la frecuencia, la duración, el momento y la tasa de cambio.

La otra gran característica en el contexto de las evaluaciones de caudales ecológicos es la predictibilidad de los caudales, que pronostica su comportamiento durante los diferentes ciclos anuales y estacionales. Estos se abordan a partir del rango de variabilidad, para cuyo análisis se toman en cuenta los caudales esperados en condiciones medias, húmedas y secas, por medio de una serie de técnicas estadísticas. El propósito es obtener una evaluación cuantitativa sobre lo que ocurre a lo largo del tiempo.

A partir de este análisis y evaluación, es posible identificar los momentos del año cuando ocurren los eventos con un mayor nivel de precisión de caudales, y se pueden vincular a diferentes funciones ecológicas, como la conectividad, por ejemplo. La conectividad no solo se puede asociar a la sincronización de ciclos biológicos, sino que también al transporte de sedimentos y los diferentes aspectos de la productividad primaria. Estas funciones ecológicas están vinculadas con uno o más servicios ecosistémicos, los cuales se pueden valorar por medio de diferentes métodos de aproximación.

Hoy en día, cuando se habla de caudales ecológicos, no se habla de caudales mínimos. Se habla de una porción del régimen hidrológico que se destina a permanecer en el ambiente para que cumpla con las funciones ecológicas o para proveer los servicios ambientales. Esto implica diferentes órdenes de magnitud según el río en cuestión. Antes se utilizaba el valor de 10% del volumen, como base para calcular el caudal ecológico, el cual surge a partir de la contribución de Donald L. Tennant (método Tennant o Montana), de acuerdo con los esquemas de manejo de los ríos en la década de los 70, específicamente del estado de Montana, Estados Unidos. Este método sostenía que las condiciones graves de degradación ocurrían al llegar a un 10% o menos del caudal. Lamentablemente, a eso se le debe la dramática pérdida de biodiversidad acuática de los últimos 40 a 50 años; por lo tanto, ese valor del 10% definitivamente ya no es aplicable. En el contexto de Latino América, cada país avanza a su paso y genera la información pertinente a sus territorios.



RÉGIMEN HIDROLÓGICO

Las variaciones del caudal definen el régimen hidrológico de un río, con variaciones temporales que pueden ocurrir en el caso de las tormentas. En eventos extremos, se puede producir una crecida cuando el aporte de agua es mayor que la capacidad del río para evacuarla, por lo que se desborda y cubre las llanuras próximas. El agua que circula bajo la tierra (caudal de base) tarda mucho más en alimentar el caudal del río y puede demorar días, semanas o meses después de que la lluvia generó la escorrentía. Por otro lado, si no llueve en absoluto o la media de precipitaciones es inferior a lo normal durante largos periodos, el río puede llegar a secarse cuando el aporte de agua de lluvia acumulada en el suelo y el subsuelo reduzca el caudal de base a cero. Esto puede ocasionar consecuencias desastrosas para la vida del río y sus riberas y para la gente que depende de él para su abastecimiento de agua. Sin embargo, hay otras especies cuyos procesos biológicos se rigen por estas sequías como parte natural de su ciclo, al igual que sucede con las inundaciones. Esto es lo que hay que tomar en consideración cuando se habla del régimen hidrológico natural, específico para cada ecosistema.

El régimen de caudales, con sus atributos y componentes, es clave para la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos. Organiza y define el ambiente físico, el ecosistema y las especies que en él habitan. Mantiene procesos ecológicos, la conectividad en toda la cuenca y el balance hidrológico a largo plazo. En la medida que se pueda mantener el régimen hidrológico en un estado prístino o semejante al natural, la condición biológica del ecosistema también será más cercana a su estado natural. Por lo tanto, cuando existe una mayor presión del agua, la condición biológica irá disminuyendo. Esto se conoce como el gradiente de la condición biológica.

La presión hídrica es la relación entre los usos del agua y los recursos naturales renovables. Por ejemplo, si el recurso renovable en una cuenca es un millón de metros cúbicos y los usos de agua rondan en los 20 millones, entonces el estrés hídrico estará cerca de 19 millones; es decir, en un 95%. En los estándares internacionales, un 20% implica un nivel de uso entre bajo y medio. En el contexto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, la manera en que los Estados tienen que reportar el avance de la implementación de caudales ecológicos es restando los caudales ecológicos al volumen renovable de las cuencas y los acuíferos¹.

TEORÍA DE LAS PERTURBACIONES

Los ecosistemas pasan por procesos aleatorios que pueden afectar la densidad de las especies existentes. La variabilidad del caudal es una parte fundamental de los ríos para mantener la biodiversidad. Esta variabilidad se traduce en procesos de autoorganización, que corresponde a la teoría de las perturbaciones. Estas perturbaciones alteran la estructura física y la composición de los elementos bióticos (flora y fauna) y abióticos (químicos y físicos), a tal punto que pueden llegar a cambiar la biodiversidad total dentro de un ecosistema. Las principales perturbaciones ecológicas pueden incluir incendios, inundaciones, tormentas, terremotos, erupciones volcánicas, sin mencionar aquellos que son causados por el impacto humano ya que no responden a un orden natural.

Esta teoría es muy importante en términos ecológicos y estipula que el sistema necesita perturbaciones porque, en la medida que estas ocurren, el sistema se estresa de forma natural para que solamente aquellos individuos más aptos sean capaces de aclimatarse y de subsistir. En consecuencia, solo los genes de aquellos que sobrevivan y se adapten se transmitirán a la siguiente generación. Estos individuos se adaptarán y evolucionarán a las nuevas condiciones ecológicas y climáticas, muchas veces preparados con una mayor resiliencia. En el contexto hidrológico, los huracanes y las sequías son eventos de perturbaciones que estresan el sistema naturalmente. En estos casos, cabe mencionar que las condiciones de estrés benefician a toda la comunidad biótica y no únicamente a una especie. Este tipo de elementos son los que hay que poner en relieve para lograr un manejo inteligente, sobre todo, ahora que el cambio climático es una realidad.

¹ Un acuífero se refiere al agua subterránea o manto freático.

CAPÍTULO 4 METODOLOGÍAS PARA CALCULAR LOS CAUDALES ECOLÓGICOS

En términos biológicos, los caudales ecológicos son un fenómeno cuya unidad es difícil de dimensionar. Se habla de un volumen de agua por una unidad de tiempo que se puede expresar en litros por segundo (L/s), metros cúbicos por segundo (m³/s), millones de metros cúbicos (hectómetro cúbico) por año (hm³/año), pero también puede ser millones de metros cúbicos (hectómetro cúbico) al día (hm³/día), al mes, a la semana, etc. A través de ese movimiento del agua, también se puede rastrear a partir de diferentes variables hidráulicas, que permiten entender mejor lo que implica esta unidad.

Es importante reconocer que todos dependemos del agua, de manera que es indispensable tener clara la forma en que se maneja este recurso. No solo significa que el río mantenga un cierto caudal todo el año, sino que el río tenga esa fuerza en las épocas de lluvia y que expanda su área de inundación, llevando todos los nutrientes que se requieren y se mantengan como vías de comunicación. El caudal ecológico ayuda a recuperar el funcionamiento natural de los ríos. Si bien se ha pensado que la naturaleza es un usuario, el concepto se debe ampliar a considerarla como un proveedor del agua. En la medida que conservemos nuestras cuencas y sus ecosistemas, se mantendrá el ciclo hidrológico.

PARADIGMA DEL RÍO NATURAL

Este paradigma explica los procesos del régimen hidrológico natural (RHN). Durante la época de estiaje (marzo a abril en Guatemala), algunas especies realizan sus procesos biológicos, tales como anidación, crecimiento y el inicio del apareamiento, aunque para otras puede ser diferente. Las especies tienen sincronizados los diversos aspectos de sus ciclos de vida, tanto las especies estrictamente acuáticas como los peces y algunos macroinvertebrados (p. ej., insectos y moluscos, entre otros), pero también las especies riparias, como ciertas plantas y árboles. Las crecidas moderadas (o avenidas) de los ríos, que en algunos casos puede ocurrir entre mayo y octubre, durante la época lluviosa, cumplen una función para ciertas especies, como las aves. Luego, durante las mayores crecidas, en los meses de junio a septiembre (aunque esto varía de acuerdo con los eventos extremos, como huracanes que provocan crecidas e inundaciones en diferentes meses de la época lluviosa), esto juega un papel importante para otros procesos biológicos de las especies que habitan en las cuencas o los humedales.

El paradigma se compone de cinco atributos:

- **La magnitud** es hasta dónde llegan los picos de caudal en el año. Estos picos son importantes porque ayudan a un transporte natural de sedimentos, los cuales acarrearán nutrientes a esas partes del ecosistema cuando se amplía la llanura de inundación.
- **La duración** es importante porque algunas especies requieren que el área esté inundada por un cierto periodo, por ejemplo, para poner sus huevecillos y que permanezcan protegidos bajo el agua 15 días o un mes.
- **La frecuencia** es importante porque define cuántas veces se presentan esas avenidas o esos escurrimientos que se reflejan en el área de inundación o la profundidad que lleva el río.
- **El momento de ocurrencia** define en cuáles épocas del año ocurren esos eventos y el momento del estiaje, los cuales son utilizados para los diferentes procesos biológicos.
- **La tasa de cambio** expone la velocidad con la que suceden estas crecidas. Va de la mano con las áreas de inundación.

Estos elementos inciden sobre cuatro características que consisten en la calidad del agua, la disponibilidad de las fuentes de energía, el hábitat físico y las interacciones bióticas. Todos estos constituyen la integridad ecológica. Cuando se altera el régimen, también se alteran estos aspectos bióticos en el sistema. Y, si las condiciones de degradación son permanentes, esto implica que se pierden las funciones ecológicas, la biodiversidad y los servicios ambientales. El caudal ecológico se puede medir por medio de parámetros registrados en estaciones meteorológicas o hidrométricas, con los que se estima el régimen hidrológico, específicamente el estiaje. La estación hidrométrica permite registrar el caudal de base (caudal proveniente del agua subterránea), mientras que en la meteorológica no. Cuando no se cuenta con una estación hidrométrica, el caudal ecológico se puede estimar únicamente de acuerdo con el patrón climatológico.

² El estiaje es el nivel de caudal mínimo que alcanzan los ríos en la temporada seca.

³ Ripario se refiere a la vegetación que crece a la orilla o la ribera de los ríos.

⁴ Una llanura de inundación es una planicie adyacente a los ríos, que se inunda debido a las crecidas en época lluviosa, cuando el suelo ya no es capaz de infiltrar el agua.

Cuando se aplican métodos holísticos, hay mucha participación de la sociedad y de los especialistas locales para poder realizar muestreos de fauna y flora del área, lo que genera más conocimiento. La vegetación es muy importante porque es uno de los indicadores de las características ambientales; sobre todo, porque en humedales, sus fases de vida están adaptadas a los periodos hidrológicos o hidroperiodos. Los objetivos del análisis de flora en el área podrían incluir ciertas acciones: 1) caracterizar la estructura, composición y distribución espacial –vertical y temporal– de la vegetación del cauce, incluso de la zona riparia, y 2) vincular e identificar la magnitud, duración y periodo de retorno de los caudales bajos y altos que la vegetación acuática y riparia necesitan para proveer sus funciones y servicios.

En cuanto a los objetivos para el análisis de fauna, particularmente de peces, estos consisten en identificar y evaluar las especies de importancia ecológica, identificar las especies sensibles a los cambios de caudales para ajustar la propuesta de caudal ecológico y utilizar los peces como organismos indicadores del estado de conservación del ecosistema.

Adicionalmente, algunas de las disciplinas que integran un método holístico incluyen la hidrología, la hidráulica y la geohidrología. La hidráulica es un modelo en el cual se hace un levantamiento topográfico del cauce del río, el cual determina el estado del cauce. Luego, con la hidrología se obtienen los caudales. Estos modelos hidrológicos predicen cómo se comportaría ese caudal en el terreno específico en aspectos como velocidades, tirantes (profundidad desde un extremo al otro del río) y área. Por lo tanto, se debe tomar en cuenta que algunas especies dependen de estas condiciones para desarrollar sus procesos biológicos a lo largo de todo el río, de manera que, si hay una variación en estas condiciones, es posible que los organismos sufran dificultades en su ciclo de vida.

La geohidrología es la parte de la hidrología que corresponde al almacenamiento, circulación y distribución del agua en la zona saturada de las formaciones geológicas en el subsuelo, teniendo en cuenta las propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y el impacto que recibe por las acciones humanas. En este contexto, se hacen muestreos del agua subterránea para entender la dependencia con el caudal de base, ya que, si la zona de recarga hídrica se ve afectada, se reflejará en la parte baja de la cuenca.

Los modelos hidráulicos sirven para determinar los caudales necesarios específicos de un área con los que ciertas especies también pueden realizar sus procesos biológicos; por ejemplo, moverse de un lado a otro para su alimentación, reproducción, crecimiento o anidación. El programa LiDAR es una buena herramienta con la que se pueden elaborar estos modelos a partir de los insumos de datos recolectados en campo.

Frecuentemente, las avenidas que se forman por los incrementos rápidos de los ríos se consideran dañinas para algunos cultivos, las viviendas y las infraestructuras en las comunidades. Pero, por el otro lado, estas inundaciones representan un valor económico para otras actividades agropecuarias, como cultivos y crianza de animales, de los cuales dependen muchas familias para sus medios de vida.

Otra de las utilidades de medir el caudal ecológico es para resolver conflictos entre las personas que se abastecen de agua, como las que utilizan el agua para riego y, por ejemplo, otros usuarios, que podría ser una futura hidroeléctrica con planes de instalación en el área. Las empresas que aprovechan el caudal subterráneo además del superficial son otros usuarios importantes. De igual forma, hay otro usuario fundamental: la biodiversidad, cuya importancia nos compete a todos. Con frecuencia, la biodiversidad no se considera un usuario relevante, pero es la base de la vida y de la disponibilidad de recursos hídricos.

Los resultados de los análisis de los caudales ecológicos se pueden asociar a las funciones ecológicas, como los cuatro niveles de conectividad, la sincronización de ciclos biológicos, el transporte de sedimentos y en los diferentes aspectos de la productividad primaria, entre otras. De la misma forma, los caudales ecológicos están vinculados a los servicios ambientales de los que dependen todos los usuarios, tales como aspectos de provisión (agua y alimento), regulación (inundaciones), soporte (biodiversidad) y pertinencia cultural (comunidades indígenas).



El papel que juega el régimen de caudales o una implementación de caudales ecológicos incide en la conectividad ecohidrológica, que consiste de cuatro niveles: 1) longitudinal, a lo largo de toda la cuenca; 2) vertical, el agua que se infiltra y recarga los mantos freáticos, pero también es el agua que se evapora; 3) lateral, el agua que va por el cauce y que, en temporada de lluvias, alcanza las llanuras de inundación en áreas donde normalmente no tienen agua, sobre todo, en temporada de estiaje, y 4) estos niveles están vinculados con una cuarta dimensión conocida como el régimen. El régimen es el que permite que los otros tres niveles de conectividad puedan interactuar entre sí y con la comunidad biótica.

En el 2018, como parte de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles de las Naciones Unidas, se lanzaron una serie de indicadores, uno de los cuales se refiere al estrés hídrico (indicador 6.4.2). Para este indicador se desarrolló una guía para integrar los caudales ecológicos y para que los Estados reporten el avance de la implementación de caudales ecológicos de forma anual.

OBJETIVOS

Existen muchas metodologías para evaluar los caudales ecológicos. Sin embargo, lo fundamental es identificar el propósito de hacer esta medición y definir qué es lo que se busca. Esencialmente, eso es lo que dicta la ruta para hacer la evaluación de caudales ecológicos. De igual forma, es importante definir los objetos de conservación, particularmente las especies (fauna y flora) y los procesos. Los estudios que se realicen para determinar el caudal ecológico deben ser de por lo menos un año, para que incluya una representación de todo el régimen hidrológico. También hay que tomar en cuenta que las características y las necesidades de cada río y cada cuenca son distintas. Por lo tanto, las bases de la evaluación deben considerar estos factores, ya que no existe una fórmula universal para todas las situaciones. El procedimiento de análisis, es decir, la aproximación metodológica debe estar fundamentada en el paradigma del río natural, en el rango de variabilidad de caudales y en los componentes del caudal ecológico.

Por otro lado, en tanto se tome en consideración el gradiente de la condición biológica y los impactos o las consecuencias de alterar los caudales, se podrá hacer una evaluación sistemática estructurada y organizada de los caudales ecológicos. En estos términos, este es un procedimiento que se podría reproducir en cualquier tipo de caudal, tanto perenne como efímero. Lo que cambia son los órdenes de magnitud, la frecuencia, la tasa de cambio y la predictibilidad.

Los principios fundamentales para la gestión de cuenca se basan en identificar la condición actual del río y las estrategias de conservación específicas para ese río. Para esto, hay que tomar en cuenta las funciones ecológicas y los servicios ambientales que se desean obtener de los recursos hídricos. Una vez se han identificado, estos se pueden vincular con los diferentes componentes y atributos del caudal, para luego diseñar las estrategias de protección de esos atributos o componentes del régimen o, si es el caso, recuperarlos. Sin embargo, también hay que determinar a qué nivel se quieren proteger o recuperar esas características de caudales, según las condiciones en que se encuentran, ya sea si se encuentran en condiciones muy cercanas a las naturales, o bien, si se encuentran bajo mucha presión, desde el punto de vista antrópico e hidrológico en términos de usos del agua.

Los atributos y los componentes (Cuadro 1) del régimen sostienen la integridad ecológica. Los componentes constituyen los caudales bajos, extremadamente bajos, altos e inclusive las pequeñas y grandes inundaciones. Estos componentes se analizan a partir de sus atributos. Para recordar, los atributos se refieren a la magnitud en la que esos caudales ocurren, la frecuencia, la duración, el momento y la tasa de cambio. La otra gran característica en el contexto de las evaluaciones de caudales ecológicos es la predictibilidad de los caudales, para pronosticar su comportamiento durante los diferentes ciclos anuales y estacionales.

CUADRO 1

LOS COMPONENTES DE LOS CAUDALES Y SUS FUNCIONES ECOLÓGICAS

Componentes de caudales	Funciones Ecológicas
Caudales bajos o de base	<p>NIVEL NORMAL</p> <ul style="list-style-type: none"> • Brindar un espacio de hábitat adecuado para los organismos acuáticos • Mantener niveles adecuados de temperaturas del agua, oxígeno disuelto y componentes químicos • Mantener los niveles de la capa freática en las llanuras de inundación, humedad del suelo para las plantas <ul style="list-style-type: none"> • Proveer agua para que los animales terrestres puedan beber <ul style="list-style-type: none"> • Mantener suspendidos los huevos de peces y anfibios • Facilitar el desplazamiento de peces hacia áreas de alimentación y desove • Mantener organismos hiporreicos (que viven en sedimentos saturados) <p>NIVEL DE SEQUÍA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Facilitar el reclutamiento de ciertas plantas de llanuras de inundación • Purgar especies introducidas e invasoras de comunidades acuáticas y riparias • Concentrar presas en áreas limitadas para beneficiar a los depredadores
Caudales de pulsos altos	<ul style="list-style-type: none"> • Facilitar el reclutamiento de ciertas plantas de llanuras de inundación • Purgar especies introducidas e invasoras de comunidades acuáticas y riparias • Concentrar presas en áreas limitadas para beneficiar a los depredadores

Componentes de caudales	Funciones Ecológicas
Inundaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Fomentar señales para migración y desove de peces • Originar una nueva fase en el ciclo de vida (p. ej., insectos) • Permitir que los peces desoven en llanuras de inundación, brindar área para criadero de alevines • Proveer nuevas oportunidades de alimentación para peces y aves acuáticas • Recargar el nivel superior de la capa freática de llanuras de inundación • Mantener la diversidad en diferentes tipos de bosque en las llanuras de inundación por medio de inundaciones prolongadas (diferentes especies de plantas tienen diferentes tolerancias) • Controlar la distribución y abundancia de las plantas en las llanuras de inundación • Depositar nutrientes en las llanuras de inundación • Mantener el balance de especies en comunidades acuáticas y riparias • Crear sitios de reclutamiento de plantas colonizadoras • Formar hábitats físicos de llanuras de inundación • Depositar grava y piedras en áreas de desove • Lavar materiales orgánicos (alimento) y residuos de madera (estructuras para hábitat) en el canal • Purgar las especies introducidas e invasoras de las comunidades acuáticas y riparias • Diseminar semillas y frutas de plantas riparias • Promover el movimiento horizontal del canal del río para formar nuevos hábitats (canales secundarios, lagunas en herradura) • Facilitar que las plántulas tengan un acceso prolongado al suelo húmedo

Los objetivos de manejo permiten establecer un balance de los usos del agua y la conservación del ecosistema a partir de una evaluación de importancia ecológica y del nivel de presión hídrica o presión de uso de recursos. La evaluación se realiza por diferentes capas. El análisis se estructura de acuerdo con la disponibilidad de información y los avances de la ciencia en cuanto a los caudales ecológicos, y se hace a partir de los caudales ordinarios para diferentes condiciones hidrológicas; es decir, para años secos, muy secos, medios y húmedos. Esto es muy importante para sitios cuyo régimen es extremadamente variable entre estaciones de estiaje y lluvias. El régimen hidrológico está relacionado con la fluctuación entre caudales máximos y mínimos (ordinarios y extraordinarios) que se presentan en un lapso determinado, por ejemplo, un año.

⁵ Antrópico: producido o modificado por la actividad humana.

Caudales ordinarios. Son los caudales que ocurren en condiciones húmedas, medias, secas y muy secas. Estos caudales son deseables en caso de un régimen extremadamente variable entre estaciones (estiaje/lluvias).

Caudales extraordinarios. Son los caudales que no ocurren todo el tiempo, como los eventos pico o crecidas, que estadísticamente ocurren una vez al año y son conocidas como crecidas intraanuales. También hay crecidas interanuales, las cuales ocurren en un periodo de 1.5 años, 5 años o más. Estos caudales son importantes porque purgan al sistema de especies invasivas o desocupa el cauce de plantas que no se pueden adaptar a las condiciones.

Es necesario hacer énfasis en la necesidad de generar información en el campo, en cada país o región, puesto que no hay una receta única. Esta información que se genera es una herramienta para cerrar la brecha entre el conocimiento y las políticas públicas, con el fin de abordar de manera más específica la problemática hidrológica y las diferentes necesidades, de acuerdo con las condiciones tanto en los ríos intermitentes y efímeros como en los perennes. Los ríos efímeros son aquellos que llevan agua únicamente en temporadas muy cortas al año, por ejemplo, cuando se producen tormentas tropicales o huracanes. De manera que, en dos o tres días, la recarga de agua, es decir, los mantos freáticos se vuelven considerablemente abundantes, por lo que el desarrollo de infraestructuras que impidan el desfogue o la libre descarga de los caudales tienen un impacto sobre la recarga.

El caudal ecológico superficial tiene mucha importancia desde el punto de vista de la gestión de riesgos, porque, en la medida que los cauces se mantengan desocupados, la capacidad hidráulica permanece intacta. Esto quiere decir que, ante eventos meteorológicos extremos, los cauces pueden cumplir su función de descargar el agua rápidamente. Pero, además, cumplen otra función, que es la de recargar los mantos acuíferos que abastecen de agua para los diferentes usos.

Con respecto a la prioridad de los atributos y los componentes, todos son igualmente importantes. No hay ninguno que tenga mayor importancia sobre otro. Lo que los hace diferentes es el fenómeno biológico, ecológico o físico que se esté evaluando. De hecho, constituyen la manera científica de organizar la evaluación de caudales ecológicos de una manera clara y estratégica, para poder estimar las métricas y los indicadores ecológicamente relevantes para el sistema desde un enfoque holístico. Por ejemplo, si lo que se está evaluando es la conectividad, entonces la magnitud implica mucho. Por lo tanto, cuanto mayor magnitud, más alto subirán los niveles de inundación. Y, cuanto más suban estos, pues habrá una mayor conexión lateral, vertical y longitudinalmente. Estas son tres de las cuatro dimensiones de la conectividad.

Este es un muy buen ejemplo para comprender la cuarta dimensión de la conectividad, que se refiere al régimen o el tiempo. Si aumentamos los caudales, se van a conectar lateral, vertical y longitudinalmente, lo que es normal en temporada de lluvias. Pero también es posible que los ríos intermitentes se sequen en temporada seca. Los caudales



tienen que ceder o bajar. Entonces esa variabilidad en la magnitud es la que permite que las tres dimensiones físicas de conectividad interactúen. Por otro lado, si por ejemplo, se están evaluando los macroinvertebrados, quizás no sea relevante la velocidad. Por el contrario, la velocidad de los caudales les afecta porque la corriente los arrastra. Lo que realmente es importante para los macroinvertebrados es que esté inundado para que ellos puedan desarrollar los procesos de su ciclo de vida.

En corrientes o en cuencas que son intermitentes o efímeras, la recarga de agua para los mantos freáticos es muy importante para el uso humano. El agua que utilizamos en esas zonas, en el mundo, es agua prominentemente subterránea. De modo que, para analizar la recarga se debe enfocar primero en la temporada de lluvias, puesto que no habría recarga en temporada seca. Mientras no llueva y no escurra el agua, no habrá recarga. Además, también se deben analizar los caudales que desbordan, aunque depende de las características del suelo y la cuenca. En la medida en que los caudales desborden y se salgan del cauce anual, en teoría habrá una mayor recarga. El cauce está diseñado hidráulicamente para desahogar rápido el agua; es el punto donde hay mayor depresión geográfica, en donde el agua sale más rápido por gravedad. Si lo que se busca es manejar la recarga, entonces lo que interesa es retener el agua la mayor cantidad de tiempo posible porque, cuanto más tiempo esté retenida, más tiempo tiene el suelo para que el agua se infiltre. Esencialmente, esa es una de las funciones de las llanuras de inundación. En este caso, lo que habría que analizar es la temporada de lluvias y los eventos o pulsos de inundación, no los caudales bajos.

Cada caso depende del fenómeno o el proceso ecológico que se quiera observar. Si se quiere analizar, por ejemplo, el desplazamiento de especies en búsqueda de alimentos, se pueden tomar en cuenta los peces. En ese caso específico, es necesario mantener la conectividad longitudinal, por lo que no se debería permitir que se sequen tramos del cauce, según la especie y sus necesidades físicas. Por el contrario, lo que hay que asegurar es que siempre haya una conectividad longitudinal para facilitar el desplazamiento, con el propósito de que haya suficiente provisión de alimentos o refugios. Si es temporada de lluvia, probablemente estaría relacionado con eventos reproductivos.

Últimadamente, si no se sabe nada del sistema, lo más eficiente es analizar todos los componentes y todos los atributos, porque ya sabemos que en conjunto cumplen una función en el sistema. De manera que, si se incluye todo eso en el trabajo de gabinete, se puede asegurar que su implementación tendrá un efecto positivo en campo, con un enfoque ecológico, aunque no se tenga la información de campo, ya que el avance científico y la teoría ecológica lo respalda.

Otro fenómeno importante que depende de los atributos y componentes son los arrastres de sedimentos. Si bien a veces se consideran como un problema cuando hay un exceso y suelen taponear los cauces, se estima que una cuenca sana es capaz de transportar el sedimento o los sólidos suspendidos, ya que es necesario llevar esos nutrientes a otras partes de las cuencas. También están los arrastres de fondo, que ocurren cuando las magnitudes juegan un papel más importante que las frecuencias. Por consiguiente, esto es lo que hay que conocer para entender mejor el papel que juega el río y cómo contribuyen estos atributos y componentes a la salud del cauce.

En breve, luego de identificar el objetivo del estudio y antes de elegir una aproximación metodológica, se recomienda seguir los siguientes pasos antes de lanzarse a hacer la evaluación de caudales ecológicos.

1. Identificar los atributos y componentes
2. Identificar las condiciones hidrológicas del régimen
3. Identificar las funciones ecológicas por componente del régimen hidrológico (conectividad, sincronización con ciclos de vida de diferentes especies, transporte de sedimentos, redistribución del lecho de los cauces, calidad del agua, etc.)
4. Identificar los servicios ecosistémicos y vincularlos con los atributos y componentes (provisión de agua para diferentes usos, regulación de flujos de agua, reducción de riesgos por crecidas, de soporte para el mantenimiento funcional de ecosistemas, de aprovechamiento cultural para la recreación humana)

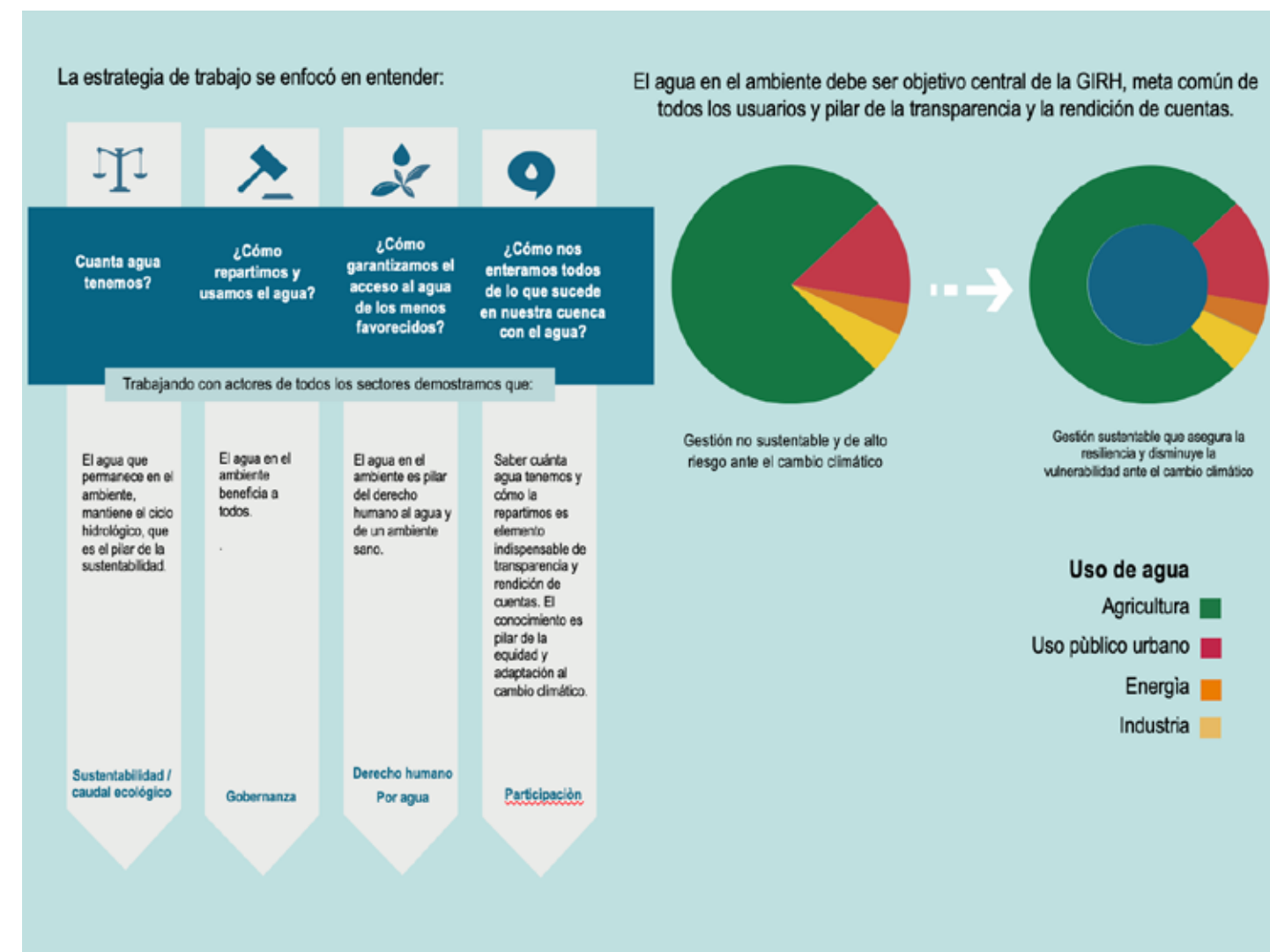
⁹ Estudios de gabinete: es una metodología de investigación que recopila información a partir de publicaciones de diversas fuentes.

Los principios para una gestión de evaluación de caudales ecológicos constituyen un proceso participativo entre diversos actores. Lo primero es determinar qué clase de río se tiene y lograr un consenso de la estrategia que se implementará para preservarlo. Al tener claro el estado del río en cuestión, es fundamental definir si lo que necesita es protección o la recuperación de los componentes y atributos del régimen natural y a qué nivel, o desde otra perspectiva, el estado del río que se aspira obtener, además de especificar si se enfocará en un tramo del río o en la cuenca completa.

Para la gestión de caudales ecológicos a partir de una aproximación holística, supone una serie de acciones que aseguren la efectividad de los esfuerzos del estudio, tomando en cuenta que estarán involucrados actores clave de diversos sectores y disciplinas. Los análisis biofísicos se obtienen como resultado de la recolección de datos en la zona de estudio. Se sugiere que esta valiosa información se integre y se valide en talleres organizados con la participación de expertos, con el fin de identificar los objetivos de conservación y estimar el caudal ecológico. Esta integración de visiones facilitará el establecimiento de los objetivos de manejo y las variables a analizar. Una vez se lleguen a estos consensos, se debe elaborar un plan de trabajo e involucrar a los investigadores y a los funcionarios de gobierno de las entidades pertinentes.

Es muy importante que el proyecto se socialice a las comunidades de la zona, para que facilite la colaboración entre todos los involucrados o usuarios y que los habitantes comprendan el propósito de las actividades y la importancia de la investigación. La Figura 1 muestra el proceso de cómo se abordó un estudio previo al análisis de datos de caudales ecológicos en México.

ESTRATEGIA DE TRABAJO UTILIZADA EN MÉXICO PARA LA GESTIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS



APROXIMACIONES METODOLÓGICAS JERÁRQUICAS: ALCANCES, VENTAJAS Y LIMITACIONES

Existen más de 200 métodos para realizar evaluaciones de caudales ecológicos, pero lo más importante es entender cuáles son los objetivos que cada uno de estos métodos persigue, porque, a partir de estos objetivos, se pueden analizar los supuestos que hay detrás de estos métodos.

La aproximación estratégica consiste en reconocer que para la planeación hídrica hay métodos que son fundamentalmente de gabinete, los cuales son considerados hoy en día como métodos muy sencillos y perfectamente válidos para evaluaciones. Esta primera capa de métodos son para efectos de planeación. Entonces quizás el método de Tennant o los métodos que se basen en valores de referencia para proteger cierto porcentaje del escurrimiento medio anual o también con base en curvas duración de caudales podrían ser suficientes.

Existen otros tipos de métodos que requieren un mayor nivel de detalle de información periódica que miden si se cumplen o no los caudales ecológicos deseados. Esta segunda capa de métodos también se conoce como métodos hidrológicos o métodos ecohidrológicos. Estos consisten en analizar en profundidad el régimen y muchas veces también gestionar la infraestructura ya existente para emular el régimen de caudales ecológicos. Evidentemente requieren de un mayor esfuerzo, de una mayor cantidad de gente involucrada en la evaluación y de un mayor conocimiento.

En una tercera o cuarta capa podrían aplicarse en aquellos sitios en donde los métodos hidrológicos o los métodos ecohidrológicos no sean suficientes para asegurar que se esté cumpliendo el régimen, o que hay valores de conservación muy altos en la parte baja de la cuenca, por ejemplo, un sitio Ramsar⁷ o un área protegida. O bien, podría ser que también exista un proyecto de infraestructura. En esos casos, se debe analizar con más detalle. En breve, significa que es necesario diseñar una campaña un campo, un sistema de monitoreo para poder acudir a campo, recoger información y hacer evaluaciones. Con esto, se refiere a plantear diferentes hipótesis de trabajo y comenzar a probarlas con base en indicadores y en la información recabada en campo, con el objetivo de tomar decisiones y encontrar soluciones.

⁷ Un sitio Ramsar es un humedal designado como de importancia nacional bajo la Convención de Ramsar.

A grandes rasgos hay tres grandes tipos de métodos hidrológicos. Por una parte, están los de corte de valores de referencia para la planeación hídrica, como el método Tennant, curvas de duración de caudales, pero también hay otros métodos hidrológicos de gabinete muy avanzados, con un nivel de detalle muy alto y que, por lo general, son muy consistentes.

El segundo corte también es conocido como los métodos de simulación de hábitat o los métodos hidrobiológicos, como el PHABSIM (Physical Habitat Simulation) o el IFIM (Instream Flow Incremental Method), por ejemplo. Y, finalmente, los métodos holísticos, como el DRIFT (Downstream Response to Imposed Flow Transformations) y el método de construcción por bloques o BBM (Building Block Methodology).

Estos tipos de métodos en general son muy consistentes con esta aproximación estratégica de evaluaciones. Los métodos hidrológicos son los más costo-eficientes. Su aplicación suele ser cien veces más económica que la de un método holístico o un método sistémico. En la medida en que se va avanzando en este tipo de métodos, aumentará la necesidad de recursos humanos, recursos financieros y, en consecuencia, se reducirá la brecha de incertidumbre debido a la gran cantidad de información que se genera.

Para ejemplificar algunos casos, el método que se utiliza para reportar el indicador 6.4.2 de los Objetivos Desarrollo Sostenible es el GEFIS (Global Environmental Flow Information System). Este es un método que se basa en las curvas de duración de caudales. Lo que las curvas expresan es que, a diferente magnitud de caudal, estadísticamente ocurre un cierto porcentaje del tiempo o ha ocurrido cierto porcentaje del tiempo en toda toda su historia. De manera que la curva de duración de caudales es una herramienta muy importante en términos hidrológicos, y es extremadamente importante también para el diseño de proyectos. El método de curva de duración de caudales esencialmente asume que, si se conserva una proporción de esta curva de duración de caudales, pues se protegerán estas funciones ecológicas y servicios ecosistémicos asociados. Esta protección proporcional de la curva está en función del nivel de conservación que se desea.


Hay otros métodos hidrológicos que trabajan con regímenes, los cuales determinan precisamente los diferentes regímenes para conservar los ríos, bajo diferentes condiciones hidrológicas. Los métodos hidrobiológicos son aquellos con los que se modela el hábitat potencial útil, es decir, el agua en términos de volumen por unidad de tiempo (caudal), ya que acarrea nutrientes además de agua.

Finalmente, están los métodos holísticos o ecosistémicos. Son métodos más complejos, ya que los aportes son de carácter multidisciplinario a un nivel elevado, que involucran especialistas en hidrología, hidráulica, geomorfología, geohidrología, calidad de agua, vegetación, fauna y aspectos sociales. La información que se genera en cada una de estas disciplinas se sistematiza para discutir de manera efectiva sobre la idoneidad de caudales. El orden de los temas de discusión de este panel de expertos es muy importante: 1) Importancia ecológica y sensibilidad; 2) Estado ecológico actual y deseado; 3) Formulación de propuestas, a partir de curvas de recesión (conceptos y escenarios), para hacer una propuesta de años secos, propuesta de años medios y propuesta de régimen de avenidas o crecidas.

En otros países tienen otro tipo de aproximación, como el aprovechamiento de caudal a partir de los servicios ecosistémicos y los cálculos hidrológicos, medidos en porcentajes de aprovechamiento. Al definir estos porcentajes, se pueden determinar cómo se comportan los caudales, desde la parte alta hasta la parte baja de la cuenca. Esos aprovechamientos son los que van a permitir responder a esa necesidad de mantener los servicios ecosistémicos para cada uno de los segmentos.

En términos de costo, puede ser un factor determinante para elegir la aproximación con la que se va a trabajar, que puede alcanzar los USD 10,000 o menos (en métodos de gabinete) hasta más de USD 100,000, en el que se integra un panel de expertos a quienes se les debe financiar su trabajo de campo para generar la información necesaria. Como referencia, el presupuesto que se implementó en el caso de Usumacinta, México, fue de USD 150,000, además USD 25,000 para el estudio hidráulico en sedimentos, cuya metodología consistió en una aproximación holística.

A modo de reiteración, lo importante es entender los objetivos que cada método persigue. Y, en función de ellos, a su vez, se obtendrán los resultados que se aproximen a lo que se desea. Sin importar el método que se elija, la implementación de caudales ecológicos es la primera de una serie de actividades que han sido identificadas para detener y hasta revertir la dramática curva de pérdida de diversidad que depende del régimen hidrológico.



CAPÍTULO 5

CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO TECULUTÁN, GUATEMALA

Guatemala es un país que depende de los recursos hídricos. En el territorio existen 38 cuencas, 314 subcuencas y 2,391 microcuencas. Esta capacidad hídrica les confiere a las reservas de agua una cualidad estratégica para la seguridad hídrica nacional en el corto y largo plazo, ya que se basan en una asignación (caudal ecológico) para el sistema en estos sitios críticos. Esta asignación permite asegurar los servicios ecológicos y las fuentes de agua, para posteriormente distribuir el recurso a otros usos.

En Guatemala existen:

38

cuencas

314

subcuencas

2,391

microcuencas

La reserva de agua se define como un sitio crítico para la captación, regulación y recarga hídrica, así como para la conectividad ecosistémica, cuya importancia es fundamental para los sistemas sociales, económicos y ambientales, debido a la cantidad y calidad de agua que se incorpora a los sistemas hidrológicos (cuencas) locales y regionales. Es precisamente por eso que el agua debe retornar al ambiente. Esta capacidad hídrica destaca por su abastecimiento para los ecosistemas prioritarios (áreas protegidas y sitios Ramsar), las poblaciones y las actividades económicas, así como para disminuir el riesgo vinculado a los fenómenos hidroclimáticos extremos derivados del cambio climático.

La metodología para la gestión de las Reservas de Agua para Guatemala incluye los datos obtenidos de los tres atributos (la captación, la recarga y la regulación hídrica), además de dos elementos importantes de conservación que son las áreas protegidas y los sitios Ramsar, por los componentes de conectividad, biodiversidad y regulación. Todos estos elementos conforman el Mapa de Reservas de Agua Estratégicas para Guatemala. Según las prioridades este mapa, el usuario con mayor prioridad debería ser el ambiente, luego la población y por último los diferentes sectores. Hay algunas iniciativas en la Costa Sur de Guatemala en donde los ríos ya están llegando al mar, pero no se sabe si esa es la cantidad de agua que necesita el ecosistema, la biodiversidad acuática o terrestre y la flora.

CONTEXTO

Aunque se aborda el aspecto de caudal ecológico, en Guatemala no existe una ley de aguas, una planificación hidrológica, una metodología para evaluar componentes ni un plan de ordenamiento territorial como guía para trabajar los proyectos que utilizan el recurso hídrico. De manera que la problemática es amplia y afecta a varios sectores, como el social, ambiental, productivo e industrial. La mayoría de los proyectos que hacen uso de los caudales de los ríos, por ejemplo, los proyectos hidroeléctricos y algunos proyectos agrícolas, sobre todo, en las superficies de monocultivos, a veces utilizan hasta el 100% del caudal de los ríos. En el caso de las hidroeléctricas, el agua que utilizan la devuelven al río. El problema es que dejan una sección del río sin agua, particularmente entre el embalse y la casa de máquinas. En cambio, los proyectos agrícolas no devuelven al río el agua que consumen en sus procesos productivos. Al final, ambos usos tienen un impacto sobre el recurso hídrico.

En Guatemala tampoco existe un ente administrador del agua ni hay datos para estimar caudales. Cabe mencionar que el único instrumento legal que existe son los estudios de impacto ambiental para incidir en la regulación del uso adecuado de los recursos hídricos. Sin embargo, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) no tiene normas ni estándares que exijan que el usuario ceda al ambiente un cierto porcentaje del caudal que utiliza. De igual forma, la equidad en la gestión del agua representa un eje crucial en el desarrollo e implementación de políticas públicas, que estén dirigidas a promover la distribución equitativa de los costos y beneficios del uso y el involucramiento de todos los usuarios en el manejo de los recursos hídricos. Según como se use este recurso, habrá que garantizar que los menos favorecidos de hoy y las futuras generaciones tengan acceso al agua.

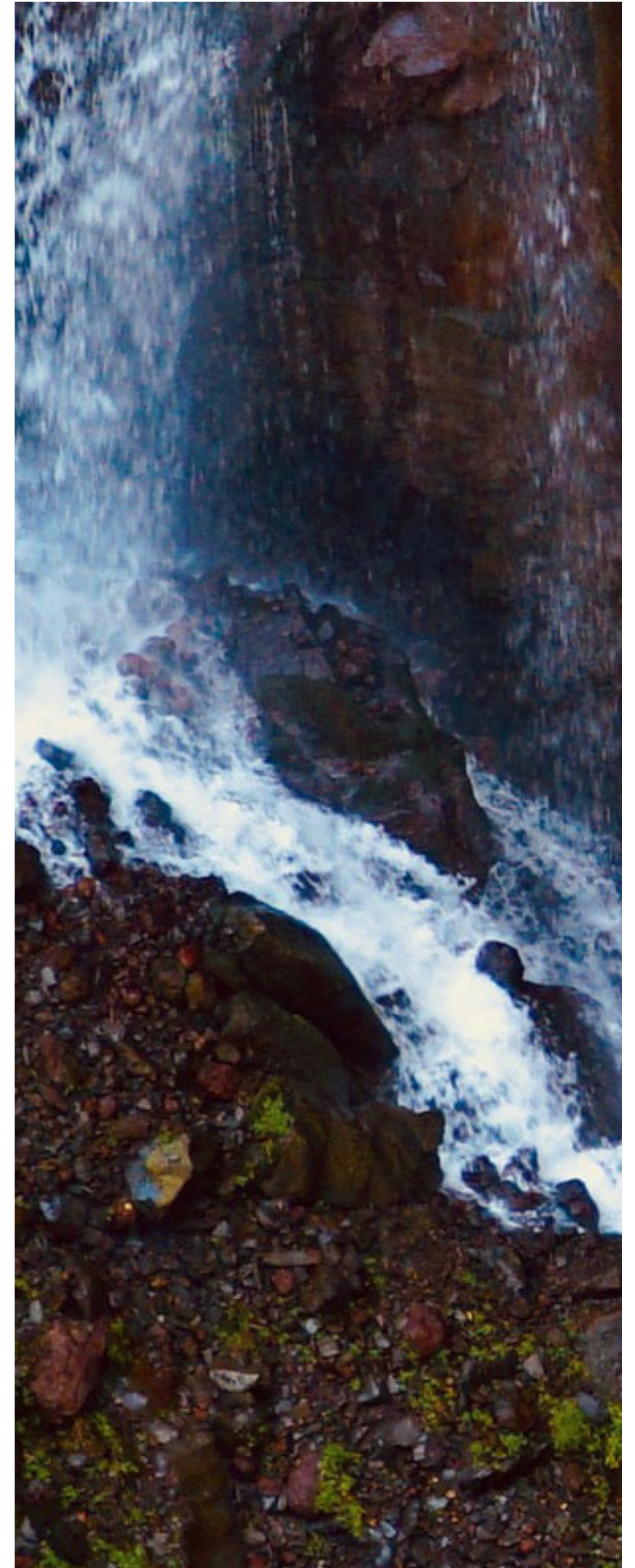
La planificación del recurso hídrico es muy importante a nivel global, y para esto es necesario tener la información relevante del territorio. Existen datos desde la década de los 70, cuando se hicieron los planes maestros de riego, hidroeléctricas y otras áreas en el territorio nacional. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) está trabajando en este proceso con el Comité Interno de Reservas de Agua, conformado en el 2020. En conjunto con el MARN, se implementó una capacitación para fortalecer las capacidades a nivel nacional para operativizar las reservas de agua en el país a través del caudal ecológico.

Para aprovechar el recurso hídrico, se debe tener presente la cantidad de agua con la que cuenta la cuenca. Con este valor, se puede establecer un régimen para distribuir el agua y la forma como se aprovechará el recurso. En Guatemala, se han utilizado parámetros o umbrales de caudal ecológico de otros países, aunque de manera incorrecta, por ejemplo, en los estudios de impacto ambiental de las hidroeléctricas. Pero no existen criterios técnicos a nivel de gobierno para definir la cantidad de caudal para aprovechamiento y la cantidad que debe ser asignada para la biodiversidad y la población humana, que subsisten de los recursos hídricos.

De la misma manera, tampoco existen normas para definir la calidad los recursos hídricos, aunque sí existe una normativa de vertidos de aguas residuales. Sin embargo, la normativa solo dicta que la empresa no puede verter cierta cantidad, pero no hay criterios para verificar las condiciones del río. En términos de los caudales ecológicos, el ecosistema debería ser el usuario principal del recurso hídrico, condición que en Guatemala no sucede. A veces el ecosistema es el último en poder utilizar el agua.

TECULUTÁN

El agua que provee el río Teculután es el motor de la economía de esa región, además de su valor como atractivo turístico. En el río Teculután hay más de 25 tomas o captaciones de agua superficial utilizadas por diversos sectores, como el consumo humano, embotelladores, regantes, recreación y turismo.



El agua que provee el río Teculután es el motor de la economía de esa región, además de su valor como atractivo turístico. En el río Teculután hay más de 25 tomas o captaciones de agua superficial utilizadas por diversos sectores, como el consumo humano, embotelladores, regantes, recreación y turismo. Posiblemente esta cuenca es la que tiene más sistemas de riego y la que genera más recursos económicos, pero el volumen de agua que se extrae es considerable. En efecto, el caudal del río Teculután ha tenido una disminución en el tiempo. Este es uno de los ríos de la parte sur de la Sierra de las Minas cuyo caudal es el que más aporta agua de buena calidad al río Motagua. Las pocas mediciones que se han hecho en el río Motagua en la época seca evidencian que, entre El Rancho y Río Hondo (el tramo más seco de la Sierra de las Minas), el caudal del río Motagua se duplica porque recibe toda el agua de la Sierra de las Minas. Sin embargo, aunque el río Teculután ofrece agua de calidad, el problema es que mantiene la presencia de bacterias coliformes fecales.

Otro problema que afecta esta cuenca es el impacto de los incendios en la cobertura boscosa de la parte alta de la cuenca. Ciertamente, más adelante se verá una reducción de esos caudales derivado de la mala distribución de las lluvias. Por otro lado, la cuenca depende del bosque nuboso y por eso es importante que se conserve bajo un criterio de área protegida. Asimismo, el caudal del río Teculután está cambiando debido a la disponibilidad de agua superficial y subterránea que baja considerablemente en la estación seca, como consecuencia del cambio climático.

Hoy en día, existe un instrumento ambiental del río Teculután organizado en un plan de gestión, cuyo objetivo es el manejo sostenible de la subcuenca, en donde los recursos hídricos son lo más importante. Este es un modelo metodológico para estimar el caudal ecológico, además de su carácter estratégico por la importancia que tiene la subcuenca del río Teculután. El instrumento de caudal ecológico determina si la subcuenca está bien manejada o no. Vale la pena destacar que esta subcuenca sí cuenta con una organización local incipiente donde se podrían consolidar este tipo de iniciativas.

A partir de la necesidad de un ordenamiento de la subcuenca de Teculután, se generaron planes de manejo, en los que se le daba prioridad al monitoreo del río Teculután (el río Pasabién se trabajó un año después), debido a la información disponible y una base de datos de caudales diarios (Figura 2). Lo que hacía falta en el plan de manejo eran indicadores de medición tanto de calidad como de cantidad. La disponibilidad de datos tomados desde 1994 al 2016, provenientes de la estación hidrométrica Las Minas, fue una ventaja para elegir este río como un buen lugar para implementar las acciones necesarias para estimar el caudal ecológico.

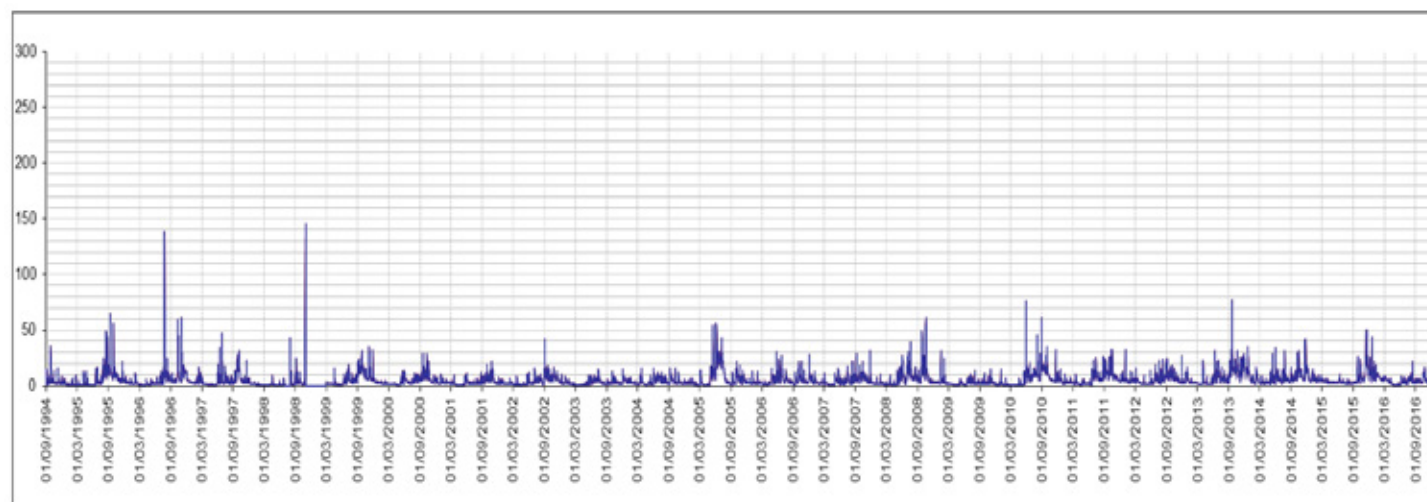
Este es el único lugar donde, además de contar con datos, existe cierta apertura de la población para trabajar con las entidades locales. En este plan de manejo se integraban todas las actividades y se consideró que era importante recabar datos del caudal ecológico. Por estas razones, se consideró desarrollar un proyecto piloto para medir el caudal ecológico, con base en la experiencia y la metodología de WWF aplicada México. Como referencia, también es interesante conocer que en México hay una entidad administradora de los recursos hídricos. Esta entidad tiene la obligación de proveer de agua a todo aquel que la solicite. De esta manera, WWF México se apoyó en la estrategia de solicitarle al Estado, a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, que representara al ambiente y le asignara agua para cubrir sus necesidades.

Lo valioso de la propuesta de WWF para estimar el caudal ecológico es que es un proceso dinámico, que considera las variaciones en el tiempo (de enero a diciembre); es decir, si el año es húmedo o si es un año seco.

Esta propuesta contaba con un enfoque técnico que serviría de referente para que el MARN tuviera los mejores elementos para la toma de decisiones e incorporarlo al marco legislativo de Guatemala como una normativa (cantidad y calidad hídrica), que debería ser cumplida por los técnicos que autorizan los estudios de impacto ambiental. Asimismo, puede tener una utilidad para resolver conflictos a nivel local. De igual forma, puede servir para las entidades que son responsables de cumplir con los objetivos de conservación cuya meta es defender los intereses del mantenimiento de la biodiversidad.

Los resultados de las mediciones hidrológicas del río Teculután se obtuvieron a partir de los registros de caudales medios diarios de la estación hidrométrica Las Minas –que afora el escurrimiento del río– durante los periodos de 1994 a 1998 y 1999 a 2017 (Figura 2). En los Anexos I y II se muestran los sitios de monitoreo.

FIGURA 2
REGISTRO DE CAUDALES DE LA ESTACIÓN LAS MINAS, EN EL RÍO TECULUTÁN



El volumen total de caudal ecológico establecido para el río Teculután se observa en la Figura 3. Estos resultados se obtuvieron de acuerdo con la matriz de objetivos ambientales en términos de la importancia ecológica y la presión de uso (Figura 4), que responden a la Norma Mexicana, Apéndice Normativo D⁸, la cual establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en las cuencas hidrológicas.

⁸ Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012. Que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas. Página 79. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166834/NMX-AA-159-SCFI-2012.pdf>

FIGURA 3
VOLUMEN TOTAL DE CAUDAL ECOLÓGICO PARA EL RÍO TECULUTÁN

hm ³	OBJETIVO AMBIENTAL			
	A	B	C	D
TOTAL	105.8	81.0	69.9	60.0
% EMA Esgurrimento Medio Anual	55.8	42.8	36.9	31.7
Caudales m ³ /s	1.872	1.099	0.818	0.603

FIGURA 4
LA PRESIÓN DE USO SOBRE LAS ÁREAS DE IMPORTANCIA ECOLÓGICA

IMPORTANCIA ECOLÓGICA	MUY ALTA	A	A	B	C
	ALTA	A	B	C	D
	MEDIA	B	C	C	D
	BAJA	B	C	D	D
		BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
		PRESIÓN DE USO			

El caudal del río Teculután resulta estratégico, por lo que, abordar el tema es de suma importancia para considerarlo como un modelo que demuestre que es posible hacer una gestión adecuada de los recursos hídricos en Guatemala. En este esfuerzo, es necesario que Guatemala defina inicialmente lo que quiere alcanzar en su agenda de caudales ecológicos.



CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

Si bien ya se han comenzado los estudios sobre los caudales en Guatemala, actualmente hay vacíos de información. Se han ido acumulando datos a partir de los estudios de la región, con lo que se ha podido prever cuál sería el comportamiento de los ríos. Las planificaciones que se han hecho hasta la fecha del recurso hídrico en Guatemala han sido con base en los insumos disponibles. Debemos contar más información para trabajar en un proceso de planificación más acertado.

Después de determinar un parámetro del caudal ecológico, lo importante será socializarlo y, en consecuencia, mejorar los procesos de toma de decisiones, para lo cual es fundamental hacer llegar esta información relativo al caudal de agua de la cuenca a todos los actores interesados.

En la medida en que seamos capaces de identificar las diferentes condiciones y de tener evaluada la ruta de impacto, así como los escenarios de cambio climático sobre el régimen, se podrán diseñar diversas estrategias de manejo, de acuerdo con las condiciones hidrológicas específicas. A esto se le denomina el manejo o construcción de la resiliencia, para procurar que todos los que dependen del ecosistema se puedan adaptar a estos impactos.

Quizás la falta de una ley de aguas para Guatemala podría ser una oportunidad para desarrollarla desde un enfoque integral, que contenga todos los componentes clave para su efectividad. De cualquier manera, primero habría que desarrollar las experiencias de caudales ecológicos que permitan generar esta información, para que enriquezca las discusiones al respecto por parte del organismo legislativo. Es posible que esta ausencia de una legislación hídrica sea una ventaja para que no solo contemple el recurso hídrico, sino que también se puedan incorporar los demás instrumentos de territorio, como los planes de ordenamiento territorial. La integración de aspectos adicionales del territorio permitirá que se genere una normativa lo suficientemente robusta, que pueda abordar los diversos temas que necesitan regulación.

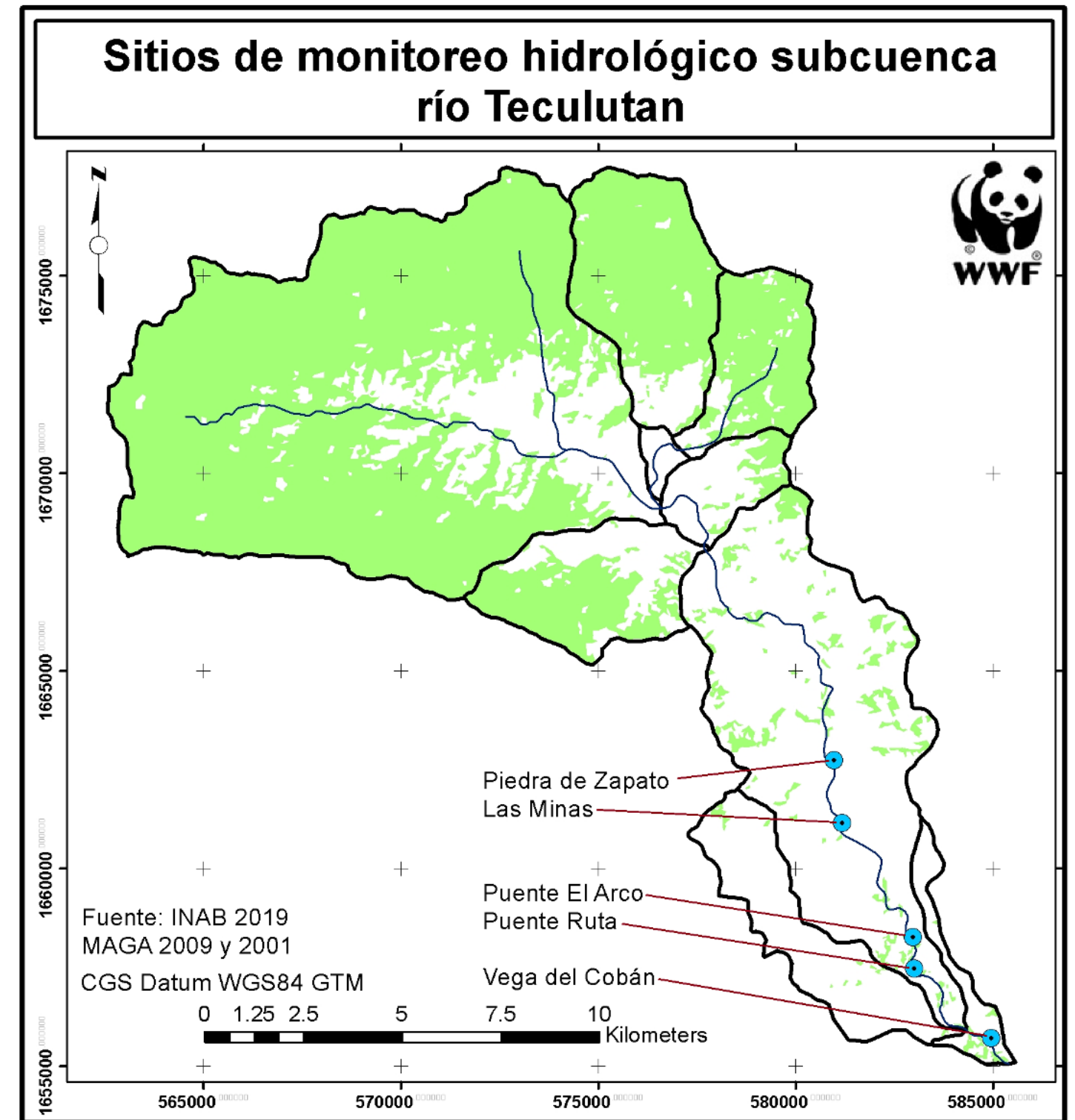
ANEXO I

SITIOS DE MONITOREO HIDROLÓGICO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO TECULUTÁN

En cuanto al establecimiento de la legislación sobre el recurso hídrico, existen tres grandes esferas. Por una parte, está la evaluación de caudales ecológicos. La evaluación de caudales ecológicos es un asunto meramente técnico-científico, en el cual se analizan los diferentes aspectos del régimen hidrológico y hay diferentes aproximaciones estratégicas para hacerlo de una manera clara, objetiva, transparente y eficiente. Una vez que se tiene la evaluación, el siguiente paso o la segunda esfera es la socialización de esos resultados para la toma de decisiones a nivel de los habitantes de la cuenca. En realidad, son ellos quienes deben estar conscientes del estado ecológico y la presión que experimenta su cuenca. Y, en función de esto, ellos deben determinar cómo la quieren conservar y qué quieren de esa cuenca en el futuro. Luego está la tercera esfera, que es la fase de implementación en la que se desarrolla una gestión adaptativa para alimentar el ciclo de la evaluación, la socialización y la ejecución. Estas tres fases representan una cadena muy dinámica e interactiva entre muchos actores, que incluye a los técnicos, los científicos, los políticos, el sector productivo y todos los demás que se integren a este proceso.

Es un hecho que la pérdida de los regímenes de caudales naturales altera la productividad de las comunidades que viven en la parte baja de las cuencas, pues el conflicto de la escasez de agua cada vez es mayor. Sin los caudales ecológicos, las comunidades están en riesgo de perder la seguridad alimentaria y ambiental. La integración de caudales ecológicos en el desarrollo de cuencas permite tener los medios para lograr consensos en la toma de decisiones, para compensar entre el desarrollo de infraestructuras (para agricultura o hidroelectricidad), medios de vida y los ecosistemas.

En términos generales, la implementación de los caudales ecológicos en la práctica, en políticas y en la legislación permite que la sociedad genere conocimiento y capacidades y cree las instituciones necesarias para implementar un manejo integrado del recurso hídrico, para poderse adaptar al cambio climático. Ciertamente, esto requiere de la comunicación, la participación de actores, la creación de conciencia, el manejo adaptativo y la socialización de los beneficios que brindan los caudales a las comunidades y la naturaleza.



ANEXO II

FOTOGRAFÍAS DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO DE LA SUBCUENCA PARA EL ANÁLISIS DE CAUDAL ECOLÓGICO DEL RÍO TECULUTÁN



Parte baja del río Teculután. Óscar Avalos, 2019.



Sistema de conducción de agua para consumo humano. Óscar Avalos, 2019.



Presas de captación para consumo domiciliario. WWF, 2007.



Sistema de conducción de agua para consumo humano. WWF, 2009.



Canal de conducción para uso agropecuario. Óscar Avalos, 2017.



Mediciones de caudales y calidad del agua en la estación Las Minas. Óscar Avalos, (izquierda) 2019 y (derecha) 2009.



Punto de monitoreo de caudales en La Piedra en el Zapato, circa 2010.



Vista del río Teculután en época seca, en el puente El Arco. Óscar Avalos, 2019