

Dimensiones para usar metodologías en la estimación de caudales ambientales en Colombia.

Yesid Carvajal Escobar¹

Recibido:

Agosto 4 de 2010

Aceptado:

Diciembre 12 de 2010

Resumen

La sociedad ha usado el agua superficial y subterránea de diferentes formas (agricultura, consumo urbano, actividades industriales, etc), convirtiendo el recurso en el motor de desarrollo económico de las naciones. No obstante, se ha subestimado el valor de los ecosistemas que mantienen el medio acuático. Los beneficios a corto plazo del uso del agua son muchos, pero serían mayores, si se manejaran de forma sostenible, porque garantizan la provisión de bienes y servicios, la protección de los ecosistemas asociados, así como la capacidad adaptativa ante alteraciones ambientales, como el cambio climático. Determinar caudales ambientales (CA) forma parte de una gestión sostenible del sistema hídrico centrada en el mantenimiento de un buen estado ecológico. Se revisaron diferentes metodologías para estimar CA a nivel mundial y hace una reflexión crítica desde el contexto colombiano de las facilidades y dificultades para implementarlas.

Palabras clave: régimen de caudal ambiental, variabilidad intranual e interanual, ecosistemas, hábitat, hidráulica, hidrología, biota acuática.

Abstract

Society has made use of the water resources in the rivers, lakes, wetlands and groundwater for agriculture, urban consumption, industry, etc. Water resources have been motor of economical development of nations, at expense of the aquatic ecosystems. The short term benefits of the use of water are high, but could be higher under a sustainable use of the resources seen in a long term perspective, what could guarantee goods services, protection of associated ecosystems as well adaptability to future environmental changes (Climate Change). The environmental flow forms part of a sustainable management of water resources which is based on keeping a good ecological balance. Different methodologies worldwide were reviewed for estimating environmental flows and critical reflection from the Colombian context of the possibilities and constraints to implement them where made.

Keywords: environmental flow, base flow maintenance, inter and intrannual variability, ecosystems, habitat, hydraulic, hydrology, aquatic biota.

¹ Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos y Suelos -IREHISA, Escuela de Ingeniería Recursos Naturales y del Ambiente EIDENAR, Universidad del Valle, Colombia. Dirección de correspondencia. yecarvaj@univalle.edu.co

1. Introducción

En los últimos 30 años, el impacto de las intervenciones humanas insostenibles sobre los recursos hídricos (RH), ha generado una creciente preocupación ambiental, dentro y fuera de nuestras fronteras. Los usuarios del agua con poder político y/o económico han logrado desarrollar con éxito, métodos para cuantificar y justificar sus necesidades de agua, sin considerar los ecosistemas. Actualmente, se reconoce que la conservación de los ecosistemas fluviales se debe considerar en las distintas demandas de agua (Baron et al., 2003); preocupación que se refleja en la exigencia de la sociedad de conservar y usar la naturaleza sosteniblemente y que los distintos gobiernos, intentan incluir en sus políticas, disposiciones legales, y en los compromisos adquiridos en la adhesión a múltiples convenios internacionales (de Diversidad Biológica, Man & Biosphere, Ramsar, etc), (Gomez et al., 2000).

La demanda social por el manejo sostenible de los RH, ha impulsado el desarrollo de metodologías para definir un CA, ecológico, o de mantenimiento, mejor llamado "Régimen de Caudal Ambiental - RQA". Existen diversas definiciones propuestas por diferentes autores; Carvajal-Escobar, (2008) y Castro & Carvajal-Escobar, (2009), resumen al menos 7 denominaciones de CA, reportados en la literatura. Para el cálculo de CA existen más de 200 metodologías descritas por varios autores (Castro et al, 2006; Castro, 2008; & Castro & Carvajal-Escobar, 2009; UNAL, 2008; Dyson et al, 2003; Alonso-Eguáalis et al, 2008; Díez, 2000; Tharme, 2003; Pyerce, 2004; King et al., 1999; Arthington & Zalucki, 1998). Enfoques recientes plantean la necesidad de mantener un buen estado ecológico del sistema, incorporando la restauración en los planes de manejo. Por tanto, en la determinación de los CA, la literatura (Karim et al., 1995; Tharme, 2003; Acreman & Dunbar, 2004; Pyerce, 2004; Agualimpia & Castro, 2006; Castro et al., 2006) clasifica las metodologías en cuatro grandes categorías: hidrológicas, hidrológicas e hidráulicas con enfoque ecológico, de simulación de hábitat fluvial, y holísticas. Adicionalmente, han surgido algunas propuestas metodológicas (Malan et al., 2003, Palmer et al., 2005) que consideran

la calidad del agua como categoría adicional de forma explícita (UNAL, 2008). Autores como Alonso-Eguáalis et al. (2008) incluyen metodologías de técnicas multivariadas, que por su disparidad en forma de cálculo, son clasificadas como otras.

2. Ventajas y restricciones de la aplicación de diferentes metodologías en el contexto colombiano

La distribución de la precipitación en Colombia está influenciada por la variabilidad espacio temporal de la Zona de Convergencia Intertropical, por los sistemas de circulación general de la atmósfera de la zona tropical y subtropical y por el relieve, entre otros; los cuales generan la diversidad climática del país, que se manifiesta en una distribución heterogénea de la precipitación. La abundancia hídrica configura condiciones excepcionales de una alta biodiversidad. No obstante, esta capacidad de aprovechamiento, está determinada por las limitaciones espacio-temporales que presenta el régimen hídrico del país. El caso colombiano y del trópico en general, es muy particular, porque el efecto del fenómeno ENOS en sus fases extremas (Niño y Niña) influye sobre la hidroclimatología con fuertes impactos en las cuencas andinas y del Pacífico, y efectos menores, sobre la Amazonia y Orinoquia, haciéndolas vulnerables a los efectos del CC, ante el aumento de probabilidades de que se produzcan eventos extremos, (Magaña, 2004). En la región, la fase cálida del ENOS (El Niño), está asociada a sequías, incendios forestales, racionamientos energéticos, disminución en la producción, agrícola, pesquera y pecuaria, (Poveda, 2004; Poveda & Salazar, 2004; Carvajal-Escobar, 2004; Mesa, 2006; Puertas & Carvajal, 2008); así como al incremento en los casos de malaria y enfermedades endémicas (Mantilla et al., 2009); el efecto contrario, observado en la fase fría (La Niña), está asociado a incrementos en la precipitación, pérdida de vidas humanas por derrumbes, deslizamientos, crecientes, e inundaciones; así como aumentos en la

erosión y transporte de sedimentos de los ríos, (Mesa; 2006; Poveda & Salazar, 2004; Poveda, 2004; Carvajal, 2004). Dichas características deben tomarse en cuenta en la aplicación de metodologías hidrológicas desarrolladas en otras latitudes para condiciones climáticas diferentes a las nuestras.

2.1 Metodologías hidrológicas.

Permiten estimaciones rápidas de los CA utilizando índices hidrológicos sencillos, percentiles fijos de la curva de duración de caudales, medias móviles o puntos fijos de probabilidad o período de retorno, (Cavendish & Duncan, 1986; Milhouse et. al., 1989). Estos métodos fueron propuestos para cuencas con regímenes hidrológicos naturales (corrientes de montaña no reguladas) y especies (salmónidos), muy diferentes a las de Colombia, por tanto, su aplicación local limitada, y requiere adaptaciones y validaciones importantes. Varios trabajos han realizado modificaciones importantes a los métodos originales, con consideraciones locales, (Dunbar et al., 1998); tienen como desventaja, que no incluyen mediciones de respuesta ecológica del sistema, (Richter & Steinman, 1996); y suponen que reservando un valor constante de caudal histórico, que no conserva el régimen natural del río, es posible preservar los ecosistemas. Así mismo, la exclusión de las interacciones hidrológico - biológicas, la omisión de aspectos socioeconómicos y culturales de la población; tales como usos del agua, en la estimación del caudal ecológico, y la suposición que mediante el cálculo de estadísticos básicos de series hidrológicas es posible representar el comportamiento del ecosistema.

2.2 Metodologías hidráulicas.

Están basadas en la relación entre el caudal y las características hidráulicas del cauce (perímetro mojado, velocidad, profundidad máxima, radio hidráulico, sinuosidad, etc) en las secciones transversales del río (Loar & Sale, 1981; Gordon et al., 1992), las cuales limitan el hábitat de desarrollo de la biota (desarrollo de invertebrados, desove de peces, tránsito, etc); suponen que el valor mínimo de estas variables permite conservar el ecosistema (Alves & Henriques, 1994); la características hidráulicas se relacionan con cambios de caudal, y se observa la variación

de estas, ante el incremento de caudal, hasta llegar a un punto de inflexión, donde dicha variación disminuye (Castro & Carvajal-Escobar, 2009); este punto de inflexión, es considerado el óptimo para el desove de peces o para producción de invertebrados bentónicos (Tharme, 1996; King et al., 1999, Palau, 2003). Para especies ictiológicas sin información, genera incertidumbre, porque supone un comportamiento similar al de las especies para las cuales fueron desarrollados estos métodos. son enfoques más complejos, relativamente rápidos, simples y flexibles de aplicar en varias especies acuáticas; sin embargo, suponen que una o un grupo de variables hidráulicas representan adecuadamente los requerimientos del régimen natural de caudal (RNQ) para una especie en particular; algunos de ellos, no consideran el RNQ. La selección de las secciones transversales requiere experiencia, porque la relación caudal - parámetros hidráulicos, es importante para los resultados obtenidos. Por estar enfocados al hábitat en el cauce, imposibilitan la extrapolación de la información obtenida, para valorar otros ecosistemas ribereños fuera de éste. Tienen ventajas sobre las metodologías hidrológicas, al adicionar criterios ecológicos, siendo relativamente fáciles y rápidos de aplicar, con un pequeño aumento en los costos, para levantar más información de campo; como desventajas presentan, que algunos métodos no consideran la variación natural de caudal y suponen que solo las variables hidráulicas representan adecuadamente las necesidades de caudal de la especie objetivo; así mismo, las secciones transversales seleccionadas, debenser representativas del ecosistema fluvial (Castro & Carvajal-Escobar, 2009; Gómez Criado et al., 2000). Métodos como el perímetro mojado, múltiples transectos, y de Idaho, pertenecen a este tipo de enfoque. Algunos de estos, fueron desarrollados en USA, enfocados a especies ictiológicas autóctonas, donde la información de requerimientos de hábitat es amplia; su uso en condiciones tropicales, con escasa información biológica, requiere del levantamiento de información primaria y la adaptación a condiciones climáticas locales, (Arthington & Zalucki, 1998; Davis & Hirji, 1999).

2.3 Metodologías ecohidráulicas.

Conocidas como métodos de simulación

de hábitat fluvial; permiten valorar los incrementos o disminuciones del caudal sobre el hábitat físico, tienen componentes dinámicos, hidrológicos e hidráulicos que permiten evaluar escenarios de CA para diferentes especies, y usan modelos computacionales, que trabajan con mucha información, flexible e interactivamente. Son incorporables a los métodos holísticos.

2.4 Metodologías holísticas o funcionales.

Se usan para evaluar los componentes del ecosistema fluvial, fuertemente vinculados con el régimen hidrológico (magnitud, periodicidad, frecuencia, magnitud de caudales, avenidas, eventos extremos), siendo completas e inclusivas, en considerar componentes del RNQ. Presentan una secuencia de desarrollo rigurosa, organizada y estructurada, que garantiza la replicabilidad de los resultados. Como desventaja tienen: requieren expertos de amplio conocimiento en diferentes áreas, y demandan mucha información de las cuencas, para hacer las recomendaciones apropiadas, según el interés específico.

3. Aspectos para seleccionar una metodología para la estimación de caudal ambiental.

3.1 Aspectos hidrológicos y de toma de los datos.

Sobre la calidad de los datos. Estimar caudales con curvas de Nivel-Caudal, implica muchas incertidumbres, que deben considerarse en la hidrometría. Las curvas, pueden ser simples o complejas, según el régimen de flujo y las características del cauce; Ramirez et al., (2009), determinaron estas relaciones en el río Cauca, y el efecto que la operación del embalse Salvajina impone en el río, encontrando que existe una relación compleja entre niveles y caudales, presentando un bucle o "loop", que indica que durante el ascenso de una creciente, se presentan mayores caudales y menores niveles de agua, comparados con el

descenso. La aplicación para una creciente moderada, presentó hasta del 19% entre los caudales estimados. En un río de régimen no estacionario (p.e. un embalse aguas arriba), donde la pendiente de superficie del agua varía (remansos por descargas de tributarios aguas abajo), no existe una relación simple de curva de calibración, debido al fenómeno de histéresis, configurándose una curva compleja, (Aldana, 2002; Parodi & Ferraris, 2004; Sadeghi et al; 2008; Lohani et al, 2006; Kennedy, 1984; Schmidt & Yen; 2001). Autores como Clarke et al., 2000, examinaron las incertidumbres en las curvas, que por ser empíricas, generalmente, su análisis está limitado a un examen estadístico. No obstante, cuando los equipos de medición no están calibrados, o no se realizan las mediciones con las frecuencias recomendadas (OMM, 1994), se produce un aumento de la incertidumbre en la estimación del caudal. En las crecientes menos frecuentes, la vegetación riparia en la sección transversal del río varía, modificando la rugosidad, lo cual afecta también las estimaciones. La exactitud, definida como la proximidad a la concordancia absoluta entre el caudal medido y su valor real, es un término cualitativo, no cuantitativo, que está dado en términos relativos (no absolutos) a una medición, como expresión estándar de un calibrado verificable. A medida que el caudal se reduce, el error se incrementa, y los caudales mínimos por su magnitud están sujetos a mayores porcentajes de incertidumbre en los caudales estimados; a lo cual se suman, las mediciones con viejas tecnologías de molinetes, y su forma y frecuencia de calibración, que pueden elevar la incertidumbre a valores superiores al 50%, y finalmente, afectar las estimaciones de CA, especialmente en ríos fuertemente presionados por el uso del recurso, con las consecuencias en el bienestar del ecosistema. En muchos casos, es necesario regionalizar aplicando métodos hidrológicos, para estimar CA en pequeñas cuencas andinas, porque muchas estaciones de monitoreo están localizadas aguas abajo de las áreas de mayor presión, que concentran el 80% del uso del recurso, Marin (s.f.). A nivel nacional, se puede proponer un modelo de alternativas multicriterio, para evaluar la afectación potencial al CA de los RH, que permita estimar la condición ecológica

potencial a nivel de cuenca. (Garrido et al., 2007) propusieron un sistema que clasifica a nivel general, la afectación de los ríos Mexicanos, utilizando variables multicriterio, que proporcionan una clasificación general de la afectación de estos.

La regionalización es un método muy utilizado en hidrología, para datos escasos o ausentes. Otra limitación que puede tener la red de hidrométrica, es la dificultad de medir niveles extremos. Casi la mitad de las estaciones del IDEAM, no registra mínimos de nivel para estimar caudales mínimos; adicionalmente, la OMM (1994), recomienda un mínimo de 10 mediciones anuales del caudal para ajustar la relación nivel-caudal, lo cual no siempre se cumple, por restricciones presupuestales, de accesibilidad, el tamaño del río, etc. No obstante, a nivel de planificación dicha red aporta información para estimar CA.

Longitud de series e información nula o escasa. Aunque la longitud de los registros históricos de caudal es muy importante, muchos métodos hidrológicos no especifican ésta característica; mientras unos sugieren de 5 a 10 años, otros requieren series de más de 20 años, para caracterizar adecuadamente los estadísticos. En Colombia, la mayoría de las cuencas pequeñas, no tienen registros, y en muchos casos, las estaciones están localizadas aguas abajo de las principales extracciones. Por lo cual, cualquier metodología propuesta, debe definir un período mínimo de registros, y proponer técnicas para estimar CA con información escasa o sin ella; tales como: aplicación de técnicas hidrológicas de extensión de series, modelación hidrológica, o transposición de caudales, etc.

Calidad del agua. Es el principal problema de los ríos urbanos del país, aunque existen numerosas zonas suburbanas y rurales, características similares al respecto. La falta de información básica dificulta obtener un diagnóstico completo y de mayor cobertura. En 2004 se rediseñó la red de monitoreo de calidad, con 150 estaciones, intentando que coincidieran con las hidrológicas, para comparar tiempo, calidad y cantidad. Sin embargo, no todas operaron con la frecuencia deseada y la red se basó en grandes ríos para dar un panorama global del país, enfocada

al diagnóstico, IDEAM-UNESCO-OMM (2006).

Sobre la red hidrométrica. Inicialmente, las estaciones hidrométricas pertenecían a diferentes entidades, siendo de características aceptables, y ubicadas en regiones de interés específico, pero con medición y procesamiento de datos heterogéneos. La carencia de un archivo central, y la presencia de series cortas e interrumpidas, llevó a duplicar esfuerzos en el análisis de datos, porque las estaciones hidrológicas eran operativas y no se consideraron los usos múltiples del recurso, (IDEAM-UNESCO-OMM, 2006). Luego, la hidrología operativa se centró en grandes ríos, con un crecimiento moderado, cubriendo zonas de difícil operación (Amazonía, Orinoquia y Pacífico), caracterizadas como principales áreas de oferta hídrica. Luego, se aplicó un nuevo enfoque ambiental, con diagnósticos para diferentes usos. El cuadro 1 resume la cobertura de estaciones por altitud; solamente se conoce el 50% del territorio, por lo cual se debería aumentar la cobertura o hacerla más eficiente (Marín, s.f.).

Ocupación del territorio y presión por el uso del agua. El 9% del país está por encima de los 3.000 msnm, y tiene el 4% de la oferta total, mientras entre los 1.000 y 3.000 msnm, está el 35% de la superficie del país, con el 34% de la oferta, albergando el 66% de la población. En esta zona, la ocupación territorial, constituye un factor de alteración de la regulación hídrica y calidad del agua, que asociado a la producción agropecuaria en ladera, y la contaminación industrial y de aguas residuales domésticas, establecen una prioridad que amerita medidas específicas para determinar los CA. Por debajo de los 1.000 msnm se está el 56% del área nacional que oferta el 62% del agua.

Cuadro 1. Oferta hídrica por elevación en Colombia.

Rango de altura (msnm)	Area (%)	Población (%)	Oferta Hídrica Superficial
>3000	9	1	4
1.000-3.000	35	66	34
<1.000	56	33	62

Fuente: Ojeda & Arias, (2000)

El 80% de la población del país vive en la cuenca del Magdalena que cubre el 25% del área total del país, aporta el 10,6% de la oferta hídrica, y soporta y genera el 85% del PIB del país, concentrando la mayor parte de la actividad socioeconómica, y el 80% de las necesidades de agua; condiciones que han contribuido a afectar el régimen hídrico y al deterioro de la calidad de la cuenca en su conjunto. El 75% del área restante (874.000 km²), tiene el 89% de la oferta hídrica natural superficial y aunque no presenta el deterioro de la cuenca del Magdalena, es objeto de presiones, económicas y sociopolíticas, (Ojeda & Arias, 2000). La densidad de la red, áreas económicas, población, y topografía, entre otros, son parámetros esenciales para determinar la eficiencia de la red de monitoreo hidrológico, mientras que para la medición de calidad, debe considerarse el tipo de estación, el número de parámetros medidos, y la precisión y tipo de equipos utilizados, que influyen en la calidad del dato (Rivera et al, 2004). En la geografía colombiana, existen cuencas en zonas áridas (Guajira), y otras con un altísimo rendimiento hídrico (Chocó), que no admiten la aplicación de una metodología general.

3.2 Aspectos biológicos. Dado el creciente interés por evaluar los ecosistemas y su afectación por presión antrópica; recientemente, se han realizado múltiples investigaciones, estableciendo estándares de calidad de agua para satisfacer las demandas de uso, en consonancia con la conservación de sus ecosistemas asociados (Figuroa et al., 2003; Norris & Hawkins, 2000). Para esto, se han establecido métodos enfocados en el análisis de las características fisicoquímicas del agua y en el uso de la biota acuática; dentro de las cuales se destaca el uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad del agua (Kolkwitz & Marsson, 1909; Lenat, 1993).

Frecuentemente, para estimar el CA en el país, se usa información biológica de otros países, o se escogen especies foráneas, muy usadas en el exterior, por su importancia para la pesca comercial y deportiva. (Zuñiga & Cardona, 2010) destacan que en pequeñas cuencas andinas, es más acertado establecer caudales ecológicos analizando macroinvertebrados,

en lugar de considerar peces como especie objetivo, que son más recomendados para ríos grandes, caracterizados por su variedad ictiológica, (Amazonia u Orinoquia). Adicionalmente, los análisis fisicoquímicos y microbiológicos son costosos, proporcionan información puntual e indirecta, mientras que la evaluación de macroinvertebrados, es una buena alternativa para diagnosticar la calidad del agua. (Alba-Tercedor, 1996). En Colombia varios autores han adaptado su uso, (Zúñiga & Cardona, 2009; Zamora, 1999; Roldan, 1999). Autores como Roldan (2003) resaltan que en Colombia, aun existen muchos vacíos de información sobre la macrofauna bentónica dada la amplia extensión y biodiversidad del país. Zúñiga & Cardona (2009), destacan la importancia científico-técnica de definir los requerimientos para proteger o restaurar los ecosistemas acuáticos, dado que el enfoque actual, es fragmentado y orientado principalmente al consumo.

3.3 Aspectos legislativos y normativos. La legislación del agua debe enfocarse en procedimientos, y responsabilidades, que corrijan la distribución desigual y caractericen la justicia del agua, evitando la continuidad de inequidades, (Velez, 2005). La asignación debe reconocer que los caudales para uso tradicional y ambiental, son un asunto de justicia social y ambiental, que se extiende a futuras generaciones. La problemática ambiental asociada a la regulación hídrica es creciente y se generó hace décadas en Colombia. Avanzar hacia la gestión hídrica ambiental en el país, implica que en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas (POMCA), incorporen la estimación de CA confiables (Diez & Burbano, 2007). Sin embargo, aunque distintas pautas normativas consideran el CA, ninguna lo hace directamente. La Constitución Política (1991), obliga a proteger y defender el medio ambiente, por tanto; ambos aspectos involucran directamente la protección de los RH (Palta, 2009). Dado que el agua es un bien público fundamental para la vida, la salud, y es propiedad del Estado; éste está obligado a satisfacer de forma sustentable, sus distintos usos (incluyendo el ambiental); por ello tiene la responsabilidad de planificar, regular y controlar la cantidad, calidad y acceso al agua. La legislación colombiana involucra

esta necesidad, en la propuesta de Ley de Agua (MAVDT, 2005), (Diez & Burbano, 2007). Con la Ley ambiental 99/1993 se exige una licencia Ambiental para los proyectos hidráulicos (Palta, 2009). Además, Colombia ha suscrito convenios internacionales, que incluyen el compromiso de respetar unos CA que protejan el recurso (Diez & Burbano, 2007). Sin embargo, no hay una legislación para cuencas internacionales, a pesar que el 48% del territorio Colombiano comparte cuencas con otros países, que presentan problemas ambientales y políticos.

Se requiere que las autoridades ambientales, organismos y entidades del Sistema Nacional Ambiental (SINA), definan sus funciones, áreas de jurisdicción y coordinen sus programas para hacer efectivos los CA. Aunque se ha avanzado estableciendo normativas, la regulación se está sustentada en bases jurídicas excesivas y dispersas que requieren un instrumento que unifique y desarrolle el concepto de un cambio de visión que considere el manejo integrado del RH, (Palta, 2009).

3.4 Aspectos socio-culturales.

Cada comunidad tiene su propia cultura con el ambiente, y desarrolla formas particulares de comprender el mundo y uso de los recursos ambientales. Mientras el desarrollo estableció una relación depredadora con la naturaleza al ampliar su frontera, en deterioro de las fuentes de agua; para los indígenas, es sustento vida, basada en armonía con la naturaleza; considerándose un bien espiritual relacionado con su pensamiento mítico, (Valencia, 2000).

La gestión del agua y la definición del CA, deben abarcar todas las dimensiones del recurso, con opiniones asociadas a las características demográficas de la población y sus variables socioculturales; establecer CA es un factor de opinión y presión política; y las decisiones que se generen, implican abordar justicia social inter-generacional, para preservar derechos sociales. Los CA más que un aspecto técnico de saberes especializados, es el resultado de procesos donde los actores sociales e institucionales, consideren diferentes decisiones para distribuir el agua. Por eso, es necesario, generar una cultura diferente del agua, resultado de

todas sus dimensiones, incluyendo aspectos sociales (valores, creencias, conocimientos, actitudes, sentimientos y comportamientos), económicos, legales, ambientales, etc. Esto requiere un debate social que estimule dicha cultura, basada en un dialogo continuo, que trascienda la legislación; y esté libre de presiones económicas que impidan dimensionar su verdadera relevancia social. (Marín, 2004; Garcia & Perez, 2009).

3.5 Aspectos economicos. El crecimiento económico sin considerar límites naturales para garantizar la sostenibilidad, condujo al deterioro de ríos, y a desconocer derechos de comunidades tradicionales a sus territorios, para desarrollarse desde una perspectiva sostenible; este factor, exige reconocimiento para una Gestión integral del recurso, (García & Perez, 2009; Arrojo, 2003). El agua es un recurso económico y un bien social, ambiental y cultural; conceptos que deben considerarse en la política del agua para manejarla sosteniblemente. Se requiere generar políticas para gestionar la demanda, que permitan preservar los CA; en el Valle, la caña generó una fuerte presión por el RH, que representa grandes desequilibrios entre la oferta y la demanda, especialmente en períodos de estiaje o de ocurrencia del evento cálido del ENOS; lo cual exacerba conflictos por uso; las soluciones a los problemas de gestión del recurso, implican, además del desarrollo de estrategias técnico-administrativas para asignar mejor los caudales, preservar criterios de equidad y eficiencia, y gestionar la demanda, para reducir y hacer más eficiente su consumo, (Pérez, 2004).

La economía ecológica busca una gestión más integral que incorpore diversos valores (sociales, económicos, culturales y ambientales), tratando que todos tengan su adecuado peso en la toma de decisiones, etc.). Por no ser un bien ordinario, el agua es un bien común fundamental para la vida, el bienestar social, la actividad económica y el desarrollo.

La búsqueda de óptimos globales es difícil de conciliar y no hay solución óptima para todos los criterios; pero las autoridades ambientales, deben encontrar soluciones, que permitan identificar los objetivos más importantes, descartar opciones no pertinentes, y hacer

más transparente el proceso de asignación establecido y defendido por el Estado, garante del bien común. La visión ecosistémica, sobre la antrópocéntrica ofrece elementos para una adecuada gestión integral, donde el Estado y la sociedad civil juegan un papel clave, de hacer respetar los usos tradicionales de poblaciones autóctonas, (CEPAL, 1998).

4. Conclusiones y recomendaciones

El desarrollo enfocado en el crecimiento económico y la ingeniería del agua, consolidaron la gestión de la oferta del recurso, asignando caudal según las necesidades ilimitadas de la demanda, con sesgo hacia lo económico; el desafío del desarrollo sostenible, exige actualmente, cambiar los modelos tradicionales de gestión, a otros, que reconozcan los servicios ambientales que prestan los ríos, y que incluyan dimensiones ambientales, sociales, culturales, paisajísticas, e incluso espirituales, que para muchas comunidades indígenas tiene el agua. Consideraciones como la gestión de la demanda, el uso eficiente del recurso, la recuperación y una participación más activa de la sociedad, entre otras, son alternativas obligadas para abordar retos como la conservación y restauración de ríos, como medidas de resiliencia y adaptación al cambio climático, para avanzar a hacia la sostenibilidad ambiental del recurso.

La definición de CA, más que un aspecto técnico de saberes especializados, enfocados en una cuantificación numérica constante, debe abordar una cultura diferente del agua, resultado de todas sus dimensiones; para ello se requiere un debate social que estimule la participación basada en un dialogo continuo, que trascienda la legislación; y esté libre de presiones económicas que limiten su verdadero dimensionamiento social.

Los CA incorporan cada vez más la participación interdisciplinaria transitando del enfoque hidrológico-hidráulico y de regulación, a un enfoque holístico, que considera requerimientos ambientales, interdependencia y conectividad, reconociendo a los usuarios e incorporando negociaciones para reducir

los impactos de las actividades humanas y propiciar la conservación.

Es necesario promover y desarrollar trabajos que construyan y estructuren conocimiento sobre metodologías propias para estimar CA en el país; más que aplicar métodos externos, sin conceptualizar la región y ríos en estudio. Estimar CA es un asunto interdisciplinario que debe contemplarse en los planes de desarrollo y gestión del RH, bajo un marco legal sólido. Así mismo, es un asunto de elección social, donde la ciencia proporciona apoyo técnico del comportamiento del ecosistema fluvial bajo diferentes escenarios.

Establecer CA, más que un aspecto técnico desaherespecializados con enfoque ingenieril, enfocados en un valor numérico puntual, debe ser el resultado de una participación social e institucional amplia, que incluya diferentes dimensiones del recurso, como la social, legal, cultural, ambiental, que aunque nos sean cuantificables numéricamente, son fundamentales para definiciones adecuadas, porque es en ultima la sociedad, la que decide el grado de salud de sus ecosistemas.

Aunque algunos sitios de Colombia, carecen de disponibilidad de información hidrológica para estimar CA, esta permite hacer ajustes que vayan más allá de un valor numérico puntual que no representa el comportamiento de las fuentes hídricas para estimarlos; se podría implementar una normatividad más acorde, con métodos más elaborados, que vaya más allá de aplicaciones inadecuadas de reglamentaciones foráneas y simples, que no tienen relación con el contexto, la variabilidad hidroclimática y la megadiversidad que caracteriza el trópico.

La problemática ambiental asociada a la estimación del CA, se generó años atrás en el país, y avanzar en aspectos integrales de la estimación de los mismos, implica que estos sean incorporados en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas. El agua es un bien público fundamental para la vida y es propiedad del estado; por tanto, éste está obligado a satisfacer sustentablemente, sus distintos usos (incluyendo el ambiental), con responsabilidad, planificando, regulando y controlando la cantidad, calidad y acceso al

agua, con justicia social transgeneracional, respetando las culturas propias de las comunidades y las formas particulares de comprender el mundo y uso de los recursos ambientales, que como en el caso de los indígenas es sustento vida y bien espiritual, que hay que usar en armonía con la naturaleza.

Legalmente, las autoridades ambientales y organismos adscritos al Sistema Nacional Ambiental, deben definir funciones, áreas de injerencia y ante todo, coordinar interinstitucionalmente sus programas, para hacer efectivos los CA. A pesar de la amplia normatividad, la regulación está sustentada en bases jurídicas dispersas que requieren integración y desarrollo en el concepto de un concepto moderno para la gestión del recurso.

Entre los errores más comunes que se cometen al estimar CA en nuestro contexto, se tienen: considerar su estimación como un asunto marginal o secundario, cuando es clave para el manejo sostenible del recurso; no existe un método único mejor que los demás para determinar el CA, cada uno es adecuado para un conjunto de circunstancias particulares; para la mayoría de ríos, no se han establecido objetivos ecológicos específicos; la consideración de ver el CA como un dato puntual, desconoce entre otros aspectos, que la variabilidad hidrológica permite regular muchos procesos ecológicos como el transporte y remoción de sedimentos, nutrientes, renovación de comunidades, ciclos vitales, incorporación de material orgánico; creación de zonas de reposo, recuperación, etc. Frecuentemente, se confunde el CA con el caudal necesario para diluir carga contaminante y mejorar la calidad del río, cuando un río contaminado requiere acciones previas para recuperar sus condiciones antes de aplicar una metodología para determinar el CA; otro error consiste en considerar que el CA aplica solo al río y no a la cuenca, cuando las interacciones insostenibles en estas, configuran amenazas también para los CA, variando el grado de afectación, según cada caso en particular.

La carencia cuantitativa y cualitativa de información sobre las condiciones de los ríos, obliga a generar una propuesta metodológica

fundamentada en el estudio espacial de componentes ambientales y antrópicas, que conjuntamente, tienen mayor afectación en el estado de los ríos. El incremento de la pobreza, la deforestación, erosión y sedimentación, contaminación, pérdida de biodiversidad, cambio climático y debilidad institucional, entre otras, son relevantes.

La implementación de metodologías de CA ha pasado de ser una herramienta de planeación para grandes proyectos hidráulicos, a ser instrumento de negociación en el marco de La Gestión integral del recurso a nivel de cuenca, donde se establecen concertadamente los objetivos ambientales y las metas para alcanzarlos; esto implica abordar una visión más amplia que la de manejar unos caudales mínimos, al reconocer componentes importantes como magnitud, variación temporal, frecuencia, cambios, etc; incorporando además otras dimensiones.

La escasez de información precisa para construir un panorama general del estado de las fuente hídricas del país, que permita tomar decisiones informadas, indica la importancia y necesidad de obtener una perspectiva nacional a nivel de planificación, que permita clasificar y priorizar los impactos en las fuentes hídricas, y plantear metodologías para cada clasificación, según su riesgo potencial; para ello es necesario elaborar un modelo basado en técnicas de análisis espacial multicriterio, de obras hidráulicas, degradación suelos, cobertura, erosión de suelos, urbanización, aspectos socioeconómicos, etc, que permita evaluar la afectación potencial al CA en las cuencas, para priorizar intervenciones, o desarrollar planes de manejo para su conservación y restauración.

5. Agradecimientos

Al Grupo de investigación IREHISA de la escuela EIDENAR de la Universidad del Valle. Al Proyecto Environmental Flow financiado por UNESCO-IHE en el marco de la convocatoria Partnership Research Fund (UPaRF); a COLCIENCIAS por la financiación del proyecto "Construcción de curvas de preferencias hidráulicas para macroinvertebrados acuáticos como aporte

para la determinación de caudales ambientales más confiables”, en la modalidad de Jóvenes Investigadores e Innovadores 2009.

6. Bibliografía

Acreman M. & Dunbar M.J. (2004). Defining environmental river flow requirements – a review. *Hydrology and Earth System Sciences* 8(5): 861-876.

Agualimpia, Y., Castro, C., (2006). Metodologías para la determinación de los caudales ecológicos en el manejo de los recursos hídricos. *Revista Tecnogestion* vol 3 (1) Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y la calidad de las aguas de los ríos. IV simposio del agua en Andalucía (SIAGA), Almería 2:202-213.

Aldana, V. L. A. (2002) Métodos de estimación de relaciones nivel caudal. Aplicación en los sistemas en tiempo real. CEDEX. Jornadas sobre sistemas de ayuda a la decisión ante problemas hidráulicos e hidrológicos en tiempo real. 25p.

Alonso-Eguía Lis, P. E; Ma. A. Gómez-Balandra y P. Saldaña-Fabela (eds.). 2008. Requerimientos para implementar el CA en México. IMTA-Alianza WWF/FGRA – PHI/UNESCO – Semarnat. Jiutepec, Morelos. 176 pp.

Alves, M. H., & Henriques, A.G. (1994). O caudal ecológico como medida de minimização dos impactes nos ecossistemas lóticos. Métodos para a sua determinação e aplicações. Actas do 6º SILUSB/1º SILUSBA, Simp. Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa. Lisboa, 11 a 14 de Abril de 1994. APRH/ABRH, p. 177-190.

Arrojo, P. (2003). El plan hidrológico nacional: una cita frustrada con la historia. Editorial RBA Libros, Barcelona. p. 190.

Arthington A., & Zalucki, J. (1998). Comparative Evaluation of Environmental Flow Assessment Techniques: Review of Methods, LWRRDC Occasional Paper 27.

Baron, J., Poff, N., Angermeier P., Dahm, C., Gleick, P., Haiston, N., Jackson, R., Johnston, C., Richter, B., & Steinman A. (2003). *Ecosistemas de Agua Dulce. Tópicos en Ecología*. Número 10. USA.

Carvajal-Escobar, Y. 2004. El uso de funciones ortogonales empíricas y análisis de correlación canónica en el estudio de la variabilidad hidrometeorológica, aplicación al Valle del Cauca-Colombia. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. España. pp 425.

Carvajal-Escobar, Y. (2008). Environmental flow regime in the framework of Integrated water resources management strategy *International Journal of Ehydrology & Hydrobiology*. V. 8, No 2-4.

Castro, L. & Carvajal-Escobar, Y. (2009). Caudal Ambiental: Conceptos, experiencias y desafíos. En: Metodologías para determinar el caudal ambiental. J. Cantera, Y. Carvajal; L. Castro. Cali: Programa Editorial Universidad del Valle.

Castro, L. (2008). Caracterización del régimen de caudal ambiental en la cuenca baja del río Dagua. Tesis de maestría. Universidad del Valle. Colombia.

Castro, L.M., Carvajal, Y., Monsalve, E., (2006). Enfoques teóricos para definir el caudal ambiental. *Revista Ingeniería y Universidad* vol 10 (2). Facultad de Ingeniería. Pontificia Universidad Javeriana.

Cavendish, M.G. & M.I. Duncan. (1986). Use of the instream flow incremental methodology: a tool for negotiation. *Environmental Impact Assessment Review* 6:347–363.

CEPAL (1998). Recomendaciones de las reuniones internacionales sobre el agua: de Mar del Plata a París. Santiago de Chile.

Clarke, R. T., Mendiondo, E. M., Brusa, L. C. (2000). Uncertainties in mean discharges from two large South American rivers due to rating curve variability, *Hydrol. Sci.*, 45(2), 221 – 236.

Constitución política de Colombia. 1991. Con reformas hasta 2005. República de Colombia. Disponible en <http://pdba.georgetown.edu/constitutions/colombia/col91.html>

- Davis, R., & Hirji, R. (1999). Water resources and environment technical note c.1.: environmental flows concepts and methods. The World Bank, Series Editors, Washington D.C.
- Díez, J.M. (2000). Metodologías para la estimación de Caudales Ecológicos. Universidad de Valladolid, Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. España.
- Diez, J.M. & L. Burbano. (2007). Tecnología ecológica para la planificación de cuencas hidrográficas: Regímenes de caudales ambientales. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 5(2):20-31.
- 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. 125 pp.
- Dunbar M.J.; A. Gustard, M.C. Acreman y C.R. Elliott. 1998. Review of Overseas Approaches to Setting River Flow Objectives. Environment Agency R & D Technical Report W6B(96) 4. Institute of Hydrology: Wallingford, U. K.
- Figuroa, R., C. Valdovinos, E. Araya & O. Parra. (2003). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. Revista Chilena de Historia Natural 76:275-285.
- Garrido, A.; Cuevas, M. L.; Cotler, H. Enriquez, C. Diaz, A. (2007). Estimación de la afectación potencial al caudal ecológico y la condición ambiental de ríos de México: un modelo de análisis geográfico. SEMARNAT. Doc. técnico. 10 pp.
- García, M.; Perez, M. (2009). Relaciones sociales y asignación de caudales de agua. En: Cantera, J.R., Y. Carvajal & L. Castro. 2009. Caudal ambiental: conceptos, experiencias y desafíos. Editorial Universidad del Valle, 328p.
- Gómez, M., Loné, P., Canga, J. (2000). El régimen de caudales medioambientales. Su cálculo en la cuenca del Guadiana. Rev. Col. de Ing. de Caminos, Canales y Puertos. No. 51. La Gestión del Agua, Vol II. España.
- IDEAM-UNESCO-OMM. (2006). Evaluación de los recursos hídricos. Manual para la estimación de capacidades Nacionales. Informe final. Bogotá Colombia. Feb. 2006.
- Karim, K., Gubbels, M.E., Goulter, I.C., (1995). Review of determination of instream flow requirements with special application to Australia. Water Resources Bulletin 31 1063-1077.
- Kennedy E. J. 1984. Discharge Ratings at Gaging Stations. U. S Geological Survey Techniques of Water Resources Investigations. 59 pp.
- King, J., Tharme, R., & Brown, C. (1999). Definition and Implementation of Instream flows Southern Waters, Univ. of Cape Town, SA. Dams, ecosystem functions and environmental restoration. Disponible en: <http://www.dams.org/>.
- Kolkwitz, R. & M. Marsson. (1909). Okoloie der tierischen Saprobien. Beitrage zur Lehre von der biologischen Gewasserbeurteilung. Internationale der Gesamten Hydrobiologie und Hydrographie 2: 126-152.
- Lenat, D.R. (1993). A biotic index for the southeastern United States: derivation and list of tolerance values, with criteria for assigning water-quality ratings.
- Loar, J.M., & Sale, M.J. (1981). Analysis of environmental issues related to small-scale hydroelectric development. V. Instream Flow Needs for Fisheries Resources. Environmental Sciences Division Publication No. 1829, ONRL/TM-7861. Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Tennessee (EUA).
- Lohani, A. K.; Goel, N. K.; Bhatia, K. K. S. 2006. Takagi Sugeno fuzzy inference system for modeling stage discharge. Journal of Hydrology, Volume 331, Issue 1-2, p. 146-160.
- Magaña, V. 2004. El cambio climático global: Comprender el problema: EN Cambio climático: una mirada desde México, México. INE, Pág. 18.
- Malan, H.; Bath, A.; Day, J.; Joubert, A. (2003). A simple flow – concentration modelling method for integrating water quality and

water quantity in rivers. En *Water SA*, vol. 29, num. 3, pp. 305-311. Disponible en www.wrc.org.za.

Marín, R., sf. Evaluación de los recursos hídricos en Colombia. Universidad Central. http://publicacion05.unipamplona.edu.co/hidroinformatica/portal/home_1/rec/arc_703.pdf. Bogotá. visitada en Agosto 2010.

Marín, R., (2004). El agua un derecho intransferible. Editor Jaime H. Díaz Ahumada. Editorial Kimpress. Bogotá, DC.

Milhouse, R.T.; M.A. Updike & D.M. Schneider. (1989). *Physical Habitat Simulation System Reference Manual - Version 2*. Instream Flow Information Paper 26. USDI Fish and Wildlife Services, Biology Report 89 (16).

MAVDT. (2005). Proyecto de Ley del Agua. <http://www.miniambiente.gov.co>.

Mantilla, G., Oliveros, H., Barnston, A. 2009. G., The role of ENSO in understanding changes in Colombia's annual malaria burden by region, 1960–2006, *Malaria Journal*, 8 (1), p.6.

Marín, R. Sf. Evaluación de los recursos hídricos en Colombia. Universidad Central. http://publicacion05.unipamplona.edu.co/hidroinformatica/portal/home_1/rec/arc_703.pdf. Bogotá. visitada en Agosto 2010.

Mesa, O. (2006). ¿A donde va a caer este Globo? Acerca del futuro de la Tierra. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 348 p.

Norris, R.H. & C.P. Hawkins. (2000). Monitoring river health. *Hidrobiología* 435:5-17.

Ojeda, E. & Arias, R. (2000). Informe nacional sobre gestión del agua en Colombia. Recursos Hídricos, Agua Potable y Saneamiento. 120 p.

OMM. (1994). Guía de prácticas hidrológicas: Adquisición y proceso de datos, análisis, predicción y aplicaciones. Quinta edición. Ginebra. 779 pp.

Palmer, C.G.; Rossouw, N.; Muller, W.J.; Scherman P-A. (2005). The development of

water quality method within ecological Reserve assessment, and links to environmental flow. En *Water SA*, vol. 31, num. 2, pp. 161-170. Disponible en www.wrc.org.za

Palau, I. (2003). Régimen ambiental de caudales: estado del arte. In proceedings: Régimen Ambiental de Caudales, del 29 de septiembre al 3 de octubre de 2003, Unidad Docente de Hidráulica e Hidrología, E.U.I.T., Forestal, Universidad Politécnica de Madrid, Cuenca, España, p. 1- 8.

Palta. M.V. (2009). Marco jurídico y tendencias en las políticas ambientales para el establecimiento de los caudales ambientales. En: *Caudal ambiental: conceptos, experiencias y desafíos*. Editorial Universidad del Valle, 328 p.

Pérez, M. (2004). Pago por servicios ambientales en la cuenca del río Bolo. Informe de caso. En: *Proyecto Ecomercados: 6 casos de estudio sobre pago por servicio hídrico de los bosques en Latinoamérica*. Univ. Autónoma de Barcelona.

Poveda, G. 2004 The hydro-climatology of Colombia: a synthesis from inter-decadal to diurnal timescales (in Spanish). *Rev Acad Colomb Cienc* 28(107): 201-222.

Poveda, G. Salazar, L. 2004. Annual and interannual (ENSO) variability of spatial scaling properties of a vegetation index (NDVI) in Amazonia. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 93. pp 391–401.

Puertas Orozco, O., Carvajal Escobar, Y. 2008. Incidencia de El Niño-Oscilación del Sur en la precipitación y la temperatura del aire en Colombia. *Ing. y Des. Universidad del Norte*. 23. Pp. 104-118p.

Pyerce, R. (2004). Hydrological low flow indices and their uses. *Watershed Science Center. Trent University. WSC Report No. 04-2004*. Peterborough. Ontario. Canada.

Ramirez, C.; Carvajal, Y.; Bocanegra, R.; Sandoval, M. C. (2009). Determinación de curvas de nivel-caudal simples y complejas en un río aluvial andino. Caso de estudio río Cauca – Colombia. EIDENAR. Universidad del Valle.

Richter, B., & Steinman A. (2003). Ecosistemas de Agua Dulce. Tópicos en Ecología. Número 10. USA.

Rivera, H., Marín, R., Vanegas, R. (2004). Metodología de cálculo del índice de escasez. IDEAM. Bogotá.

Roldán, G. 1999. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. Rev. Acad. Colomb. Cien. 23 (88):375-387.

Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia, uso del método BMWP/Col. 1a ed. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

Sadeghi, S. H. R.; Mizuyama, T.; Miyata, S.; Gomi, T.; Kosugi, K.; Fukushima, T.; Mizugaki, S.; Onda, Y. 2008. Determinant factors of sediment graphs and rating loops in a reforested watershed. Journal of Hydrology, v. 356, iss. 3-4, p. 271-282.

Schmidt, A.R., Yen, B.C., 2001, Stage-Discharge Relationship in Open Channels, in Proc. 3rd Intl. Symp. on Envr. Hydr., Tempe, AZ, Dec. 5-8, 2001, ed. by D. Boyer and R. Rankin

Tharme, R.E. (1996). Review of International Methodologies for the Quantification of the Instream Flow Requirements of Rivers. Water Law Review Final Report for Policy Development for the Department of Water Affairs and Forestry, Pretoria. Freshwater Research Unit, University of Cape Town, South Africa.

Tharme, R. E., (2003). A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. Riv. Res. & Applicat.,19, 397-441.

UNAL. (2008). Metodología para la estimación de caudal ambiental en proyectos licenciados. Informe Final. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 134p.

Valencia. (2000). Cultura y sociedad en un proceso de selección de tecnologías de potabilización de agua. En: Mem. curso internacional de selección de tecnologías de

potabilización de agua. AGUA 2000. Cinara. Cali, Colombia.

Vélez, H. (2005). Remendar el agua. Ecología política y justicia ambiental. CENSAT AGUA VIVA, Bogotá.

Zamora, G. H. 1999. Adaptación del índice BMWP para la evaluación de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia, Sp.

Zuñiga, M.C. & Cardona, W. (2009). Bioindicadores de calidad de agua y caudal ambiental, En: Caudal ambiental: conceptos, experiencias y desafíos. 1 ed. Programa Editorial Universidad del Valle, 328 p.

Zuñiga, M.C. & W. Cardona. (2010). Bioindicación ambiental como herramienta en evaluación de calidad de agua y caudal ecológico. En Mem. I Congreso Internacional de caudal ecológico y cambio climático. universidad Distrital. Bogotá. 20p.