

Propuesta de seguimiento hidrobiológico del Régimen de Caudales Ecológico «RCE» para el río Teusacá con base en el análisis del modelo PHABSIM y la metodología IFIM que permitan su conservación.

Mesa F. Duvan J.

Santo Tomas de Aquino University, Bogotá, Colombia, teusaca1@yahoo.es

ABSTRACT

This paper shows some of the conceptual approaches and technical and operational adjustments to assess environmental flow regimes (EFR), PHABSIM and modeling with the use of IFIM methodology in the river Teusacá-Cundinamarca, as a strategy to monitor and assess ecological limits to variations at spatial and temporal flows of water for conservation and watershed management in Mountain Rivers of Colombia. It makes use of theoretical bases of ecohydraulics, the application of biological indices and the creation of preference curves to distinguish the suitability of aquatic habitats and ecosystems of different communities in an experimental section of the basin.

Keywords: environmental flows, IFIM, PHABSIM, Alterations and hydrological variability, Aquatic ecosystems

RESUMEN

Este artículo presenta algunas de las aproximaciones conceptuales y adaptaciones técnico-operativas para evaluar los «regímenes caudal ecológico «RCE», modelando con PHABSIM y el uso de la metodología IFIM en el río Teusacá-Cundinamarca, como estrategia para monitorear y estimar límites ecológicos a variaciones a escala espacial y temporal de los flujos de agua con fines de conservación y ordenación de cuencas en ríos de montaña de Colombia. Se hace uso de bases teóricas de la ecohidráulica, la aplicación de índices biológicos y la creación de curvas de preferencia para distinguir la idoneidad de hábitats y ecosistemas acuáticos de diferentes comunidades en un tramo experimental de la cuenca.

Palabras claves: Caudal ecológico, Alteraciones y variabilidad hidrológica, ecosistemas acuáticos, PHABSIM.

1. INTRODUCTION

El manejo integral de los ríos que se está promoviendo en Colombia con base a la emisión de la Política de Gestión Integral del Recurso Hídrico de 2010 (MAVDT, 2010), debe establecer unos Regímenes de Caudales Ecológicos, ambientales o de reserva «RCE» comprensivos que consideren las facetas de un río: como reserva hídrica y ambiental (Diez, 2006). Un «RCE» confiable permitirá un aprovechamiento equitativo de los bienes y servicios inherentes al medio fluvial, pero conservando el patrimonio hidrobiológico y sociocultural, las dinámicas geomorfológicas y los valores intrínsecos cada vez más apreciados (ecológico, cultural, recreativo, deportivo y estético). La metodología «Instream Flow Incremental Methodology IFIM» (USGS, 2008) con el paquete informático «Physical Hábitat Simulation

PHABSIM » se usa para modelar la ecohidráulica en ríos y en este caso en específico para el Río Teusacá afluente del río Bogotá. Se ha establecido un protocolo de seguimiento y caracterización biofísica del tramo fluvial que se considera apropiado o representativo como unidad hidrogeomorfológica para el estudio de caudales ecológicos, cuyo balance entre la precisión y el costo está optimizado. El caudal ecológico es un instrumento clave para la planificación y gestión apropiada en términos de sostenibilidad de los usos y disposiciones de la ordenación técnica de estas corrientes, que puedan regular técnica y administrativamente las negociaciones y adjudicaciones de concesiones para el abastecimiento de agua, sin agotar la base que sustenta la capacidad biogénica propia de la cuenca. El presente trabajo desarrolla una propuesta metodológica para incorporar un estudio de «RCE» en el río Teusacá con el que se pueda hacer seguimiento hidrobiológico e hidráulico que se ajuste a ríos de montaña y que además sea un referente conceptual y operativo en la fijación «RCE» para la región Andina de Colombia.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Técnicas de muestreo. Inicialmente se determinó el orden fluvial del tramo en función de la media geométrica de los caudales registrados en varias estaciones durante un periodo mínimo de 10 años (datos Estación Limnimétrica Puente la Calera del IDEAM), con el objeto de ajustar la fijación del régimen de caudal ecológico al hidrograma natural del Río Teusacá de manera aceptable.

Protocolo de campo: en esta etapa con base en el estudio morfométrico y ambiental de la cuenca media-alta del Río Teusacá durante cuatro campañas en dos hidroperiodos del sistema bimodal de la sabana de Bogotá comprendidos entre (Junio-Julio - Diciembre Febrero de 2008 y 2009), se simplificó el tramo de estudio mediante 4 secciones transversales que pudieran reflejar los micro, meso y macrohábitats presentes en esta corriente. Para la caracterización ecosistémica e hidrodinámica del río se fraccionó en diferentes unidades de biotopo y morfodinámicas disminuyendo el margen de error por ecotonos y zonas transicionales. En el tramo se realizó un inventario de los mesohábitats existentes (remanso, rápido, orilla y tabla).

Levantamiento topográfico: Se determinaron los niveles de caudal 0 en cada una de las secciones transversales y la pendiente del tramo, también se midió el nivel de superficie libre correspondiente a cada caudal circulante (en cada sección y cada una de sus celdas), del cual se obtiene el valor de referencia para la simulación hidráulica. La profundidad máxima de cada sección se obtuvo como la diferencia entre el nivel de superficie libre NSL y el Talweg.

Muestreo Biológico: para este se empleó una Red Surber con el fin de coleccionar las comunidades presentes en cada una de las secciones transversales y una Draga Van Veen en ella se coleccionaron muestras del sustrato y las comunidades que allí habitan. El sustrato se describe mediante el tipo de material, su clasificación en diámetro y el recubrimiento por material fino.

Protocolo para la calibración del modelo PHABSIM: Con los datos obtenidos de la sección transversal como son: velocidad, profundidad, sustrato, cobertura, temperatura, pH, oxígeno disuelto, se obtuvo una relación cualitativa y cuantitativa entre el caudal circulante en el tramo del río y el hábitat fluvial físico disponible para la comunidad biológica.

El Río Teusacá tiene su origen en el sistema montañoso en la franja del Páramo de Cruz Verde al oriente de la ciudad de Bogotá, discurre con dirección sur-norte siendo tributario de la cuenca del río Bogotá a la altura del municipio de Tocancipá. Sus aguas se encuentran reguladas y en régimen artificial desde el año 1999 debido mayoritariamente a la detención de caudales por la operación del embalse de San Rafael en el municipio de la calera. La localización de la zona de estudio se encuentra delimitada por las cotas 2700 m.s.n.m. y 3100 m.s.n.m., por el oriente con la divisoria de aguas del páramo Cruz Verde, limita al sur con la carretera vía Choachí desde el Km. 9 hasta el Km. 18.



Figure 1: Campaña Hidrobiológica en el Río Teusacá.

Simulación Hidráulica: en este punto se caracterizaron las variables físicas de la corriente (velocidad, profundidad, sustrato y/o cobertura, etc.) para un rango definido de caudales simulados. La modelación hidráulica convencional del PHABSIM, utiliza métodos estadísticos y modelos hidráulicos en una dimensión (1D), esta simulación consta de dos fases: en la primera se calcula el Nivel de la Superficie Libre (NSL) generado por cada uno de los caudales simulados y en la segunda se calcula la velocidad media en cada celda para esos mismos caudales, a partir de su profundidad respecto al NSL correspondiente.

Curvas de preferencia: con base en la información tomada (Índices biológicos y grupos funcionales), se diseñaron las curvas de preferencia, que muestran el nivel de adecuación de los organismos respecto a los parámetros que determinan su hábitat físico.

Simulación del Hábitat Físico: con ayuda de los resultados de la simulación hidráulica, se utilizan las curvas de preferencia con el fin de establecer una relación entre el caudal circulante y el hábitat físico, esto se expresa en SPU. El modelo PHABSIM, agrupa cuatro simulaciones del microhábitat las cuales abarcan gran parte de los enfoques para la soluciones de conflictos en los ríos regulados, estos son: HABTAE, HABTAV, HABTAM y HABEF.

Tratamiento de los Resultados. En este punto se mencionan algunas de las generalidades del tratamiento a la información, mediante la aplicación de IFIM para el uso del modelo PHABSIM.

DESARROLLO

Componente hidráulico: con los datos obtenidos de cada una de las secciones transversales en cada uno de los puntos definidos, organizados en una matriz por secciones se inicia la digitación y edición de las aplicaciones del programa, en “Edit Cross Section data” donde inicialmente se introducen los datos de la sección transversal aforos con caudales medios máximos y mínimos observados y calculados.

Componente Biológico: en este componente se construyeron las curvas de preferencia con base a la caracterización biológica, ecosistémica y de exigencias de hábitat de las especies y familias bentónicas asociadas a la dinámica fluvial en lo respectivo a la velocidad y profundidad. En este aparte se denominan las curvas, se nombran las especies y asigna el estadio de vida, el cual para el caso de este estudio no fue considerado ya que no se hizo bajo comunidades ícticas.

Simulación del nivel de Superficie libre WSL: En la modelación del WSL se utilizó mayoritariamente para los caudales de cada sección el método MANSQ en cada una de las celdas, que tiene que ver con la utilización de la expresión de Manning que relaciona las líneas de energía con el tipo de canal, la pendiente y el coeficiente de rugosidad, suponiendo que el río en este punto se comporta como un flujo gradualmente variado. Se hicieron también evaluaciones con el STQ, en el que con base a las simulaciones no difirió mucho del MANSQ. Se asignó un radio hidráulico normal y ecuación de Manning

Simulación de velocidad: para este método se tuvo en cuenta el factor de ajuste de velocidad dada por el manual (IOC 11) con rango mínimo de 0,030 y máximo de 0,7 en todos los caudales simulados y calculados. En este panel se calibro el set de velocidad y ajusto los caudales con regresión de la

velocidad, de tal forma que se pudieran obtener las gráficas de ajuste del factor de la velocidad vs Caudal para las cuatro secciones y la simulación de velocidades y niveles de superficie libre.

Módulo de Simulación del hábitat: se emplearon dos módulos; el primero HABTAM para simular las condiciones de las celdas centrales independientes del tramo y la sección y el segundo HABTAE que además de hacer uso de la celda central hace un barrido por las celdas contiguas de las secciones verificando idoneidad de las especies a condiciones más amplias y complejas. Este proceso fue útil para comparar y relacionar la calidad de los hábitats frente los requerimientos de los GREMIOS contemplando que las comunidades biológicas pueden estar con meta poblaciones, migraciones o de manera fortuita en esas celdas en particular. Con este método se configuraron las opciones de salida de las WUA, se dieron las restricciones de acuerdo al ajuste de velocidades y caudales. Por último se procede a obtener los reportes en forma de graficas u hojas de cálculo con los cuales se comienza la fase evaluación, interpretación y análisis de los RCE que pudieran afectar o favorecer las dinámicas poblacionales y el hábitat de los gremios.

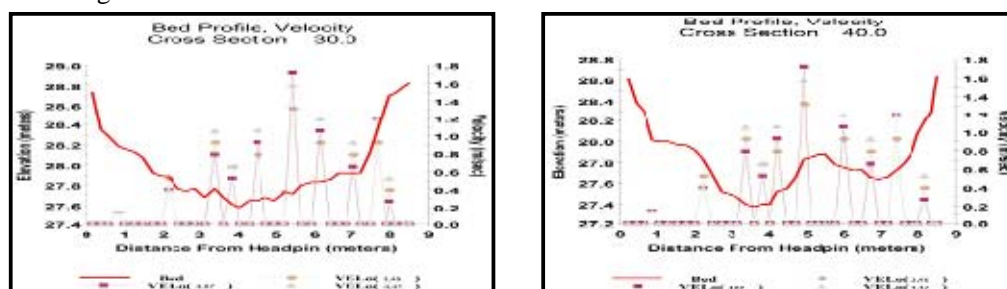


Figura 3. Perfiles de velocidades observadas y calculadas en campo en dos secciones transversales de división del tramo.

Se pueden apreciar las líneas de energía que presentan las velocidades calculadas sobre cada uno de las secciones transversales. Esta opción del PHABSIM entrega la repartición de velocidades medias, mínimas y máximas sobre el cauce, paso importante para simulación hidráulica. Son velocidades de interés en el componente del PHABSIM por cuanto son las velocidades de referencia que tomará el modelo para calibrar y simular los hábitats potenciales y las series de Hábitat total SHT.

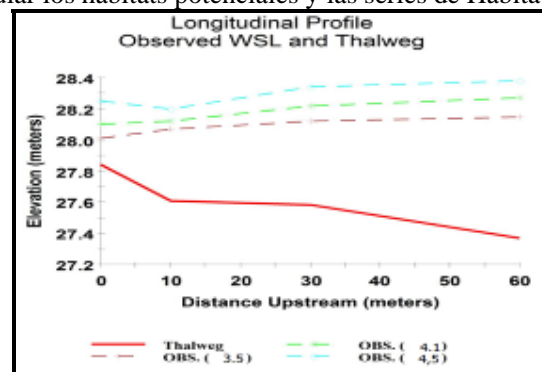


Figura 4. Perfil longitudinal del tramo estudiado simulado con PHABSIM

Se muestra el perfil del Talweg o punto mínimo de simulación hidráulica. Este Punto inferior es necesario para la simulación porque desde el punto de vista de la hidráulica es una zona ineficiente para la modelación.

3. RESULTADOS Y ANALISIS

Biología de la zona de estudio. Dentro de las familias presentes se encontraron *Baetidae*, *Leptohyphidae* y *Trichoritidae*, *Hydrobiosidae*, *Hydropsichidae*, *Simuliidae*, *Ceratopogonidae* y *Tipulidae* y algunos especímenes de *Tubificidae*.

PERIODO DE LLUVIAS			SECCION 1				SECCION 2				SECCION 3				SECCION 4				TOTAL	Re	Remanso			
Celda por cada seccion			c1	c2	c3	c4	c1	c2	c3	c4	c1	c2	c3	c4	c1	c2	c3	c4		Ra	Rapido			
Velocidad del Punto			0,14	0,8	1,19	0,8	0,14	0,8	1,33	0,93	0,14	0,54	1,33	0,93	0,14	0,67	1,19	0,8		Ta	Tabla			
Habitat			Re	Ra	Ta	Ra	Re	Ra	Ta	Ra	Re	Ra	Ta	Ra	Re	Ra	Ta	Ra						
CLASE	FAMILIA	GENERO																	Total	%				
OLIGOCHAETA	<i>Tubificidae</i>	<i>Tubifex</i>	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4,9
INSECTA	<i>Chironomidae</i>	<i>Morfoespecie 1</i>	1	0	1	0	1	0	2	1	1	1	1	0	2	0	3	0	14	14	17,1			
INSECTA	<i>Tipulidae</i>	<i>Exagena</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	3	3	3,7			
INSECTA	<i>Ceratopogonidae</i>	<i>Morfoespecie 3</i>	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	2	0	1	0	0	0	7	7	8,5			
INSECTA	<i>Simuliidae</i>	<i>Morfoespecie 2</i>	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	5	2	0	2	2	1	17	17	20,7			
INSECTA	<i>Hydroptilidae</i>	<i>Morfoespecie 4</i>	0	0	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4,9			
INSECTA	<i>Hydrobiosidae</i>	<i>Atopsiche</i>	2	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	2	1	7	7	8,5			
INSECTA	<i>Leptohyphidae</i>	<i>Leptohyphes</i>	1	0	3	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2	0	10	10	12,2			
INSECTA	<i>Tricorythidae</i>	<i>Morfoespecie 5</i>	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	2	1	1	11	11	13,4			
INSECTA	<i>Baetidae</i>	<i>Baetodes</i>	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	5	5	6,1			
TOTALES			6	5	6	4	6	2	8	3	2	5	11	2	6	6	11	3	82	82	100			

Figura 5. Índice de Hilsenhoff aplicado a los géneros presentes en el periodo de lluvias y seco

Análisis de las comunidades Bénticas: el estudio de la estructura de las comunidades bentónicas de esta zona tienen gran importancia en la evaluación del ecosistema acuático, en razón de la interacción que existe entre el medio abiótico y los organismos. Debido a que los organismos viven adheridos a las rocas, palos y otros substratos presentes en el lecho de los cuerpos de agua, ellos permanecen poco tiempo soportando los cambios producidos en el agua, tiempo en el cual se alteran los ciclos de las comunidades biológicas, acentuando el desarrollo de las más tolerantes y permitiendo la desaparición de las más susceptibles. El análisis tanto cualitativo como cuantitativo de la estructura de las comunidades y su relación con el medio ambiente, permite evaluar el estado de deterioro del ecosistema acuático.

Al realizar el análisis de las muestras de los dos periodos del año, se puede evidenciar que los géneros que predominan en el periodo seco son la *Morfoespecie 5* con un 16.4% y *Atopsiche* con un 13.7% y en el periodo de lluvias son la *Morfoespecie 2* con un 20.7% *Morfoespecie 1* con un 17.1%.

Análisis de la aplicación de Índices y pruebas estadística: El Índice de Hilsenhoff es de carácter cuantitativo lo que hace es asignar un puntaje a cada familia en función a su sensibilidad a las contaminación y el número de morfo especies existentes en cada familia, permite clasificar el tramo de un río de Clase I (excelente) a Clase VII (muy malo). Dada la simplicidad en la estimación de este índice debido a su bajo nivel de resolución taxonómica y a su adecuada correlación con factores estresores antropogénicos (contaminación química, modificaciones del hábitat), en la actualidad ha sido ampliamente utilizado en diferentes zonas del mundo. Para el caso de la zona de estudio, el tramo seleccionado se puede calificar como IV (Bueno), de acuerdo a los valores arrojado por el índice, es decir las condiciones del tramo son relativamente buenas para el desarrollo de las comunidades que allí habitan.

Por otra parte se realizó un análisis de similaridad entre cada una de las secciones transversales de muestreo, utilizando el programa STATGRAPHICS Plus, mediante el cual se logró reconocer una amplia similitud entre las estaciones 1 y 3 (a una línea arbitraria de corte de un 35 % de similitud), los cuales se ajustan a su ubicación espacial dentro de la cuenca.

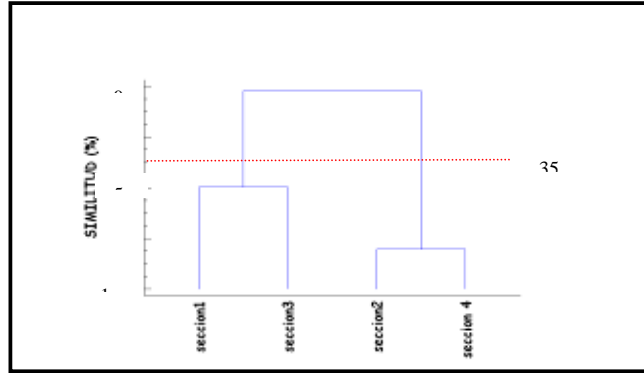


Figura 6. Dendrograma que agrupa las secciones de muestreo en el tramo de estudio.

En el análisis de varianza los datos con el programa STATGRAPHICS se encontró que: el F-ratio, que en este caso es igual a 0,985816, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es superior o igual a 0,05, estableciendo que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 4 variables con un 95,0% de confiabilidad.

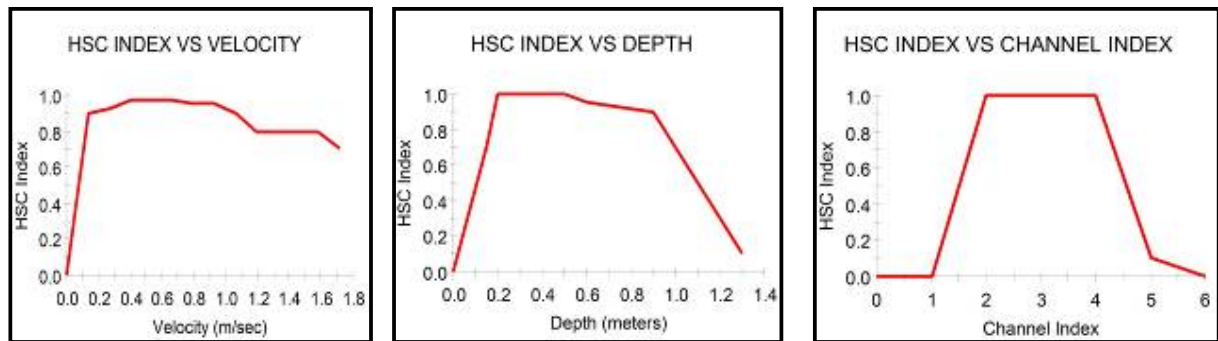


Figura 7. Curvas de preferencia o idoneidad para la comunidad GREMIOS agrupada para el estudio de exigencias de hábitat fluvial en el tramo del río Teusacá. (1 Vel), (2, Profundidad) y (3 Índice de canal).

La primera curva muestra el índice de preferencia de las especies sobre la velocidad. Se puede ver que esta comunidad de organismos prefiere velocidades arriba de 0,11 m/s manteniendo su preferencia de forma constante hasta aproximadamente 1,1 m/s. Las comunidades bentónicas en velocidades inferiores de 0,18m/s pueden limitar la capacidad biogénica, especies de macroinvertebrados tales como los ephemeropteros ya que requieren aguas relativamente turbulentas para capturar su alimento, cumplir sus ciclos vitales y contar con las condiciones de hábitat en términos de profundidad y sustrato para sobrevivir.

En la segunda curva se puede observar la preferencia del GREMIO sobre la profundidad. Este parámetro es más limitante para esta especie que la velocidad, permitiendo un buen índice entre 0.2 y 0,9m. Esto puede obedecer a que las comunidades rastreadas y encontradas son macroinvertebrados del orden Insecta los cuales habitan en agua con buenas características de iluminación y de refugio los cuales se presentan en este tipo de profundidades.

El propósito de modelar con especies biológicas los regímenes de caudales ecológicos es poder ofrecer modelos predictivos que ayuden a definir las mejores alternativas de uso de una corriente determinada,

para ello se debe llegar con investigaciones más profundas e interdisciplinarias que conduzcan a establecer no sólo los caudales ecológicos para unas (s) especies de interés, comercial, biológico, ambiental sino llegar a definir un índice de integridad y calidad biológica y ambiental por regiones en los ríos de tal forma que se puedan construir curvas de preferencia idóneas que incluyan todos los aspectos de interés de un río.

Cálculo de WUA/s. Área ponderada Útil o SPU-Q Superficie ponderada Útil. Modelación de los componentes de simulación biológica HABTAE y HABTAM. Se puede apreciar que para estas especies en particular se presenta un incremento sostenido del área aprovechable de hábitat en la medida que se incrementan los caudales. Sin embargo es necesario distinguir cuáles de estas especies que hacen parte de la familia GREMIOS pueden presentar condiciones de perturbación o irritabilidad antes estos eventos máximos.

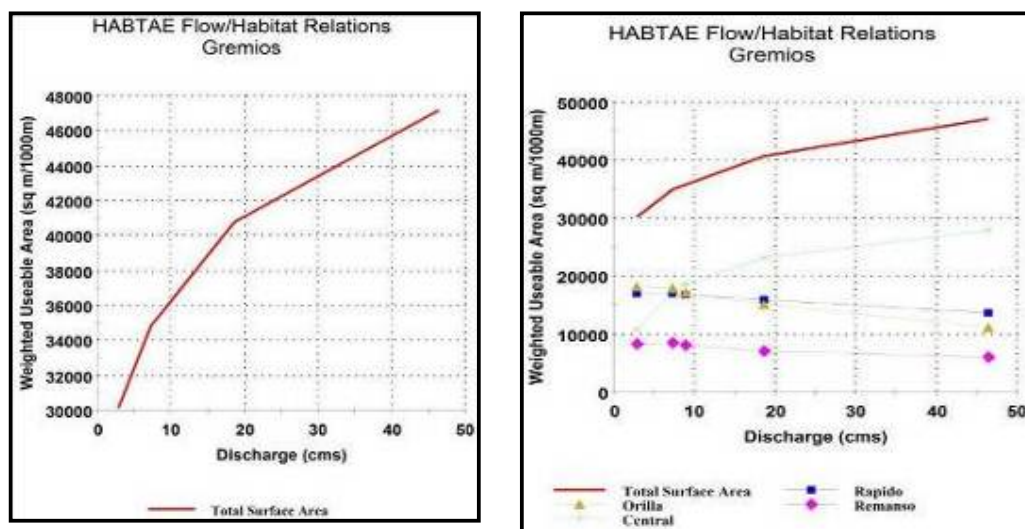


Figura. 8 Área Ponderada Útil WUA o SPU de Gremios frente caudales observados y Superficies. Simulados en PHABSIM y ponderadas útiles de los cuatro mesohábitats (secciones) tipificadas en el río Teusacá.

Estas serían las conductas después de cruzar en el módulo HABTAE la condición hidráulica con las que ligan el hábitat con este río. Se puede analizar que el mesohábitat más favorecido con los incrementos de caudal sería el de tablas o central por tener mayores espacios de aprovechamiento en los que se podrían multiplicar y usar como nuevos nichos ecológicos. A diferencia del central los rápidos, remansos y orillas presentarían condiciones extremas en la cuales podrían ser arrastrados como meta poblaciones, teniendo una disminución gradual sobre sus estructuras y poblaciones.

Análisis de resultados de la evaluación y simulación con PHABSIM de los aspectos biológicos e hidráulicos del tramo del Río Teusacá. El tramo estudiado es un tramo curvo de aguas poco profundas y rápidas, con algunos remansos puntuales, encajado en un valle con perfil en forma de V totalmente truncada. La altitud media es de 2825 m.s.n.m; el lecho se ve con cierta dificultad, debido a una turbidez permanente de las aguas. La anchura media es de 8,52 m, con una profundidad media en el momento del muestreo de 48 cm, en la composición granulométrica del sustrato predominan las rocas y bloques (medios y grandes) y algunas gravas (superiores a los 125 mm). La orilla oriental presenta una estabilidad

pobre, debida a la presencia de gravas y parcelación de terrenos de uso agropecuario fácilmente erosionables con aguas altas, a la derecha buena cubierta de vegetación arbustiva y arbórea que consolida el banco lateral oriental. La vegetación se compone de especies arbóreas comunes en el bosque andino, como aliso, arrayán, cerezo, drago, laurel de cera, nogal, roble y sauce, entre otros que se encuentran en este tramo de la cuenca, aguas abajo la vegetación está compuesta por arbustos como amarillo, angelito, chusquejón, cenizo, hayuelo, papayuelo, espino morado y otros. La calidad de las aguas, obtenida en función del estudio de macrobentos del tramo, está en la categoría de "moderadamente contaminadas a limpias", según el índice de saprobio del río en esta parte. Posee un buen índice de refugio y sombra resultando una disponibilidad de refugio Media alta.

Con base a la anterior se puede decir: que el régimen de caudales ecológicos RCE consistirá en los niveles de agua que mantengan un nivel aceptable de las condiciones de calidad y cantidad de la fauna acuática en estudio, en este caso las Bentónicas, que como bioindicadores mantendrán alerta sobre cualquier cambio drástico que se presente en la cuenca del Río Teusacá, sin embargo por sus características de vida se reflejarán los caudales históricos y sus modificaciones sobre ellas.

Se recomienda entonces mantener un caudal ecológico para cada época del año ojalá en meses. Después de analizados las series de tiempo de caudal y las simulaciones del PHABSIM se estima entonces dejar un caudal de:

Tabla 1. Caudales óptimos para cada uno de las secciones transversales estudiados en el rio Teusacá m³/s.

SECCION	PERIMETRO MOJADO (m)	ORILLA	REMANSO	RAPIDO	CENTRAL - TABLA
0,0	7,53	0,8	1,1	1,4	1,47
10,0	7,45	0,75	1,25	1,35	1,44
30,0	7,69	0,74	1,31	1,32	1,49
40,0	7,81	0,7	1,36	1,29	1,48

Los criterios para la determinación del régimen de caudales ecológicos son los expuestos en el ítem correspondiente de la metodología. Los porcentajes de los caudales ecológicos para el módulo ecológico, han sido calculados con el mínimo requerido de 0,15 m³/s para los organismos objetivo. Esto con base a la caracterización biológica y de la simulación son los caudales aconsejables con los cuales la mayoría de los macroinvertebrados bentónicos del Río Teusacá pueden subsistir de forma adecuada. Estos caudales están por debajo de los caudales naturales, incluso del mes más seco promedio (0,862m³/s en el mes de Febrero) estos caudales permiten un desarrollo óptimo de estas comunidades acuáticas. Por ello el módulo ecológico es constante en el año siendo anualmente necesario en promedio mantener un caudal de 1,8m³/s equivalentes al 8,35% de las aportaciones naturales de la cuenca en la parte alta.

Tabla 2. Regímenes de caudales ecológicos RCE mínimos para la cuenca alta del rio Teusacá en m³/s.

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Q NATURAL	0,946	0,862	1,136	1,689	1,482	2,008	3,078	3,271	2,945	1,315	1,425	1,375
Qeco	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
%	15,8	17,4	13,2	8,8	10,1	7,4	4,8	4,5	5,1	11,4	10,5	10,9

Criterios para definir caudales ecológicos Rio Teusacá.

Determinación de Caudales Ecológicos: la especie objetivo seleccionada es el conjunto GREMIOS compuestos por algunos insectos y oligoquetos en sus estados de desarrollo debido a la carencia de peces en la zona de estudio. En este capítulo se incluyen las gráficas APU-caudal de cada uno de las secciones muestreadas y la gráfica correspondiente a las curvas APU-caudal integradas.

Teniendo en cuenta la condiciones que presenta actualmente Teusacá bajo etapas de vida cortas y niveles de respuesta rápidos, fue necesario construir y proponer con base a índices de riqueza, diversidad y abundancia de las especies y familias bentónicas muestreadas en el tramo y confirmadas por otros estudios bibliográficos, las curvas de preferencia de estas comunidades sobre parámetros hidrobiológicos y geométricos de la cuenca; de tal forma que se pudieran caracterizar sus requerimientos de hábitat y nicho ecológico a través de grupos funcionales (GF) y así ponderar valores relativos a los índices de idoneidad por cada parámetro de la cuenca (profundidad y velocidad), sustrato el cual se consideró homogéneo en el tramo, también se analizaron los ciclos de vida de las especies para tener las curvas, insumo indispensable en la metodología IFIM y la modelación con el programa PHABSIM..

Para tener un único RCE régimen de caudales ecológicos bajo este método se promediaron los datos de caudales calculados y observados en los dos periodos del año con respecto a las series de tiempo de la CAR y el IDEAM con un record de 15 años aproximadamente en cada estación de aforo.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En Colombia, se está generando un aprovechamiento creciente de sus ríos, pero carece de reglamentación y pautas científicas para calcular caudales ambientales confiables. Por esto se piensa que esta propuesta enfocada al Río Teusacá representa un referente de gran importancia para la determinación avanzada de caudales ambientales en el contexto de la planificación ambiental de cuencas en Colombia (POMCA).

Para la óptima aplicación de estos métodos, es básica la elección de la especie o especies objetivo del estudio; esta debería ser siempre la especie más exigente que se quiere conservar y que habita en el tramo.

En la cuenca del Río Teusacá, tanto la distribución como la abundancia de los de las comunidades de insectos están más influenciadas por aspectos ecológicos como la disponibilidad de diversos hábitats (principalmente vegetación acuática ribereña, troncos y hojas en descomposición), el uso del suelo y la velocidad de corriente, por las variaciones individuales en los parámetros físicos y químicos del agua.

Las diferencias en la distribución espacial y temporal de los individuos, estuvo asociada con otras características como el amplio rango de distribución altitudinal, la capacidad de tolerar cambios en las condiciones físicas, químicas y ecológicas del río, la naturaleza propia de los ecosistemas lóticos evaluados, las adaptaciones morfológicas y fisiológicas a estos ambientes, su alta diversidad y a la capacidad que tienen estos organismos para colonizar diferentes tipos de sustratos naturales disponibles en un sitio en un momento dado, a pesar de la capacidad de movilización de algunos géneros.

El RCE se puede emplear como herramienta en las metodologías de cálculo para definir índices de escases hídrica, índice de alteración del flujo, estrés hidrológico y huella hídrica por sectores o regiones del país, incluso puede ser usado como mecanismo para la evaluación de políticas sectoriales y departamentales en temas de usos y aprovechamiento de recursos hídricos a diferentes escalas.

Finalmente la modelación y simulación del río bajo diferentes parámetros (extremos y no extremos) requiere de la vinculación de más comunidades académicas y científicas que de forma interdisciplinar y

multidisciplinar brinden apoyo permanente no sólo con la interpretación y análisis de los resultados IFIM-PHABSIM sino como suministradores incondicionales de información de primera mano que alimenten las líneas base con datos fiables y de alta confiabilidad, a través de una plataforma multiusuario de vigilancia y seguimiento del patrimonio hídrico de la nación.

4. BIBLIOGRAFIA

ALVES, M y Bernardo, J. 2000. Contribuição para uma metodologia de determinação do caudal ecológico em cursos de água temporários. 5º Congreso da Água. Lisboa-Portugal

AGUIRRE, A., Vicuña, B., 2000. *Desarrollo metodológico sobre determinación de caudales Ecológicos en la CAPV: Criterios y consideraciones*. 1º Congreso sobre Caudales Ecológicos. Ponencias y conclusiones. APROMA (Asoc. Profesionales del Medio Ambiente). Ba"RCE» Iona. 407 pp.

ARTHINGTON, A.H., *et al.* Development of a Holistic Approach for Assessing Environmental Flow Requirements of Riverine Ecosystems. En: Pigram J.J., Hooper B.P. (eds). *Proceedings of an international Seminar and Workshop on Water Allocation for the Environment*. The Centre for Water Policy Research, University of New England. Armidale, Australia, 1992.

DIEZ Hernández, J.M. and Martínez de Azagra, A., Directrices para la Modelación Hidráulica de Caudales Ambientales con la Metodología IFIM. IV Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua, Tortosa (España), Fundación Nueva Cultura del Agua, 8-12 diciembre 2004, 2004b, en CD.

IDEAM, (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). Estudio Nacional del Agua, Bogotá, <http://www.ideam.gov.co/publica/index4.htm>, 2000, pp. 27-39.

KING, J y Low, D. 1998. Instream Flow Assesment for regulated rivers in South Africa using Building Block Methodology. Aquatic Ecosystem Health and Management. Vol. 1, nro 2, p. 109-124.

MINISTERIO de ambiente, Vivienda y desarrollo territorial de Colombia. Resolución 0865 de 2004 por la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el decreto 155 de 2004, Diario oficial N° 45630 de Agosto 4 de 2004, 2004.

MINISTERIO de ambiente, Vivienda y desarrollo territorial de Colombia. Proyecto de Ley del Agua. <http://www.miniambiente.gov.co/>, 2006

ORREGO, J. 2002. Legislación e institucionalidad para la gestión de las Aguas. Ed. Fundación TERRAM. Chile.

PALAU, A. *Régimen ambiental de caudales: estado del arte*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2003. .

TENNANT, D. Instream Flow Regimes for Fish, Wildlife, Recreation and related Environmental Resou"RCE» s. En: *Fisheries*, 1, 1976.

Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.