

Dirección de Agua

Guía de selección de metodologías para la estimación del caudal ambiental en Costa Rica

Elaborado por: Comisión de Caudal Ambiental
22-3-2019

Instituciones participantes:

- MINAE (Viceministerio de aguas, mares, costas y humedales)
- Dirección de Agua
- Instituto Tecnológico de Costa Rica,
- UNESCO
- Instituto Costarricense de Electricidad
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
- Secretaría Técnica Ambiental
- Instituto Geográfico Nacional
- Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento
- Empresa de Servicios Públicos de Heredia
- Instituto Meteorológico Nacional

Contenido

1	Acrónimos	1
2	Introducción	2
2.1	Antecedentes	3
2.2	Descripción del problema	4
2.3	Alcance	4
2.3.1	Objetivo general	5
2.3.2	Objetivos específicos	5
3	Metodología	6
4	Resultados y análisis	7
4.1	Análisis de metodologías	7
4.2	Definición de criterios	20
4.3	Detalle de los criterios del cuadro 3, sobre Criterios socioambientales a evaluar	24
4.4	Asignación de metodologías recomendadas	26
4.5	Análisis complementarios	27
5	Disponibilidad de la información obtenida	27
6	Glosario	29
7	Referencias bibliográficas	38

1 Acrónimos

ENOS: El Niño Oscilación Sur.

DA: Dirección de Agua

DSE: Dirección Sectorial de Energía.

ITCR: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía.

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible.

PSE: Plan Sectorial de Energía.

SNE: Servicio Nacional de Electricidad.

2 Introducción

Esta guía de selección de metodologías para la estimación del caudal ambiental en las fuentes de agua superficial, responde a un esfuerzo, que en Costa Rica se viene haciendo, por resguardar sus recursos naturales y gestionar su aprovechamiento de una manera equilibrada con las necesidades eco sistémicas y las actividades del ser humano y en correspondencia con las declaraciones y compromisos adquiridos en pro de la mejora ambiental. En ese sentido, el decreto de ley No. 30480 del 05/06/2002: Determina los principios que regirán la política nacional en materia de gestión de los recursos hídricos, los cuales deberán ser incorporados en los planes de trabajo de las instituciones públicas relevantes. Específicamente el Artículo 1º de este decreto contempla los principios rectores:

1. El acceso al agua potable constituye un derecho humano inalienable y debe garantizarse constitucionalmente.
2. La gestión del agua y sobre todo las reglas de acceso a este recurso deben regirse por un principio de equidad y solidaridad social e intergeneracional.
3. El agua debe ser considerada dentro de la legislación como un bien de dominio público y consecuentemente se convierte en un bien inembargable, inalienable e imprescriptible.
4. Debe reconocerse el valor económico del agua que procede del costo de administrarla, protegerla y recuperarla para el bienestar de todos. Con esto se defiende una correcta valoración del recurso que se manifieste en conductas de ahorro y protección por parte de los usuarios.
5. Debe reconocerse la función ecológica del agua como fuente de vida y de sobrevivencia de todas las especies y ecosistemas que dependen de ella.
6. El aprovechamiento del agua debe realizarse utilizando la mejor infraestructura y tecnología posibles de modo que se evite su desperdicio y contaminación.
7. La gestión del recurso hídrico debe ser integrada, descentralizada y participativa partiendo de la cuenca hidrográfica como unidad de planificación y gestión.
8. El Ministerio de Ambiente y Energía ejerce la rectoría en materia de recursos hídricos. La gestión institucional en este campo debe adoptar el principio precautorio o in dubio pro natura.
9. El recurso hídrico y las fuerzas que se derivan de este son bienes estratégicos del país.
10. Que es de suma importancia la promoción de fuentes energéticas renovables alternativas que reduzcan o eliminen el impacto de esta actividad sobre el recurso hídrico.

2.1 Antecedentes

En el año 1991, mediante acuerdo de la junta directiva del Servicio Nacional de Electricidad (SNE), se implementó en el país, la metodología de cálculo del caudal ambiental, la cual consiste en aplicar un porcentaje al caudal aforado en la fuente de agua y ese porcentaje asignarlo como cuota para uso de los ecosistemas asociados. Para los proyectos hidroeléctricos, ese porcentaje puede variar desde un 5% hasta un 10% del promedio anual, según las condiciones de los cuerpos de agua. Para el caso de concesiones aprovechadas en otros usos, el porcentaje aplicado al caudal aforado es de un 10%, esto con el propósito de mantener los ecosistemas propios de los cuerpos de agua y de mantener la dinámica natural con la mínima afectación.

En el año 1997, con la incorporación de la Dirección de Agua al Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), los porcentajes citados se han mantenido y se han aplicado para el otorgamiento de las concesiones, sin embargo, debido a la dinámica natural de los flujos y la variación en las necesidades de la población y las actividades productivas, se ha visto la necesidad de una revisión de la metodología aplicada para mejorar y garantizar una distribución del agua más equilibrada y acorde con las necesidades, así como la integridad del ecosistema acuático.

En el año 2015, el MINAE, a través de la Dirección Sectorial de Energía (DSE), implementó el Plan Sectorial de Energía (PSE), con una vigencia comprendida entre el 2015 y el 2030. Este Plan, en uno de sus ejes incluye la revisión de la normativa legal vigente y el análisis de los criterios y métodos aplicados en la asignación de caudales de ambientales.

Para atender lo indicado en el PSE, en el año 2016, se conformó un equipo de trabajo integrado por representantes de distintas instituciones relacionadas con el recurso hídrico, de donde surgieron las recomendaciones necesarias para ser desarrolladas bajo el acompañamiento técnico de una comisión nacional de caudal ambiental.

Entendiendo como caudal ambiental, tanto la definición dada en la Declaración de Brisbane 2007: *El caudal ambiental fue definido como la cantidad, periodicidad y calidad del caudal de agua que se requiere para sostener los ecosistemas dulceacuícolas, estuarinos y el bienestar humano que depende de estos ecosistemas (*)*, como la definición establecida en los proyectos de ley de Recurso Hídrico en Costa Rica: *Cantidad de agua expresada en términos de magnitud, duración, época y frecuencia*

del caudal específico, y la calidad de agua expresada en términos de rangos, frecuencias y duración de la concentración de parámetros clave, que se requieren para mantener un nivel técnicamente justificado de salud en el ecosistema y en condiciones socioeconómicas y culturales.

2.2 Descripción del problema

Por un lado, la normativa que aplica el país en materia de caudal ambiental, no es del todo congruente con la dinámica natural del ciclo hidrológico ni con la operatividad de gestión del recurso hídrico y tampoco con el concepto de caudal ambiental, por otro lado, la distribución de las precipitaciones en el territorio nacional y la influencia de fenómenos como la de El Niño Oscilación Sur (ENOS), la variabilidad climática y el cambio climático, son factores que intervienen en la dinámica del recurso hídrico y como consecuencia se tienen altos promedios de precipitación en unas zonas y pocas lluvias en otras.

Al aplicar la metodología de caudal ambiental vigente, se está considerando que, en materia de agua, el país tiene un comportamiento uniforme, además, con la metodología actual no se consideran actores fundamentales como, por ejemplo: los ecosistemas, los aportes de agua de otros cauces y la integralidad que se debe manejar en una cuenca.

Considerando que Costa Rica ha suscrito cerca de 45 tratados ambientales internacionales, y se han promulgado múltiples cuerpos normativos, es necesario avanzar en materia de caudal ambiental, desde una perspectiva integral con miras a la protección del recurso hídrico a la obtención de los objetivos planteados en foros internacionales como por ejemplo los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

2.3 Alcance

- En este documento, se muestra el producto de un proceso de revisión y análisis de muchas metodologías existentes, por medio de las cuales se han identificado los principales factores que tienen influencia sobre el cálculo del caudal ambiental. A partir de este análisis, se ha pretendido definir el mecanismo de selección del método aplicable para la estimación del caudal ambiental, según el análisis de criterios que tienen que ver entre otros con, el uso del agua y la cantidad demandada.

El análisis del comportamiento de las concesiones de agua en los últimos años, específicamente los caudales concesionados para cada uso en los años comprendidos del 2012 al 2016, muestra el rango de escalas en los caudales otorgados, que van desde 0,01 litros por segundo, hasta 74 799 metros cúbicos por segundo, razón por la cual, el caudal solicitado y el caudal disponible en la fuente, son dos elementos prioritarios en la definición del caudal ambiental. El contar con una gama de metodologías de cálculo de caudal ambiental, es una iniciativa capaz de responder a cada tipo de aprovechamiento y abarcar las diferentes condiciones que se puedan presentar. También es importante agregar que actualmente existe un faltante de información sobre las cuencas a nivel nacional, así como la información de balance hídrico que está desactualizada, por lo que será necesario ir instrumentando las cuencas paulatinamente. Mientras se logre avanzar en este proceso, se debe valorar la presente propuesta para adaptarse a los requerimientos planteados en los objetivos.

El trabajo de sensibilización a lo largo de varios años en este tema ha logrado reunir la experiencia de un equipo de trabajo y la disposición de las instituciones, en la elaboración de una guía desde una perspectiva integral, visualizando que puede ser una herramienta que se utilice para las concesiones otorgadas y las solicitudes que se gestionen en adelante.

La aplicación de la herramienta está condicionada a aspectos técnicos como la disponibilidad de la información, los aspectos legales y de modificación de la normativa vigente. Las propuestas de metodologías están fundamentadas en experiencias y modelos exitosos implementados en otros países con las consideraciones de las condiciones específicas de Costa Rica. La Dirección de Agua realizó un convenio con el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), con el objetivo de validar diferentes modelos metodológicos en distintas cuencas del país.

2.3.1 Objetivo general

Elaborar una guía de selección de la metodología adecuada para la estimación del caudal ambiental con el fin de ser implementada de manera oficial en el proceso de otorgamiento de concesiones.

2.3.2 Objetivos específicos

- Analizar las distintas metodologías existentes para el cálculo del caudal ambiental.
- Definir los criterios que se deben seguir para aplicar las distintas metodologías de caudal ambiental.

- Construir el clasificador de metodologías de caudal ambiental.
- Elaboración y descripción del método de evaluación.

3 Metodología

Se establecen en este apartado los pasos para definir la metodología de cálculo de caudal ambiental y cada uno de esos pasos responde al cumplimiento de los objetivos indicados, así, la revisión de la literatura para la conformación de un marco teórico, constituye la base para el análisis que permitirá definir qué ruta metodológica tomar en cada caso particular. Los criterios para la selección adecuada de metodología de cálculo de caudal ambiental se definen en función de los requerimientos de cada uno y las condiciones reales de la fuente analizada. Posteriormente, se definen los métodos ajustados a las condiciones de país y se definen los parámetros para su aplicación. En síntesis, los pasos a seguir para generar la guía metodológica son:

- Conformación de un equipo de trabajo multidisciplinario.
- Revisión la literatura existente en el tema.
- Análisis de las metodologías de caudal ambiental aplicadas en otros países.
- Análisis de los datos generados por la Dirección de Agua, para obtención de estadísticas que fundamenten los resultados.
- Definición de los criterios que se deben aplicar en el cálculo del caudal ambiental.
- Validación de las metodologías de cálculo de caudal ambiental.

Los pasos descritos, son constantemente evaluados por los miembros que integran el equipo de trabajo, posteriormente los resultados deben ser expuestos a los jefes de las instituciones que han participado durante el proceso.

4 Resultados y análisis

4.1 Análisis de metodologías

La aplicación de metodologías de estimación de caudales ambientales, responde a la necesidad de establecer límites para la alteración del régimen hidrológico, de forma que la cantidad de agua sea suficiente para mantener los diversos usos del agua, brindarles condiciones a las especies indicadoras de un ecosistema saludable y establecer el equilibrio entre el aprovechamiento y la conservación.

El análisis de referencias a nivel nacional e internacional en el tema del cálculo de caudales ambientales, muestran toda una gama de posibilidades metodológicas que se pueden agrupar según sus características y orientación en los siguientes grupos:

- Métodos Hidrológicos.
- Métodos Hidráulicos.
- Métodos Ecohidráulicos / Hidrobiológicos.
- Métodos Holísticos.

A continuación, se describe brevemente y se aportan ejemplos de metodologías en cada uno de los grupos:

Métodos hidrológicos:

Representan el abordaje más simple, menos costoso y más utilizado a nivel mundial. Estos se basan en el análisis de series temporales de 5, 10, 15, 25, 50 y hasta más años de caudales de un curso de agua, datos que pueden obtenerse del registro histórico de estaciones de aforo o mediante modelación numérica hidrológica-hidrodinámica, entre otras formas. Estos métodos se pueden dividir en dos grupos: 1) los que establecen un único valor de caudal ambiental para todo el año o mes, y 2) los que establecen un régimen completo de caudales ambientales. Si bien son de menor costo, las relaciones entre los indicadores hidrológicos y ecológicos no han sido evaluadas. Los métodos de régimen completo de caudales proporcionan valores para cinco componentes del régimen hidrológico (magnitud, frecuencia, duración, momento y tasas de cambio de los diferentes caudales), los cuales

son reconocidos como determinantes para la integridad ecológica de los sistemas fluviales (Lytle & Poff, 2004).

a) Método de Tennant o de Montana:

Fue aplicado en los Estados Unidos en la década del setenta y consiste en una recomendación de caudales mínimos basados en un conjunto de porcentajes de caudales medios anuales calculados para un aprovechamiento local y que son aplicados a diferentes porcentajes para los periodos octubre-marzo y para abril-septiembre. Las variables utilizadas son los periodos estacionales del año (húmedo o seco) y el caudal medio anual. Este método es particularmente adecuado para un nivel de planeación regional y es el más utilizado en Estados Unidos. Asimismo, comprende las siguientes etapas (Tennant, 1976):

- Determinación del caudal medio anual de aprovechamiento hidráulico local.
- Observación de cursos de agua durante los periodos en los cuales el caudal es aproximadamente 10%, 30% y 60% del caudal medio anual.
- Otros caudales podrán ser igualmente analizados, pero éstos permiten abarcar un rango de flujos que, de una manera general, sirven para la protección de los ecosistemas acuáticos y rupícolas de la mayoría de los cursos de agua.
- Utilización de la información obtenida para elaborar recomendaciones de caudales de mantenimiento en cursos de agua con base en los criterios que utiliza la metodología.

b) Método de caudal base o de Nueva Inglaterra:

Este método fue desarrollado en Estados Unidos por el Servicio de Pesca y Fauna en 1981. La recomendación de un caudal mínimo se basa en registros históricos de los caudales, a partir de la mediana calculada en el mes de agosto, que corresponde al registro más bajo, el cual constituye el caudal mínimo o básico por mantener a través de todo el año, con la excepción de los periodos de reproducción e incubación de especies piscícolas. En este periodo la mediana mensual o más baja para el caudal mínimo, corresponderá a la del caudal durante ese periodo, si es superior al caudal básico. Sin embargo, el cálculo de la mediana sólo es válido para cursos de aguas naturales en donde exista un registro de caudales mayores a veinticinco años. En otras situaciones, en cursos de aguas naturales en los que se verifican derivaciones importantes en el tamaño de registros de caudales inferiores a veinticinco años, un caudal mínimo es un porcentaje de caudal definido en función del área de la cuenca hidrográfica. Cuando un caudal es menor a lo definido en este criterio,

corresponderá al instantáneo para ese mismo periodo. Las variables utilizadas en este método son los periodos estacionales del año, el caudal mínimo anual y el rendimiento de la cuenca.

Fuente: (Loar y Sale, 1981; Russel, 1988, 1990)

c) Método de Caudal base:

Fue desarrollado para cursos de agua del río Cataluña (Norte de España) con base en un conjunto de cursos de agua representativos de varios tipos de regímenes hidrológicos que caracterizan la región, normalmente, son regímenes permanentes o temporales con características mediterráneas o no. Este método considera que el caudal es la única variable independiente del ecosistema y que la información contenida en series hidrológicas permitirá mantener las relaciones de funcionalidad con las otras variables. Por otro lado, la comunidad piscícola y los macroinvertebrados constituyen las variables con mayor grado de dependencia, pero que son considerados de mayor sensibilidad y con mayor valor indicador para evaluar las alteraciones del ecosistema. Las variables utilizadas en este método son las especies piscícolas, los macroinvertebrados y los caudales medios mensuales. (Palau et al., 1996)

d) Método de Northern Great Plains Resource Program (NGPRP):

El método norteno del programa de recursos de grandes planicies se desarrolló en 1964 para los ríos salmonícolas provenientes de las montañas rocosas del oeste de Estados Unidos. En la estimación de caudales mínimos se tienen en cuenta la postura y el crecimiento de los individuos y los flujos de descarga de lavados finos, se recomienda calcular los mínimos durante todos los meses del año, con base en la curva de duración de caudales durante el mes analizado. Este método no requiere de mucho trabajo de campo, puesto que las curvas de duración de caudales son obtenidas a partir de un registro de caudales medios diarios superior a veinte años, en el que los flujos de temporada seca se eliminan, ya que este método supone que las componentes biológicas más representativas de un sistema acuático son esencialmente mantenidas por las condiciones hidrológicas que se verifican en años normales y no para eventos extremos que ocurren durante periodos de corta duración. Un caudal mínimo recomendado para cada mes corresponde al que es excedido en el 90% del tiempo (o en el 84% del tiempo según Dougal, 1979 y Loar y Sale, 1981), exceptuando los meses de caudales máximos, en los cuales el mínimo recomendado corresponde al que es igualado o excedido en el 50% del tiempo². Las variables utilizadas en este método son los periodos estacionales del año y los caudales medios diarios.

e) Método de Hoppe:

En 1975 Hoppe modificó el método norteco del programa de recursos de grandes planicies utilizando ecuaciones basadas en áreas de cuencas hidrográficas para lugares en donde no existían registros de caudales. El método se basa en porcentajes de curvas de duración de caudales medios diarios y en las etapas del ciclo de vida de las especies; siendo desarrollado inicialmente para especies salmonícolas. El flujo que es igualado o excedido el 40 % del tiempo, es el caudal recomendado para la postura, mientras que el flujo que es igualado o excedido el 80% del tiempo es el recomendado para el crecimiento. El flujo que es igualado o excedido el 17 % del tiempo es considerado un caudal de descarga para un periodo de 48 horas. Las variables utilizadas en este método son los caudales medios diarios y el ciclo biológico de las especies. (Castro et al 2006)

f) Método 7Q10:

Según Loar y Sale (1981), se recomendaron los caudales ecológicos basados en caudales medios mínimos observados durante un intervalo de tiempo de siete días, con un periodo de retorno de diez años. Este método es una variación del que inicialmente fue denominado 7Q2 y utiliza los mismos criterios, fue desarrollado para un periodo de retorno de dos años. Las variables utilizadas en este método son los caudales medios mínimos diarios. (Loar and Sale, 1981)

Métodos hidráulicos:

Son similares a los anteriores, pero incorporan parámetros hidráulicos como la velocidad y profundidad del agua y el perímetro mojado, etc. Los requerimientos mínimos de caudal se fijan generalmente como el punto de inflexión entre el incremento del caudal y del perímetro mojado o también fijando un porcentaje de hábitat a reservarse con un determinado valor de caudal. Los métodos hidrológicos e hidráulicos han sido desarrollados y aplicados por ingenieros.

a) Método del Perímetro Mojado:

Es un método usado como índice de disponibilidad de alimento para los peces, asumiendo que al maximizar el perímetro mojado habrá más alimento y hábitat aprovechable para la comunidad acuática. Requiere para su aplicación de la ubicación de un único transecto a lo largo del río que

represente el sitio más sensible a los cambios de caudal. Para determinar el caudal ambiental se hace uso de la relación directamente proporcional entre el perímetro mojado y el caudal: a medida que aumenta este último se incrementa el otro desde un nivel base de caudal, hasta alcanzar un punto de inflexión, después del cual, el incremento del perímetro mojado crece muy lentamente hasta llegar a banca llena. Este punto de inflexión se toma como el de caudal óptimo o ambiental [Reiser et al., 1989], [Tharme, 1996], [King et al., 1999], [Palau, 2003], [Arthington y Zalucki, 1998]. Es un método de fácil aplicación, pero que no considera las condiciones de habitabilidad de las especies acuáticas, ni tampoco la variación de caudal en el tiempo, elementos fundamentales cuando se determina un caudal ambiental. (Aqualimpia & Castro, 2006)

b) Método de Múltiples Secciones (Multiple Transect Methods):

En este método se corrige el problema de usar un solo transecto para definir los caudales ambientales en el río, pues utiliza más de uno para su aplicación. Requiere de mediciones en campo de velocidad, nivel, sustrato y cobertura a diferentes caudales y en diferentes secciones transversales, con el fin de determinar por medio de simulación hidráulica el cambio de estas variables hidráulicas (habitabilidad) con cambios en el caudal [Arthington y Zalucki, 1998]. Se considera un método conservativo, que frecuentemente estima caudales altos [Richardson, 1986], [Swales et al., 1994], pero es uno de los primeros enfoques donde se tiene en cuenta la variabilidad de caudales y el consecuente cambio de variables hidráulicas de importancia ecológica. (Aqualimpia & Castro, 2006)

c) Método de Idaho:

Fue desarrollado por White & Cochnauer, 1975, para los grandes ríos de estado de Idaho en los Estados Unidos. Este método se basa en la supuesta pérdida de hábitat debido a la disminución del caudal, teniendo en cuenta las características requeridas por las especies seleccionadas como indicadoras del hábitat. En este método se definen las áreas críticas para la libre circulación, reproducción y crecimiento de especies piscícolas; a su vez, en cada área crítica se determinan secciones transversales en las que se miden velocidad, profundidad y tipo de sustrato. La caracterización física de cada sección transversal es realizada una sola vez para el caudal más bajo. Se utiliza un modelo de simulación hidráulica, para generar los valores de profundidad, velocidad y perímetro mojado, para un amplio rango de caudales.

La comparación de las condiciones de hábitat simuladas con las necesidades de hábitat de las diferentes especies permite generar recomendaciones de caudales mínimos para la circulación, reproducción y crecimiento. Los caudales para la circulación sin restricciones de los individuos son basados en la profundidad mínima necesaria. Para la postura, el caudal que permite el ancho máximo disponible (valor medio obtenido de todas las secciones transversales) se usa como orientación para determinar el caudal mínimo. El caudal mínimo para el crecimiento de peces es determinado con base en el método de perímetro mojado. Las variables utilizadas en este método son el tipo de sustrato, la velocidad media, la profundidad y el perímetro mojado. (Aguilimpia & Castro, 2006)

Métodos ecohidráulicos e hidrobilógicos:

Determinan un valor de caudal ambiental integrando el análisis hidrodinámico del tramo del curso bajo estudio y los requerimientos o preferencias de las especies que caracterizan el ecosistema fluvial. Los primeros métodos eco-hidráulicos se aplicaron a especies de peces de interés comercial o de interés para la conservación. Actualmente, también se toma en cuenta la comunidad biológica (grupos de especies de un mismo sitio) y el mantenimiento de la integralidad del ecosistema. Estos métodos requieren información de la topografía del curso de agua y de la ecología de las especies o comunidades que se quiere conservar, por lo que son más costosos, esto busca relacionar el ámbito hidráulico con el hábitat disponible de la especie indicadora. En general han sido desarrollados conjuntamente entre ingenieros y biólogos pesqueros.

a) Método de WRRI Cover:

Fue desarrollado por Wesche en 1973, para trucha (*Salmo Trutta*), en pequeños ríos de montaña, con caudales medios iguales o inferiores a 30 m³/s, basándose fundamentalmente en la cobertura. Se aplica en secciones transversales en tramos de cursos de agua en estudio, siempre que existan alteraciones significativas de sus características. En cada sección transversal se caracteriza el sustrato y se realizan mediciones de profundidad, caudal y ancho superficial del flujo, así como las mediciones de longitud de la cobertura de las márgenes y la profundidad del agua a ella asociada. La gama de caudales seleccionados varía entre el 10% y el 100% del caudal medio (si no existen registros de caudales, se utiliza el caudal medio de fin de verano) y se considera al menos cuatro valores de caudal. Este método tiene una sensibilidad ecológica elevada, después de haber verificado una buena correlación entre una cobertura y la biomasa piscícola. Las variables utilizadas en este método son la

cobertura vegetal, los caudales medios anuales, la longitud y el área de la sección. (Wesche & Richard, 1980).

b) Método de Washington:

El método de Washington fue desarrollado para el Washington Department of Fisheries, (Departamento Pesquero de Washington, EE. UU), para especies salmonícolas; también es llamado método de las áreas favoritas. Utiliza la cartografía básica de los tramos de los ríos para determinar las áreas de postura y crecimiento de especies consideradas; se aplica para un rango de caudales de interés, considerando criterios biológicos de preferencia para una velocidad y una profundidad del flujo. Estos criterios definen los límites superiores e inferiores de los intervalos de valores seleccionados para las especies. Por lo menos, son considerados tres sitios representativos para desove o crecimiento, siendo definidas cuatro secciones transversales en cada sitio. A lo largo de cada sección transversal y de preferencia –también entre secciones– son realizadas mediciones de velocidad y de profundidad para mínimo cinco valores de caudal. Los valores obtenidos permiten definir isolíneas para la profundidad y velocidad. Este método constituye igualmente un ejemplo del caudal recomendado con base en criterios de mantenimiento del hábitat. Una ventaja es la forma de su gráfica, no siendo necesario correr la simulación hidráulica. Las variables utilizadas en este método son la velocidad, la profundidad de flujo, el caudal y el ciclo biológico de las especies. (Loar and Sale 1981 & Gordon et al, 1992)

c) Método de California o Método de Waters:

Fue desarrollado para la determinación de caudales mínimos para la postura y crecimiento de especies salmonícolas existentes en los cursos de aguas de California. Este método es semejante al método de Washington y también es conocido con el nombre de las áreas favoritas, en los cuales se elaboran dos mapas planimétricos: uno de velocidad y otro de profundidad del flujo, a partir de información obtenida en secciones transversales seleccionadas para muestreo (en un número mínimo de 600 mediciones), para los caudales de interés, en un número superior a tres, sin aplicar una simulación hidráulica. Son considerados factores de ponderación, valores entre cero y uno, para cada uno de los parámetros. Adicionalmente, puede ser incluida una caracterización del sustrato en cada sitio del muestreo. Las variables utilizadas en este método son la velocidad, la profundidad de flujo, el área de la subsección, el sustrato. (Wesche & Richard, 1980)

d) Metodología IFIM-PHABSIM:

La *Instream Flow Incremental Methodology* (IFIM) es considerada por muchos como un avance significativo en la determinación de los caudales ecológicos, ya que sintetiza los aspectos más relevantes de los métodos de Washington y de California. A partir de ella se analizan conjuntamente variables de tipo hidráulico y biológico. La metodología IFIM puede ser definida como un conjunto de procesos analíticos y simulaciones elaboradas para prever los cambios en el hábitat de los ríos, debido a las alteraciones del flujo. La forma como se aplique esta metodología podrá ser determinada para cada caso, dependiendo de la especificidad de la situación y así generar varias alternativas, ya que a partir de un caudal inicial se trabaja con diferentes valores de éste al igual que se considera si la especie cuenta con el hábitat físico que requiere, además de trabajar con los datos hidráulicos, hidrológicos y biológicos pertinentes. (Reiser et al, 1989)

e) El PHABSIM (Physical Habitat Simulation System o Sistema de Simulación de Hábitat Físico):

Es derivado de la metodología IFIM y consiste en realizar simulaciones hidráulicas y de hábitat, lo que permite hacer variaciones en caudal y en la geomorfología del cauce las cuales están relacionadas con el índice de hábitat. Las variables utilizadas en este método son profundidad y velocidad del flujo, sustrato, cobertura y el ciclo de vida (alevinos, juvenil y adulto) o sus actividades específicas (reproducción, desove, alimentación o reposo), que se reflejan en las curvas de preferencia.

Métodos Holísticos:

Estos permiten determinar regímenes hidrológicos necesarios para mantener la integralidad del ecosistema, además de los usos sociales y productivos. Se basan en un manejo integrado de todos los factores biológicos, abióticos, socioeconómicos y el espectro completo del régimen hidrológico, incluyendo tanto su variabilidad espacial como temporal. Por lo tanto, son esencialmente interdisciplinarios, por ejemplo, una de las metodologías holísticas más recientes y elegida en este documento es DRIFT (Downstream Response to Imposed Flow Transformation), la cual consiste en cuatro módulos: biofísico, sociológico, desarrollo de escenarios y económico (King et al. 2003). El módulo biofísico implica la descripción de los elementos naturales y el funcionamiento del río y establece las bases para predecir cambios relacionados a modificaciones del caudal. El módulo sociológico identifica la población en riesgo, describe los usos del río y los perfiles de salud, que

contribuyen a predecir los impactos sociales de los cambios en el río. Con base en esto, en el tercer módulo se identifican escenarios hidrológicos posibles y se describen las potenciales consecuencias biofísicas y sociales. Por último, el cuarto módulo calcula los costos de compensación y mitigación de los impactos en la población en riesgo para cada escenario. El resultado es una serie de escenarios descritos que pueden ser utilizados para la toma de decisión.

a) Método DRIFT:

Metodología desarrollada en Sudáfrica, la cual brinda una perspectiva completa de las variaciones que ocurren río abajo en diferentes escenarios de regímenes de caudal. Esta perspectiva es muy importante para la toma de decisiones, ya que de antemano se conocerán todas las posibles respuestas del ecosistema y se podrá llegar a un consenso en el que se escoja la opción más conveniente para el medio ambiente (Pantoja, 2017).

El proceso dentro de la metodología DRIFT se divide en cuatro módulos (King et al. 2008):

- **Biofísico:** Describe la naturaleza y la forma en que funciona el río y establece las bases necesarias para predecir los cambios relacionados con las modificaciones de caudal.
- **Sociológico:** Se identifican los usos y costumbres asociados al río y la población que las practica. Se desarrollan las bases para predecir cuáles serían los impactos sociales de producirse ciertos cambios en el río.
- **Desarrollo de escenarios:** Identifica los posibles escenarios y las consecuencias ecológicas, sociales y económicas, sobre los mismos de producirse una alteración en el caudal.
- **Económico:** Los daños causados a la población en riesgo son evaluados desde el punto de vista financiero. Se toman en cuenta todos los escenarios posibles para calcular los costos de compensación y mitigación de los daños.

Esta metodología intenta abarcar todas las posibilidades existentes de regímenes de caudal, para de esa manera tomar la decisión que menos daños conlleve, lo cual la vuelve una metodología compleja, por tanto, se necesita contar con un grupo extenso e interdisciplinario de profesionales, lo cual eleva el costo de su aplicación, y a la vez lo limita para ciertos países con mayor capacidad económica, es por esto que su aplicabilidad dependerá del lugar en el que se desee utilizar. (Pantoja, 2017)

b) Método RANA-REGINA:

Esta metodología fue desarrollada por el Instituto Costarricense de Electricidad con el fin de contar con una herramienta para estimar el caudal de compensación de los proyectos hidroeléctricos que están en diferentes etapas de factibilidad, y se considera holística porque en ella se integran análisis de la información hidrológica, biológica y socio-económica de los ríos de Costa Rica. Su nombre obedece a dos componentes de análisis establecidos en los años 2007 (Krasovskaia, I. y Rodríguez, C. 2007) y 2014 (Krasovskaia, I. et al, 2014), RANA y REGINA respectivamente. Por medio de esta metodología se tiene la posibilidad de analizar las condiciones iniciales, o línea base, y el efecto de las diferentes alternativas de regulación en las condiciones físicas, biológicas y socioeconómicas en un sector específico de interés, o en la integralidad del río estudiado. Es necesario recalcar que la robustez de la metodología reside en buena parte en la información hidrológica que ha generado el ICE a través de los años. Con el componente RANA se logró la estimación de los diferentes descriptores de caudal (media anual, varianza y curvas de duración) en cualquier punto a lo largo del río. Por su parte, el componente REGINA incluyó métodos de regionalización de los caudales mínimos y crecientes, así como las curvas de duración. La particularidad de este segundo componente es que el análisis se extendió al resto del ciclo hidrológico dado que el anterior estaba restringido al período de estiaje.

El método planteado consiste en desarrollar los pasos que se describen a continuación, y el flujo de actividades, que refleja la interacción de las diferentes áreas de especialidad, se presenta en la figura 1:

1. Identificar los principales usos del río y definir cuáles y cuántas especies indicadoras y usuarios se utilizarán para estudiar esas actividades.
2. Seleccionar sitios de control donde recopilar información sobre las condiciones del río que esas especies y usuarios prefieren para realizar esas actividades.
3. Establecer reglas con base en esas preferencias para evaluar distintas condiciones de caudal en los sitios seleccionados. Las reglas consisten en rangos de profundidad y velocidad del agua, asociados con condiciones óptimas, regulares o malas para realizar las actividades definidas.
4. Estimar el régimen de caudal en los sitios de control para evaluar las reglas de preferencia ante variaciones de esos niveles de agua.
5. Realizar un modelado hidráulico de los sitios de control con los regímenes de caudal estimados, para obtener mapas de profundidad y velocidad en distintas condiciones de caudal.
6. Evaluar las reglas de preferencia sobre los mapas de profundidad y velocidad obtenidos.
7. Evaluar los regímenes de caudal correspondientes a los posibles esquemas de operación del proyecto, y compararlos con la línea base. Así se obtiene una noción del efecto que los distintos esquemas de operación pueden generar sobre los usos del río.

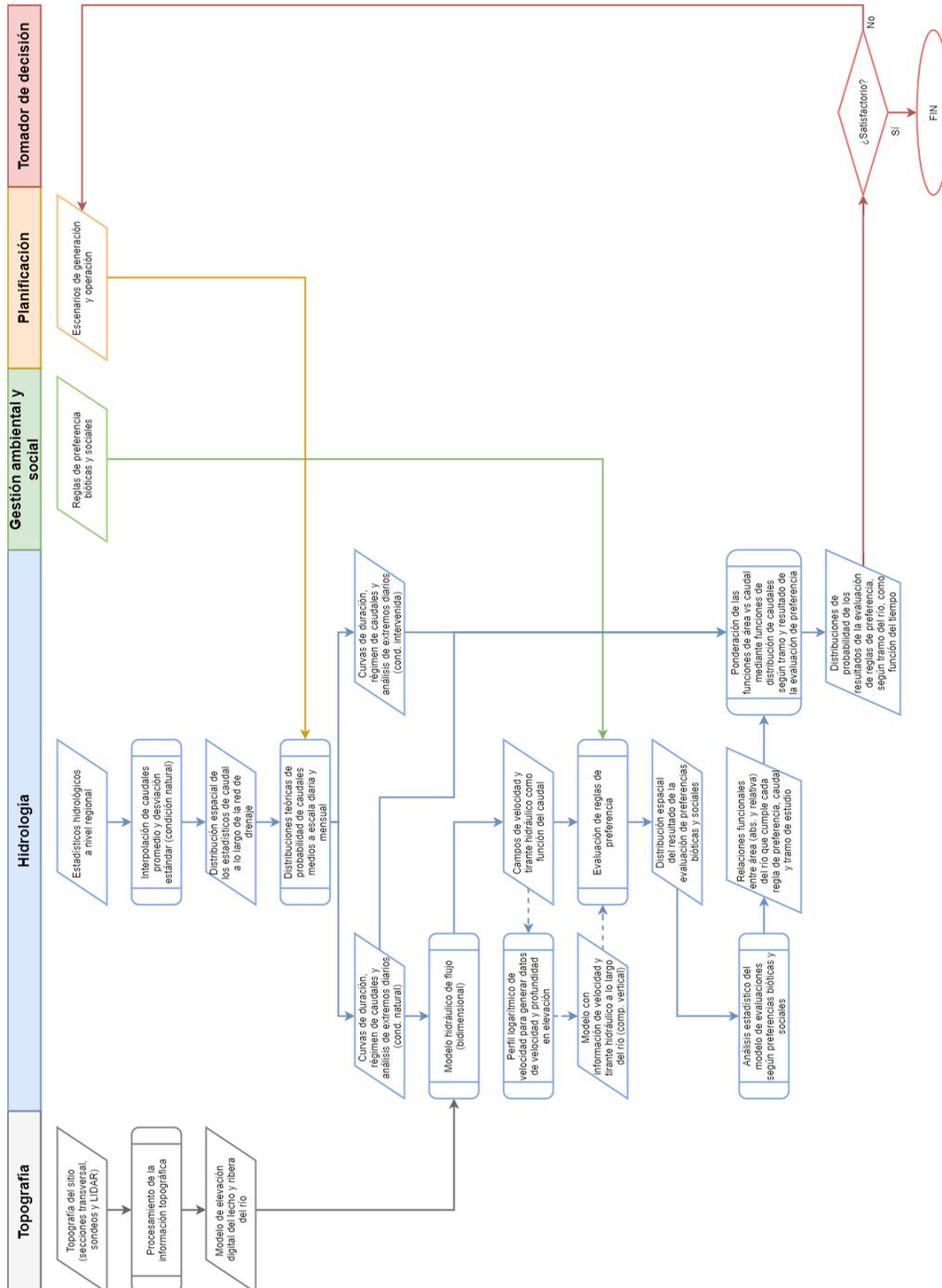


Figura 1. Diagrama de flujo de actividades especializadas para el método de RANA-REGINA.

Para la implementación de esta metodología, es necesario llevar a cabo estudios de las características del flujo en varios sectores de los ríos estudiados, seleccionados con base en su importancia para el régimen hidrológico, aspectos ecológicos y socioeconómicos. A través del trabajo de campo las áreas de Biología y Sociología se identificaron los principales usos del río, así como las especies y usuarios indicadores para hacer el estudio. Las “especies indicadoras” podrían ser los peces presentes en el río, u otro indicador, que se considere más sensible a los cambios de caudal, mientras que los “usos principales” son las actividades que poseen la importancia social más alta y que también son sensibles a los cambios de caudal. Las demandas biológicas de hábitat pueden establecerse con la ayuda de un panel de expertos y estudios de campo extensivos. La información sobre las demandas socio-económicas con respecto al caudal del río se obtiene por medio de inventarios de campo y talleres con partes interesadas y el régimen de caudal en los sitios de control se modeló mediante curvas de duración, utilizando distribuciones de probabilidad y los mapas creados durante el proyecto de caudales de compensación

Los sitios de control, generalmente pozas, se seleccionan con base en su ubicación dentro del tramo crítico, entendiendo éste como el sector del río comprendido entre el sitio de presa y la restitución. Este sitio se denomina “sector crítico” debido a que va a ser alterado por la modificación de su caudal, pudiendo afectar la ecología y las actividades socioeconómicas que se desarrollan en la zona.

La metodología establece reglas de preferencia que se definen como los rangos de profundidad y velocidad del agua asociados con el desarrollo normal de las especies indicadoras y los usos principales

El modelado hidráulico del tramo de interés permite estimar las velocidades de flujo y las profundidades para un caudal dado en los sitios específicos a lo largo del río, y la vinculación de éstos parámetros a las demandas de hábitat y uso socioeconómico, se emplea para estimar el área útil en condiciones de flujo natural y de regulación.

La fase final del evalúa la variación estacional del área útil para las especies acuáticas y los usos del agua condicionados a los caudales naturales o regulados. La comparación de la relación entre el área útil y la conectividad en cada sector del río con las demandas identificadas, permite comparar el impacto de los diferentes escenarios de regulación de una forma integral.

El método presenta un enfoque amplio para evaluar los efectos de las diferentes alternativas de regulación de caudal en la vida acuática y las actividades socioeconómicas de la población ribereña a lo largo del año, para facilitar la elección del esquema de regulación con un nivel de menor riesgo. La metodología sigue el concepto de gestión del caudal adaptativo, el cual prevé un seguimiento continuo de los resultados de la decisión elegida y un ajuste en función de los nuevos conocimientos.

c) Método de Building Block – Enfoque Bottom-up:

Se realiza con base a estudios multidisciplinarios realizados del sitio, con el fin de comprender la relación caudal-características hidráulicas, éste tipo de análisis es a mediano o largo plazo y requieren de inversiones considerables. Es esencialmente un enfoque prescriptivo, diseñado para construir un régimen de flujo para el mantenimiento de un río en una condición predeterminada. Este método ha proporcionado además un impulso para la evolución de varias metodologías alternativas de caudal ambiental de tipo holístico. Generalmente se trabajan desde 1 hasta 5 transectos dependiendo del tamaño del área de estudio, en cada transectos se debe analizar el tipo de sustrato, vegetación rapararía y de macrófitas, además de información hidrológica, como curvas de duración de caudal, periodo de retorno, otra información que se debe recopilar es la entrada de agua subterránea estos corresponden al primer bloque o fase (Castro et al, 2006)

En el segundo bloque se procede a analizar la información para establecer la relación entre los caudales y las características hidráulicas, la morfología del canal y los biotopos para generar propuestas de un caudal ambiental que garantice el ciclo de vida de la fauna acuática (peces, macroinvertebrados, renacuajos, etc.). También debe garantizar los usos socioeconómicos y culturales del río, además de los ciclos vegetativos de las especies que se encuentran en la ribera, cuyo ciclo de vida dependa de la disponibilidad del agua en determinada época del año, y por último la navegabilidad en los casos que aplica (Aguilera y Pouilly, 2012). La principal ventaja que tiene este método es que, al ser holístico, toma en cuenta una gran cantidad de aspectos del régimen fluvial, lo que lo hace que tenga una mayor probabilidad de sostenibilidad a lo largo del tiempo.

Valoración de la Dirección de agua

Esta valoración está basada en los registros de concesiones y estadísticas realizadas por la Dirección de Agua para caudales pequeños menores a 1 l/s, dichos estudios han demostrado que la valoración a dichas fuentes, así como el trabajo realizado para la determinación y comprobación de los usos, ha permitido comprobar la protección del recurso hídrico, determinándose que en promedio un 46% del

caudal total de la fuente se encuentra concesionado, es decir un promedio del 54% del total de la fuente discurre libremente y de forma natural por el cauce.

Este es un valor mayor al establecido por la aplicación del 10% de caudal ambiental aplicado hasta el momento, lo cual demuestra la labor realizada hasta el momento por parte de la Dirección de Agua, en la gestión del recurso hídrico.

La aplicación dependerá de las condiciones en que se encuentre la fuente y su entorno, permitiendo al técnico identificar los posibles factores de riesgo los cuales hasta el momento han permitido obtener los resultados indicados a la hora de evaluar el permiso de concesión.

4.2 Definición de criterios

La Dirección de Agua como ente rector en el recurso hídrico es quien vela por la protección y aprovechamiento del recurso hídrico de una manera integral y sostenible, por eso es que se busca establecer un caudal ambiental como un principio de protección del recurso para la subsistencia de los hábitats tanto ecológicos como los humanos.

La definición de los criterios socioambientales, para definir las metodologías aplicables del caudal ambiental, está basado en la clasificación de los caudales concesionados por la Dirección de Agua, las mismas mediante un proceso valoración de los caudales y su recurrencia en cada valor nos permite determinar gráficamente los valores de rangos de análisis, permitiendo la clasificación de los registros de los caudales concesionados por la Dirección de Agua.

A continuación, se muestra la frecuencia de registros en función del caudal otorgado.

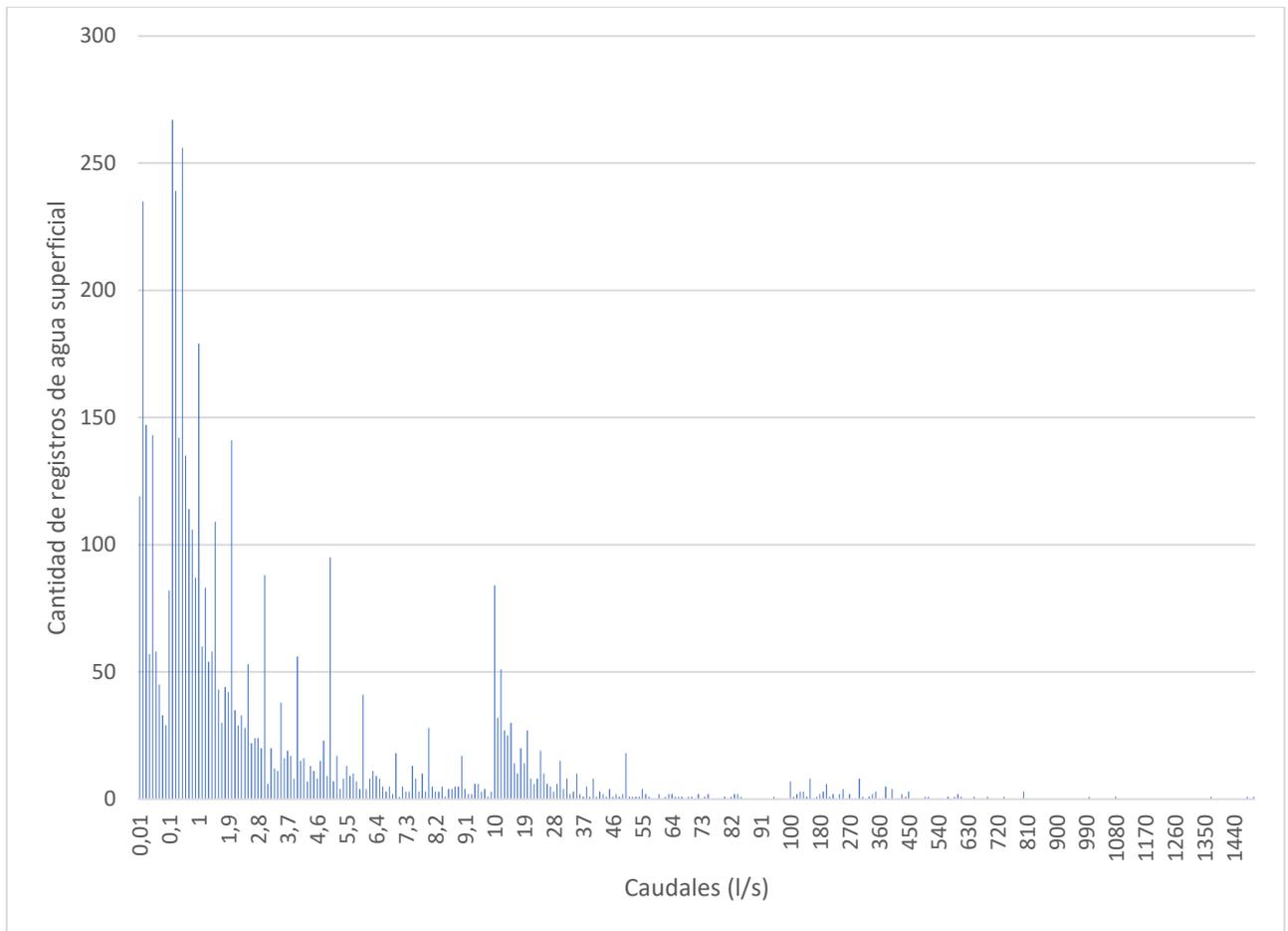


Figura 2. Cantidad de registros de agua superficial según el caudal otorgado.

Del cuadro 2, se obtiene los rangos de los caudales, los cuales se muestran por separado en el siguiente cuadro, y que se utilizarán como parte de la selección en el cuadro de variables socioambientales.

Cuadro 2. Categorización de caudales (l/s), registrados en la Dirección de Agua del MINAE.

Id	RANGOS DE CAUDALES SOLICITADOS EN L/S
1	0.00 a 01.00
2	1.01 a 50.00
3	50.00 a 100.00
4	100.00 a 500.00
5	500.00 a 1000.00
6	1000.00 a (+)

Los criterios socio ambientales para evaluar las solicitudes de concesión de aprovechamiento de agua, se resumen en el Cuadro 3, donde también se asigna el factor o puntaje a asignar según sea la condición.

Cuadro 3. Criterios socio-ambientales a evaluar.

Criterio Socio-ambiental	Condición	Puntaje	Detalle
Tipo de Cauce	Afluente	1	Se considera cauce Afluentes los cauces con clasificaciones ≤ 3 , según la metodología de Horton para clasificación de cauces. En el caso de cuencas que no presenten afluentes el mismo se toma como cauce principal*
	Cauce principal	25	Se considera cauce principal los cauces con clasificaciones ≥ 4 , según la metodología de Horton para clasificación de cauces.
Ubicación en la cuenca	Alta	1	La ubicación de cuenca Alta, se considera como un tercio de la curva hipsométrica comprendida en las alturas más alta
	Media	25	La ubicación de cuenca media, se considera como un tercio de la curva hipsométrica comprendida entre las alturas más altas y más bajas
	Baja	50	La ubicación de cuenca baja, se considera como un tercio de la curva hipsométrica comprendida en las alturas más bajas.
Caudal Solicitado (l/s)	0.01 a 01.00	1	Selección de puntaje según el caudal solicitado
	1.01 a 50.00	50	
	50.01 a 100.00	100	
	100.01 a 500.00	150	
	500.01 a 1000.00	200	
	1000.01 a (+)	250	
Obra en Cauce	Ninguna Obra	0	Mínimo o ningún tipo de intervención sobre el cauce, captación pequeña u obras ligeras con materiales no fijos al cauce
	Obra Parcial >2m	25	Obras en cauce menores a 2 m y que no obstaculice más del 50% de la sección transversal del cauce, o bien no superen longitudes horizontales mayores a 5 m.
	Presa Total < 2m	50	Obras en cauce con una altura menor a 2 m, sobre el fondo del cauce.
	Presa Total de 2 a 15 m	75	Obras en cauce con una altura entre 2m a 15m, sobre el fondo del cauce.
	Presa Total > 15 m	150	Obras en cauce con altura mayor a 15m, sobre el fondo del cauce

Criterio Socio-ambiental	Condición	Puntaje	Detalle
Tipo de Consumo	No Consuntivo	1	Aprovechamiento del agua, en el cual se extrae de la fuente para su uso, y posteriormente es restituido en el mismo punto de toma de forma inmediata
	Consuntivo	25	Aprovechamiento del agua, en el cual se extrae de la fuente para su uso, y es consumido parcial o totalmente y es restituido en un punto diferente de la toma.
Sistema de Reúso de Agua	Total	1	El agua es aprovechada adicionalmente en otro uso, en más del 90% del total de caudal concesionado.
	Parcial 3	5	El agua es aprovechada adicionalmente en otro uso, en un 61 a 90% del total de caudal concesionado.
	Parcial 2	10	El agua es aprovechada adicionalmente en otro uso, en un 31 a 60% del total de caudal concesionado.
	Parcial 1	25	El agua es aprovechada adicionalmente en otro uso, en un 1 a 30% del total de caudal concesionado.
	Ninguno	50	Sin ningún tipo de reusó del agua
Conflicto uso	Ninguno	0	No se presenta conflicto (Situación de carácter social que pueda desenvolver en una problemática por el recurso agua, ya sea por afectar un servicio ambiental, por escasez del recurso, por usos múltiples en el mismo sistema, por situaciones de género, multiculturalidad, valores culturales y otros).
	Leve	100	Se presenta una situación de conflicto, donde existe antecedentes de denuncias existentes o anteriores.
	Alto	200	Se presenta una situación de conflicto, a nivel social o de acción colectiva por el aprovechamiento de la fuente.
Afectación sobre los ecosistemas frágiles	No	0	Se considera que el caudal solicitado no representa un riesgo sobre ecosistemas frágiles.
	Si	250	Se considera que el caudal solicitado representa un riesgo sobre ecosistemas frágiles.
Nivel de amenaza de eventos Extremos secos por cantones	Bajo	0	Clasificación de amenazas por eventos extremos Secos por cantones, realizado por el Instituto Meteorológico Nacional. Boletín Meteorológico mensual, agosto 2011 y julio 2014.
	Medio bajo	25	
	Medio	50	

Criterio Socio-ambiental	Condición	Puntaje	Detalle
	Medio alto	75	
	Alto	100	

4.3 Detalle de los criterios del cuadro 3, sobre Criterios socioambientales a evaluar

- 1) Tipo de cauce: Este criterio se refiere a la clasificación por el método de Horton, dicho método se fundamenta en los siguientes criterios:
 - a) Corrientes de Primer Orden: Son aquellas corrientes portadoras de aguas de nacimiento o tiene su origen a partir de un punto determinado, y que no cuentan con afluentes.
 - b) Cuando dos corrientes de agua de primer orden se unen, el resultante es una corriente de orden 2.
 - c) De manera general, cuando dos corrientes de orden i se unen resulta una corriente de orden $i+1$, cuando una corriente se une con otra de orden mayor, el resultado es una corriente que mantiene el orden mayor. (ver figura xx)

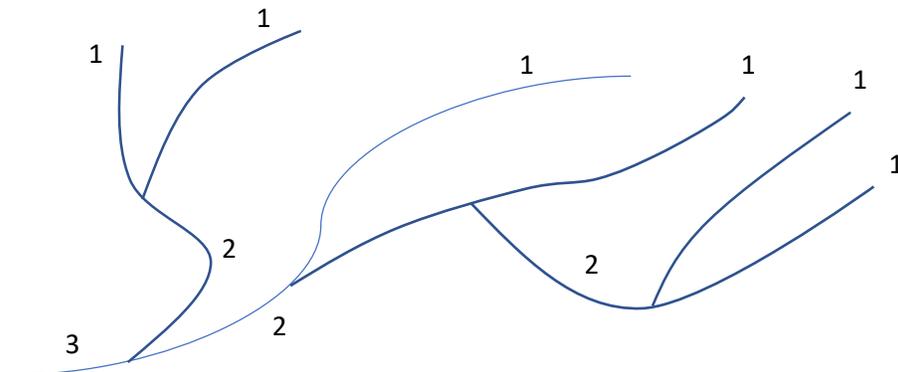


Figura 3. Clasificación de Horton para ordenes de cauces

- 2) Ubicación dentro de la cuenca con el criterio de la curva hipsométrica: la curva hipsométrica corresponde a la relación la altitud y la superficie comprendida por encima o por debajo de dicha altitud. Brinda una idea del perfil longitudinal promedio de la cuenca, la misma se

representa mediante la elevación y el área acumulada en dicha elevación. Para la determinación del parámetro de ubicación se toma la curva hipsométrica y se segmenta en 3 extractos a saber, alta, media y baja.

- 3) Caudal Solicitado: Esta variable está en función del caudal solicitado para el aprovechamiento, la misma cuenta con un rango de valores de caudales con un puntaje indicado.
- 4) Obra en Cauce: La variable se refiere al tipo de obra que se debe realizar para la captación del caudal de la concesión, para ello las obras se dividieron en 5 clasificaciones:
 - a) Ninguna Obra: Obra Mínima o ningún tipo de intervención sobre el cauce, captación pequeña u obras ligeras con materiales no fijos al cauce.
 - b) Obra Parcial: Son las obras con altura sobre el lecho del cauce no mayores a 2 metros que no impliquen la obstrucción o ahorcamiento del cauce en más del 50% de su sección transversal.
 - c) Presa Total <2m: Son las presas que cubren totalmente la sección transversal del cauce con una altura no mayor a 2 metros sobre el nivel del cauce.
 - d) Presa Total de 2 a 15 m: Son las presas que cubren totalmente la sección transversal de cauce con una altura menor a 15 m sobre el nivel del cauce.
 - e) Presa Total mayores de 15 m. Son las presas que cubren totalmente la sección transversal del cauce con una altura mayor a 15 metros sobre el nivel del cauce.
- 5) Tipos de Consumo: Esta variable se refiere al tipo de uso que se le brinda al agua, clasificando la misma en 2 tipos.
 - a) Uso no consuntivo: Corresponde al uso del recurso el cual es aprovechado y es devuelto a la fuente del cual se extrajo.
 - b) Uso consuntivo: Cuando el uso del recurso es aprovechado totalmente y no es devuelto a la fuente en su totalidad.
- 6) Sistema de reúso de agua: La variable permite asignar un puntaje en función del porcentaje de reúso del agua en el uso asignado o bien en otro tipo de uso.

- 7) Conflicto de uso: Los conflictos por el uso del agua con el resultado de la multiplicidad de demandas y pretensiones o aspiraciones que confluyen sobre los limitados recursos hídricos y que, por consiguiente, no pueden satisfacer simultáneamente (rivalidad en el consumo en sus diferentes dimensiones, cuantitativa, cualitativa y temporal). Ellos materializan relaciones antagónicas que surgen de la colisión de posiciones e intereses en torno a la cantidad, calidad y oportunidad de agua disponible para los diferentes actores. (Cepal. Análisis, prevención y resolución de conflictos por el agua en América Latina y el Caribe)
- 8) Afectación sobre los ecosistemas frágiles: Esta variable aplica cuando la afectación que se ubica fuera de la zona de protección de la fuente de agua, puede afectar de forma negativa parcial o totalmente un ecosistema que dependa de esta fuente de agua.
- 9) Nivel de amenaza de eventos Extremos secos por cantones: La variable tiene como fin utilizar el mapa realizado por el Instituto Meteorológico Nacional que permite identificar las zonas más vulnerables a eventos extremos secos, esto permite obtener una referencia de la sobre la zona de análisis y las posibles recomendaciones sobre el recurso hídrico.

4.4 Asignación de metodologías recomendadas

La clasificación de las metodologías, se analiza desde el punto de vista de impacto a la fuente a través del caudal aprovechado, considerando que la extracción de un caudal para aprovechamiento, implica un impacto directamente sobre la fuente aprovechada, ya que un cuerpo de agua responde a un área colectora de características variables, donde coexisten los hábitat ecológicos, las poblaciones humanas, las actividades económicas y sociales por lo cual se debe tener especial cuidado en los proyectos que deseen aprovechar el recurso hídrico.

En el Cuadro 4, se define la recomendación de aplicación de las metodologías en función de los puntajes alcanzados según los criterios previamente identificados tanto del análisis de los datos de concesión por Dirección de Agua, como por las condiciones socio-ambientales.

Cuadro 4. Metodologías recomendadas según puntaje.

Puntaje alcanzado	Metodología Recomendada
< 161	Valoración DA
161 - 300	Hidrológica - Hidráulica
301 - 450	Hidrobiológica
> 450	Holística

Esta guía metodológica enfatiza los criterios para seleccionar la metodología de determinación de caudal ambiental que mejor se adapte a las condiciones de cada solicitud de concesión, de esta manera se podrá garantizar el cumplimiento de un principio básico de administración del recurso hídrico que es respetar la funcionalidad de los ecosistemas como una medida de previsión para beneficio de la población.

4.5 Análisis complementarios

Corresponde a la Dirección de Agua, como ente administrador de las concesiones de agua en Costa Rica, la función de evaluar, para cada solicitud de concesión, las condiciones propias de la cuenca, tomando en consideración los principios de la gestión integral del recurso hídrico, así como los efectos acumulativos de otras concesiones producto de las condiciones antropogénicas.

Es importante aclarar que aun cuando una solicitud de concesión implique la aplicación de una metodología Hidráulica o Hidrológica, podría requerirse atención hacia alguna conflictividad de índole ambiental o social en una escala menor con respecto a lo requerido para las metodologías Hidrobiológicas y Holísticas, dicho abordaje deberá ser contemplado por parte del solicitante de la concesión y en su defecto podrá ser solicitado como análisis complementario por parte de la Dirección de Agua.

5 Disponibilidad de la información obtenida

El objetivo de establecer una guía para la determinación del caudal ambiental para los cuerpos de aguas superficiales es que no solamente se proteja el recurso hídrico y su relación con el ambiente, como se indicó en los objetivos, si no que el mismo pueda establecerse de una manera técnico-

científica que pueda ser evaluado y revisado contantemente, poniéndose a la disposición y conocimiento del público en general y entes o instituciones que deseen realizar evaluaciones de los mismos, corroborando o bien generando nueva información. Para ello la Dirección de Agua no solamente deberá establecer el valor de caudal ambiental mediante los estudios indicados bajo esta guía, sino que además deberá evaluar en conjunto y de manera integral con la gestión del recurso hídrico los estudios realizados en las cuencas por las Unidades Hidrológicas. Esta evaluación por unidad hidrológica es un primer intento de establecer valores de caudal ambiental en cuencas y microcuencas con el fin de mapear dichos valores a nivel Nacional, estableciendo puntos de control de valores de caudal ambiental dentro de las cuencas, valores que se estarán revisando en conjunto con la generación de los valores obtenidos mediante esta guía.

Esta información estará disponibles a través de la web, como por ejemplo en visor de mapas de la Dirección de agua. Este sistema permite mejorar no solamente la cantidad sino además la calidad de la información, permitiendo una constante mejora en la determinación del caudal ambiental.

6 Glosario

Acequia: Canal artificial a cielo abierto que sirve para conducir y distribuir agua de riego para una explotación agrícola. Normalmente su capacidad es inferior a 0.50 m³ / s. Sinónimos de acequia: paja de agua, atarjea, canal, derivación, canal, ramal. Usadas antiguamente como medio de distribución de agua de consumo humano.

Acueducto: Sistema de tubería, accesorios y obras necesarias para la captación, conducción, tratamiento y distribución de las aguas para abastecimiento.

Acuífero: Formación porosa (capa o estrato), de roca permeable, arena gravilla, capaz de almacenar y transmitir cantidades apreciables de agua.

Acuífero colgado: acuífero que contiene un volumen de agua subterránea de dimensionadas pequeñas, soportada por un estrato de una conductibilidad hidráulica menor.

Acuífero confinado: acuífero limitado por formaciones de bajas conductibilidades hidráulicas y tiene una presión mayor que la atmosférica.

Acuífero libre o no confinado: Es aquel en el que su límite superior se encuentra a presión atmosférica.

Acuífero semiconfinado: Acuífero cubierto por un estrato de una conductibilidad hidráulica menor, por la cual se puede drenar agua dependiendo de los niveles piezométricos.

Aforo: Medición del caudal de una corriente o naciente y en un momento dado, el cual se realiza mediante diferentes métodos: Aforo con flotadores, Aforo volumétrico, Aforo con químicos, Aforo con vertedores, Aforo con correntómetro o molinete, Aforo mediante estructuras hidráulicas de un sistema, Aforos con sensores.

Agente contaminante: Todo aquel elemento cuya incorporación a un cuerpo de agua natural conlleve el deterioro de la calidad física, química o biológica de este, o de la biodiversidad asociada.

Agua residual: Agua que ha recibido un uso y cuya calidad ha sido modificada por la incorporación de agentes contaminantes.

Agua subterránea: El agua por debajo de la superficie del terreno que satura por completo las rocas permeables por debajo del nivel de saturación y fluye bajo la acción de la pendiente o gradiente hidráulica.

Agua superficial: Agua que fluye o se almacena en la superficie del terreno. Exceptuando el agua marina, se pueden distinguir tres tipos de agua: el agua de escorrentía, la retenida en reservorios naturales o artificiales y el agua de estuarios. Estas aguas se originan a partir del agua de precipitación atmosférica, y de afloraciones de agua subterránea. En el caso de los estuarios, el origen se debe al encuentro entre las aguas fluviales y las marinas.

Alteración eco-hidrológica: Modificación inducida de la calidad, cantidad y temporalidad de los regímenes hidrológicos causada por infraestructura hidráulica, carretera y urbana, principalmente, lo cual altera la provisión de servicios ambientales.

Año hidrológico: Período de doce meses comprendido entre el primero de mayo con el inicio de las lluvias y termina en abril al final de la estación seca, condición repetida cíclicamente para Costa Rica.

Área Silvestre: Se refiere al lugar con presencia o proximidad a Ecosistemas frágiles, humedales, áreas protegidas, tanto en el sistema estatal como privado.

Avenida: Aumento repentino del volumen y velocidad de la corriente en un río debido a escurrimientos generados por la lluvia cíclica o extraordinaria, también se le conoce como crecida.

Biótico: Perteneciente a organismos vivos. Componente del ecosistema.

Canal: Conducto por el cual el agua fluye en una superficie libre y de acuerdo con su origen un canal puede ser natural o artificial.

Cauce: Depresión natural de longitud y profundidad variable en cuyo lecho fluye una corriente de agua permanente o intermitente, definido por los niveles (huella) de las aguas alcanzadas durante las máximas crecidas ordinarias. Definido en la Ley de Aguas como el terreno que cubren sus aguas en las mayores crecidas ordinarias en un periodo de un año hidrológico. (Artículo 69 y 70, Ley de Aguas N°276).

Caudal: Volumen de agua por unidad de tiempo. Se puede dar en litros por segundo o en metros cúbicos por segundo, según la magnitud del volumen.

Caudal Ambiental: Se refiere al régimen hídrico necesario para sustentar los ecosistemas y sus beneficios. Según la declaración de Brisbane 2007 son los flujos de agua, el momento de aplicación y la calidad del agua precisos para mantener los ecosistemas de agua dulce y de estuarios, así como los medios de subsistencia y bienestar de las personas que dependen de tales ecosistemas.

Caudal Ecológico: Es la calidad, cantidad y régimen del flujo o variación de los niveles de agua requeridos para mantener los componentes, funciones y procesos de los ecosistemas acuáticos.

Caudal de Estiaje: Es el caudal promedio de los caudales mínimos del registro en época seca de una fuente dentro del año hidrológico.

Caudal mínimo remanente (CMR): Es el caudal no derivable de una fuente producto de la particularidad hidrográfica de cada región, de tal forma que se garantice un caudal mínimo continuo y permanente aguas abajo de todo aprovechamiento a lo largo del cauce.

Caudal Mínimo Aceptable (CMA): Es el límite inferior del caudal de un río que podría mantenerse en un cauce sin que se comprometa la condición de integridad del ecosistema y sus usos sociales.

Ciclo Hidrológico: Circulación natural, regular y sucesiva del agua entre el mar, la atmósfera y la tierra, fundamento esencial a la vida y transformación del planeta.

Coefficiente de escorrentía (C): Valor adimensional que establece la relación fija entre la tasa de escorrentía pico y la tasa de lluvia para la cuenca de drenaje, depende de las características y condiciones de cobertura del suelo, de la intensidad de lluvia, proximidad del nivel freático, el grado de compactación del suelo, la porosidad del subsuelo, la pendiente del suelo y el almacenamiento por depresión.

Coefficiente de evapotranspiración del cultivo (Kc): Valor empírico para cada cultivo que integra al conjunto de variables que operan en la relación de evapotranspiración respecto al crecimiento vegetativo. (Manual técnico del Departamento de Aguas, Gaceta N°98, del 20 de mayo del 2004)

Concesión: Es el instrumento o figura jurídica por medio de la cual el estado autoriza en forma temporal el aprovechamiento de aguas a personas privadas o públicas; físicas o jurídicas.

Conflicto de uso: Situación de carácter social que pueda desenvolver en una problemática por el recurso agua, ya sea por afectar un servicio ambiental, por escasez del recurso, por usos múltiples en el mismo sistema, por situaciones de género, multiculturalidad, valores culturales y otros temas de conflicto.

Conservación de los recursos hídricos: Administración, protección, mantenimiento, recuperación y mejoramiento de los recursos hídricos, en cantidad, calidad y oportunidad, a través de una gestión integrada del recurso.

Contaminación de las aguas: Incorporación de agentes contaminantes a los cuerpos de agua a través vertidos o descargas directas o indirectas, o de cualquier tipo de sustancia o energía, cuyas características provoquen o puedan provocar alteraciones nocivas en la calidad física, química y biológica de las aguas

Cuenca hidrográfica: Unidad territorial delimitada por la línea divisoria de sus aguas, las cuales drenan superficial o subterráneamente hacia una salida común. Cuando los límites de las aguas subterráneas no coincidan con la línea divisoria de aguas, dicha delimitación incluirá la proyección de las áreas de recarga de las aguas subterráneas, las cuales fluyen hacia la cuenca delimitada superficialmente. Si las aguas de una cuenca tienen como salida común algún punto del litoral, su zona de influencia marítima se considera como proyección de la cuenca hidrográfica respectiva, según lo determinen los estudios técnicos pertinentes.

Cuerpo receptor: Es todo aquel manantial, río, quebrada, arroyo, permanentes o no, zona de recarga, lago, laguna, marisma, embalse natural o artificial, estuario, manglar, turbera, pantano, agua dulce, salobre o salada, donde se vierten aguas residuales o pluviales.

Dotación: Cantidad de agua por unidad de producción o consumo, determinada por las necesidades de la particularidad de cada uno de los usos; considerandos variables de eficiencia en su aprovechamiento integral.

Drenaje: Evacuación del agua superficial, subsuperficial o subterránea de un área de terreno determinada, ya sea por gravedad o por bombeo.

Ecosistemas frágiles: Espacio geográfico que en función de sus condiciones de geoaptitud, de capacidad de uso del suelo, de ecosistemas que lo conforman y su particularidad sociocultural; presenta una capacidad de carga restringida y con algunas limitantes técnicas que deberán ser consideradas para su uso en actividades humanas. También comprende áreas para las cuales, el Estado, en virtud de sus características ambientales ha emitido un marco jurídico especial de protección, reserva, resguardo o administración.

Eficiencia de riego: Mide la relación del agua disponible para la planta y el agua total destinada al proyecto de riego.

Efluente: Un líquido que fluye fuera del espacio confinado que lo contiene. En el manejo de aguas residuales se refiere al caudal que sale de la última unidad de conducción o tratamiento.

Embalse: Depósito de agua, natural o artificial, usado para el almacenamiento, la regulación y el control de los recursos hídricos.

Escurrimiento: Componente del Ciclo Hidrológico, agua proveniente de la precipitación, que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente, para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.

Especies migratorias o en condición de peligro o amenaza: Presencia de especies acuáticas migratorias, así mismo especies de fauna amenazada o en peligro de extinción que dependen del sistema primario y que deban ser consideradas en condiciones particulares.

Estudio hidráulico: Análisis que se realiza previo al diseño de cualquier obra civil de tipo hidráulico, mismo que se basa en el caudal de diseño calculado mediante un estudio hidrológico.

Estudio hidrológico: Análisis realizado por un profesional del ramo para resolver los problemas prácticos que se presenten en el diseño, planeación y operación de estructuras hidráulicas de aprovechamiento de agua o cauce y que tiene como fin de determinar el caudal de diseño. El contenido de los parámetros mínimos requeridos, amplitud y profundidad del estudio dependerán del objetivo final de la obra o trámite requerido.

Evapotranspiración: Cantidad de agua que retoma a la atmósfera, a través de la transpiración de la vegetación como por de la evaporación del agua en el suelo. Su magnitud depende del agua realmente disponible, es decir de la que se ha logrado retener para el consumo de la vegetación.

Fuente: Corriente o masa de agua denominada manantial, río, quebrada, arroyo, permanentes o no, zona de recarga, lago, laguna, marisma, embalse natural o artificial, estuario, manglar, turbera, pantano, agua dulce, salobre o salada.

Fuente de Flujo intermitente: Corriente de agua que dentro del año hidrológico escurre agua en forma continua durante algunos meses y seca en otros de forma natural, comportamiento de cíclico año a año.

Fuente de Flujo permanente: Corriente de agua que dentro del año hidrológico escurre en su cauce en forma continua, permanente y natural, sin aportes artificiales

Fuerza Hidráulica: Agua destinada al aprovechamiento en el desarrollo de energía mecánica, o bien para producir electricidad.

Hidrología: Es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente.

Humedales: Ecosistemas con dependencia de regímenes acuáticos, naturales o artificiales, permanentes o temporales, lénticos o lóticos, dulces, salobres o salados, incluyendo las extensiones marinas o arrecifes de coral o, en su ausencia, hasta seis metros de profundidad en marea baja.

Infiltración: La infiltración es el volumen de agua procedente de las precipitaciones que atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo y del subsuelo.

Intensidad de lluvia: Es la cantidad de agua caída por unidad de tiempo. Ejemplo cantidad en milímetros por hora “mm/hr”.

Lago: Masa permanente de agua depositada en hondonadas del terreno.

Léntico: Dícese de un hábitat de agua dulce caracterizado por aguas en calma o quietas.

Lótico: Característica de un hábitat de agua dulce fluvente.

Naciente: afloramiento superficial de agua de origen subterráneo que se produce a favor de grietas o cambios de litología en lugares donde la superficie topográfica corta al nivel freático o se captan mediante labores practicadas al efecto. Conocido como manantial, nacimiento, urgencia, ojo de agua, lloradera, venero.

Obra en cauce: Estructura civil que se realiza en un cauce de dominio público con el fin de mejorar las condiciones deterioradas de este. Para este documento se refiere si para la toma se requiere construir obra civil, ya sea parcial (que no cierra totalmente el cauce) o según el rango de altura de la presa.

Perforación del subsuelo: Se refiere al uso de maquinaria especializada para realizar un hoyo con fines de exploración de las aguas subterráneas para su explotación. El método usado depende de algunos factores como: diámetro del pozo, profundidad del pozo y formaciones geológicas a ser penetradas, así se pueden clasificar como métodos de percusión y rotativos.

Período de retorno de una: Intervalo de tiempo dentro del cual un evento considerado como máxima o mínimo puede ser igualado o excedido por lo menos una vez en promedio.

Permiso: Instrumento o figura jurídica por medio de la cual en forma precaria se autoriza la implementación de obras hidráulicas en los cauces.

Pozo: Hoyo o pique, generalmente vertical, excavado en tierra para explorar y extraer aguas subterráneas hacia la superficie.

Pozo artesanal: Excavación del terreno realizada a pico y pala de gran diámetro y poca profundidad (máxima 20-30 metros) con el fin de extraer aguas subterráneas hacia la superficie. Y que conforme la Ley de Agua No. 276 no requiere de concesión para su aprovechamiento cuando su destino sea el doméstico.

Pozo profundo: Pozo de más de 20 metros de profundidad y con un diámetro que fluctúa entre las 0.10 y 0.50 metros.

Predio Inferior: Se denomina predio inferior al terreno ubicado aguas abajo de un punto de toma a ambos lados de la ribera de la corriente hasta que ésta se junte con otra corriente.

Quebrada: Curso de agua permanente o intermitente que corre por las quebradas de las sierras o en tierra llana. Cualquier agua que corre de una barranca a un río. Abertura estrecha y áspera entre montañas. Valle relativamente estrecho entre dos cordones de montañas.

Represamiento: Almacenamiento artificial o natural de agua en el terreno o dentro de un cauce. Obra construida para retener el flujo de agua de un río dentro de un tramo determinado de su cauce o para prevenir inundaciones debidas a mareas u ondas.

Riego: Práctica mediante la cual se satisface la demanda hídrica a los cultivos en condiciones de estrés, de modo que la producción sea óptima. Existen varios métodos de riego:

- **Riego por aspersión:** Se trata de satisfacer el déficit de agua de un cultivo a través de una simulación de lluvia.
- **Riego por goteo:** El agua se aplica directamente en la base de la planta a una tasa baja, de este modo se reducen las pérdidas de evaporación y de arrastre por el viento.
- **Riego por gravedad de tipo inundación:** Se subdivide en riego por pozas que se utiliza en zonas planas rodeadas por diques de tierra, acumulando el agua en las pozas hasta que se infiltre en su totalidad y el riego por bordos, basado en la construcción de franjas utilizando diques de tierra con una pendiente uniforme.
- **Riego por gravedad de tipo surcos:** Se adapta a los cultivos desarrollados en surcos, confinándose el agua en los canales.

Río: Sistema Hidrográfico que conduce aguas producto de la precipitación y de la recarga subsuperficial en forma de flujo permanente o intermitente. Corriente de agua de grandes dimensiones que drena una cuenca de forma natural.

Sistema de tratamiento: Conjunto de procesos físicos, químicos o biológicos, cuya finalidad es mejorar la calidad del agua a descarga a un cuerpo de agua, conforme el reglamento de vertidos.

Tiempo de concentración: Tiempo transcurrido desde que una gota de agua cae en el punto más alejado de la cuenca hasta que llega a la salida de ésta. Este tiempo está en función de ciertas características geográficas y topográficas de la cuenca

Tipo de Cauce: Nivel del río según una clasificación aceptada, la más sencilla se refiere a si se trata de un afluente o al cauce principal del río. Incluir el orden hidrológico en escala 1:50000.

Ubicación: Se refiere al sitio de solicitud de concesión, si es en la cuenca alta, media o baja. Más detalladamente con coordenadas y altitud sobre el nivel del mar. (Según sistema aceptado en cada país, por ejemplo, en Costa Rica se utiliza el sistema transversal de Mercator, CRTM05 del 2005) preferible utilizar un SIG.

Uso: Finalidad del aprovechamiento del agua, se clasifican según el siguiente detalle:

- Acuicultura.
- Agroindustrial: Aprovechamiento del agua en agro procesos.
- Agropecuario: Aprovechamiento del agua en la crianza, producción y aprovechamiento de animales
- Comercial: Agua destinada al envasado y comercialización.
- Consumo Humano: Suministro de agua para satisfacer las necesidades de un núcleo familiar o particular.
- Fuerza Hidráulica: Agua destinada al aprovechamiento en el desarrollo de energía mecánica, o bien para producir electricidad
- Industrial: Agua destinada a la utilización de empresas cuyo fin es el uso como insumo de su producto final o utilizada como parte del proceso.
- Riego: Aprovechamiento de agua para la producción de cultivos.
- Turístico: Agua destinada al aprovechamiento por empresas destinadas a ofrecer un servicio privado temporal de hotelería, recreación, restaurante, etc.

Zona de recarga acuífera: Área a que alimenta un acuífero, bien por infiltración directa, o por escorrentía e infiltración subsiguiente.

Zona de reserva hidráulica: Área geofísica delimitada para destinar el aprovechamiento del recurso hídrico al desarrollo de la fuerza hidráulica en generación eléctrica, bajo norma legal expresa y en condiciones restringidas para otros usos.

Zona de reserva hídrica: Área geofísica delimitada para destinar el aprovechamiento del recurso hídrico a un uso determinado y fines específicos, establecido bajo norma legal expresa y en condiciones de restricción.

7 Referencias bibliográficas

Agualimpia Y, Castro C. (2006). Metodologías para la determinación de los caudales ecológicos en el manejo de los recursos hídricos. Tecnogestión No1, Vol3. Colombia

Arthington, A, H. and J.M. Zalucki. (1998). Comparative evaluation of environmental Flow assessment techniques: review of methods. Land and Water Resources Research & Development Corporation.

Carvajal Y, Castro L, Monsalve E. (2006). Enfoques teóricos para definir el caudal ambiental Ingeniería y Universidad. No2, Vol10. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia Recuperado de: <http://www.redalyc.org/html/477/47710203/>

Castro L. 2006. Enfoques teóricos para definir el caudal ambiental. Revistas científicas Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/html/477/47710203/>

Gordon N, T McMahon, B Finlayson, Gippel C, Nathan R. (1992). Stream Hydrology. An Introduction for Ecologists. John Wiley & Sons, Chi Chester.

Hoppe, R. (1975). Minimum stream flows for fish. Paper distributed at Soils - Hydrology Workshop. USFS, Montana State University. Bozeman, Montana.

King L. (1996). Intraspecific phytogeography of *lasmigona subviridis* (Bivalvia: Unionidae): conservation implications of range discontinuity. Kearneysville, West Virginia.

King J.M, Brown C.A. & Sabet H. (2003). A scenario-based holistic approach to environmental flow assessments for regulated rivers. Rivers: Research and Application.

Krasovskaia I, Rodríguez C. (2007). Determinación de una metodología para establecer el caudal de compensación en los ríos de Costa Rica a partir de los casos de estudio. Instituto Costarricense de Electricidad. Costa Rica.

Krasovskaia I, et al. (2014). Caudal de Compensación, Fase 2. Determinación del caudal adaptativo. San José, Costa Rica. Instituto Costarricense de Electricidad

Loar, J, M Sale. (1981). Analysis of environmental issues related to small-scale hydroelectric development: In stream flow needs for fishery resources. Oak Ridge National laboratory, Environmental Science Division, Oak Ridge, TN.

Lytle D, Poff. (2004). Adaptation to natural Flow regimes. *TRENDS in Ecology and Evolution*. No2.Vol10, p 94-100.

Palau A, Alcazar J. (1996). The basic flow: An alternative approach to calculate minimum environmental in stream flows. *Ecohydroulique* 2000

Pantoja N. (2017). Estimación de caudales ecológicos mediante métodos hidrológicos, hidráulicos y ecológicos en la quebrada El Conejo (Mocoa- Putumayo). Universidad Pontificia Javeriana, Bogotá Colombia.

Pouilly, M. y Aguilera, G. (2012). Evaluación Inicial de Caudales Ecológicos/Ambientales en la cuenca del río Huasco – Chile, mediante la simulación del hábitat físico del pejerrey *Basilichthys microlepidotus* y el camarón de río *Cryphiops caementarius*. UICN, Quito, Ecuador

Reiser D, Wesche W, Estes C. (1989). Status of in stream flow legislation and practices in North America

Swales S, Bishop K A, Harris JH. (1994). Assessment of environmental flows for native fish in the Murray-Darling Basin– a comparison of methods. Australian Water and Wastewater Association Inc.: Artarmon, NSW, Australia.

Tennant D. (1976). In stream flow requirements for fish, wildlife, recreation, and environmental resources. Proc. Symposium on in stream Flow Needs. Editors: Osborn J. and Alman C. Bethesda. USA. pp. 359-373.

Tharme, R. (1996). Review of International Methodologies for the Quantification of the in stream Flow Requirements of Rivers. Water Law Review Final Report for Policy Development for the Department of Water Affairs and Forestry. Pretoria.

Tharme R, King, J. (1998). Development of the Building Block Methodology for in stream flow assessments, and supporting research on the effects of different magnitude flows on riverine ecosystems. Water Research Commission Report.

Thompson A. (1992). Water Allocation for the Environment- the Canadian Experience. Proceedings of an International Seminar and Workshop on Water Allocation for the Environment. The Centre for Water Policy Research, University of New England. Armidale, Australia. 282 pp.

UNESCO (Organización de la Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) (2017) Toolkit para Caudales Ambientales. Recuperado de: <https://es.unesco.org/node/275904>

Wesche T, A Richard. (1980). A Summary of in stream Flow Methods for Fisheries and Related Needs. Eisenhower Consortium Bulletin No. 9. Produced by the Water Resources Research Institute, University of Wyoming, for the USDA Service.

White R, Cochnauer T. (1975). Stream Resource Maintenance Flow Studies. Idaho Department of Water Resources. Idaho Department of Fish and Game, and Idaho Cooperative Fishery Unit. Boise Idaho.