

CAUDALES DE CONSERVACION DE LOS ECOSISTEMAS FLUVIALES DEL RÍO FRÍO EN COLOMBIA, TRAMO CAJICÁ, CHÍA

CONSERVATION FLOWS OF RIVER ECOSYSTEMS OF THE FRIO RIVER IN COLOMBIA, ANALYSIS SECTION CAJICA, CHIA

Agualimpia Dualiby, Yolima del Carmen¹; Castro Méndez, Carlos Enrique²

Resumen

La determinación del caudal ecológico sin considerar los riesgos de las especies involucradas en el ecosistema es una decisión incompleta y de alguna manera arriesgada. La propuesta del caudal de conservación de los ecosistemas fluviales tuvo como objetivo conocer el grado de integración existente entre especies involucradas en el sistema natural ambiental y sus requerimientos de agua. La introducción de especies exóticas es un inconveniente para el desarrollo de las especies autóctonas, que afectan el último eslabón de la cadena trófica como es el caso del pez Capitán de la Sabana (*Eremophilus mutisii*) que se encuentra amenazado.

El método incluyó los análisis de movimiento de agua en los suelos y el inventario de especies introducidas y nativas, confrontados con los requerimientos de hábitat en condiciones mínimas de agua que puede soportar el pez y los volúmenes máximos de agua tolerados por el mismo. Se realizó el análisis hidráulico del río complementado mediante modelación para la conversión de los niveles de éste a caudales, la determinación de las secciones que se desbordan y en algunos casos permiten el desarrollo de hábitat para esta especie del río.

Palabras claves. Ecosistemas fluviales, caudales de conservación, vegetación riparia y prácticas de manejo.

Abstract

The determination of the ecological flow without considering the risks of the species involved in the ecosystem is an incomplete and some risky decision. The proposal of the flow of conservation of the fluvial ecosystems had as objective to know the degree of integration existing between species involved in the natural environmental system and its water requirements. The intrusion of exotic species is a disadvantage for the development of native species, which affect the last link in the food chain, as is the case of the fish Capitán de la Sabana (*Eremophilus mutisii*) that is threatened.

The method included analyzes of water movement in the soils, the inventory of introduced species and the local species confronted with the minimum water requirements of the fish and the maximum tolerated by the fish. The hydraulic analysis of the river was complemented by modeling for the conversion of the river levels to flows, the determination of the sections that overflow and in some cases allow the development of habitat for this species of the river.

Key words. Fluvial ecosystems, conservation flows, riparian vegetation and management practices.

1. INTRODUCCIÓN

Los procesos de planificación local tienen inconvenientes en llevarse a la práctica pues la mayoría de información con la que se cuenta proviene de niveles de aplicación general que poco ayudan en la toma de decisiones. Los planes de ordenamiento y gestión integral de las cuencas hidrográficas que se utilizan en Colombia dejan por fuera del diagnóstico y las aplicaciones a los sectores más pequeños dentro de un municipio. Tal es el caso de la subcuenca del río Frío que de acuerdo con información de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) tiene una extensión de 20.160 km² y representa el 3,4% de la cuenca del río Bogotá que se encuentra en estudio (CAR, 2006). El proceso de ocupación de tierras en la sabana afecta los planos de inundación del río Frío que es un afluente del

Bogotá; el establecimiento de cultivos de flores en la proximidad del río que hace parte de la zona en estudio se convierte en una amenaza seria para los caudales superficiales, ya que se hace extracción tanto de agua superficial como subterránea para fines domésticos y agrícolas. En los sectores de Canelón, Fagua, y fincas campestres del río Frío abundan urbanizaciones formales e informales que impactan e recurso hídrico superficial y según la CAR en el tramo Cajicá - Chía hay 60 concesiones para aprovechamiento de agua subterránea que corresponde a un punto de extracción por cada 200 m de tramo de río analizado.

El objetivo de la investigación fue analizar el grado de integración que hay entre especies mediante un método holístico que involucra paisajes, suelos, vegetación y comunidades ícticas. A partir de este

1 Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Colombia. yagualimpiadualiby@gmail.com

2 Grupo de investigación PROGASP. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Colombia.

análisis se identificaron los caudales necesarios para la conservación de los ecosistemas fluviales.

Los resultados de la presente investigación tienen su aplicación en el contexto local puntual ajustado

a ríos de sabana que presentan períodos de desbordamiento que garantiza el hábitat de las especies ribereñas, para el disfrute de un ambiente sano por parte de pobladores cada vez más próximos al cauce.

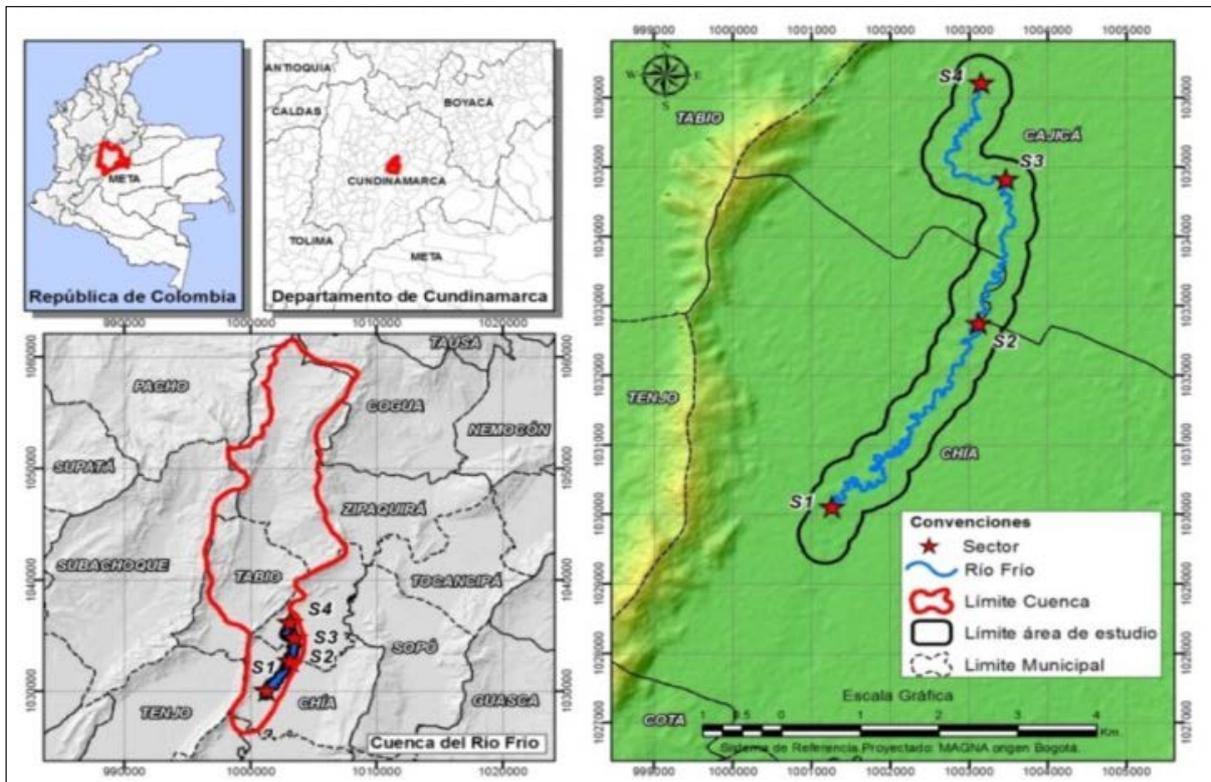


Figura 1. Localización general de la cuenca y del tramo de estudio – Río Frío

Fuente: Aqualimpia, 2015

2. ÁREA DE ESTUDIO E INFORMACIÓN DISPONIBLE

El río Frío nace en los cerros situados al noroeste de Zipaquirá (Páramo de Guerrero) y recorre parte de los municipios Tabio, Cogua, Cajicá, Chía y Zipaquirá hasta desembocar en el río Bogotá. La cuenca del río Frío es de 20.160 km² y las coordenadas geográficas que la limitan son: 4°50'00" y 5°10'00" latitud norte y 74°2'30" y 73°58'00" longitud oeste de Greenwich. El tramo de estudio, con una longitud aproximada de 14.030 m, está localizada en el altiplano Cundiboyacense y va desde Golpe de Agua -S4- en Cajicá hasta Puente Cacique -S1- en Chía (Figura 1). Este río cuenta con información secundaria como cartografía básica (planchas 208-IV-D, 209-III-C, 227-II-B, 227-II-D y 228-I-C) del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). De igual forma en el tramo de estudio está instalada una estación limnigráfica (Puente la Virginia) manejada por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) con cuyos datos diarios se calculó un caudal máximo mensual de 6.23 m³/s, un caudal medio 1.56 m³/s y un caudal mínimo de 0.56 m³/s.

En Colombia se han desarrollado investigaciones con respecto a las especies piscícolas y sus requerimientos de hábitat en ríos ubicados en

diferentes partes del país; aproximadamente el 42% de los peces que presenta alguna amenaza está ubicado en la cuenca del río Magdalena de la cual hace parte el río Frío, cuyas tierras según investigación realizada en la Universidad Santo Tomás de Aquino, USTA (2004), tienen gran presión por el recurso hídrico debido a la alta densidad poblacional. El aprovechamiento de los recursos naturales que existen en la subcuenca del río Frío ha modificado de manera significativa el estado original de éste. (Venegas, 2013).

Cuando se degrada el hábitat de las especies, se afecta el desarrollo de las mismas y se presenta en ellas un grado de amenaza; según el *Libro rojo* de los peces dulceacuícolas amenazados, se encuentra en dicha situación el Capitán de la Sabana (*Eremophilus mutisii*) (Mojica, Castellanos, Usma & Álvarez, 2002) entre otros.

En un sector del río Frío que pasa por el municipio de Cajicá el cual a su vez hace parte del tramo de estudio, se analizó la calidad del agua encontrándose que aparentemente no presenta contaminación, lo cual es un indicador de la *capacidad de respuesta del río* a las acciones humanas. En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos en tres sitios de muestreos según Venegas (2013).

Tabla 1. Parámetros físico-químicos en tramo del río Frío localizado en Cajicá

PARÁMETRO	UNIDAD	SITIO MUESTREO 1	SITIO MUESTREO 2	SITIO MUESTREO 3
Temperatura	°C	13.8	14.1	14.5
Grado de acidez o basicidad (pH)		7.2	7.3	7.29
Alcalinidad	mg/l	6	10	15.3
Cloruros	mg/l	2.5	6.1	12.6
Dureza (CaCO ₃)	mg/l	53.7	77.4	112.5
DBO5	mg/l	5.2	4.4	2.1
Oxígeno disuelto	mg/l	6.7	13.9	6.7
Saturación	%	87.6	101.3	66.8
Conductividad	µs/cm	84.6	183.3	152.1
Turbidez	NTU	10.63	5.97	5.26

Fuente: Venegas (2013)

Métodos aplicados en la determinación del caudal ambiental y su relación con la normatividad vigente

Existen varias denominaciones para referirse al caudal (mayormente conocido como ecológico o ambiental) que debe dejarse en una fuente hídrica para la propia subsistencia de esta y todo lo que conlleva; de igual manera existen múltiples métodos para la determinación del mencionado caudal, lo cual puede ser interpretado como que es difícil generalizar en este sentido. Diferentes autores han agrupado de varias maneras los métodos existentes teniendo en cuenta el tipo de información requerida,

las variables utilizadas o los objetivos pretendidos Palau, (2003), Aguallimpia y Castro (2006). Díez y Burbano (2006), clasifican los métodos de acuerdo con el enfoque de los mismos en: hidrológicos, hidráulicos, multivariados y ecohidráulicos.

Descripción de los métodos utilizados en Colombia

El caudal ecológico se implementó en Colombia a partir del Estudio Nacional del Agua elaborado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (IDEAM, 2000). Aunque no

se tenía un cubrimiento uniforme de estaciones, se aplicó el método hidrológico o de caudales históricos estableciendo porcentajes de la oferta bruta. Según IDEAM (2004) y Díez y Burbano (2006), inicialmente se adoptaron métodos que determinan un caudal mínimo relacionado con el 90% del tiempo de permanencia determinados en la curva de duración de caudales, la ocurrencia de un caudal con un tiempo de retorno de 2.3 años, o el valor de caudal correspondiente al 25% del caudal mínimo mensual multianual. En la versión siguiente el Estudio Nacional del Agua define que para el nivel local o regional es necesario evaluar la forma apropiada en la determinación del caudal ecológico de acuerdo con la gestión integrada que se tenga prevista para el recurso hídrico (IDEAM, 2010).

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible desde la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, desarrolló en unión con un grupo de investigadores de la Universidad Nacional de Colombia, una propuesta metodológica para la determinación de caudales ambientales que permitan garantizar la conservación y utilización del recurso hídrico en ríos regulados; la metodología muestra una interrelación de cuatro componentes que son el hidrológico, hidráulico, ecología acuática y calidad de agua, la cual se convierte en una variable que incide en los caudales de oferta para aprovechamiento, debido a su variabilidad y difícil control espacio-temporal (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, 2013).

En la reciente versión del Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2014), se avanza en la determinación del caudal ambiental a escala nacional, mediante la implementación de un nuevo determinante de la cantidad de agua que debe permanecer en los cauces naturales, el cual permite ajustar también indirectamente la oferta neta de agua. Se trata del índice de regulación natural de agua, cuyo valor depende del análisis de variabilidad del caudal diario representado en curvas. El IDEAM (2014) consideró como punto de inflexión un índice de 0,70 para decidir, en la curva de duración, si se aplica una permanencia de 75% (Q_{75}) cuando los índices de regulación son menores a 0,70 y un valor de caudal en la curva de duración de 85% (Q_{85}) cuando el río presenta variaciones mínimas diarias en su caudal, es decir índices de regulación mayores a 0,70. De acuerdo con los resultados del Estudio Nacional del Agua el río Frío configura un índice de regulación y retención de agua entre 0,5 y 0,65; según este método el caudal ambiental se determina en la gráfica por la permanencia del 75% del caudal, es decir se debe dejarla cuota de caudal más alta (Figura 2).

De acuerdo con el procedimiento propuesto por el IDEAM (2014) el caudal ambiental obtenido en la curva de duración con una permanencia del 75% para el río frío es de 1,54 m³/s (Figura 2).

Agualimpia (2015) comienza a trabajar los caudales de conservación de los ecosistemas fluviales basados en la sostenibilidad efectiva del recurso hídrico, es decir en el mantenimiento de los caudales de conservación de los ecosistemas fluviales basados en especies indicadoras de cantidad de agua. En este nuevo enfoque se tiene en cuenta las actividades que realizan los seres humanos que incide en la transformación del paisaje, y sus efectos negativos, los cuales pueden remediarse a través de la aplicación de medidas de control de escorrentía con el mejoramiento de la infiltración de agua en el suelo, se muestra la importancia que cumple el suelo en la regulación de los caudales de conservación. La implementación de prácticas de conservación de coberturas y de manejo de unidades de tierras como parte integral de los ecosistemas fluviales (Agualimpia & Castro, 2012).

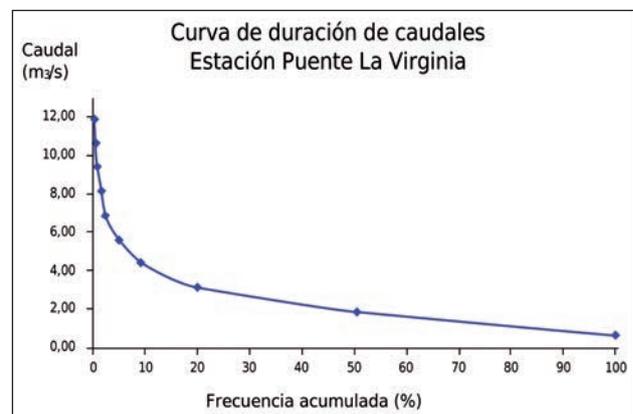


Figura 2. Frecuencia acumulada de caudales del río frío

La disponibilidad de agua para los ecosistemas fluviales depende de la escala temporal medida en la distribución de las lluvias y de las condiciones físicas relacionadas con la captación de las lluvias (tamaño y forma de la cuenca), condiciones hidráulicas y distribución hídrica en una zona hidrográfica en particular, pendiente del sector (factor relieve) y densidad de drenajes cuya variable permite estudiar los niveles de desalojo de las aguas de escorrentía. Estas variables caracterizan los elementos hidráulicos pertinentes a considerar en los estudios de caudales de conservación de los ecosistemas fluviales (Agualimpia & Castro, 2013).

Con el análisis de variables del suelo como profundidad efectiva, densidad aparente, humedad aprovechable (diferencia entre agua retenida a capacidad de campo y punto de marchitez permanente) junto a la presencia de capas compactadas, se puede argumentar que los suelos de la sabana de Bogotá (Altiplano cundiboyacense) poseen alta capacidad de almacenamiento, regulación de aguas y minimización del riesgo a la desertización en estas tierras; de igual forma, como los índices de escurrimiento son menores en los paisajes de

altiplanicie que en las montañas, estos últimos tienen mayor sensibilidad a la desertificación debido a los altos niveles de escurrimiento, en contraposición en los paisajes de sabana hay fenómenos inducidos por el hombre tales como la implantación de coberturas vegetales exóticas que interfieren en la biota natural. (Aqualimpia y Castro, 2013).

En Colombia se tiene preferencia por caudales ecológicos basados en enfoques holísticos; entre ellos se encuentra el calculado para el río Quindío en el tramo Boquía - Puente Balboa (Monsalve y Bustamante, 2009); en las cuencas media y baja de los ríos Timba, Claro, Amaime, Tuluá y Pescador en el departamento del Valle del Cauca (Vásquez, Ramírez, Blanco, Navarrete, Cantera y Montoya, 2009) y el río Meléndez en el mismo departamento (Zúñiga, 2009).

- **Marco legal y normativo mundial sobre el caudal ecológico.** Algunos países latinoamericanos han utilizado metodologías de enfoque hidrológico a manera de sugerencia que establece cual puede ser el caudal mínimo que hay que dejar en el río; sin embargo, no cuentan con una normatividad que legisle sobre el uso del recurso hídrico (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Universidad Nacional de Colombia, 2013).
- **Marco legal y normativo sobre el recurso hídrico en Colombia.** En la Tabla 2 se presenta una síntesis normativa colombiana referida al recurso hídrico, aunque en algunas, solo se hace mención de forma tangencial o esta norma puede homologarse a la conservación de los caudales ecológicos.

Tabla 2. Marco legal y normativo en Colombia, sobre el recurso hídrico

Organismo o institución	Documento
Presidencia de la República de Colombia	Constitución Política de la República de Colombia: Título I - Capítulo I - Artículo 8, Título I - Capítulo II - Artículo 58, Título II - Capítulo III - Artículo 78 a 82, Título XI Capítulo III - Artículo 313 - numerales 7 y 9
Congreso de la República de Colombia	Leyes 19 de 1958, 23 de 1973, 2811 de 1974, 10 de 1978, 99 de 1993, 142 de 1994, 152 de 1994, 165 de 1994, 373 de 1997, 388 de 1997, 614 de 2000 y 1151 de 2007
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Decreto 1640 de 2012
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Decretos 3930 de 2010, 4728 de 2010, 2350 de 2009, 3600 de 2007, 1480 de 2007, 1324 de 2007, 1323 de 2007, 2570 de 2006, 1900 de 2006, 4742 de 2005, 3440 de 2004, 1443 de 2004, 1200 de 2004, 155 de 2004 y 3100 de 2003. Resoluciones 872 de 2006, 2145 de 2005, 865 de 2004, 240 de 2004 y 0463 de 2005; y la Resolución 2115 de 2007 en unión con el Ministerio de Protección Social
Ministerio de la Protección Social	Decreto 1575 de 2007
IDEAM	Decreto 1729 de 2002.
Ministerio del Medio Ambiente	Decretos 1604 de 2002, 1791 de 1996, 1933 de 1994, 1600 de 1994 y 622 de 1977. Resolución 104/03
Ministerio de Agricultura	1594 de 1984, 1449 de 1977 y 2811 de 1974
Departamento Nacional de Planeación (DNP) - Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES)	Política Nacional de Biodiversidad
Ministerio de Desarrollo Económico	Resolución 1096 de 2000
Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca	Resolución 3194 de 2006 y Acuerdo 16/98

Fuente: Aqualimpia, 2015.

El marco legal y normativo permitió contextualizar en Colombia lo existente con respecto a eventos extremos ya que solo se menciona el concepto de ronda hidráulica (hasta 30 m) en el Código Nacional de los Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente que podría ser un mecanismo de control para pérdidas por inundaciones, sin embargo las generalizaciones no son prudentes en este sentido, más aún cuando esa margen históricamente ha sido sobrepasada durante las épocas de crecientes en ríos de planicie.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se propone la aplicación de un *método holístico de conservación de ecosistemas fluviales* para lo cual se tuvo en cuenta el caudal del río en el tramo estudiado, las exigencias de caudal de la especie piscícola más crítica o con mayor requerimiento dependiente de este, la vegetación ribereña y el suelo circundante al río, en lo que se refiere a infiltración y conductividad hidráulica.

Para evaluar la condición hidráulica del sector del río se realizaron 200 secciones transversales; las secciones tipo se muestran en la Figura 3.

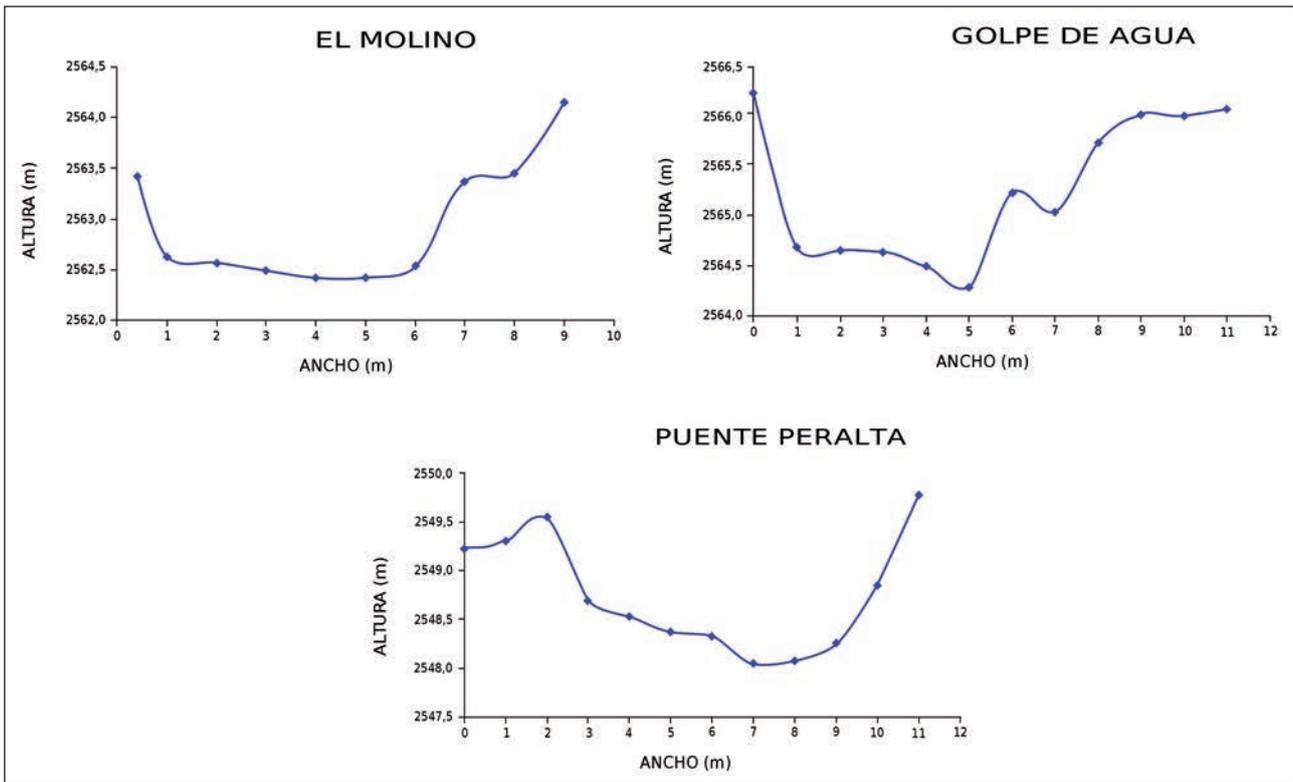


Figura 3. Secciones transversales del río frío en sectores alto, medio y bajo del tramo de estudio

Para el estudio de la vegetación ribereña se realizó un muestreo de vegetación en cuatro sectores del río para identificar las especies presentes en los bosques de galería; se encontró mayor diversidad en los sectores altos del río Frío y a medida que se descendió por la rivera del mismo comienzan a dominar las especies introducidas, lo cual muestra los procesos de intervención de los seres humanos y una degradación de la biodiversidad florística en los sectores más bajos del tramo estudiado.

En términos generales la biodiversidad se encuentra amenazada por especies arbóreas y herbáceas en 25% de las especies identificadas. Las especies introducidas en orden de importancia son: cuatro tipos de Acacia (*Acacia cultriformis*, *Acacia melanoxylon*, *Acacia decurrens*, *Albizia lophanita*); entre las especies arbóreas se encontraron: Chicalá (*Tecoma stans*), Ciprés (*Cupressus lusitanica*), Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), Eucaliptos plateado (*Eucalyptus cinerea*), Urapán (*Fraxinus chinensis*) y Cucubo (*Solanum ovalifolium*). Los planos de inundación estaban invadidos de cuatro tipos de gramíneas: Pasto azul (*Dactylis glomerata*), Pasto elefante (*Pennisetum purpureum*), Pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y Pasto ryegrass (*Lolium multiflorum*). Estas especies arbóreas al ser introducidas cambian el hábitat para la supervivencia de los peces y no proporcionan las condiciones adecuadas para la permanencia de ellos en la fuente hídrica. Por lo anterior, es importante conservar las especies nativas en la búsqueda de la restauración del medio natural decisivo para el ciclo de vida.

Las especies de sabana que merecen conservarse (Figura 4) con la aplicación de los caudales ambientales son: Alcaparro arbóreo (*Senna viarum*), Aliso (*Alnus acuminata*), Árbol loco (*Smilax pyramidale*), Arrayán (*Myrcianthes leucocoxyla*), Bejuco colorado (*Muehlenbeckia tamnifolia*), Borrachero blanco (*Brugmansia candida*), Carretón blanco (*Trifolium repens*), Carretón rosado (*Trifolium pratense*), Carrizo (*Arundo donax*), Cedrillo (*Phyllanthus salvifolia*), Chilco (*Baccharis latifolia*), Chilco colorado (*Escallonia floribunda*), Ciro (*Baccharis macrantha*), Coronó (*Xylosma speculiferum*), Cucharó (*Myrsine guianensis*), Diente león (*Taraxacum officinale*), Espino (*Duranta mutissi*), Falsa poa (*Holcus lanatus*), Fucsia silvestre (*Fuchsia boliviana*), Guabas (*Fitolaca bogotensis*), Guayacán de Manizales (*Lafoensia acuminata*), Hierba mora (*Solanum nigrum*), Higuerrilla (*Ricinus communis*), Huesito o jazmín de monte (*Pittosporum undulatum*), Laurel de cera (*Morella pubescens*), Lengua de vaca (*Rumex obtusifolius*), Madreselva (*Lonicera caprifolium*), Mano de oso (*Oreopanax floribundum*), Membrillo o mimbre (*Salix viminalis*), Mora silvestre (*Rubus floribundum*), Ojo de poeta (*Thunbergia alata*), Ortiga (*Urtica urens*), Pecositas o corta pico (*Bomarea caldasi*), Sangreado (*Croton bogolense*), Sauce llorón (*Salix humboldtiana*), Sauco (*Sambucus peruviana*), Sauco de monte (*Viburnum triphyllum*), Suelda con suelda (*Commelina* sp.), Trompeto (*Bocconia frutescens*), Tuno esmeraldo (*Miconia squamulosa*) y Uruapo o garagay (*Citharexylum subflavescens*).



Figura 4. Especies vegetales que se encuentran amenazadas en la Sabana de Bogotá

Tabla 3. Leyenda de suelos en el tramo de estudio río Frío

Forma de terreno	Conductividad hidráulica (cm/h)	Infiltración (cm/h)	Clasificación
Eje de explayamiento	5.71	4.68	Moderada
Plano nivel medio	1.46	7.14	Moderadamente rápida
Plano de desborde	6.64	4.68	Moderada

En cuanto al análisis del suelo circundante en la Tabla 3 se presenta la leyenda de las áreas que cercanas al tramo de estudio del río.

En estos resultados se observa que hay una adecuada relación agua aire en el suelo que permite un movimiento regular de humedad, bueno para el desarrollo de las especies vegetales por lo que no requiere de prácticas de manejo especiales y éste se concreta específicamente a la restauración de coberturas nativas identificadas en la región. La relación entre geometrías de poros macro, meso y micro no muestran evidencias de uso intensivo del suelo, por tanto las tierras analizadas no tienen fenómenos visibles de compactación y la porosidad se encuentra acorde con la granulometría presente en los suelos.

Para realizar la propuesta de prácticas de manejo en los suelos se tuvieron en cuenta tres variables cuantitativas: la pendiente del sector (leída en sentido horizontal) y la interpretación de las coberturas vegetales a través del índice de protección hidrológico ponderado (leído en el sentido de la guía); la tercera variable utilizada fue la infiltración de agua (Figura 5), la cual depende del suelo y muestra la condición de movimiento de agua en el mismo; la entrada de agua al suelo en su primer momento es importante porque indica el efecto de las coberturas vegetales, la composición textural de los suelos, la consistencia y el grado de humedad. Los intervalos de valores considerados para la pendiente de la unidad de tierra, el índice de protección hidrológica ponderado y la infiltración se tomaron de IGAC (1990). La información sobre coberturas vegetales se obtuvo de IGAC (2006) y CAR (2006). La valoración dada a cada cobertura vegetal se realizó con base en la metodología del IGAC (2010). Finalmente

se obtuvieron prácticas de manejo muy intensas, intensas, moderadas y mínimas.



Figura 5. Pruebas de infiltración en zona circundante del tramo de estudio en el río Frío

Con respecto a la especie piscícola se tomó en cuenta el requerimiento de la que se encuentra en peligro de extinción descrita en el Libro rojo de especies dulceacuícolas y es el pez Capitán de la Sabana (*Eremophilus mutisii*), información confirmada en campo con los nativos quienes manifestaron de su escasa presencia en este río. La exigencia del pez crítico fue dada en altura de la lámina de agua con un intervalo entre 0.1 m y 0.9 m, por tal razón fue necesario conocer la sección transversal del cauce y a través de simulación realizada con el software libre Hec Ras, determinar el caudal que para las condiciones específicas del tramo corresponden estas alturas. Esta simulación

se realizó con secciones transversales medidas en campo y calibración del coeficiente de rugosidad trabajado para una mayor confianza en la respuesta. Los valores obtenidos fueron 0.1 m³/s y 1.0 m³/s que corresponden a los caudales de conservación ya que incluyen además del mínimo requerido, el máximo tolerado por la especie.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LOS CAUDALES AMBIENTALES EN EL CASO DE ESTUDIO

El estudio de caudales de conservación es un esfuerzo académico y científico realizado al contexto local en aproximadamente 14 kilómetros del sistema hídrico del río Frío, cuyo Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) se encuentra actualmente lo ejecuta la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Esta investigación se llevó a cabo al mismo tiempo que se realizaban los estudios detallados del suelo por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) a solicitud de la misma corporación y en compañía del Ministerio de Ambiente y Vivienda y Desarrollo Territorial, y la Gobernación de Cundinamarca.

La sabana de Bogotá por la que pasa el sistema hídrico del río Frío presenta un alto impacto a los ecosistemas naturales debido a que en ella se asientan varios poblados. Las especies ícticas están en peligro de extinción y aún pueden rescatarse con la restauración de la vegetación ribereña que hace parte de la estructura ecológica y depende de los pulsos de inundación que ocurren año tras año. Como parte de este proceso es necesario buscar el equilibrio entre el aprovechamiento del agua superficial y el agua subterránea que se extrae para uso doméstico y agrícola.

El ordenamiento del uso del agua es una problemática que debe resolverse desde las autoridades locales; para el caso que se trabajó, serían las alcaldías de los municipios de Cajicá y Chía. El estudio detallado de suelos a escala 1:10.000 se consideró un referente importante para el ejercicio local, su inclusión en el análisis de los caudales de conservación corresponde a una aplicación de la cual se beneficiaría la población ribereña y a su vez aportaría elementos de decisión para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca que es la entidad que mantiene el control de la extracción de agua del río Frío realizada por las empresas que cultivan flores.

5. CONCLUSIONES O CONSIDERACIONES FINALES

El método de la curva de duración determina la cantidad de agua que debe permanecer en el cauce, no considera caudales para períodos de estiaje, cuyo valor puede ser inferior a ese dato, la premisa que se aplica es a mayor variabilidad mayor cantidad de agua que fluye por el cauce, no tiene en cuenta

ciclos vitales y el caudal tiende a regularse en una cantidad media.

Se obtuvo un intervalo de caudales necesario para garantizar el hábitat del pez capitán de la sabana específicamente para el tramo de estudio y cuyo valor oscila entre 0,1 (inferior a los caudales medio y base del río) y 1 m³/s que implica algunas zonas de desborde, los caudales de concesión varían en el año.

El ecosistema se puede restaurar o conservar con el fin de mantener regulados los caudales de conservación. No solo se da un valor de caudal requerido por la especie sino que, a partir del análisis, se proponen una serie de prácticas de manejo y conservación necesarias para mantener los ecosistemas fluviales en un estado tal que pueda garantizarse la vida en el río, tomando en consideración una especie indicadora que pueda monitorearse o establecer la condición mínima para el repoblamiento.

Al analizar los ecosistemas fluviales desde sus elementos constitutivos, se permite conocer en dónde puede estar la amenaza a los ecosistemas fluviales y posible disminución en la regulación de la función de transferencia de agua desde el paisaje ribereño hasta el cauce.

En el tramo estudiado los suelos presentaban buena relación agua – aire, adecuada relación entre poros macro, meso y micro, lo cual pudo verificarse mediante la aplicación de pruebas de infiltración y conductividad en las unidades de tierras calificadas con un movimiento de agua entre moderado y moderadamente rápido. Este resultado y la generalización de un relieve plano, determina que las prácticas de manejo de suelos para regular los flujos hipodérmicos hacia el río sean de categoría mínima.

La amenaza al ecosistema fluvial se identificó con la disminución del área de los bosques riparios de sabana seca, que aun alberga especies dignas de conservar. Las especies arbóreas introducidas de variedades de acacias tuvieron una participación del 25% de las especies identificadas en los tres tramos estudiados. Las prácticas que se recomiendan para garantizar el caudal de conservación de la especie indicadora en el cauce, debe implementar la permanencia de las especies naturales y erradicación de las especies introducidas que tienden a reseca los suelos.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agualimpia, Y. 2015. Caudales de Conservación de Los Ecosistemas Fluviales en Tramos de los ríos Cuja y Frío. Tesis doctoral, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba.

Agualimpia, Y. y Castro, C. 2006. Metodologías para la determinación de los caudales ecológicos en el manejo de los recursos hídricos. Revista

- Tecnogestión vol. 3 (1) Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Agualimpia, Y. & Castro, C. 2012. Aprovechamiento responsable del recurso hídrico fluvial – Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental - Vol. XXXIII, No. 3, Set - Dic 2012, p. 18-32 - http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382012000300002&lng=pt&nrm=iso
- Agualimpia, Y. y Castro, C. 2013. Capacidad de reserva de agua en los suelos del borde norte de Bogotá - Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias - Universidad Agraria de la Habana - Formato papel: ISSN-1010-2760, versión electrónica: ISSN-2071-0054 – 22 (1): 2013. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-005420130001000100&script=sci_arttext
- CAR 2006. Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá. Bogotá. 104.
- Diez, J y Burbano, L. 2006. Técnicas avanzadas para la evaluación de caudales ecológicos en el ordenamiento sostenible de cuencas hidrográficas. Ingeniería e Investigación, vol. 26, núm. 1, abril, 2006, pp. 58-68. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64326107>
- IDEAM. 2000. Estudio Nacional del Agua, pp. 14-16. Extraído de: <http://www.ibcperu.org/doc/isis/7561.pdf> en junio de 2012.
- IDEAM. 2004. Estudio Nacional del Agua 2004. Extraído de: <https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=874&conID=910>
- IDEAM. 2010. Estudio Nacional del Agua 2010. Extraído de: <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?IServicio=Publicaciones&ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=1507>, en marzo de 2011.
- IDEAM. 2014. Estudio Nacional del Agua (ENA). Bogotá-Colombia: 493.
- IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi (1990). Propiedades Físicas de los suelos, Bogotá: 813.
- IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. 2006. Levantamiento de la Cobertura Vegetal y Uso del Suelo del Área de Jurisdicción CAR. Escala 1:25.000. Bogotá: 243.
- IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2010. Zonificación Ambiental de Cuencas hidrográficas. Imprenta Nacional de Colombia. 616.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. 2013. Metodología para la estimación y evaluación del caudal ambiental en proyectos que requieren licencia ambiental. Bogotá, D.C.
- Mojica, J., Castellanos, C., Usma, J. y Álvarez, R. (eds.). 2002. Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales - Universidad Nacional de Colombia y Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá, Colombia.
- Monsalve, E. y Bustamante, C. 2009. Determinación de las características e interrelaciones de los componentes del caudal ecológico para el río Quindío en el tramo Boquía – Puente Balboa. pp. 285-302. Caudal ambiental, Conceptos, Experiencias y Desafíos. Editorial Universidad del Valle. Cali – Colombia.
- Palau, I. 2003. Régimen ambiental de caudales: estado del arte. In proceedings: Régimen ambiental de caudales. Unidad Docente de Hidráulica e Hidrología, E.U.I.T., Forestal, Universidad Politécnica de Madrid, Cuenca. España.
- USTA. 2004. Diagnóstico y alternativas de solución para mejorar el rendimiento y la calidad del recurso hídrico en la cuenca media del río Sumapaz. Tesis de especialización. Bogotá, Colombia.
- Vásquez, G., Ramírez, J., Blanco, J., Navarrete, A., Cantera, J. y Montoya, P. 2009. Determinación de los caudales ecológicos para el normal desarrollo de la biota acuática en las cuencas media y baja de los ríos Timba, Claro, Amaime, Tuluá y Pescador en el departamento del Valle del Cauca. pp. 311-325. Caudal ambiental, Conceptos, Experiencias y Desafíos. Editorial Universidad del Valle. Cali – Colombia.
- Venegas, C. E. 2013. Estudio Preliminar de la subcuenca del río Frío en el tramo comprendido por el municipio de Cajicá. Tesis especialización. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia. Extraído de: http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11079/1/Entrega%20Final_Estudio%20Preliminar%20Estado%20del%20R%C3%ADo%20Fr%C3%ADo_Cesar%20Venegas.pdf 2017.
- Zúñiga, M. 2009. Bioindicadores de calidad de agua y caudal ambiental: caso del río Meléndez (Valle del Cauca, Colombia). pp. 311-325. Caudal ambiental, Conceptos, Experiencias y Desafíos. Editorial Universidad del Valle. Cali – Colombia.