

CAUDALES ECOLÓGICOS Y SU RELACIÓN CON EL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA*

ECOLOGICAL FLOWS AND ITS RELATIONSHIP WITH CLIMATE CHANGE AND VARIABILITY

Sandra Milena Madroño Palacios**

Docente Investigadora Grupo GIA, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia

Francisco Ricardo Mafla Chamorro***

Docente Investigador Grupo GIA, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia

Fecha de recepción:
20 de abril de 2012
Fecha de aprobación:
28 de mayo de 2013

Palabras clave:

Metodologías de caudales ecológicos, régimen natural de caudales, relación, variabilidad.

RESUMEN

El presente artículo busca establecer la relación existente entre los caudales ecológicos y la variabilidad climática, para esto inicialmente, se aborda los principales aspectos referentes a los caudales ecológicos, analizados por diferentes autores aproximadamente desde los años 70, entre los componentes que se tienen en cuenta están: definiciones, importancia, metodologías para su determinación y el papel que desarrolla dentro de los procesos de gestión del recurso hídrico. Con lo que respecta a la variabilidad climática se establece su definición, la diferencia existente entre variabilidad y cambio climático, sus causas y consecuencias. Finalmente, teniendo en cuenta toda la información analizada, y con la ayuda de nuevos autores se establece como las características de los caudales ecológicos (magnitud, duración, frecuencia, variabilidad, sincronización y curvas de distribución) pueden verse afectados por la variabilidad climática.

Key words:

Instream flow methodologies, natural flow regime, relationship, variability.

ABSTRACT

This paper seeks to establish the relationship between environmental flow and climate variability, first, the main aspects related to environmental flow were addressed and analyzed by different authors since the 70's, among the components were taken into consideration: definitions, importance, methods for the determination and role that the processes of water resource management plays. With regard to climate variability the definitions provided were, the difference between climate variability and change, and their causes and consequences. Finally, taking into account all the information analyzed and with the help of new authors, characteristics of environmental flow (magnitude, duration, frequency, variability, timing and distribution curves) were determined to be affected by climate variability.

* Artículo de Revisión de Tema.

** Magíster en Conservación y Gestión del Medio Natural, Universidad Internacional de Andalucía, España; Magíster en Ciencias en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Costa Rica; Bióloga, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto Colombia.
Correo electrónico: sandritamadro@gmail.com

*** Doctorando en Ingeniería, Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina; Ingeniero Sanitario, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
Correo electrónico: fmaphla@gmail.com

El caudal ecológico se define como el mínimo necesario para el mantenimiento y desarrollo de la biota acuática y las funciones ecosistémicas, actualmente se ha visto vulnerado principalmente por actividades antrópicas. De allí, que su estudio es importante no sólo por el papel ecológico que desempeñan, sino además, por la necesidad de considerarlo como un usuario más en los procesos de gestión del recurso hídrico.

Por otra parte, es prioritario resaltar que la variabilidad climática influye en la transformación de las características físicas, químicas y biológicas del recurso hídrico y específicamente de los caudales ecológicos, sin embargo, en la actualidad, el conjunto de estos componentes no ha sido suficientemente estudiado dejando vacíos de conocimiento.

Por lo tanto, el presente artículo tiene como propósito dar a conocer los principales aspectos referentes a los caudales ecológicos y la variabilidad climática, teniendo en cuenta criterios científicos manejados por diferentes autores expertos en el tema, que permitan identificar las diferentes interacciones existentes.

Asimismo, el objetivo es dar a conocer la base conceptual y relación de los caudales ecológicos con la variabilidad climática, buscando no sólo informar, sino también, contribuir con un análisis que relacione los dos componentes de estudio, sirviendo de herramienta para investigadores, profesionales, consultores y sector académico de las áreas ambientales que desarrollen futuras investigaciones relacionadas con el tema.

El presente artículo de revisión, se apoya en información generada por múltiples autores, entre los que se destacan Juan M. Díez-Hernández, Domingo Baeza Sanz y Diego García de Jalón, la Universidad Nacional de Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Asani, Quessy, Mesfioui y Matteau, *Intergovernmental on Panel Climate IPCC*, Castro, Carvajal y Monsalve entre los más destacadas; los que a lo largo de los últimos años han contribuido al conocimiento y divulgación del tema en el mundo.

Finalmente, el artículo contempla lo concerniente a conceptos sobre caudales ecológicos, su importancia, las metodologías para su determinación, definiciones y componentes de la variabilidad

climática, influencia de la variabilidad climática en los ecosistemas acuáticos y la relación de la variabilidad climática con los caudales ecológicos.

Caudales ecológicos

Conceptos: en muchas partes del mundo, el crecimiento de la población ha provocado una disminución de disponibilidad de los recursos hídricos por su consumo y contaminación (Gleick citado por Calvo, Jiménez, J., González, Pizarro & Jiménez, A., 2008), alteración del sistema ecológico, (Minjian, Gaoxu, Huali & Liqun, 2012) en donde, la extracción de agua se incrementó ocho veces, causando crisis en algunas zonas del planeta (Gleick citado por Calvo et al., 2008).

De allí, como afirman Calvo et al. (2008), es importante “colocar límites a la cantidad de agua que se extrae de los ríos, lagos y otros ecosistemas acuáticos de agua dulce, antes de degradar sus funciones naturales su productividad, servicios y productos que estos ofrecen a la sociedad”.

En la gestión del recurso hídrico, se busca establecer criterios sociales, económicos, políticos, culturales y biofísicos, que trabajen conjuntamente para un mejor uso, manejo y conservación del agua. En donde, es prioritario el “mantenimiento de la funcionalidad ambiental del río como ecosistema y como parte esencial del macrosistema ambiental” (Martínez & Fernández, 2006), asegurando de esta manera las características mínimas de calidad y cantidad del recurso, no sólo para la biota acuática sino además para los usos consuntivos y no consuntivos del recurso.

Cuando se habla de caudal ecológico, es necesario inicialmente establecer que este hace parte de un concepto macro denominado “caudal ambiental”, que busca asegurar la suficiente cantidad de agua, con los parámetros físico-químicos y biológicos mínimos para mantener un régimen de flujos apropiados y satisfacer a todos los usuarios (Calvo et al, 2008), asimismo, Jiménez et al. (2005) y Baeza y García de Jalón (citados por Calvo, et al., 2008), expresan que: los caudales ambientales buscan mantener el carácter, extensión y condición de los hábitats acuáticos y ripários, de forma que sean los apropiados para mantener poblaciones bióticas viables y los procesos ecológicos que a la vez aseguren los bienes y servicios que la sociedad utiliza.

Según Diez y Burbano (2006), el término tiene amplias consideraciones tales como caudal de reserva, mínimo, mantenimiento, regulado o ambiental.

Por otra parte, el permanente impacto antrópico desarrollado sobre los ecosistemas acuáticos, han traído como consecuencia, la pérdida de hábitat de muchas especies, convirtiéndose este, en el principal factor que contribuye a su extinción. Harrison y Stiassny (citados por Sánchez & Martínez, s.f.) consideran a los ecosistemas como usuarios del recurso hídrico al que se le debe respetar sus requerimientos.

Teniendo en cuenta lo anterior, el caudal ecológico propende por estudiar, asegurar y proteger los caudales mínimos para los ecosistemas y la biota acuática. Satacruz De León (2010), lo asocia con los aprovechamientos hidráulicos, indicando que: “es el caudal que debe ser reservado para mantener los ecosistemas fluviales en condiciones admisibles, aguas debajo de las obras de aprovechamiento que alteran los regímenes originales o naturales de flujo de una corriente”, de similar manera, debe ser capaz de contribuir a lograr un buen estado ecológico, manteniendo naturalmente la vida faunística y la vegetación ribereña que naturalmente serían capaz de habitar en los ecosistemas acuáticos (Sánchez & Martínez, s.f.).

Algunos autores como Gómez, Loné y Canga (2000), consideran que el caudal ecológico es “el régimen natural de caudales del propio río” entendido régimen como la posibilidad de definir caudales mensuales y “una serie de avenidas para conseguir la conservación de la biocenosis presentes en el ecosistema fluvial”. En algunos casos, autores como Gómez et al. (2000), definen a los caudales ecológicos como los caudales mínimos medio ambientales, lo que ha generado la posibilidad de que muchos autores hablen indistintamente de caudales ecológicos y caudales ambientales. Sin embargo, existe diferencia entre los dos conceptos, ya que como lo establece Redondo (2011), en el caudal ambiental se tiene en cuenta los usos antrópicos del recurso, mientras que en el caudal ecológico, se considera su valor intrínseco.

Por su parte en un informe presentado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Instituto de Hidrología y Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2002), lo considera como “el caudal mínimo remanente que debe

ser estimado para el sostenimiento del ecosistema aguas debajo de un sitio específico”. Por otra parte, es importante resaltar que para que los ecosistemas acuáticos sean capaces de albergar algún tipo de población biológica, se hace necesario una adecuada calidad y cantidad de agua y la variedad de hábitats que den albergue a los organismos acuáticos (Nelsen citado por Sánchez & Martínez, s.f.). De igual forma, Alonso (citado por Hurtado, García & Gutiérrez, 2005) considera que para el mantenimiento de las especies, es fundamental el balance hidrológico, debido a que incrementos o disminuciones de caudales ocasionan modificaciones en la disponibilidad de recursos.

Por consiguiente, puede establecerse que el mantenimiento de los caudales ecológicos es de gran relevancia, tanto para asegurar la continuidad de procesos ecológicos y como el recurso para los diferentes usos antrópicos. Sin embargo, dada su importancia, en la actualidad, en la mayoría de los países no se observan avances significativos en cuanto a políticas que propendan por la conservación de los caudales ecológicos, siendo África, Estados Unidos, Europa y Australia los más aventajados en su estudio; uno de los aspectos que indistintamente se generan tanto en los países desarrollados como los que se encuentran en desarrollo, es la complejidad de aplicar caudales ambientales que se alineen con los objetivos sociales (Krchnak, 2008).

Régimen: es necesario que antes de hablar de régimen de caudal ecológico (RCE), se establezcan los criterios mínimos del régimen natural de caudales, concepto que fue introducido desde 1990 en la ecología acuática, lo que se consideró como un paradigma de la restauración ecológica de los ríos. Assani, Quessy, Mesfioui, y Matteau (2010), establecen que la mayoría de los estudios se han limitado al análisis hidrológico de los regímenes de caudales, basándose en los caudales mensuales, que no son capaces de responder a la integralidad ecológica afectada por la intervención antrópica. En efecto, cuando se habla de caudales ecológicos, se debe considerar el régimen natural de caudales entendido este como: “el rango completo de variación intra e interanual del régimen hidrológico con sus características asociadas de estacionalidad,

duración, frecuencia, tasa de cambio” (Sánchez & Martínez, s.f.), sincronización y curvas de distribución (Assani et al., 2010). El flujo natural de un río varía en escalas de tiempo, horas, días, estaciones, años, de manera que para poder describir un patrón característico de flujo se hace necesario muchos años de observación (Poff et al., 1997).

Posteriormente, Assani et al. (2010) clasifica estas seis características en tres grandes categorías primaria (magnitud), secundaria (duración y sincronización) y terciaria (frecuencia, variabilidad y distribución de la curva), en donde las terciarias serán dependientes de las secundarias y estas de las primarias.

Autores como Gómez et al. (2000) van más allá, evaluando el Régimen Ambiental de Caudales (RAC), cuya función es contribuir a la utilización del recurso hídrico a un costo ecológico prudencial, “considerando las dos facetas de un río como reserva hídrica y ambiental”(Diez & Ruiz, 2007) e “incorpora la variabilidad de flujos necesaria para el aprovechamiento conveniente de los bienes y servicios del medio fluvial”. Por otra parte, como afirma Castro, Carvajal y Monsalve (2006), este régimen, se convierte en un componente ecosistémico en los procesos de gestión del recurso hídrico, en donde además, se incluyen medidas como protección de suelos, control de contaminación, restauración de hábitats, entre otros, cuya finalidad es mantener ríos en buenas condiciones, siendo capaz de responder no sólo a la biocenosis de los ecosistemas acuáticos, sino a las condiciones hidráulicas máximas soportables, al caudal generador, caudal de inundación y al caudal de lavado (Diez & Burbano, 2006).

Asimismo, Assani et al. (2010), consideran la importancia de estudiar la relación entre los índices climáticos y el régimen natural de caudales, ya que según Stenseth et al. (1975, citado por Assani et al., 2010), el clima influye en los procesos ecológicos y la dinámica que opera en los organismos, ya sea a través del metabolismo y los procesos reproductivos o las cadenas tróficas.

Las actividades antrópicas también se constituyen en un factor que altera las condiciones naturales del régimen de caudales, modificando la escala fina de las características geomorfológicas que constituyen el hábitat para especies acuáticas y el bosque de ribera (Poff et al., 1997).

Metodologías de determinación: su estudio empezó a desarrollarse desde los años 70 en Sudáfrica, Norteamérica, Europa y Australia, en donde, inicialmente se consideraba que los problemas de los ríos se encontraban ligados a los caudales mínimos, siendo el río capaz de sostenerse en la medida en que dicho caudal no sea reducido a un límite crítico (Acreman & Dunbar 2004). No obstante, con el pasar de los años, se ha logrado establecer que para que las condiciones se mantengan es necesario considerar otros componentes que han sido analizados ampliamente por metodologías hidrológicas, hidráulicas, hidrobiológicas y holísticas (Castro et al., 2006), sin embargo, en los últimos años se han desarrollado estudios en donde la calidad del agua se considera como una nueva metodología que contribuye a la determinación del caudal ecológico (Malan, Bath, Day & Joubert, 2003; Palmer et al., 2005 citado por Universidad Nacional de Colombia, Grupo GIREH, 2008).

Por otra parte, se hace necesario aclarar que existen diferencias entre lo que es un método y una metodología ya que como lo establece (Vílchez, 2010) los métodos son técnicas utilizadas para establecer las variables físico-químicas y biológicas de los ríos entre tanto, las metodologías establecen la recopilación de métodos similares en su aplicación.

Con lo que respecta a la metodología hidrológica, se establece que tienen la ventaja del cálculo simple y fácil manejo (Pang, Xu & Wu, 2012), en el que se considera series históricas de caudales e índices hidrológicos sencillos (Universidad Nacional de Colombia, Grupo GIREH, 2008), determina el caudal ecológico considerando procesos estadísticos que analizan los caudales naturales, “los procedimientos más sencillos calculan un caudal mínimo, como un porcentaje del caudal medio anual que varía del 10% al 60%, dependiendo del ambiente fluvial particular. Son aproximaciones extremadamente simplistas, que incorporaban legislaciones de países como Francia (10%), España (10%), Alemania (30%-60%) e Irlanda (1%-10%), pero que posteriormente se revelaron válidas tan sólo para evaluaciones básicas de ríos con escaso valor ecológico”(Vílchez, 2010).

Dentro de algunos de los métodos que sobresalen se encuentran Tennant, que es el más utilizado a nivel mundial, por los pocos requerimientos que

posee, no obstante, como lo establece (Yang, Xia, Yu & Guo, 2012), dicho método no es capaz de responder satisfactoriamente con las características hidrológicas, hidráulicas y de hábitat.

Si bien es cierto que la mayoría de los métodos hidrológicos propuestos en la literatura para la estimación de los caudales ambientales asumen que los ecosistemas ribereños se han adaptado a las variaciones estacionales del régimen hídrico, o lo que es lo mismo, que la variabilidad de los caudales está asociada con la integridad del ecosistema, un buen número de estos métodos no incorporan en su formulación esta suposición al proponer la estimación de un caudal único y fijo durante el año, o lo hacen de forma limitada al proponer caudales únicamente para dos estaciones (seca y húmeda) (Universidad Nacional de Colombia, Grupo GIREH, 2008).

Asimismo, como lo afirma Collischonn, Walter et al., (s.f.) los métodos hidrológicos no analizan el aspecto ambiental, simplemente asumen que el mantenimiento de un flujo de referencia, calculado sobre la base de algunas series estadísticas históricas, puede resultar en un beneficio para el ecosistema no obstante una de las principales ventajas es que estos métodos requieren poca información para su implementación.

Por su parte, las metodologías hidráulicas, permiten desarrollar una relación simple entre los índices hidráulicos y el hábitat de la vida acuática, sin embargo, pueden fallar en la determinación del flujo de base ecológico (Pang et al., 2012), dentro de esta sobresalen métodos como el del perímetro mojado, Múltiples transeptos, R2CROSS, morfológico, principalmente.

Con lo que respecta a la metodología hidrobiológica, es importante resaltar la capacidad que tiene de integrar características hidrológicas, hidráulicas y ecológicas, que permiten a través de un análisis de campo y del desarrollo de simulaciones matemáticas establecer los requerimientos de hábitat físico de las especies acuáticas (Universidad Nacional de Colombia, Grupo GIREH, 2008; Martínez & García, 1999) ya que como lo establece Minjian et al. (2012) su estudio posee una importancia no sólo ecosistémica, sino como parte fundamental de los procesos socioeconómicos de las poblaciones en donde en muchos casos los peces se convierten en la principal fuente de proteína, aproximadamente el

40% de todos los peces son de agua dulce supliendo las necesidades alimenticias y socioeconómicas de comunidades que dependen y reciben beneficios de la salud de los ecosistemas, esto proporciona razones suficientes para que en la actualidad se estén desarrollando en muchos países del mundo aproximadamente 850 proyectos que buscan recuperar el estado natural de los ríos (Krcchnak, 2008).

Uno de los aspectos fundamentales para el desarrollo de dicha metodología es la determinación de las curvas de preferencia de hábitat ya sea para especies piscícolas o macro-invertebrados acuáticos, las cuales consideran el comportamiento de las especies y sus estadios vitales (Diez, 2010), modelando las exigencias en términos de variables hidráulicas del hábitat físico (Martínez & García De Jalón, 1999), tales como velocidad, profundidad y sustrato. En algunos casos se pueden estudiar la cobertura y temperatura (Diez, 2010).

De allí que uno de los modelos que aborda el estudio de curvas de preferencia es IFIM-PHABSIM (*Instream Flow Incremental Methodology y Physical Habitat Simulation Model*), el cual fue establecido en el año de 1978 y en la actualidad es el “más difundido y mejor defendible, científica y legalmente” (Diez, 2010), contribuye en los procesos de gestión del recurso hídrico entre los distintos usuarios, por lo tanto se convierte en el modelo más representativo de dicha metodología, sin embargo, requiere de un amplio conocimiento en los tres componentes, haciéndose necesario la conformación de un grupo interdisciplinario que trabaje holísticamente, aspecto que se convierte en una fortaleza en la medida en la que se cuente con los recursos teóricos, humanos y económicos necesarios para su desarrollo.

No obstante, a causa de su importancia y utilidad de la metodología hidrobiológica, no existe información completa sobre el hábitat y la biota de los sistemas fluviales (Krcchnak, 2008; Pang et al., 2012), ya que se requiere indiscutiblemente la comprensión entre el caudal y la respuesta biótica (Shafroth et al., 2010), así mismo, debido a la fuerte intervención antrópica en los ecosistemas acuáticos se ha reducido considerablemente la diversidad y abundancia de especies ícticas, siendo todo esto una limitante para la ejecución de proyectos que busquen la determinación del caudal ecológico con

la utilización de dicha metodología. Esto mismo, es analizado por (Martínez & García De Jalón, 1999) que considera la necesidad de desarrollar estudios experimentales que determinen las curvas de preferencia de especies endémicas.

Por su parte, la metodología holística además de tener en cuenta lo analizado anteriormente, adiciona los requerimientos del recurso por parte de la población humana ya sea para fines productivos o de consumo. En general, los procedimientos holísticos exigen datos de alta calidad en cuanto a registro histórico de caudales, características ecológicas, económica, de conservación, componentes culturales, vegetación riparia, geomorfología e hidráulicas del área de estudio (Universidad Nacional de Colombia, Grupo GIREH, 2008).

Dentro de los métodos holísticos se destaca el desarrollado en los Estados Unidos por *The Nature Conservancy* (TNC), en un proyecto denominado Ríos Sostenibles, en donde se desarrolló el método del rango de variabilidad (Cantera, Carvajal & Castro, 2009), el que se apoya en una metodología llamada “Marco para la gestión ambientalmente sostenible del agua” (ESWM), que considera no sólo los requerimientos de especies de peces sino además los requisitos de la vegetación ribereña, dicho marco implica la aplicación de cinco pasos importantes (Krchnak, 2008):

1. La estimación de requisitos de flujo de los ecosistemas.
2. Determinar los usos actuales y futuros del agua.
3. Determinar las incompatibilidades entre los usos humanos y ecosistémicos.
4. El uso de un enfoque de colaboración que ayude a encontrar soluciones a las incompatibilidades.
5. Llevar a cabo experimentos de gestión del agua para reducir la incertidumbre.

Finalmente, en los últimos años algunos autores han considerado la calidad de agua como un criterio que contribuye a la determinación del caudal ecológico, sin embargo, sus avances hasta el momento son pocos, presentándose los primeros estudios en Sur África, (Malan et al., 2003). Este enfoque es de

gran utilidad teniendo en cuenta que los cambios sustanciales en los caudales generan transformaciones en la calidad del agua y estos a su vez en la biota acuática, de allí, que como lo establece (King & Low 1998 citado por Universidad Nacional de Colombia, Grupo GIREH, 2008) “el funcionamiento eficiente de un ecosistema no depende sólo de un apropiado régimen hidrológico, sino también de la provisión de agua con una apropiada calidad”. Teniendo en cuenta lo anterior se han establecido diferentes metodologías que consideran estos componentes entre las que se encuentran la metodología *DWAF* (*Department of Water Affairs and Forestry - South Africa*) (Palmer et al., 2005) y el método caudal – concentración (Malan et al., 2003).

Luego de este breve recorrido a través de las diferentes metodologías que buscan la determinación del caudal ecológico se hace necesario resaltar que la estimación de caudales ecológicos a través de las metodologías hidrológica, hidráulica y holísticas:

Usualmente no incorpora la estimación de la incertidumbre asociada con las estimaciones, resultado de las limitaciones en la utilización de las curvas de calibración, especialmente para los casos de niveles y por consiguiente caudales muy bajos, la calidad y cantidad de la información disponible (Universidad Nacional de Colombia, Grupo GIREH, 2008).

Asimismo, como lo establece Liu et al. (2011), la fiabilidad de las metodologías tradicionales es a menudo cuestionada en la determinación del caudal ecológico dentro de la corriente de un río regulado debido a su falta de condición natural.

A continuación, se presentan una recopilación de las metodologías con sus respectivos métodos cuadro 1. En donde se resalta que en cada uno de ellos existen tendencias en abordar con mayor especificidad algunos de los aspectos en los que son más fuertes.

Tabla 1. Recopilación de metodologías para determinación de caudal ecológico.

	Método	Características	Fuente
Metodología Hidrológica	Porcentaje fijo del caudal interanual	Establece el 10% del caudal medio interanual, se convierte en una pequeña aproximación que no logra abordar todos los componentes del caudal ambiental o ecológico.	Castro, L., Carvajal, Y. & Monsalve, E. 2006.
	Tennant	Creado en 1976, conocido como método de Montana, utilizado en corrientes que no tienen estructuras de regulación como represas. Considera componentes tales como el ancho, profundidad, velocidad del cauce y hábitat para una especie en particular.	Castro, L., Carvajal, Y. & Monsalve, E. 2006. Pang et al., 2012.
	Hoppe	Determina el caudal a partir de percentiles de la curva de duración de caudales que considera los caudales medios diarios relacionados con las condiciones más adecuadas para las especies bióticas.	Castro, L., Carvajal, Y. & Monsalve, E. 2006. Redondo, A., 2011.
	Método Canadiense	El caudal ecológico lo establece como el 10% del caudal medio en invierno y el 30% del caudal medio en verano.	Universidad Nacional de Colombia, Grupo GIREH, 2008.
	Método de Arkansas	Creado en 1987, considera caudales mensuales, es una modificación del método Tennant, utiliza caudales medios mensuales multianuales, en vez de los medios multianuales se desarrolla durante tres periodos del año que corresponde al periodo de limpieza y recarga, desove y producción de peces.	Universidad Nacional de Colombia, Grupo GIREH, 2008.
	Método de Texas	Creado en 1979, establece caudales ecológicos en periodos húmedos y secos teniendo en cuenta un porcentaje de la mediana de los caudales medios mensuales.	Universidad Nacional de Colombia, Grupo GIREH, 2008.
	Anteproyecto de norma oficial Mexicana	Considera los caudales medios de los 10 últimos años.	Universidad Nacional de Colombia, Grupo GIREH, 2008.
	R2CROSS	Establece diferentes caudales para épocas de invierno y verano, en donde los caudales mínimos deben cumplir con el promedio de profundidad, el porcentaje de perímetro mojado y la velocidad media del cauce.	Pang et al., 2012.
	Método percentil fijo de la curva de duración de caudales	Se aplica en Brasil, determina el caudal ecológico o ambiental en donde se establece una fracción de un caudal de Q85 y Q95.	Universidad Nacional de Colombia, Grupo GIREH, 2008.
	Método de múltiples transeptos	Determina el cambio de hábitat relacionado con las variaciones en el caudal para esto se realizan transeptos donde se establece velocidad, sustrato, cobertura y profundidad.	Cantera, J., Castro, L. & Carvajal, Y. 2009.
	Perímetro mojado	Establece el caudal ambiental o ecológico a través de la relación entre los caudales circulantes y el perímetro mojado, se conoce también como el método del área.	Cantera, J., Castro, L. & Carvajal, Y. 2009.

	Método	Características	Fuente
Metodología Hidráulica	Método percentil fijo de la curva de duración de caudales	Se aplica en Brasil, determina el caudal ecológico o ambiental en donde se establece una fracción de un caudal de Q85 y Q95.	Universidad Nacional de Colombia, Grupo GIREH, 2008.
	Método de múltiples transeptos	Determina el cambio de hábitat relacionado con las variaciones en el caudal para esto se realizan transeptos donde se establece velocidad, sustrato, cobertura y profundidad.	Cantera, J., Castro, L. & Carvajal, Y. 2009.
	Perímetro mojado	Establece el caudal ambiental o ecológico a través de la relación entre los caudales circulantes y el perímetro mojado, se conoce también como el método del área.	Castro, L. & Carvajal, Y. 2009.

	Método	Características	Fuente
Metodología Hidrobiológica	<i>Instream Flow Incremental Methodology (IFIM)</i>	Promovida por el servicio de pesca de los USA que busca el ordenamiento del recurso hídrico con un enfoque ecológico contemplando aspectos ecohidráulicos y ecohidrológicos que determinan los cambios en la estructura, la calidad del agua, la disponibilidad de hábitat físico utilizable del río.	Diez, J. & Burbano, L. 2006.
	<i>Physical Habitat Simulation Model (PHABSIM)</i>	El modelo PHABSIM se emplea en la metodología IFIM con la finalidad de relacionar el caudal circulante con el microhábitat físico disponible para varios estadios vitales de una especie en particular. Dicho modelo considera que el principal condicionante de la actividad vital y la dinámica poblacional es la disponibilidad de hábitat. De tal manera que cuando el condicionante no es el hábitat físico el modelo PHABSIM no es útil.	Diez, J. 2010; Spence, R. & Hickley, P. 2000.
	<i>Building Blocks Methodology (BBM)</i>	Busca determinar el régimen modificado en ríos regulados. Considera información geomorfológica, hidráulica, hidrológica, biológica y ecológica, así como también incluye aspectos socioeconómicos de la cuenca. Dicho método considera tres aspectos importantes: la biota acuática, las características del caudal natural al régimen modificado que ayuda a mantener los procesos naturales del río y existe mayor influencia de ciertos caudales sobre la morfología del cauce.	Cantera, J., Castro, L. & Carvajal, Y. 2009.
	<i>Método de Microhabitats (EVHA)</i>	Método desarrollado por CEMAGREF, el cual se basa en los principios del método IFIM, es un modelo hidráulico y biológico que considera la estimación de los gradientes hidráulicos que se presentan en algún tramo de un río, y los biológicos que estima la disponibilidad de hábitat en donde se tiene en cuenta la velocidad, el calado y el sustrato. Es importante resaltar que este método trabaja únicamente con peces.	Grupo de Emisarios Submarinos e Hidráulica Ambiental & Empresa de Residuos de Cantabria, s.f.
	<i>Fish Habitatmethod</i>	Determina el caudal, considerando los requerimientos de las comunidades de peces.	Minijan et al., 2012.

	Método	Características	Fuente
Metodología Holística	<i>Evaluación Comparativa (Benchmarking Methodology)</i>	Todos estos métodos se aplican para conocer las características completas del sistema ribereño. En donde se tiene en cuenta que el agua pertenece al ecosistema y a otros usuarios, los ríos poseen suficiente agua para cubrir diferentes usos y que se deben incluir al menos las características mínimas del régimen natural de caudales para garantizar la supervivencia de la biota acuática.	Redondo, 2011.
	<i>Environmental Flow Management Plan Method (FMP)</i>	Todos estos métodos se aplican para conocer las características completas de sistema ribereño. En donde se tiene en cuenta que el agua pertenece al ecosistema y a otros usuarios, los ríos poseen suficiente agua para cubrir diferentes usos y que incluyen al menos las características mínimas del régimen natural de caudales para garantizar la supervivencia de la biota acuática.	Redondo, 2011.
	<i>RiverBabingley</i>		
	<i>Downstream Response to</i>		
	<i>ImposedFlowTransformations (DRIFT)</i>		
	<i>FlowRestorationMethodology (FLOWRESM)</i>		
	<i>FlowEventsMethod (FEM)</i>		

	Método	Características	Fuente
Métodos que Consideran la Calidad del Agua	Método caudal - concentración	"Establece a partir de la relación caudal - concentración las concentraciones mensuales, bajo los regímenes de flujo recomendados"	Redondo, 2011.
	<i>Department of Water Affairs and Forestry - South Africa (DWAF)</i>	Se sintetiza en cinco pasos: definición del área de estudio considerando la calidad de aguas (nutrientes, materia orgánica, oxígeno disuelto, coliformes), se establecen tramos homogéneos de acuerdo a la calidad de aguas, se definen límites de las variables de calidad, los valores límites de calidad se utilizan para conocer el estado ecológico de la fuente y descripción de las características ecológicas en cada tramo. Sin embargo, no se especifica a través de que método se desarrolla la toma de dicha información.	Redondo, 2011.

	Método	Características	Fuente
Metodologías en Colombia	Estudio Nacional del Agua (IDEAM)	Considera las curvas de duración de caudales mensuales diarios, considerando el caudal que permanece en la corriente durante el 75% del tiempo y que representa el mínimo que podría fluir por el cauce una vez se realicen las captaciones.	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2010.
	Proyecto Ley 365 de 2005 "medidas para orientar la planificación y orientación del recurso hídrico en Colombia"	Determina el caudal ecológico, consideran el caudal existente el 90% del tiempo, para lo cual tiene en cuenta los caudales medios diarios.	Ley 365/2005 (Congreso de la República de Colombia, 2005).

Metodologías de Manejo Adaptativo	Método	Características	Fuente
	Mesa	Considera 6 pasos importantes: <ul style="list-style-type: none"> • Estimación de las necesidades flujo para conservar los ecosistemas naturales asociados al río. • Calcular la necesidad de flujo para uso humano actual y futuro. • Evaluar los conflictos entre usos y necesidades humanas y de los ecosistemas. • Búsqueda de soluciones a los conflictos en forma colaborativa • Realizar experimentos prácticos en manejo de aguas. • Desarrollar un programa de manejo adaptativo. 	Collischonn, Walter et al s.f.

Fuente: proceso investigativo.

Cambio y variabilidad climática

Conceptos: antes de dar una definición de variabilidad y cambio climático es importante precisar qué se entiende por clima. El clima es el conjunto fluctuante de condiciones atmosféricas caracterizado por los estados del tiempo en un lugar determinado durante un periodo relativamente largo. Normalmente este sufre fluctuaciones a través del tiempo debido a cambios en la forma de interacción entre los diferentes componentes del sistema climático (atmósfera, océanos, biosfera terrestre y marina, criósfera y la superficie terrestre) y por cambios en los factores radiativos forzantes (IDEAM, 2008).

Los cambios en la interacción de los componentes del sistema climático inciden directamente en la composición de la atmósfera de la Tierra; en la alteración de las propiedades de la superficie y la cantidad y naturaleza de la nubosidad; y en la distribución del calor horizontal y vertical, lo cual repercute sobre el clima a nivel regional y mundial (Grupo Internacional de Expertos sobre el Cambio Climático, 1997).

Por su parte, los factores radiativos forzantes, definidos como los cambios de la radiación neta descendente (solar e infrarroja combinadas) influyen como una unidad a la perturbación calorífica combinada. El forzamiento radiativo generalmente se lo asocia al incremento del CO₂, CH₄ y NO₂, sin embargo, existen forzamientos radiativos que no tienen origen humano y son importantes a la escala temporal de decenios a siglos, estos incluyen las variaciones de la luminosidad solar y las erupciones volcánicas; estas últimas produciendo aerosoles de sulfato, que permanecen durante varios años en la

estratosfera (Grupo Internacional de Expertos sobre el Cambio Climático, 1997).

La rapidez con que el clima sufre oscilaciones da origen al concepto de variabilidad climática haciendo referencia este precisamente a las fluctuaciones del clima pero con la característica de ocurrencia en periodos relativamente cortos. La variabilidad climática o secuencias de oscilaciones alrededor de los valores normales son identificadas por medio de anomalías, siendo esta la diferencia entre el valor registrado de la variable climática y el promedio de una serie continua de mediciones de una variable climatológica durante un periodo de por lo menos treinta años (IDEAM, 2008).

Actualmente, se ha progresado sustancialmente en el entendimiento de la naturaleza y en la identificación de las diferentes formas de variabilidad climática que se dan dentro del sistema climático global, comprendiendo sus interrelaciones y ocurrencia a diferentes escalas de espacio y tiempo, destacándose fenómenos, a escalas de tiempo menores a cien años, tales como: La Ola Circumpolar Antártica, Oscilación Antártica, Oscilación Ártica, Oscilación Multi-Decadal Atlántica, El Niño, Oscilación Pacífica Inter-Decadal, La Niña, Oscilación Madden-Julian, Oscilación Atlántico Norte, Oscilación Decadal Pacífica, Teleconexión Norte Americana-Pacífica, Oscilación Quasi-Bienal, Oscilación del Sur, Modo Anular del Sur y Modo Anular del Hemisferio Norte (Viles & Goudie, 2003). Por su parte, en una escala temporal mayor, en el orden de los cien a mil años, se encuentran, entre otros, fenómenos de variabilidad tales como los ciclos Dansgaard-Oeschger, ciclos Bond y los eventos Heinrich, principalmente (Viles & Goudie, 2003).

En el caso del trópico americano el ENSO es considerado como el principal mecanismo forzador de la variabilidad climática en la región. Este fenómeno se refiere a un calentamiento inusual de la temperatura superficial del agua del mar sobre el oriente y el centro del pacífico tropical (Poveda, Waylen & Pulwarty, 2006).

El ENSO tiene una variabilidad estacional, ya que comienza durante la primavera del hemisferio Norte (Marzo-Mayo), y alcanza su máximo desarrollo durante el tiempo de la Navidad, y de allí el nombre de El Niño. Pero también tiene una componente cuasi-bienal con un tiempo de recurrencia entre 2 a 2.5 años, así como una baja frecuencia, con una recurrencia entre 4-5 años (Poveda et al., 2006).

El Niño es la fase cálida del ENSO, en la que se presenta un aumento de las temperaturas superficiales, lo que conduce a alteraciones en los patrones de circulación de vientos, de presión atmosférica y de precipitación, mientras La Niña es su fase fría (Poveda, 2004).

Por otra parte, el cambio climático a diferencia de la variabilidad climática en la convención Marco de las Naciones Unidas fue definido como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad climática natural observada en periodos de tiempo comparables” (ONU, 1992).

Basados en estudios más recientes el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático (IPCC), atribuye este fenómeno no solamente a la actividad humana, sino en general al cambio en el estado del clima cuantificable a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que tiene una duración prolongada, que generalmente no es inferior a decenios y que comúnmente son periodos más largos (Grupo Internacional de Expertos sobre el Cambio Climático, 1997).

Causas: en la actualidad además de concebir al cambio climático como un cambio del estado del clima cuantificable y por periodos prolongados de tiempo, se ha llegado a un consenso sobre sus principales causas, entre las que se encuentran los procesos naturales internos, fuerzas externas, cambios antropogénicos existentes en la composición de la atmósfera y/o en el uso de suelo (IPCC, 2012).

Con base en las anteriores definiciones, conceptualmente establecer la diferencia entre el concepto de variabilidad y cambio climático puede ser evidente, sin embargo, definir la frontera entre ellos es especialmente difícil puesto que en muchas regiones de nuestro planeta se presentan una fuerte influencia de fenómenos de variabilidad en las condiciones corrientes del clima (IDEAM, 2010).

A escala global el calentamiento detectado en la atmósfera y en el océano, junto con la pérdida de masa de hielo, refuerzan la conclusión de que es improbable que el cambio climático de los últimos cincuenta años sea explicable en ausencia de un forzamiento antropogénico, y muy probable que no se deba exclusivamente a causas naturales conocidas (Grupo Internacional de Expertos sobre el Cambio Climático, 2007).

Por otra parte, a menor escala existe mayor dificultad en asociar si las variaciones de determinada variable corresponden a fenómenos de variabilidad o cambio climático. Por ejemplo, atribuir variaciones de temperatura a uno de estos fenómenos en específico es de suma dificultad, puesto que a esta escala la variabilidad se torna más relevante frente al cambio climático, lo cual aunado con las limitaciones en el análisis en términos de número de sistemas, longitud de los registros y su ubicación, hace más difícil discernir los cambios esperados por efecto de forzamiento antropogénico (IPCC, 2007).

Los fenómenos de variabilidad climática son mayores a escala regional que a escala mundial, lo cual afecta a la posibilidad de identificar los cambios dados en respuesta al forzamiento externo. A escala regional, influyen también otros factores no climáticos por ejemplo, los cambios de uso de la tierra, la polución, o las especies invasivas (IPCC, 2007).

Consecuencias: las principales consecuencias de los fenómenos de variabilidad y cambio climático probablemente se reflejarán en los ecosistemas, superando su resiliencia; en los cultivos, los que aumentarían ligeramente su producción en latitudes medias a altas y disminuirán en latitudes inferiores; en las costas, estas estarían expuestas a mayores riesgos, y en particular a la erosión, por efecto del cambio climático y del aumento de nivel del mar; en la industria, asentamientos y sociedad, siendo vulnerables, en términos generales, las situadas en

llanuras costeras y planicies propensas a las crecidas fluviales, así como aquellas cuya economía dependa de recursos sensibles al clima; y en la salud, en donde la situación sanitaria de millones de personas resultaría afectada, ya que agravaría la malnutrición y el número de defunciones, enfermedades y lesiones causadas por fenómenos meteorológicos extremos (IPCC, 2007).

Particularmente en el fenómeno de variabilidad climática ENSO, se ha podido establecer una coherencia entre el modelo climático y las anomalías hidrológicas en la región durante las fases extremas del fenómeno (Poveda et al., 2006).

Los efectos hidro-climáticos del ENSO en Colombia en términos generales se pueden resumir en disminución de la precipitación, en caudales medios mensuales y en caudales extremos, tanto máximos y mínimos en los ríos cuando se presenta EL Niño y viceversa cuando el fenómeno predominante es La Niña, siendo estos efectos más marcados durante la época de Junio-Julio hasta abril-mayo del año siguiente (Poveda, 2004).

Relación con el recurso hídrico: finalmente, es evidente que la generación y circulación del agua se encuentra estrechamente relacionada con todos los componentes del sistema climático, y por ello, la variabilidad y el cambio climático afecta a ésta mediante diversos mecanismos.

Las variaciones de ciertos componentes del ciclo hidrológico y de sus sistemas están coherentemente asociadas con el calentamiento global observado en las últimas décadas. Entre las variaciones más relevantes están los cambios en la intensidad y frecuencia de precipitación; fusión generalizada de la nieve y del hielo; aumento del vapor de agua atmosférico; aumento de la evaporación; y variaciones de la humedad del suelo y de la escorrentía (IPCC, 2008).

Todos los componentes del ciclo hidrológico presentan una variabilidad natural notable en escalas de tiempo interanuales a decenales que no permite visualizar fácilmente las tendencias a largo plazo. Existe en la actualidad dificultad en el análisis de variables hidrológicas, debido a grandes diferencias

regionales y limitaciones en su monitoreo, lo cual ha llevado a tener incertidumbres respecto al establecimiento de sus tendencias (IPCC, 2008).

Particularmente el efecto del cambio climático sobre los recursos hídricos se evidencia en la redistribución de este recurso tanto en tiempo como en espacio. Autores como Nan, Bao-hui y Chun-kun (2011), citan algunos de los aspectos más estudiados referidos a esta problemática, entre los que se destaca el estudio de cambios de temperatura, precipitación y evaporación debido a fenómenos de cambio o variabilidad climática y su relación con incremento o decrecimiento del escurrimiento en cuencas (Nan et al., 2011).

Potencialmente los fenómenos de cambio o variabilidad climática afectan en menor o mayor grado a la disponibilidad en cantidad como en calidad para los diferentes usos de los recursos hídricos, así como también para la conservación asociada a ellos. Es claro que el fenómeno como tal existe, sin embargo, es necesario identificar potencialmente los sectores de afectados así como sus principales implicancias, (ver Tabla 2) (Tucci, 2002).

Tabla 2. Potenciales Impactos de la variabilidad y cambio climático sobre los recursos hídricos.

Sector	Impactos Potenciales
Abastecimiento Humano	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la disponibilidad en Regiones semiáridas independientemente de la regulación de los cursos. • Reducción de la disponibilidad en localidades abastecidas por ríos con cuencas pequeñas y sin regulación, aun disponiendo de un caudal medio alto. Es el caso típico de las cuencas de cabeceras. • Manantiales urbanos con demanda superior a la capacidad de la disponibilidad hídrica, como ocurre en las regiones metropolitanas de las grandes urbes. • Reducción de la disponibilidad por la contaminación de los sistemas hídricos debido al ciclo de contaminación urbana.

Sector	Impactos Potenciales
Riego	<ul style="list-style-type: none"> • Con la implementación de una regulación para el uso del agua y su cobranza a nivel de cuencas (mediante el accionar de los Comités de Cuencas), podrían ocurrir dos procesos opuestos en las áreas rurales: (a) reducción de la demanda de riego en los proyectos existentes debido a la racionalización del uso del agua, creando mejores oportunidades para la sustentabilidad regional de la actividad; (b) aumento de los conflictos, con dificultades en la implementación de las decisiones de los Comités de Cuencas y de restricciones de diferente naturaleza. Probablemente se deberán registrar los dos tipos de procesos, aunque es esperable que en el marco de la gestión integrada de los recursos hídricos el primero predomine. • Algunas de las fragilidades observables se podrían dar en zonas semiáridas, de existir tendencia declinante de la precipitación, agravamiento de la disponibilidad hídrica y aumento de los conflictos por su uso. • En zonas húmedas, de existir aumento de la disponibilidad de agua, tendencia de los agricultores a despreciar el riego y a asumir riesgos agrícolas que en un escenario normal podrían producir perjuicios.
Inundaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Los principales impactos ocurren debido a: (a) falta de planificación de la ocupación del espacio de acuerdo con los riesgos de ocurrencia de inundaciones, fundamentalmente en las áreas urbanas; (b) desconocimiento de los niveles de inundación posibles por parte de la población. • El escenario más común es la ocupación de las planicies (o terrazas) de inundación por parte de la población durante una secuencia de años secos. Cuando se verifican años más húmedos los perjuicios son significativos y normalmente la población exige del gobierno acciones, fundamentalmente, la ejecución de obras de control, como pequeños diques, canales, entre otras.

Calidad del Agua	<ul style="list-style-type: none"> • Períodos más secos, como ocurrieron de manera general antes de la década del 70, pueden representar una menor capacidad de dilución y mayor afectación de la calidad del agua en los cursos de agua. • Por otro lado, la intensificación de las precipitaciones en los centros urbanos debido al efecto de calentamiento de las superficies urbanas y a los procesos convectivos derivados, pueden producir cargas pluviales que impliquen mayores costos para lograr una mejora en la calidad del agua. • El cambio del uso del suelo, con expansión de las áreas agrícolas, tenderá a ampliar la carga difusa rural sobre los sistemas hídricos, además de reducir la capacidad de regulación natural de las cuencas. La expansión de uso de la siembra directa puede ser un atenuante de este último proceso, aunque también es importante considerar la falta de una evaluación adecuada de las cargas de pesticidas, de agroquímicos y de otros compuestos.
------------------	--

Fuente: Tucci, 2002.

Relación con caudales ecológicos: el desarrollo de los recursos hídricos a través de la historia fue basado en técnicas de análisis de series estadísticas históricas de caudales medidas en ríos. De esta forma subjetivamente se admitió que las series estacionarias eran representativas del fenómeno en estudio, lo cual no siempre es cierto. La estacionalidad es afectada principalmente por factores como variabilidad climática, cambio climático, modificación de los tipos de uso y ocupación del suelo en las cuencas.

Una de las mayores consecuencias del cambio y variabilidad climática es la modificación del ciclo hidrológico, lo que trae consecuencias en la cantidad y calidad de agua que circula en los ríos. Un entendimiento de la sensibilidad de los procesos hidrológicos frente a estas modificaciones es determinante, puesto que estos cambios pueden comprometer la sustentabilidad del ambiente y el desarrollo de las comunidades que hacen parte de él.

Por lo anteriormente expuesto, es evidente que el cambio o la variabilidad climática combinado con actividades antrópicas puede dar como resultado grandes cambios en el patrón de caudales que

influyen en la determinación del caudal ecológico (Liu & Cui, 2011), siendo necesario el establecimiento de metodologías apropiadas y más aún cuando en la región se dispone de un gran potencial hídrico que de no ser aprovechado adecuadamente puede verse seriamente afectado.

DISCUSIÓN

Luego de desarrollar un análisis detallado sobre conceptos, metodologías y criterios correspondientes a los caudales ecológicos y la variabilidad climática, se hace necesario discutir los avances en la aplicabilidad de las metodologías, que contribuyan a optimizar no sólo el establecimiento del caudal ecológico sino además su contribución en los procesos de gestión del recurso hídrico tanto en Colombia como en el resto del mundo, de ahí, que como lo afirma Mesa (2009), no se puede establecer que haya una única receta para la determinación del caudal ecológico, todo dependerá de las características de la fuente y de la facilidad de la aplicación de la metodología, en el caso de las que incluyen parámetros bióticos se resalta que no son sencillas de llevar a cabo, ya que requieren variables específicos con las cuales algunas fuentes fluviales no cuentan.

Particularmente, en nuestro país se ha observado una carencia en el sistema de gestión del patrimonio hídrico que contribuya a un manejo integrado de los recursos hidrobiológicos a nivel de cuencas (Mesa, 2009), De ahí, que gran parte de los estudios desarrollados han sido generados por iniciativas que buscan el estudio de componentes particulares tales como el hábitat, la calidad y el caudal, y no como la respuesta al problema conjunto en que se constituye la gestión del recurso hídrico. Sin embargo, uno de los estudios que abordó la integralidad del recurso fue el desarrollado por Diez y Ruíz (2007) en el Río Palacé en el Departamento del Cauca, cuya finalidad fue la determinación del caudal ambiental como respuesta a una problemática de expansión poblacional en la ciudad de Popayán, este estudio se desarrolló aplicando la metodología IFIM-PHABSIM, considerando aspectos ambientales, legales, socio-económicos e institucionales.

Dicha metodología es una herramienta que aporta una amplia información frente a una problemática de oferta y demanda del recurso, convirtiéndose en una

de las primeras que considera la integralidad de los ecosistemas acuáticos, que ha tenido bastante éxito en las experiencias desarrolladas tanto en Colombia como en el resto del mundo.

Por otra parte, en el 2008 el grupo de investigación de recursos hídricos GIREH de la Universidad Nacional de Colombia (2008) en convenio inter-administrativo con el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, proponen una metodología para la estimación de caudal ambiental en proyectos que requieren licencia, en este documento se plantea la dificultad de la implementación de metodologías en nuestro contexto debido a problemas como el grado de contaminación de nuestros ríos, el no conocimiento del ciclo de vida de las especies de agua dulce y los problemas socioeconómicos que tiene cada uno de las áreas ribereñas.

Partiendo de esto, este grupo aborda una propuesta metodológica que busca la objetividad, flexibilidad, adaptabilidad, costo – efectividad, enfoque ecosistémico, precaución ambiental, marco normativo y criterios científicos, proponiendo inicialmente el establecimiento de una línea base inexistente hasta el momento en los ríos de nuestro país, para posteriormente definir aspectos hidrológicos, su correlación con fenómenos de variabilidad climática que permitan la adaptabilidad del caudal ambiental, a los cambios suscitados por las modificaciones climáticas existentes en la actualidad. Finalmente, se establece aspectos hidráulicos de calidad de agua y de integridad del hábitat, para poder generar un enfoque ecosistémico. Dicha metodología ha sido aplicada hasta el momento en el Urra Antioqueño, en Sogamoso Santander y en el trasvase del Río Manso.

Finalmente, se establecen que la relación existente entre la variabilidad climática y los caudales ecológicos consta de gran relevancia en la medida en que los cambios suscitados con el pasar de los años en los parámetros climáticos generan modificaciones en los componentes hidráulicos y sus relacionados como vegetación y suelo. Sin embargo, se resalta la inexistencia de criterios y estudios suficientes que permitan determinar la relación directa de dichos componentes que se encuentran intrínsecamente relacionados.

CONCLUSIONES

Existen múltiples metodologías para la determinación de los caudales ecológicos de allí, que todas presentan diferentes fortalezas y debilidades en su aplicabilidad, por lo tanto, el tipo de metodología a ser utilizada depende en gran medida de la información disponible, de la apropiación de la metodología y del contexto.

Los avances desarrollados hasta el momento en caudales ecológicos han sido enfocados a conocer los componentes bióticos e hídricos principalmente, sin embargo, hace falta implementar un enfoque sistémico que aborde no sólo los componentes biofísicos sino además los sociales, económicos, institucionales de las áreas a ser estudiadas.

En los estudios desarrollados en caudales ecológicos no se ha incluido hasta el momento la variabilidad climática como uno de los componentes fundamentales que influyen en el comportamiento de los mismos, ya que su comprensión y conocimiento puede contribuir al conocimiento de su comportamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acreman, M. & Dunbar, M. (2004) Defining environmental river flow requirements-a review. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(5), 861-876. Recuperado el 4 de Abril de 2012, de: <http://hal.inria.fr/docs/00/30/49/68/PDF/hess-8-861-2004.pdf>.
- Assani, A., Quessy, J., Mesfioui, M. & Matteau, M. (2010) An example of application: The ecological "natural flow regime" paradigm in hydroclimatology. *Advances in Water Resources*, 33(5), 537-545.
- Calvo, J., Jiménez, J., González, E., Pizarro, F. & Jiménez, A. (2008) Determinación preliminar del caudal ambiental en el Río Tempisque, Costa Rica: el enfoque hidrológico con limitación de datos. *Kuru: Revista Forestal*, 5(13), 1-18. Recuperado el 20 de marzo de 2012, de: http://www.tec.ac.cr/sitios/Docencia/forestal/Revista_Kuru/antiores/antior13/pdf/articulo%201.pdf.
- Cantera, J., Carvajal, Y. & Castro, L. (2009) *Caudal ambiental. Conceptos, experiencias y desafíos*. Cali: Programa Editorial Universidad del Valle.
- Castro, L., Carvajal, Y. & Monsalve, E. (2006) Enfoques teóricos para definir caudal ambiental. *Revista Ingeniería y Universidad*, 10(2), 179-196. Recuperado el 15 de febrero de 2012, de: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=8965>.
- Congreso de la República de Colombia. (2005) Proyecto de Ley número 365. Santa Fe de Bogotá: Congreso de la República de Colombia.
- Diez, J. (2008) Evaluación de requerimientos ecológicos para el diseño de regímenes de caudales ambientales de caudales fluviales. *Revista de Ingeniería*, (28), 15-23. Recuperado el 10 de marzo de 2012, de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=121015051003>
- _____. (2010) *Curso-taller Determinación de caudales ecológicos, Metodología IFIM PHABSIM*. Santiago de Cali, Colombia.
- Diez, J. & Burbano, L. (2006) Técnicas avanzadas en la evaluación de caudales ecológicos en el ordenamiento sostenible de cuencas hidrográficas. *Revista de Ingeniería e Investigación*, 26(1), 58-68.
- Diez, J. & Ruiz, D. (2007) Determinación de caudales ambientales confiables en Colombia: el ejemplo del Río Palacé (Cauca). *Gestión y Ambiente*, 10(4), 153-166. Recuperado el 15 de febrero de 2012, de: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/viewFile/1387/1999>
- Gómez, M., Lóne, P. & Canga, J. (2000) El régimen de caudales medioambientales. Su cálculo en la cuenca del Guadiana. OP. *Revista del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*, 2(51), 70-79. Recuperado el 15 de marzo de 2012, de: http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_articulo/op/51/op51_8.htm.
- Grupo Intergubernamental de Expertos para el Cambio Climático IPCC. (1997) *Introducción a los modelos climáticos simples utilizados en el segundo informe de evaluación del IPCC*. Brasil: Organización Meteorológica Mundial, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Hurtado, S. García, F. & Gutiérrez, P. (2005) Importancia de los macroinvertebrados bentónicos de la Subcuenca del Río San Juan, Queretano, México. *Folia Entomológica Mexicana*, 44(4), 271-286. Recuperado el 27 de marzo de 2012, de: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/424/42444301.pdf>.
- Instituto de Hidrología y Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (2008) *Atlas de Clima*. Santa Fe de Bogotá: Instituto de Hidrología y Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.
- _____. (2010) *Estudio Nacional del Agua*. Santa Fe de Bogotá: Instituto de Hidrología y Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.

- Intergovernmental Panel of Climate Change IPCC. (2007) *Cambio Climático 2007, Informe Síntesis*. Ginebra: Grupo Intergubernamental de Expertos del Cambio Climático.
- _____. (2008) *El cambio climático y el agua. Library* (p. 205). Ginebra: Intergovernmental Panel of Climate Change IPCC.
- _____. (2012) *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*. New York: Intergovernmental Panel of Climate Change IPCC.
- Krchnak, K. (2008) Improving Transboundary River Basin Flow Considerations. *Senior Internacional Water Policy Advisor The Nature Conservancy*, 223-241.
- Liu, C., Zhao, C., Xia, J., Sun, C., Wang, R. & Liu, T. (2011) An instream ecological flow method for data-scarce regulated rivers. *Journal of Hydrology*, 398(1), 17-25.
- Liu, Q. & Cui, B. (2011) Impacts of climate change/variability on the streamflow in the Yellow River Basin, China. *Ecological Modelling*, 222(2), 268-274.
- Malan, H., Bath, A., Day, J. & Joubert, A. (2003) A simple flow-concentration modelling method for integrating water quality and water quantity in rivers. *Water*, 29(3), 305-312.
- Martínez, C. & Fernández, J. (2006) El régimen natural de caudales: una diversidad imprescindible, una diversidad predecible. *Revista Invest Agrar: Sist Recur For Fuera de Serie*. 15(1), 153-165. Recuperado el 10 de febrero de 2012, de: [http://www.inia.es/gcontrec/pub/153-165-\(03\)-El_regimen_1169109173125.pdf](http://www.inia.es/gcontrec/pub/153-165-(03)-El_regimen_1169109173125.pdf)
- Martínez, C. & García, L. (1999) Desarrollo de Curvas de Preferencia de Microhábitad para *Leuciscus Pyrenaicus* y *Barbus Bocagei* por buceo en el Río Jarama (Cuenca del Tajo). *Limnetica*. (17), 71-83.
- Mesa, D. (2009) Algunos factores a favor y en contra en las técnicas y métodos utilizados para la estimación de caudales ambientales en Colombia. *Umbral Científico*, (15), 81-93. Recuperado el 6 de Junio de 2012, de: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=30415144010>.
- Minjian, C., Gaoxu, W., Huali, F. & Liqun, W. (2012) The Calculation of River Ecological Flow for the Liao Basin in China. *Procedia Engineering*, 28, 715-722.
- Nan, Y., Bao-hui, M. & Chun-kun, L. (2011) Impact analysis of climate change on water resources. *Procedia Engineering*, 24, 643-648.
- Organización de las Naciones Unidas. (1992) *Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*. Nueva York: Organización de las Naciones Unidas. Recuperado el 7 de junio de 2012, de: http://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/convsp.pdf
- Palmer, M., Bernhardt, E., Allan, J., Lake, P., Alexander, G., Brooks, S. & Carr, J. (2005) Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology*, 42(2), 208-217.
- Pang, B., Xu, Z. & Wu, W. (2012) Estimation of the ecological base flow of Wei River in Shaanxi province. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 1559-1568.
- Poff, N., Allan, J., Bain, M., Karr, J. R., Prestegard, K., Richter, B. & Sparks, R. (1997) The Natural Flow Regime. *Bio Science*, 47(11), 769-784.
- Poveda, G. (2004) Caudales mínimos en Colombia: relaciones macroclimáticas, escalamiento y balances hidrológicos. Medellín: Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Recuperado el 7 de julio de 2012, de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4086/>
- Poveda, G., Waylen, P. & Pulwarty, R. (2006) Annual and inter-annual variability of the present climate in northern South America and southern Mesoamerica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 234 (1), 3-27.
- Redondo, S. (2011) Incertidumbre hidrológica en la estimación de caudales ambientales mediante metodologías basadas en series históricas. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- Shafroth, P., Wilcox, A., Lytle, D., Hickey, J., Andersen, D., Beauchamp, V. & Hautzinger, A. (2010) Ecosystem effects of environmental flows: modelling and experimental floods in a dryland river. *Freshwater Biology*, 55(1), 68-85.
- Sánchez, R. & Martínez, J. (s.f.) Los caudales ambientales: diagnóstico y perspectivas. Murcia, España: Fundación nueva cultura. Panel científico de seguimiento de la política de aguas. Convenio Universidad de Sevilla- Ministerios de Medio Ambiente. Recuperado el 15 de marzo de 2012, de: <http://www.unizar.es/fnca/varios/panel/12.pdf>

Spence, R. & Hickley, P. (2000) The use PHABSIM in the management in the resources and fisheries in England and Wales. *Ecological Engineering*, 16(1), 153–158.

Tucci, C. (2002) *Impactos da variabilidade climática e do uso do solo nos recursos hídricos*. Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas. Brasil: Agência Nacional de Águas.

Universidad Nacional de Colombia, Grupo GIREH. (2008) *Metodología para la estimación del caudal ambiental en proyecto licenciados*. Santa Fe de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Recuperado el 3 de Abril de 2012, de: http://www.minambiente.gov.co/documentos/4205_081009_info_comen_final_caudal_ambiental_301109.pdf

Vílchez, G. (2010) *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: Ministerio del Ambiente. Recuperado el 7 de junio de 2012, de: <http://consultorias.minam.gob.pe:8080/handle/123456789/83?mode=full>

Viles, H., & Goudie, A. (2003) Interannual, decadal and multidecadal scale climatic variability and geomorphology. *Earth-Science Reviews*, 61(1-2), 105-131.

Yang, F., Xia, Z., Yu, L. & Guo, L. (2012) Calculation and Analysis of the Instream Ecological Flow for the Irtys River. *Procedia Engineering*, 28, 438-441.