



Ciencia e Ingeniería Neogranadina

ISSN: 0124-8170

revistaing@unimilitar.edu.co

Universidad Militar Nueva Granada

Colombia

Izquierdo Santacruz, Mónica Lucía; Madroñero Palacios, Sandra Milena  
RÉGIMEN DE CAUDAL ECOLÓGICO, HERRAMIENTA DE GESTIÓN PARA CONSERVAR LA  
BIOTA ACUÁTICA

Ciencia e Ingeniería Neogranadina, vol. 23, núm. 2, diciembre-, 2013, pp. 77-94

Universidad Militar Nueva Granada

Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91130493005>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org



Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## RÉGIMEN DE CAUDAL ECOLÓGICO, HERRAMIENTA DE GESTIÓN PARA CONSERVAR LA BIOTA ACUÁTICA

### ECOLOGICAL FLOW REGIMEN, MANAGEMENT TOOL TO PRESERVE ACUATIC BIOTA

Mónica Lucía Izquierdo Santacruz  
Bióloga con Énfasis en Ecología,  
Universidad Mariana, Pasto, Nariño, Colombia.  
**monicaizquierdo26@gmail.com**

Sandra Milena Madroñero Palacios  
Bióloga con Énfasis en Ecología  
MSc. Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas  
MSc. Manejo y Conservación del Medio Natural  
Docente Facultad de Posgrados y Relaciones Internacionales, Grupo GIA,  
Universidad Mariana Pasto, Nariño, Colombia.  
**sandritamadro@gmail.com**

**Fecha de recepción:** 23 de mayo de 2013

**Fecha de aceptación:** 7 de febrero de 2014

#### RESUMEN

En el presente artículo de revisión se consolidó información sobre el Régimen de Caudal Ecológico, al constituirse en una herramienta de gestión en la conservación de la Biota Acuática. De esta manera, se considera relevante informar a la comunidad académica y actores de gestión, sobre la importancia de la gestión del recurso hídrico, el análisis de conceptos sobre el caudal ambiental y ecológico, la descripción de las diferentes metodologías que permiten su determinación y la normatividad ambiental que lo protege.

Finalmente, se hace especial énfasis, en la metodología ecohidráulica en la que se aplica el modelo IFIM-PHABSIM, considerada la modelación del hábitat fluvial, que precisa de información sobre la relación entre la densidad de organismos acuáticos y variables hidráulicas de velocidad, profundidad y sustrato; obteniendo como resultado curvas de idoneidad de hábitat e índices de idoneidad, que permitirán entender el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, utilizando dicha información en el manejo y planificación del recurso hídrico.

**Palabras clave:** Biota acuática, caudal ecológico, curvas de idoneidad de hábitat, regímenes de caudales ecológicos, gestión del recurso hídrico.

## ABSTRACT

In this review article was consolidated information about ecological flow regime to become a management tool in the conservation of aquatic biota. This way is considered important to inform the academic community and development actors on the importance of water resource management, the analysis of the environmental and ecological flow concepts the description of the different methodologies allowing his determination and environmental regulations related to water management and ecological flow.

Finally emphasizing in the methodologies ecohydraulic, implementing of IFIM-PHABSIM model, considered the methodology of the fluvial habitat modeling, which is required in the relationship information between the density of aquatic organisms and the hydraulic, speed variable, depth and substrate composition. Obtaining as a result habitat suitability curves and indices of suitability which will allow understanding the functioning of aquatic ecosystems, using that information in the management and planning of water resources.

**Keywords:** Aquatic biota, ecological flow, habitat suitability curves, regimen ecological flow, water resource management

## INTRODUCCIÓN

La gestión integrada del recurso hídrico es una de las herramientas más actuales y prácticas para el uso, manejo y conservación del agua, en donde se considera no solo la satisfacción de las diferentes necesidades humanas sino además, el desarrollo de estrategias que contribuyan a la conservación de sus características, de allí, que el mantenimiento del caudal ecológico, sea fundamental dentro de los procesos de gestión ya que con su determinación se asegura la continuidad de los procesos ecológicos que se desarrollan en los ecosistemas acuáticos garantizando la estabilidad de la biota acuática.

Por lo tanto, dada su importancia, con el presente artículo se pretende contribuir con la construcción de una línea base para que investigadores interesados en este tema ambiental, continúen avanzando, dado que en Colombia es una temática relativamente nueva que requiere ser abordada ampliamente, considerando todo el potencial hídrico que se posee.

Para cumplir con este propósito se revisaron bases de datos como artículos, libros y tesis, los cuales abordan los siguientes aspectos: Los diferentes componentes de los regímenes de caudales, los conceptos emitidos por diferentes autores sobre cau-

dal ecológico, los métodos que se han considerado para evaluar el caudal ecológico y la normatividad ambiental que lo rige.

De esta manera, se destacan diferentes autores [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7] y [8], quienes analizaron las variables ambientales que conforman los caudales ecológicos y cómo sus alteraciones modifican el régimen de caudal que consecuentemente, perturban los hábitats naturales de la Biota Acuática.

Considerando la importancia de incluir en los Planes de Ordenamiento de Cuencas Hidrográficas [9] proyectos de gestión del recurso hídrico, debido al manejo inadecuado que se presenta actualmente del recurso. Es por esto, que se ve la necesidad de incluir dentro de esta gestión, la determinación del régimen de caudal ecológico, ya que esta información permitirá establecer cuál es el caudal necesario para preservar los valores ecológicos de un río, los hábitats naturales de especies de flora y fauna, la función de dilución de contaminantes, el uso antrópico con fines recreativos, el paisaje, regulación hidrológica, entre otros [4].

## 1. GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO

De acuerdo con la Asociación Mundial para el Agua - Global Water Partnership [10], se define la Gestión Integrada del Recurso Hídrico como el proceso que promueve la gestión y el aprovechamiento del agua, la tierra y demás recursos naturales, buscando de manera integral el bienestar social y eco-

nómico, sin afectar los ecosistemas. A su vez, el Banco Interamericano de Desarrollo, considera que la gestión integrada del agua, implica gestionar el agua superficial y subterránea teniendo en cuenta aspectos cualitativos, cuantitativos y ecológicos e involucrando los requerimientos, las necesidades y los usos del recurso hídrico. En este sentido, se debe considerar que gracias a los procesos de intervención antrópica se han modificado las características de calidad y cantidad del recurso, en donde se ha priorizado un desarrollo social y económico, poniendo en riesgo la posibilidad de seguir proporcionando los beneficios a las comunidades.

Entre los usos múltiples del agua se resaltan el de consumo humano, pesca, hidroeléctricas, turismo, paisaje, entre otros. Se destaca el uso por parte de la Biota Acuática, al considerarse como hábitat natural de especies de flora y fauna, buscando la protección de los ecosistemas acuáticos que incluye dentro de la Gestión del Recurso Hídrico el estudio de los caudales ambientales y caudales ecológicos.

De esta manera, en la Gestión del Recurso Hídrico se considera la conservación de la Biota Acuática, al producir nuevos conocimientos y nuevas técnicas para determinar, proteger y restaurar ecológicamente los regímenes de flujos de los cauces de los ríos, partiendo del enfoque analítico, aplicando modelos y la normatividad ambiental [11].

Por su parte [6], evalúa la importancia de la Gestión Integral del Recurso Hídrico en

la implementación de los Planes de Manejo de las Cuencas Hidrográficas, considerando los regímenes de caudales en Colombia; el cual se define como el resultado de la integración de todos los factores, procesos y sinergias de una cuenca: El clima, topografía, geología, suelos, vegetación, tamaño y forma de la cuenca, tipología de la red de drenaje y usos del suelo. De igual manera, se propone aplicar el instrumento "Instream Flow" (Caudal Ecológico), con el propósito de garantizar los usos ambientales, manteniendo una cantidad de agua dentro del cauce.

Por lo tanto, es importante destacar la importancia de incluir en la Gestión Integral del Recurso Hídrico el caudal ecológico, al ser una herramienta para la planeación de las concesiones [12]; la cual se debe considerar dentro de los diferentes pasos a seguir en la gestión del agua. De esta manera, se resaltan las ventajas de la gestión al considerarse la recuperación de rondas de ríos ocupadas por cultivos, preservación de ecosistemas acuáticos, permitir ciclos biológicos, contribuir a la seguridad alimentaria, planificar obras hidráulicas, mitigar impactos de aguas abajo de los embalses, entre otros.

Resaltando el papel fundamental de los caudales ecológicos [13] y como su puesta en marcha aportaría en la gestión integral de las principales fuentes hídricas superficiales, al considerar aspectos relacionados con el manejo del agua, la hidrología, la hidráulica y la calidad ambiental de los ríos.

## 2. CAUDAL AMBIENTAL Y CAUDAL ECOLÓGICO

De acuerdo con el Environmental Flows Network [14] "El Caudal Ambiental es la cantidad, calidad y régimen o estacionalidad de flujos requeridos para sostener los ecosistemas dulceacuícolas y estuarinos, así como los servicios que provee, bajo escenarios de competencia por los usos del agua" (p. 5), y se involucra a las poblaciones que dependen de estos ecosistemas.

De igual manera, se destacan los conceptos sobre el Caudal Ambiental [15], presentando experiencias, orientaciones técnicas y métodos de evaluación, dimensionando aspectos económicos, legales y políticos de establecer caudales ambientales, suministrando información sobre la importancia de éstos, que permiten disminuir la pérdida de biodiversidad e incrementan los beneficios para la sociedad.

Del mismo modo, a nivel mundial el establecimiento de los caudales ambientales se ha convertido en una herramienta para disminuir el impacto negativo que se presenta al realizarse la regulación de los ríos. Sin embargo, se presentan limitantes que no permiten establecer la importancia de los flujos de los caudales como la contaminación y el volumen limitado de agua disponible [16].

Es así, que Mesa publicó sobre las constantes alteraciones y modificaciones de los caudales ambientales en las fuentes hídricas, en los cuales se producen cambios en

la estructura, composición y funcionalidad de los ecosistemas acuáticos [17]. De ahí, surge el concepto de Caudal Ambiental que pretende proteger y conservar mediante la permanencia de un volumen de agua en el cauce, los diferentes valores ambientales de un río, considerando diferentes metodologías de aplicación mundial.

Es por esto que cuando se presenta la regulación del caudal y se incrementa el uso del agua debido a la presencia de múltiples usuarios, se destaca la importancia de establecer un Caudal Ambiental al ser la provisión de agua que mantendrá la integridad, productividad, servicios y beneficios de los ecosistemas acuáticos [18].

Así mismo, King y Lovv determinaron que el establecer un Caudal Ambiental es importante para valorar cuánta agua puede quitársele al río sin causar un nivel inaceptable de degradación del ecosistema ribereño, en el caso de ríos gravemente alterados [19].

Por otra parte, dentro del concepto de Caudal Ambiental se incluye el de Caudal Ecológico; al establecer cualquiera de estos dos tipos de caudales, se busca un equilibrio de los diferentes usos y demandas del agua [20]. El establecerlo puede reducir la disponibilidad de agua destinada para usos económicos y sociales, de aquí radica la importancia de concertación con las comunidades, buscando un equilibrio entre las demandas actuales y futuras, con la conservación y protección de la Biota Acuática.

En la actualidad, son muchas las definiciones que se presentan sobre el Caudal Ecológico, definiéndose como la cantidad de agua que corre río abajo, preservando el río en las condiciones ambientales deseadas [21]. De igual manera, se considera que un caudal circulante por un cauce podría ser considerado como ecológico, siempre que fuese capaz de mantener el funcionamiento, composición y estructura del ecosistema fluvial que ese cauce contiene en condiciones naturales [22]; y su mantenimiento es importante para preservar especies autóctonas de fauna y flora, conservar la pesca, mantener la calidad estética de un paisaje fluvial, o para proteger tramos de interés científico o cultural [23].

Es así que el concepto Caudal Ecológico involucra diferentes enfoques científicos en los cuales participan distintos profesionales; el término caudal es un concepto manejado por profesionales gestores del recurso agua, mientras que el término ecológico se refiere a la biología y gestión de la naturaleza. Al ser un término multidisciplinar se busca la selección de metodologías adecuadas en las que se integren conocimientos hidráulicos y ecológicos [22].

A medida que los conceptos han ido evolucionando, se presentan diferentes enfoques para evaluar los caudales ecológicos, considerando que para lograr un equilibrio ecológico y dinámico de un río, son necesarios todos los elementos del régimen hidrológico; descartando la idea de conservar un "caudal mínimo" (p. 12) para mantener viva la Biota [21].

Por tanto, se destaca la importancia de considerar el Caudal Ecológico y su régimen hidrológico como un instrumento de gestión de los ecosistemas fluviales, al contener elementos integradores y no ser un simple valor único de cantidad de agua, además, por incluir a las comunidades bióticas presentes en él [23].

### 3. RÉGIMEN DE CAUDAL ECOLÓGICO

Por su parte, el Régimen Natural de Caudal o Régimen Hidrológico se define como el resultado de la integración de todos los factores, procesos y sinergias de una cuenca: "El clima, topografía, geología, suelos, vegetación, tamaño y forma de la cuenca, tipología de la red de drenaje y usos del suelo" (p.2); y las variaciones o cambios en estos elementos afectarán al régimen hidrológico, alterarán las pautas de infiltración y escorrentía en la cuenca y modificarán los caudales de avenida y los tiempos de concentración [24].

Asimismo, la Directiva Marco del Agua [25] establece que el régimen hidrológico es uno de los elementos a considerar en la caracterización del estado ecológico de los ríos y cualquier valoración de la integridad de un ecosistema fluvial debe incluir el análisis de la alteración de su régimen de caudales.

Por tanto, el Régimen Natural de Caudal es el principal agente estructurador del hábitat físico, el cual condiciona la riqueza y diversidad en las especies; y la alteración en sus ciclos de vida puede estar relacionada con las alteraciones en el régimen natural de los caudales [24].

De igual manera, se establece el Régimen de Caudales como el elemento articulador de los ecosistemas fluviales. Es así que, la valoración del estado de conservación de un ecosistema debe considerar e incluir un análisis de la alteración de este régimen. Por tanto, en la actualidad se aplican diferentes metodologías en las cuales se incluyen índices de alteración hidrológica que suministran información del estado de la fuente hídrica [25].

Por su parte, Bustamante, *et. al.*, consideran el Régimen de Caudal Ecológico como aquel caudal que se debe dejar correr en una fuente hídrica después de un aprovechamiento hidráulico, al presentarse la modificación del régimen natural, con el propósito de mantener las funciones y dinámicas ecológicas de las diferentes comunidades de organismos bioacuáticos presentes en un ecosistema fluvial. Destacando, que este régimen de caudales está compuesto por aspectos ambientalmente significativos, dentro de los que se considera: La magnitud, la frecuencia, la duración, la predictibilidad y la tasa de variación [23].

De esta manera Cantera, *et. al.*, [2] expone que la magnitud es la cantidad de caudal que circula por una sección, en un determinado momento, información que permite determinar la disponibilidad de hábitat en el río; con lo que respecta a la frecuencia ésta se refiere a cómo el caudal circulante supera un determinado valor en un intervalo de tiempo dado; es así que la frecuencia del caudal circulante permitirá establecer la diversidad de hábitats. Por lo tanto, la magnitud y la frecuencia son aspectos que están relacionados con las crecidas ordinarias,

crecidas extraordinarias del caudal y caudales reducidos.

En el caso de las crecidas ordinarias se presenta transporte de sedimentos y nutrientes, lo cual contribuye al rejuvenecimiento de la comunidad biológica y asegura la persistencia de muchas especies con ciclos vitales rápidos y buena capacidad de colonización [8].

Por su parte, las crecidas conservan la productividad y protegen la diversidad del ecosistema al remover sedimentos del lecho, de esta manera, se evita el sellado del medio intersticial [8], incorpora al cauce material leñoso procedente de la ribera y de las márgenes, que origina nuevos hábitats de alta calidad [8].

De igual manera, se originan zonas de reposo y recuperación para los peces, se humedece y rejuvenece el perfil edáfico en las márgenes, facilitando la germinación de ciertas plantas [8] y se presenta mayor resistencia y adaptación de los corredores riparios a las inundaciones [8].

Con lo que respecta a los caudales reducidos, éstos ofrecen un nuevo hábitat para ciertas plantas que permanecen mucho tiempo inundadas y propician la finalización del ciclo vital de otras especies adaptadas a esas condiciones extremas [26].

En el caso de la duración, [2] se define como "El período de tiempo asociado a una condición determinada de caudal, la cual a su vez condiciona ciertos procesos ecológicos" (p. 32). Este aspecto ambiental dentro del

régimen de caudal brinda la capacidad de resiliencia y de respuesta de la Biota Acuática presente.

En lo referente a la predictibilidad [2], esta se refiere a la regularidad con que se presenta un determinado caudal; aspecto de gran significancia ecológica, debido a que el ciclo de vida de muchas especies del cauce y de las márgenes está configurado para aprovechar o evitar caudales de diferentes magnitudes [8].

De igual manera, [8] considera que al presentarse la secuencia natural de los caudales extremos (altos y bajos), se impide la presencia de especies exóticas de peces y se suministran señales ambientales a las especies nativas para iniciar el desove, la incubación, las migraciones y los desplazamientos hacia las orillas para alimentarse o reproducirse.

En cuanto, a las crecidas repentinas del caudal natural, principalmente en zonas áridas y semiáridas, son aquellas que obstaculizan el establecimiento de las especies exóticas y proporcionan señales ambientales para el desove de algunos peces, que dejan sus huevos adheridos a objetos sumergidos durante la recesión [27].

Finalmente, la tasa de variación del caudal o variabilidad, se refiere a cómo el caudal varía de una magnitud a otra; suministrando información relacionada con la capacidad de respuesta de las especies presentes, condicionando la persistencia y limitando la coexistencia de ciertas especies del ecosistema [2].



Considerando los aspectos ambientales significativos, mencionados anteriormente y que condicionan el Régimen del Caudal Ecológico, es de gran importancia incluirlos en la Gestión del Recurso Hídrico, que de acuerdo a [3], constituyen una herramienta fundamental en los Planes de Ordenamiento de Cuencas, al permitir un manejo adecuado del agua, considerando sus distintos usos y conservando la funcionalidad del ecosistema fluvial.

De tal forma, las modificaciones o variaciones del régimen de caudal natural o ecológico a escala espaciotemporal determinan los procesos ecológicos fundamentales del río y su ribera asociada, destacándose la disponibilidad, persistencia y conectividad del hábitat fluvial; la competencia y primacía entre especies; y la tasa de entrada, transformación y flujo de nutrientes y materia orgánica [28].

#### 4. METODOLOGÍAS PARA DETERMINAR EL CAUDAL ECOLÓGICO

La evaluación del Caudal Ecológico permite identificar y conocer las necesidades de un cauce, información que se puede utilizar en la Gestión del Recurso Hídrico [3] ya sea en sus procesos de oferta, demanda y conservación. De allí, que hasta el momento existan aproximadamente más de 200 métodos para evaluar los caudales ecológicos en 50 países. Algunos se consideran de rápida aplicación, que no necesitan trabajo adicional o lo necesitan mínimamente, y existen otros métodos que por el contrario, requie-

ren años de trabajo de campo y especialistas de distintas disciplinas [21].

Teniendo en cuenta lo anterior [29], [7], [30], [31], [32], establecen que las metodologías más aceptadas se agrupan en métodos hidrológicos, hidráulicos, holísticos y de simulación de hábitat. Estos enfoques involucran desde procedimientos simplemente hidrológicos hasta el uso de herramientas computacionales; utilizando información hidrológica, biológica, hidráulica, geomorfológica y, componentes sociales y económicos.

En cuanto a los métodos basados en el análisis de registros históricos o métodos hidrológicos, éstos consisten en obtener de forma rápida los valores de caudal, si se cuenta con buenos registros limnimétricos del tramo de estudio, y se considera que los organismos de las comunidades ribereñas están adaptados a las variaciones estacionales propias de un régimen hídrico [30]. Este método no requiere de trabajos específicos de campo y en su utilización se asume que los caudales medios permiten el mantenimiento adecuado de las comunidades acuáticas [12].

Con lo que respecta a los métodos hidráulicos, son aquellos que se basan en características hidráulicas y de caudal, y se conocen también con el nombre de métodos basados en secciones transversales, en los cuales se relaciona el caudal y las características físicas de los cursos de agua, como son el perímetro mojado, la velocidad y la profundidad del flujo.

De otra manera, para los métodos holísticos [30] asume que una vez identificadas las características esenciales del flujo hídrico, que podrían provocar impacto ambiental, son incorporadas dentro de un régimen de flujo modificado, entonces la Biota Acuática y la integridad funcional del ecosistema serán mantenidas.

Finalmente las metodologías de simulación de hábitat o Ecohidráulicas, cuantifican la cantidad y calidad del hábitat acuático utilizable para las especies objetivo o el conjunto de ellas, los cuales se evalúan bajo múltiples regímenes hidrológicos y en diferentes escenarios de estructura biológica [3]. En esta metodología se utiliza generalmente representantes de grupos de peces, invertebrados bentónicos (Que habitan en el fondo), vegetación ribereña (Que habita en las márgenes); calidad del agua, transporte de sedimentos e indicadores socio-culturales [21].

De acuerdo con lo anterior, el estado de la Biota Acuática y su régimen de caudal se evalúan con mayor detalle, aplicando las metodologías de simulación de hábitat. De esta manera, la metodología de simulación de hábitat más completa, acreditada y utilizada en el ámbito mundial es la IFIM (Instream Flow Incremental Methodology), promovida por el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de EE.UU. [28], que se establece como una técnica estándar multidisciplinar, cooperativa, incremental y progresiva para ordenar racionalmente el agua superficial con un claro enfoque ecológico" (p.7). En Norteamérica se destaca la aplicación de esta metodología y se utilizan metodolo-

gías similares sin embargo, su utilización es reciente, considerándose de gran aplicabilidad en la Gestión del Recurso Hídrico [18].

Dicha metodología, de acuerdo al *Washington Department of Fish and Wildlife* [30], integra parámetros de calidad de agua, estabilidad de cauces, sedimentos, temperatura y otras variables que afectan a los peces con modelos hidráulicos. Y contiene un modelo que relaciona el caudal con los datos de hábitat (*Physical Habitat Simulation System* - PHABSIM), este modelo construye índices que evalúan la adaptación que presentan los organismos acuáticos al someterse a variables como la velocidad, profundidad, material de lecho, temperatura y características geomorfológicas del río, convirtiéndose en una herramienta que permite calcular cuál de estas variables cambiarán si se modifica el caudal [2].

Con respecto a la velocidad esta es la característica hidráulica más importante que actúa sobre un organismo acuático, influye sobre la respiración y la alimentación, principalmente en organismos filtradores [2], quien además plantea que la profundidad también afecta la disponibilidad de alimento, debido a que el crecimiento de perifiton depende de la luz, la cual disminuye al incrementar la profundidad.

Díez y Burbano, establecen que este modelo ha sido aplicado de forma creciente en Latinoamérica y en Colombia convirtiéndose en una alternativa para investigar los ecosistemas tropicales biodiversos. Considerando que en nuestro país se requiere consolidar la formulación de planes de

ordenamiento y manejo de cuencas, promoviendo la Gestión Integral del Recurso Hídrico y del ecosistema fluvial; aspectos que se analizan con buenos resultados con los modelos ecohidráulicos. Por esta razón, la metodología de simulación de hábitat o ecohidráulica más empleada en el ámbito mundial es la IFIM-PHABSIM, cuyo potencial en Colombia es prometedor [4].

En cuanto a la operatividad del modelo PHABSIM, en lo concerniente a la relación entre caudal circulante y hábitat, es importante resaltar el desarrollo de modelos de idoneidad de hábitat; los cuales son desarrollados normalmente para las variables mencionadas anteriormente como son: Velocidad, profundidad y sustrato o material del lecho [2].

Estos modelos son graficados en curvas de preferencia hidráulica, las cuales resultan de relacionar una variable independiente como profundidad, velocidad o sustrato, con la respuesta de una especie o etapa de vida; reproduciendo el grado de adecuación de un organismo (Coeficiente de adecuación de 0 a 1) [4], respecto a las variables que determinan su hábitat físico, donde 0.0 (Hábitat menos idóneo) a 1.0 (Hábitat más idóneo). Los valores de estas variables influirán en el grado de adecuación de la fauna cuando varían los caudales [33].

Existen curvas de preferencia de numerosas especies ícticas, insectos acuáticos, crustáceos, moluscos, reptiles, anfibios, mamíferos, aves, perifitón, e incluso para actividades recreativas [8].

Este método ecohidráulico fue diseñado para ser aplicado en el hábitat de peces específicamente [2]; y más adelante se realizó la evaluación del Caudal Ecológico con el propósito de investigar el hábitat de especies ícticas nativas e introducidas y de esta manera, determinar cuáles son los beneficios de establecer un flujo de agua en una corriente. Dentro de los resultados, se obtuvo criterios de idoneidad de hábitat, los cuales se combinaron con los resultados de la simulación hidrodinámica y se elaboraron mapas de ocurrencia de hábitat de los peces en estos flujos de agua [34].

De igual manera, existen investigaciones relacionadas con grupos de macroinvertebrados y nuevos argumentos recomiendan su utilización para la evaluación de caudales ecológicos [2]. La adaptación que estos organismos presentan a las diferentes condiciones ambientales y sus largos ciclos de vida en el medio acuático, son factores ecológicos determinantes que permiten relacionar estos representantes de la Biota Acuática con las condiciones ambientales que han prevalecido por un período largo [2].

Considerándose a su vez a los grupos de macroinvertebrados como especies bioindicadoras que contribuyen en la evaluación del caudal ecológico, en ecosistemas acuáticos de montaña, con el propósito de establecer su calidad y salud. Obteniendo como resultado el estudio de funcionamiento de los páramos, contando con información hidrológica de la parte alta y baja de la cuenca [35].

Así mismo, se expone que inicialmente en el desarrollo de la metodología IFIM se prestó igual atención al uso de peces y macroinvertebrados acuáticos; concluyendo que el caudal suficiente para las especies de peces también lo era para los macroinvertebrados bentónicos. Por lo tanto, las investigaciones alrededor de los macroinvertebrados bentónicos han aumentado y nuevos argumentos recomiendan su utilización para la estimación de caudales ambientales bajo la metodología IFIM [36].

Por otra parte, Bullock, *et. al.*, evaluaron el hábitat de especies de peces y macroinvertebrados, aplicando la metodología IFIM que permitió establecer las preferencias ecológicas de las especies presentes en el flujo de dos ríos, basándose en las preferencias por ciertos tipos de hábitat. Se analizaron variables físicas como relieve, geomorfología, pendiente, que varían a lo largo del flujo de agua y las cuales pueden influir en las variaciones del régimen natural del caudal [37].

Es por esto que Santacruz de León [38] *considera la necesidad de* definir caudales ecológicos para mantener un curso de agua adecuado y que permita la permanencia de la fauna acuática. De lo contrario, se presentan afectaciones en la biota al ocasionarse mortandad debido a la extracción de agua para uso doméstico y agroindustrial, así como descargas de aguas residuales al río.

## 5. NORMATIVIDAD COLOMBIANA RELACIONADA CON EL CAUDAL ECOLÓGICO Y SU RÉGIMEN

Las directrices para fijar los Regímenes de Caudales Ecológicos – RCE en Colombia, se concretan en el Artículo 21 del proyecto de Ley del Agua 365 [39], que designa al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, para diseñar los lineamientos definitivos en esta materia; donde se define el “Caudal Ecológico” como “Los caudales mínimos que deberán mantener las corrientes superficiales en sus diferentes tramos, a fin de garantizar la conservación de los recursos hidrobiológicos y los ecosistemas asociados”. La gestión hídrica ambiental promovida en Colombia por esta Ley, debe fundamentarse en unos caudales ecológicos que defiendan el patrimonio hidrobiológico local [3].

Por su parte, la Resolución 865 [40] establece que “El caudal mínimo, ecológico o caudal mínimo remanente es el caudal requerido para el sostenimiento del ecosistema, la flora y la fauna de una corriente de agua” (p. 6), de acuerdo con esta Resolución [3], que detalla la metodología de cálculo del índice de escasez y se plantean dos métodos hidrológicos para calcular el Caudal Ecológico. El primero basado en el Estudio Nacional del Agua del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [41], donde se ofrecen lineamientos para llevar a cabo el ordenamiento del uso del recurso, considerando las zonas de mayor vulnerabilidad y peligro de desabastecimiento de agua.

De esta manera, se consideran aspectos relacionados con balance hídrico y relaciones de oferta y demanda en Colombia e indicadores de sostenibilidad, los cuales se han proyectado a partir del 2015 hasta el 2050. Y se computa el caudal medio diario promedio de 5 a 10 años, cuya duración es igual o mayor del 97,5% que se comprueba y corresponde a un período de retorno de 2.3 años. El segundo enfoque vincula el caudal mínimo a un porcentaje en torno al 25% del caudal medio mensual multianual menor de la corriente estudiada.

Así mismo, es importante considerar el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua que rige lo siguiente: “Todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar obligatoriamente un programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Se entiende por Programa para el Uso Eficiente y Ahorro de Agua el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico” (p. 32) del Congreso de Colombia presentado en la Ley 373 de 1997 [42].

Por otra parte, en Colombia el Decreto 155 de 2004 [43], reglamenta el Artículo 43 de la Ley 99 de 1993 [44] sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan disposiciones” (p. 1). De acuerdo a Vélez y Villegas [45] este decreto es la base para la aplicación del cobro de Tasa por Uso del Agua (TUA), para aguas superficiales, aguas estuarias, aguas subterráneas, y acuíferos litorales. El Decreto se aplica en lo que se denomina

*Unidad Hidrológica de Análisis*, definida por lo demás con poca claridad, como el área natural de concentración y recolección de aguas superficiales y/o subterráneas.

Por otra parte, se evalúo fijar las condiciones para la distribución de un caudal entre distintos usuarios [46], concluyendo que cobrar la tasa sobre la base de un índice de escasez anual resultado del promedio mensual, es un error de implementación de las autoridades ambientales, que resulta perjudicial para la conservación del caudal ecológico, que también puede llegar a afectar a los usuarios aguas abajo, proponiendo una metodología para la estimación de la tarifa de la tasa.

Según el mismo Decreto es posible aplicar también la TUA a tramos de cauces y a cuencas de cualquier orden. La Corporación Autónoma de Antioquia CORANTIOQUIA [45] expone que según la Ley Ambiental 99 de 1993, los recursos obtenidos por el cobro de la TUA se destinarán a la protección y recuperación del recurso hídrico en conformidad con el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca. Esto en la mayoría de las cuencas no es posible ya que donde se ha implementado o se está implementando la TUA se generan pérdidas con sólo facturar, dada la alta inversión necesaria para la implementación del Decreto.

De manera complementaria, esta Ley Ambiental explica en su Título VIII la obligatoriedad de una Licencia Ambiental para los proyectos de grandes infraestructuras hidráulicas [3], plantea que la evaluación ambiental de estas instalaciones incluye

la determinación de un Régimen de Caudal Ecológico, que limita la productividad dentro de unos intervalos estipulados por los colectivos implicados, en función de sus intereses particulares.

Varios Convenios Internacionales de los que Colombia es signataria incorporan de modo más o menos directo, el compromiso de mantener unos caudales ecológicos que salvaguarden los valores socioeconómicos, culturales y ambientales de los ríos. En primer lugar, el Convenio para la Conservación de la Diversidad Biológica de Río de Janeiro [47], donde señala la necesidad de preservar el patrimonio ecológico.

En segundo lugar, el Convenio Ramsar relativo a la conservación de humedales de importancia internacional Ramsar, Irán [48], reconoce la importancia de estos sistemas en la conservación global y el uso sostenible de la biodiversidad, con importantes funciones, valores y atributos. En tercer lugar, es destacable el programa “El Hombre y la Biosfera” (MaB), promovido por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura – UNESCO, encargada de fijar las directrices para el manejo sostenible de la diversidad biológica y la potenciación de una relación respetuosa entre el hombre y el medio ambiente.

En el año 2000, Colombia se incorpora al Programa de Áreas Importantes para la Conservación de las Aves – AICAS, con la intención de estimular la conservación de zonas relevantes para la avifauna, cuya funcionalidad está vinculada a un adecuado régimen de caudales. Otros acuerdos refe-

renciales son el de la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Natural y Cultural [49] adoptado por Colombia en 1983 por la Ley 45, que obliga a la protección estricta de lugares y recursos de interés mundial, entre los que se incluyen los cursos de agua.

## 6. CONCLUSIONES

En la Gestión Integral del Recurso Hídrico, es necesario incentivar la administración y manejo de los recursos naturales renovables como el agua, el suelo, flora y fauna, de esta manera, se contribuye con el bienestar social y económico de los diferentes usuarios presentes en una cuenca y no se compromete el bienestar del ecosistema.

Es importante considerar que al presentarse reducciones en calidad y cantidad del recurso agua en los ríos, no se cumple una adecuada gestión del recurso hídrico; esto se presenta debido al desconocimiento sobre cómo es el Régimen de Caudal en los ríos regionales y sobre su capacidad de autodepuración, además no hay una reglamentación que establezca la concesión de caudal para los diferentes usos.

Es necesario dar continuidad a estudios hidrológicos, hidráulicos, de calidad de agua y ecología acuática en fuentes hídricas, con intervención antrópica; de esta manera, se determina el régimen de caudal y las afectaciones provocadas por el hombre al ecosistema, estableciendo medidas de conservación de la Biota Acuática, que contribuyen con la gestión adecuada del recurso hídrico.

La determinación del Régimen del Caudal Ecológico permite mantener el hábitat que sostiene la vida de riberas y medio acuático; proporcionando la conservación y preservación de especies nativas de flora y fauna, manteniendo la calidad paisajística, conservando la pesca y contribuyendo a establecer el caudal mínimo necesario que debe circular en una fuente hídrica, para que se mantenga la vida acuática.

Es necesario contemplar dentro de la Legislación y Normatividad Colombiana, el incluir criterios y metodologías de evaluación del Régimen de Caudales Ecológicos que se adapten a los ecosistemas de nuestra región.

## REFERENCIAS

- [1] Bovee, K.D., Lamb, B.L., Bartholow, J.M. Stalnaker, C.B. Taylor J. And Henriksen, J. (1986) Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology. U.S. Geological Survey, Biological Resources Division Information and Technology Report USGS/BRD-1998-0004, viii + 131 pp.
- [2] Cantera, Jaime, Carvajal, Yesid y Castro, Lina. (2009). Caudal Ambiental: Conceptos, experiencias y desafíos. Santiago de Cali: Programa Editorial Universidad del Valle. 225 p.
- [3] Diez Hernández, Juan Manuel. (2005). Bases metodológicas para el establecimiento de caudales ecológicos en el ordenamiento de cuencas hidrográficas. In: ingeniería y Competitividad, Volumen 7, No. 2, p.11 – 18.
- [4] Diez Hernández, Juan Manuel y Burbano Burbano, Liliana. (2007). Tecnología ecológica para la planificación de cuencas hidrográficas: Regímenes caudales ambientales. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Vol. 5 No. 2 Agosto. pp. 20-31.
- [5] Diez Hernández, Juan Manuel y Ruiz Cobo, Darío Hernán. (2007). Determinación de caudales ambientales confiables en Colombia: El ejemplo del Río Palacé (Cauca). Gestión y Ambiente. Volumen 10 – No.4, Mayo. pp. 153-166.
- [6] Diez Hernández, Juan Manuel. (2008). Evaluación de requerimientos ecológicos para el diseño de regímenes ambientales de caudales fluviales. Revista de Ingeniería. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia. Noviembre. pp. 15-23. ISSN. 0121-4993.
- [7] Diez Hernández, Juan Manuel, Olmeda Sanz, Sergio. (2008). Diseño eco-hidrológico de pequeñas centrales hidroeléctricas: Evaluación de Caudales Ecológicos. Energética, núm. 39, julio, pp. 65-76. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. ISSN (Versión impresa): 0120-9833.
- [8] Diez, Hernández. Juan Manuel. (2010). Curso – Taller Determinación de Caudales Ecológicos: Metodología IFIM-PHABSIM. Santiago de Cali.
- [9] Richter, Brian D., Mathews, Ruth, Harrison, David L., and Wigington, Robert.



- (2003). Ecologically Sustainable Water Management: Managing River Flows For Ecological Integrity. *Ecological Applications*, 13(1), 2003, pp. 206–224. 2003 by the Ecological Society of America.
- [10] GWP (Global Water Partnership) (2000), *Manejo integrado de recursos hídricos*, (2000, septiembre). Estocolmo, Suecia. Recuperado (9 de abril de 2012), de (<http://www.gwpforum.org/gwp/library/TAC4sp.pdf>).
- [11] Arthington, Ángela H.; Naiman, Robert J.; McClain, Michael E.; and Nilsson, Christer. (2009). Preserving the biodiversity and ecological services of rivers: New challenges and research opportunities. *Freshwater Biology*.
- [12] Agualimpia, D. Yolima del Carmen. (2010). Caudal ecológico una herramienta en la gestión integral del recurso hídrico. En: I Congreso Internacional del Agua y el Ambiente. Grupo de Investigaciones PRO-GASP. Tecnología en Gestión Ambiental y Servicios Públicos. Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales Universidad Distrital Francisco José de Caldas. pg. 11.
- [13] Bustamante Toro, César Augusto. Monsalve Durango, Elkin Aníbal y García Reinoso, Pedro León. (2007). Los caudales ecológicos: Herramienta fundamental en la gestión integral de las fuentes hídricas del Quindío. *Revista de Investigaciones* No. 17 – Universidad del Quindío pp. 205 – 221. Armenia. ISSN 1794-631 X.
- [14] Global Environmental Flows Network. (2000). Recuperado (15 de abril de 2012), de (<http://www.eflownet.org/viewinfo.cfm?linkcategoryid=18&linkid=85&siteid=2&FuseAction=display>).
- [15] Dyson, M., Bergkamp, G., Scanlon, J., (eds). (2003). Caudal. Elementos esenciales de los caudales ambientales. Tr. José María Blanch. San José, C.R.: UICN-ORMA. xiv + 125 pp.
- [16] Graham, Sonia. (2009). Irrigators attitudes towards environmental flows for wetlands in the Murrumbidgee, Australia. *Wetlands Ecol Manage*. 17:303–316. DOI 10.1007/s11273-008-9108-4.
- [17] Mesa, D.J. (2009). Algunos atributos de los factores a favor y en contra en las técnicas y métodos utilizados para la estimación de Caudales Ambientales en Colombia. *Umbral Científico*, Fundación Universitaria Manuela Beltrán Colombia núm. 15, pp. 81-93.
- [18] Tharme, R. E. (2003). A Global Perspective on Environmental Flow assessment: Emerging Trends In The Development And Application Of Environmental Flow Methodologies For Rivers. *River Research and Applications* River Res. Applic. 19: 397–441. Freshwater Research Institute, University of Cape Town, Rhodes Gift, 7701, South Africa.
- [19] King J. y Louw D. Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the Building Block Methodology. *Aquatic Ecosystem Health and Ma-*



- nagement 1(2): 109-124. (1998). Citado en Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - Dirección de Licencias – OEI, (2007). Convenio 004/2007 - Informe Final Universidad Nacional de Colombia - Grupo GIREH. pg. 29 .
- [20] Sastre Beceiro, Mónica. (2010). Proceso de concertación de los caudales ecológicos. XII Congreso Nacional de Comunidades de Regantes de España. Tarragona.
- [21] O’Keeffe, Jay y Le Quesne Tom. 2010 WWF-World Wide Fund For Nature (Formerly World Wildlife Fund), Gland, Switzerland. All rights reserved.
- [22] García de Jalón, Diego y González del Tánago, Marta. (1995). El Concepto de caudal ecológico y criterios para su aplicación en los Ríos Españoles. Departamento de Ingeniería Forestal. Escuela de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid.
- [23] Bustamante Toro, César Augusto. Monsalve Durango, Elkin Aníbal y García Reinoso, Pedro León. (2007). Los caudales ecológicos: Herramienta fundamental en la gestión integral de las Fuentes Hídricas del Quindío. Revista de Investigaciones No. 17 – Universidad del Quindío pp. 205 – 221. Armenia. ISSN 1794-631 X.
- [24] Martínez Santa-María, C. & Fernández Yuste, J.A. (2008). Régimen de Caudales: Definición del estatus hidrológico y valoración de la alteración. U. D. Hidráulica e Hidrología. EUIT Forestal. UPM. Ciudad Universitaria s.n. 28040 Madrid.
- [25] Martínez Santa-María, C. Fernández Yuste, J.A. (2006). El régimen natural de caudales: Una diversidad imprescindible, una diversidad predecible. Invest Agrar: Sist Recur For. Fuera de serie, 153 – 165.
- [26] Díez Hernández, Juan Manuel. (2005). Recuperación de ríos: Modelación ecohidráulica de caudales ecológicos. Ingeniería de Recursos Naturales y de Ambiente. Vol. II, núm. 2. pp. 47-51. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- [27] Fausch, K.D. y Bestgen, K. R. (1997). Ecology of fishes indigenous to the central and southwestern Great Plains. pp.131-166, En: Ecology and Conservation of Great Plains vertebrates. KNOFF, F.L. Y SAMSON, F.B. (Eds). Springer-Verlag. New York.
- [28] Díez Hernández, Juan Manuel y Burbano Burbano, Liliana. (2006). Técnicas avanzadas para la evaluación de caudales ecológicos en el ordenamiento sostenible de cuencas hidrográficas. Ingeniería e Investigación, abril, año/vol.26, número 001. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. pp. 58-68. ISSN (Versión impresa): 0120-5609.
- [29] Castro Heredia, Lina, Carvajal Escobar, Yessid y Monsalve Durango, Elkin A. (2006). Enfoques teóricos para definir el caudal ambiental. Ingeniería y Universidad, julio - diciembre, año/vol. 10, número 002. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. ISSN (Versión impresa): 0123-2126.

- [30] Empresa Nacional de Electricidad S.A. – ENDESA. (2011, marzo) Introducción al Cálculo de Caudales Ecológicos un análisis de las tendencias actuales. © Derechos Reservados Primera Edición. Endesa Chile Santa Rosa 76, Santiago de Chile. Inscripción en el Registro de Propiedad Intelectual: N° 201471 I.S.B.N. N° 978-956-8191-11-5.
- [31] Mayo Rustarazo, Martín. (2001). Determinación de regímenes de caudales ecológicos mínimos. Aplicación del método IFIM-PHABSIM y aplicación a los Ríos Españoles. Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Ingeniería Forestal. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes.
- [32] Yang, Fucheng, XIA Ziqiang, Yu Lanlan y Guo Lidan. (2012). Calculation and Analysis of the Instream Ecological Flow for the Irtysh River. *Procedia Engineering* 28. pp. 438- 441.
- [33] Ochoa, G. (2009). Servicio de consultoría para la sistematización y seguimiento de la aplicación de metodologías de determinación del caudal ecológico en cuencas hidrográficas en el marco de las acciones de seguimiento e intervención. Perú. Recuperado (23 de abril de 20012), en: (<http://www.cd.mina.m.gob.pe:8080/dspaceconsultorias/bitstream/123456789/83/1/CD000040.pdf>).
- [34] Waddle, T.J. and Bovee, K.D., (2010). Environmental flow studies of the Fort Collins Science Center, U.S. Geological Survey—Cherry Creek, Arizona: U.S. Geological Survey Open File Report 2009–1272. p.161.
- [35] Fossati, Odile & Calvez, Roger. (2006). Requerimientos científicos para caudales ecológicos en ríos del sistema Papallacta, Ecuador. Quito, Julio.
- [36] Gore, J. A., J. B. Layzer & J. Mead. (2001). Macroinvertebrate instream flow studies after 20 years: a role in stream management and restoration. *Regulated Rivers: Research and Management*, 17:527-542. En Cardona, W. (2012). Tesis Curvas de idoneidad de hábitat para macroinvertebrados bentónicos: Una herramienta para la estimación de caudales ambientales. Universidad del Valle.
- [37] Bullock, Andrew. Gustard, A. And Grainger, E.S. (1991). Instream Flow Requirements of aquatic ecology in two british rivers. Report No. 115. Application and assessment of the Instream Flow Incremental Methodology using the PHABSIM system. Institute of Hydrology. Wallingford Oxon OX10 8 BB ISBN 0 948540 28 1. p. 150.
- [38] Santacruz de León, Germán. (2010). Variación cronoespacial de los caudales ecológicos en la cuenca del Río Valles. *Aqua-LAC - Vol. 2 - N° 1. pp. 26 - 36*. México.
- [39] Congreso de Colombia. Proyecto de Ley Número 365. (2006).
- [40] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 865 de 2004.

- [41] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2010). Estudio Nacional del Agua. pp. 29.
- [42] Congreso de Colombia. Ley 373 (1997).
- [43] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto 155 de 2004.
- [44] Constitución Política de Colombia. Ley 99 de 1993.
- [45] Ortiz P., Carolina. Vélez O., María Victoria & Villegas P., Clara Inés. (2006, mayo). Consideraciones técnicas sobre la metodología para el cálculo de las Tasas por Uso del Agua (TUA). Avances en Recursos Hidráulicos, Número 13, pp. 99-110. Medellín ISSN 0121 – 5701.
- [46] Méndez Sayago, Jhon Alexander y Méndez Sayago, Johanna Mildred. (2010). Tasas por Utilización del Agua. ¿Instrumento de asignación eficiente del agua o mecanismo de financiación de la gestión ambiental?. Estudios Gerenciales, vol. 26, núm. 115, pp. 93-115. Universidad ICESI. Cali, Colombia. ISSN (Versión impresa): 0123-5923.
- [47] Congreso de Colombia. Ley 165 (1994). Convenio de las Naciones Unidas sobre Diversidad Biológica.
- [48] Convención sobre los Humedales. Ramsar, Irán, (1971).
- [49] UNESCO. Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Natural y Cultural. (1983). Colombia Ley 45 de 1983.