

## Aprovechamiento responsable del recurso hídrico fluvial

Yolima del Carmen Agualimpia Dualiby  
Adscrita al grupo de investigación PROGASP.  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Colombia.  
email: yagualimpiadualiby@gmail.com

Carlos Enrique Castro Méndez  
Adscrito al grupo de investigación PROGASP. Colombia.  
email: cecastro77@gmail.com

### RESUMEN

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en Colombia, ha realizado una serie de estudios sobre el recurso hídrico que, articulados con la legislación y disposiciones vigentes (Ley 99 de 1993), permiten enfrentar situaciones de conflictos por uso y criticidad ambiental relacionadas con este recurso. Muchas de las fuentes superficiales colombianas presentan contaminación y manejo inadecuado; tal es el caso de la subcuenca del río Cuja (cerca del municipio de Fusagasugá) que hace parte de la cuenca media del río Sumapaz, cercana al páramo del mismo nombre. Adicionalmente, está la lucha por el agua de este páramo. En este artículo, desde una perspectiva holística, se plantean las posibilidades o estrategias que permiten utilizar de forma racional el recurso hídrico, en principio en una zona piloto del río Cuja.

**Palabras clave:** vulnerabilidad, capacidad hídrica, conflicto de uso, criticidad ambiental, perspectiva holística.

## Responsible use of fluvial water resources

### ABSTRACT

The Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) in Colombia, has conducted a series of studies on water resources, which articulated with the laws and regulations in force (Law 99 of 1993) gives a framework to face situations of conflict over use and environmental criticality related to this resource. Many Colombian rivers are contaminated by improper handling, as is the case of Cuja subbasin (near the town of Fusagasugá) that is part of the basin of the river Sumapaz, close to the moor of the same name. Additionally, there is a struggle for water in this moor. In this paper, from a holistic perspective, different possibilities or strategies are proposed to achieve a rational use of water resources, initially in a pilot area of the Cuja river.

**Keywords:** vulnerability, water capacity, use conflict, environmental criticality, holistic perspective.

## INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas alteran los procesos evolutivos del paisaje y modelan sus formas naturales, de acuerdo con el nivel cultural o la tecnología del momento; actualmente, se da una función social al agua, cuando se le define como un recurso e incrementa el interés en su aprovechamiento con el aumento de la población, la actividad económica, la búsqueda de mejor calidad de vida y las afectaciones previstas ante el cambio climático. La organización de la población se convierte entonces en el detonante de los conflictos por la oferta cada vez menor de agua dulce y la gestión que se proyecte, debe encaminarse hacia una distribución equitativa de los recursos hídricos, que satisfaga las necesidades de agua de la población y de los ecosistemas.

En Colombia, mediante la Ley 99 de 1993, se establecieron los fundamentos de la política ambiental y se originó el Sistema Nacional Ambiental (SINA), quien a su vez está conformado y es apoyado por varias instituciones. (Carrizosa 1992).

Es urgente encontrar soluciones dentro del contexto técnico y legal, que permitan manejar el entorno de los ríos para regular los caudales. En Colombia existe una buena parte de fuentes superficiales que presenta contaminación y manejo inadecuado (IDEAM 2000); es el caso de la subcuenca del río Cuja, que presenta altos índices de deforestación, conflictos de uso y criticidad ambiental, de acuerdo con algunos estudios realizados, por ello fue considerado como área de investigación un sector de la cuenca del río Sumapaz, debido a que su región central presenta visibles desarrollos.

Se consideraron como unidades de análisis y de proyección del río Cuja, las formas de la tierra, el suelo y la cobertura vegetal, con las cuales se pretende analizar el movimiento de las aguas en los alrededores del río Cuja, observar su influencia en la regulación de aguas en las áreas próximas al cauce y su conexión con el sistema biótico, medidos en la presencia de macroinvertebrados: se toma como referencia la dinámica de flujos y varios métodos para considerar el caudal mínimo requerido para mantener la vida en el río.

## DIAGNÓSTICO DE LA OFERTA HÍDRICA COLOMBIANA

### Ventajas

Colombia tiene aproximadamente 714.300 cuencas hidrográficas (IDEAM 2000). Los valores de precipitación media anual y caudal específico (Ministerio del Medio Ambiente 1996), para el planeta son de 900 mm y 10 l/s/km<sup>2</sup> respectivamente, los de Suramérica 1600 mm y 21 l/s/km<sup>2</sup> respectivamente, y para Colombia son 3000 mm y 58 l/s/km<sup>2</sup> respectivamente; en este sentido, una posición ventajosa de este país sobre Suramérica y el planeta en general.

Adicionalmente, si se habla de rendimiento hídrico - caudal de agua por unidad de área-, la región hidrológica que presenta el mayor de estos, es la del Pacífico con 124 l/s/km<sup>2</sup>, luego sigue la Amazonía con 81 l/s/km<sup>2</sup>, la Orinoquia y el Caribe con 55 l/s/km<sup>2</sup>, la del Catatumbo con 46 l/s/km<sup>2</sup> y por último la del Magdalena-Cauca con 35 l/s/km<sup>2</sup> (IDEAM 2010). Sin embargo, el rendimiento más bajo registrado en el país, supera en más de un cincuenta por ciento el de Latinoamérica que está aproximadamente en 21 l/s/km<sup>2</sup>. En este mismo orden de ideas, comparativamente el rendimiento hídrico promedio de Colombia (63 l/s/km<sup>2</sup>) supera seis veces el rendimiento promedio mundial (10 l/s/km<sup>2</sup>) y tres veces el rendimiento promedio de Latinoamérica. Esto ubica a Colombia en una situación ventajosa, dentro de este contexto, al ser catalogado como uno de los países con una gran oferta hídrica natural a nivel mundial.

En cuanto al aprovechamiento hídrico y de acuerdo con cálculos realizados por el IDEAM, la distribución de la demanda para las diferentes actividades socioeconómicas se presenta de la siguiente manera (Viceministerio de Ambiente 2010): el sector agrícola con el 54%, le sigue el sector doméstico con el 29%, luego el industrial con el 13%, el pecuario con el 3% y por último el de servicios con el 1%. Adicionalmente, la gran mayoría de las captaciones de agua utilizadas para consumo humano, industrial y agropecuario entre otros, son de fuentes superficiales (IDEAM 2010).

### **Vulnerabilidad y criticidad ambiental**

Buena parte de las fuentes hídricas colombianas, presentan contaminación y manejo inadecuado; esto hace que aun cuando en algunas ocasiones el país es considerado como una potencia hídrica, sea vulnerable a esta situación; algunas de sus fuentes hídricas son utilizadas sin un plan de manejo o el que se ejecuta no es el apropiado, ya que deja de considerar aspectos relevantes para la preservación del recurso hídrico. Para analizar la distribución del recurso hídrico superficial en las diferentes regiones del país, se tiene información como la siguiente: la región pacífica presenta valores de escorrentía promedio, entre 2000 mm y 6000 mm, mientras que en la del Caribe, se tienen valores entre 0 mm y 1500 mm (Viceministerio de Ambiente 2010).

A continuación se presenta la distribución de caudales y rendimientos en las cinco vertientes hidrográficas colombianas (Ministerio de Ambiente 1996), ya que dentro de una misma unidad de análisis, se pueden presentar valores extremos: la vertiente de la Amazonía con un caudal medio de 22.185 m<sup>3</sup>/s (34%) y un rendimiento promedio de 65 l/s/km<sup>2</sup>; la vertiente de la Orinoquía con un caudal medio de 21.399 m<sup>3</sup>/s (32%) y un rendimiento promedio entre 2 y 170 l/s/km<sup>2</sup>; la vertiente del Caribe con un caudal medio de 15.430 m<sup>3</sup>/s (23%) y un rendimiento promedio entre 1 y 127 l/s/km<sup>2</sup>; la vertiente del Pacífico con un caudal medio de 6.903 m<sup>3</sup>/s (10%) y un rendimiento promedio entre 140 y 163 l/s/km<sup>2</sup>; y la vertiente del Catatumbo con un caudal medio de 427 m<sup>3</sup>/s (1%) y un rendimiento promedio entre 14 y 45 l/s/km<sup>2</sup>. Lo anterior muestra que aunque algunas vertientes registran caudales altos, su rendimiento fluctúa entre valores extremos.

Según información de la <http://www.businesscol.com/comunidad/colombia/colombia01.html>, en enero de 2011, la zona con mayor densidad de población es la Andina, con casi el 75% de los habitantes, seguida de la Caribe con un 21%, mientras que en el Pacífico, la Orinoquía y la Amazonía, está el resto de la población que es aproximadamente un 4%. Por lo anterior, los conflictos por disponibilidad y calidad del agua se dan con mayor frecuencia en las regiones Andina y Caribe, ya que es donde se demanda más este recurso para diversas actividades del hombre, adicionalmente en la zona Andina el 80% de las fuentes de abastecimiento son cuencas menores (Castillo 2011).

Se considera que el incremento de la presión urbana y rural por el uso, especialmente por el aumento de la población y sus consecuentes requerimientos ambientales, además de las limitaciones tiempo – espacio, originadas por los diversos regímenes que presenta el país en su hidrografía, es una de las causas atribuidas a la reducción de la oferta de agua (Ministerio del Medio Ambiente 1996). Por lo tanto, producto del análisis espacio-temporal de la variación de la precipitación y la ocupación del territorio nacional, no son las regiones más densamente pobladas las que cuentan con la mayor riqueza hídrica y que tras el incremento poblacional, la actividad económica y la búsqueda de mejor calidad de vida, la organización de la población en función del recurso hídrico, se convierte en el detonante de los conflictos.

## **ZONA DE ESTUDIO – SUBCUENCA RÍO CUJA – DISEÑO INVESTIGATIVO**

“La subcuenca del río Cuja, en el municipio de Fusagasugá, presenta altos índices de deforestación, conflictos de uso y criticidad ambiental.” (USTA 2004). Esta subcuenca se encuentra al sur de Bogotá - Colombia, en la provincia de Sumapaz y conforma una región con alta presión por los recursos hídricos; la subcuenca tiene una extensión aproximada de 368.77 km<sup>2</sup>.

Esta investigación tuvo un carácter aplicado a un estudio de caso, mediante el cual se pudo establecer una sinergia entre los diferentes elementos básicos en la gestión y la información sobre el cambio climático en Colombia, confrontados con el río y sus regímenes de caudales, junto con los aspectos representativos de sus condiciones naturales, articulados con los valores existentes y especificados para los indicadores de calidad biológica y determinación de especies principales de fauna y flora, sistemas productivos, usos y características hidrofísicas de las tierras.

Esta fase de la investigación se desarrolló en cuatro etapas: en la primera se analizó la información de diversas entidades del orden nacional e internacional y se referenciaron las experiencias sobre el uso inadecuado de los recursos hídricos, para determinar los factores que causan mayor impacto en la pérdida de disponibilidad de aguas, caso de los sistemas de abastecimiento humano, concesiones para riego y vertimientos contaminantes, entre otros; igualmente se hizo la revisión de métodos y metodologías para la determinación de caudales ecológicos que fueran aplicables al tramo de estudio del río Cuja. En la segunda etapa se obtuvieron registros de caudales y precipitaciones, diarias y mensuales de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, cartografía básica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi y se definieron los tramos para los trabajos de campo. En la tercera etapa se recopilaron datos en campo, se hizo el levantamiento de secciones transversales, la verificación e identificación de especies macroinvertebradas y el análisis e interrelación entre datos; por último, en la cuarta etapa se redactó una propuesta para la gestión integral del recurso hídrico con visión holística.

Se inició con la revisión y clasificación de las metodologías existentes para la determinación del caudal ecológico, con el respectivo análisis de criterios y variables que inciden en la determinación o aplicación de cada método. De igual forma, se realizó la fotointerpretación del río Cuja, definición de sectores de acuerdo con su morfología y facilidad de acceso. Con base en lo anterior, se llevó a cabo el reconocimiento en campo, de los tramos representativos, observando características particulares como tipo de hábitat y vegetación (la mayor diversidad posible), estado de orillas, etc. Se levantaron las secciones transversales del río, las pruebas hidrofísicas y se hizo el estudio de la dinámica y ecología fluvial (incluye el funcionamiento biológico de los ríos, identificación de macroinvertebrados acuáticos y captura de peces).

La hidráulica del río Cuja se analizó como flujo libre en río de montaña, que incluye el papel de la vegetación natural como parte del río, las precipitaciones, las condiciones hidrofísicas que regulan las aguas en el suelo, las migraciones laterales o flujos hipodérmicos en las geoformas y las condiciones morfológicas del cauce que influyeron en la conformación de los sustratos. La calidad biológica se conectó con los usos del suelo y la disposición de desechos líquidos o agentes contaminantes de la población ribereña.

Se delimitaron diez unidades de tierra constituidas por similitudes geomorfológicas y de cobertura vegetal; en dichas unidades se realizaron ensayos físicos consistentes en pruebas de infiltración para cuantificar los movimientos verticales del agua; durante los primeros segundos de entrada del agua al suelo, se tomaron medidas para calcular la sortividad y en tiempos

posteriores, la conductividad que muestra los movimientos laterales, lo cual en últimas, genera los flujos superficiales. Las coberturas vegetales se muestran como elementos que conducen a la regulación e infiltración de agua. Para las pruebas hidrofísicas se utilizó el permeámetro de disco (fácil manipulación e instalación en geoformas de relieve empinado) y se obtuvieron datos confiables.

Con el fin de hacer el análisis hídrico, se seleccionó un tramo del río de aproximadamente 10 km; se tomaron como referencia que conecta los flujos de aguas, cuatro sitios en los cuales se hizo el levantamiento de las secciones transversales que se localizaron en tramos representativos con fácil acceso. La dinámica hidrológica se analizó con base en los registros de precipitaciones y caudales multianuales en dos puntos localizados en el sector medio del tramo estudiado (estación limnimétrica Puente Rojo) y en el sector bajo (estación limnimétrica Puente Arbeláez); estos caudales se utilizaron para analizar su variación en el tiempo y obtener las curvas de duración que posteriormente se utilizan para el cálculo de los caudales mínimos para la conservación del ecosistema.

En los cuatro sitios anotados, se realizaron los estudios biológicos que se iniciaron con la captura de especies indicadoras de la contaminación en pozas, tablas y rápidos del río; también se obtuvieron muestras de fitoplancton y zooplancton.

Para analizar las relaciones entre el río y su entorno, se identificaron especies nativas en las estructuras vegetales arbustivas, herbáceas y arbóreas y se identificaron a nivel de especie.

Se realizaron los análisis correspondientes a los caudales con diferentes métodos desarrollados y utilizados en varias partes del mundo, los cuales fueron ajustados a las condiciones colombianas y a la posibilidad de consecución de la información necesaria para su aplicación y de esta forma determinar la cantidad de agua que requieren los organismos del río para preservar su hábitat y garantizar su permanencia en las fuentes.

La gestión del recurso hídrico para el área de estudio, se plantea en los siguientes términos: determinación de un caudal mínimo para satisfacer las condiciones de hábitat de las especies, lo que permite establecer una cuota máxima o límite para el aprovechamiento del agua del río para los diferentes usos del ser humano. La gestión con visión holística también propone la determinación de prácticas de manejo y conservación de unidades de tierras en sitios en los que se utilizan cultivos no acordes con la aptitud de estas; ello contempla la redefinición de los usos y revegetalización necesaria para regular los caudales, todo ello producto de los análisis de las propiedades hidrofísicas y del uso actual del suelo.

## **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

De manera preliminar, se evaluaron los impactos que el cambio climático podría generar en Colombia en diferentes frentes de acuerdo con la identificación del riesgo y la amenaza, planteando cuál sería la condición para su adaptación a la variabilidad climática. Se tomaron como elementos comparativos la propuesta presentada por expertos en la Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Ministerio del Medio Ambiente et al. 2001) y resumidos en la tabla 1.

Para el manejo del recurso fluvial con fines de aprovechamiento racional, bajo la consideración de los resultados en la tabla anterior y los estudios realizados por USTA (2004) en la cuenca del río Cuja, se presentan problemas como los siguientes: en el municipio de Fusagasugá se requieren proyectos de reforestación y regulación de usos del suelo.



**Tabla 1. Posibles impactos del cambio climático en Colombia**

(fuente: Ministerio del Medio Ambiente et al. 2001)

<b>Frente analizado</b>	<b>Posibles impactos</b>
Parámetros climatológicos	Aumento de la temperatura entre 1°C y 2°C y variación regional de la precipitación en más o menos el 15% del país.
Zonas costeras e insulares	Años 2050 a 2060: aumento del nivel del mar en las costas Caribe y Pacífico, entre 40 y 60 cm, con inundaciones permanentes en aproximadamente 4.900 km <sup>2</sup> de costas bajas y encharcamiento fuerte en aproximadamente 5.100 km <sup>2</sup> de áreas costeras moderadamente susceptibles, así como en las planicies de inundación de ríos que antes se aprovechaban en agricultura y pastoreo.
Coberturas vegetales	El desplazamiento de las zonas de vida de Holdridge, ocasionará una redistribución de las especies vegetales: - Se prevé una disminución del 92% la zona nival (Nevados) - Los subpáramos y páramos, se podrían ver afectadas entre 90% y 100%. - Zonas de vida Premontano, ubicadas entre los 1.000 y 2.000 msnm (zona cafetera) y cubren el 7% del país. Podrían verse perjudicados entre 50% y 60%.
Ecosistemas	Reducción del área de páramos, de la diversidad biológica y secado irreversible de suelos formados en turbas orgánicas. Las zonas bioclimáticas más afectadas serían las de alta montaña (mayor a 2700 msnm), los valles interandinos y la región seca caribeña. Adicionalmente, la región Caribe, los valles interandinos, la península de la Guajira y los altiplanos cundiboyacense y nariñense se consideraron altamente susceptibles a los procesos de la desertificación.
Sector agropecuario	Los cultivos principales, vulnerables al cambio climático son: en la zona andina la papa, los pastos para ganado de leche, el tomate y las hortalizas, en los valles interandinos el arroz, la caña, la soya y el sorgo y en la región Caribe el arroz y los pastos para ganadería extensiva.
Salud humana	La malaria y el dengue fueron las dos patologías seleccionadas de acuerdo con las variables climáticas temperatura, precipitación y humedad relativa; las zonas más expuestas estarían en: los departamentos del Chocó y Guaviare; algunos municipios de Putumayo, Caquetá, Amazonas, Meta, Vichada, Vaupés, Guainía y Arauca; las zonas de la vertiente del Pacífico de los departamentos de Nariño, Cauca y Valle del Cauca, y las correspondientes al Urabá antioqueño, sur de La Guajira, Catatumbo; y las zonas del Bajo Magdalena, Bajo Cauca, Nechí, Alto San Jorge y Alto Sinú. En cuanto al dengue, las áreas de mayor vulnerabilidad se sitúan en Santander, Norte de Santander, Tolima, Huila, Atlántico y Valle del Cauca.
Recursos hídricos	Sufrirá cambios la oferta hídrica por causa de variación en el régimen hidrológico. La disminución de los páramos afectaría la oferta de agua para ciudades y zonas agrícolas ubicadas en áreas de subpáramo o en zonas de ladera.

Debido a la presencia de relieves quebrados y escarpados, a la disposición de tubería de conducción de aguas de la planta Pekín y al grado de deforestación de la zona, se presentan movimientos en masa de tierras, también son evidentes los deslizamientos y la erosión en diferentes grados de intensidad; esto conlleva una alteración física, química y biológica de los suelos, y además el deterioro de las coberturas vegetales, que incrementa los procesos erosivos. El desarrollo agropecuario no planificado conduce a un uso inadecuado del suelo, que afecta directamente las áreas de Reserva Forestal.

La cuenca del río Cuja, que abastece el acueducto municipal en el sector sur, presenta altos índices de pérdida de coberturas vegetales principalmente en sus afluentes Juan Viejo y Corrales. La cuenca tiene algún grado de contaminación debido al vertimiento de aguas servidas procedentes del municipio de Pasca; también causan deterioro ambiental las basuras arrojadas al cauce y las abundantes cargas de residuos químicos empleados en las actividades agropecuarias.

La cabecera del municipio de Pasca cuenta con un acueducto que se abastece del río Bosque, el cual presenta una disminución gradual de su caudal por acción de la tala indiscriminada de bosque, al igual que por la utilización de tierras por encima de la cota de 3000 msnm. Las quemadas son prácticas agronómicas frecuentes y constituyen labor tradicional en la preparación de las tierras, principalmente las localizadas en clima medio. También se observa un control inadecuado de efluentes de las porquerizas ubicadas en este casco urbano, ya que vierten sus aguas residuales sin ningún tratamiento al río Bosque, afluente importante del río Cuja. De igual forma, la disposición actual de basuras no tiene ningún tipo de tratamiento y es un foco de contaminación por los malos olores que se generan en la descomposición de la materia orgánica y por los lixiviados que deterioran los suelos.

El movimiento del agua alrededor del río Cuja está determinado en gran medida por la posición geomorfológica, el suelo y la cobertura vegetal; existe mayor regulación de aguas en las áreas próximas al cauce, seguidas de las que contienen abundante piedra, mientras que en las zonas de piedemonte (abanicos de montaña y en las partes más empinadas) predomina la baja permeabilidad; la velocidad de infiltración del agua es muy lenta, no permite regular el agua en los suelos y favorece el escurrimiento superficial que provoca picos de caudal en épocas de alta pluviosidad (tabla 2). La cosecha de agua aquí, se plantea como la gestión que se debe realizar para permear la capa de suelo con la siembra de especies arbóreas, que permitan en primera instancia, infiltrar el agua lluvia para regular las superficiales que afloran en el río a través de los flujos hipodérmicos.

**Tabla 2. Resultados de pruebas físicas** (fuente: autores)

Unidad de tierra	Infiltración (cm/h)	Conductividad (cm/h)	Sortividad raíz (mm/h)	Macroporos promedio tamaño (micras)
1	31.59	28.10	1.94	> 60
2	4.20	0.51	1.94	50
3	6.56	2.34	2.24	40
4	7.24	6.61	1.94	39
5	1.56	0.41	1.73	24
6	19.40	2.53	1.73	54
7	0.49	0.11	2.24	79
8	3.75	0.46	1.94	69
9	0.97	0.23	1.73	70
10	9.90	2.07	1.94	65

El régimen de este río es torrencial, característico de los ríos de montaña y la línea del agua se ve afectada por la formación de resaltos, rápidos y tablas, ocasionados por las irregularidades del fondo y de las secciones transversales. Su cauce tiene gran capacidad de arrastre de sedimentos y depende de la conformación del fondo. El lecho del río presenta gravas de diferentes tamaños (piedras enormes y grava de diferente granulometría), lo cual permite el transporte de material aluvial dentro de la capa de material suelto (figura 1). Con los altos grados de ocupación y uso de las tierras que drenan sus aguas al río Cuja, se identifica una pérdida de regularidad alternada con eventos torrenciales en algunas épocas del año. En la identificación vegetativa natural se encontró mayor diversidad en los bosques de galería del sector alto y medio; el tramo inferior fue transformado con especies agrícolas (café, naranja y pastos), por la presión por uso de la tierra. En geoformas alejadas del cauce predominan los usos agrícolas (papa, maíz) en el sector alto y pastos con guadua en el sector bajo.

Se observa una proliferación de pastos introducidos, que fueron clasificados con las claves taxonómicas de la siguiente manera: pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum*, pasto de olor *Anthoxanthum odoratum*, pasto falsa poa *Holcus lanatus* (POACEAE), pasto *Panicum* sp, pasto plumilla *Panicum trichoides* (POACEAE), pasto elefante *Pennisetum purpureum*, pasto estrella *Cynodon dactylon*, pasto yaraguá *Melinis minutiflora*, pasto guinea o india *Panicum maximum* (POACEAE); otros estratos herbáceos de importancia son Barbasco *Polygonum punctatum* (POLYGONACEAE), heliotropo *Hedychium maximum* (ZINGIBERACEAE), *Panicum* sp (POACEAE), escobilla *Sida acuta* (MALVACEAE), clavo de agua *Ludwigia* (ONAGRACEAE). En el estrato arbustivo predominan Tinto *Cestrum* sp (SOLANACEAE), arrayán *Myrcia* sp (MYRTACEAE), caña brava *Gynerium sagittatum* (POACEAE), gusanillo *Acalypha* sp (EUPHORBIACEAE), chilco *Baccharis latifolia* (ASTERACEAE), guayabillo *Adenaria floribunda* (LYTHRACEAE), sangro *Croton smithianus* (EUPHORBIACEAE), cordoncillo *Piper* sp (PIPERACEAE), n.n. *Cordia* sp (BORAGINACEAE), gusanillo *Acalypha* sp (EUPHORBIACEAE), higuera *Ricinus communis* (EUPHORBIACEAE) y en el arbóreo Guamo playero *Pithecellobium longifolium* (MIMOSACEAE), guadua *Guadua angustifolia* (POACEAE), yarumo *Cecropia arachnoidea* (CECROPIACEAE), pomarroso *Syzygium jambos* (MYRTACEAE).



**Figura 1.** Muestra de sustrato, vegetación rupícola y toma de muestras de macroinvertebrados



Entre las especies presentes en el río Cuja se encuentran las diatomeas Bacillariophyta y las algas verde-azules Cyanophyta, que representan la mayor diversidad en los sectores estudiados del río Cuja; de igual forma las especies de fitoplancton identificadas en el río Cuja, indican aguas limpias, que constituyen a su vez condiciones adecuadas para la productividad primaria del río. Los órdenes Trichoptera y Ephemeroptera mostraron mayor abundancia, lo cual permite caracterizar las aguas del río Cuja como altamente oxigenadas. Los macroinvertebrados identificados indican que el río Cuja presenta condiciones físicas y biológicas favorables para la diversidad de organismos.

En lo que se refiere a la determinación de los caudales mínimos para la preservación del ecosistema, se encontró que existen diferentes métodos y metodologías que podrían ser agrupadas de diferentes formas, considerándose una de las más adecuadas, la clasificación de acuerdo con el tipo de variable utilizada (Agualimpia y Castro 2006). La revisión de métodos y metodologías, permite decir que algunas de ellas pueden ser utilizadas en las fuentes colombianas, según las variables consideradas y los requerimientos de aplicación. En primera instancia se aplicó el método de registros históricos “Tennant o montana”, el cual presenta una serie de caudales mínimos para la preservación del ecosistema. De los caudales recomendados, se seleccionó el que corresponde a un estado ecológico excelente, a propósitos de recuperar el río; se utilizó el 40% para el período seco y el 60% para el período húmedo (Tennant 1976). Ver tabla 3.

**Tabla 3. Estado ecológico del río según análisis de caudales de mantenimiento**  
(fuente: Tennant 1976)

Estado ecológico	Régimen de caudales recomendado (Porcentaje del caudal medio anual)	
	Octubre – marzo (semestre seco)	Abril – septiembre (semestre húmedo)
De descarga o máximo	200%	
Gama óptima de variación	60% -100%	
Excelente	40%	60%
Muy buena	30%	50%
Bueno	20%	40%
Débil o degradante	10%	30%
Pobre o mínimo	10%	10%
Degradación alta	0% -10% DEL CAUDAL MEDIO	

Según los registros de caudales de las estaciones ubicadas sobre el río Cuja, Puente Rojo y Puente Arbeláez, la primera en la parte superior del tramo de estudio y la segunda al final del mismo, el régimen es bimodal; a partir de esto, se determina que en el sector ubicado aguas arriba de la primera estación el período húmedo se encuentra en los intervalos abril - junio y octubre – noviembre y se obtiene un caudal recomendado de 1.16 m<sup>3</sup>/s para el período seco y un caudal recomendado de 1.74 m<sup>3</sup>/s para el período húmedo. Así mismo, para la segunda estación se determina en el tramo de estudio del río, sector ubicado aguas arriba de la misma, que el período húmedo se encuentra en los intervalos marzo - junio y octubre – noviembre. Por lo anterior, se obtiene un caudal recomendado de 1.44 m<sup>3</sup>/s para el período seco y un caudal recomendado de 2.16 m<sup>3</sup>/s para el período húmedo.

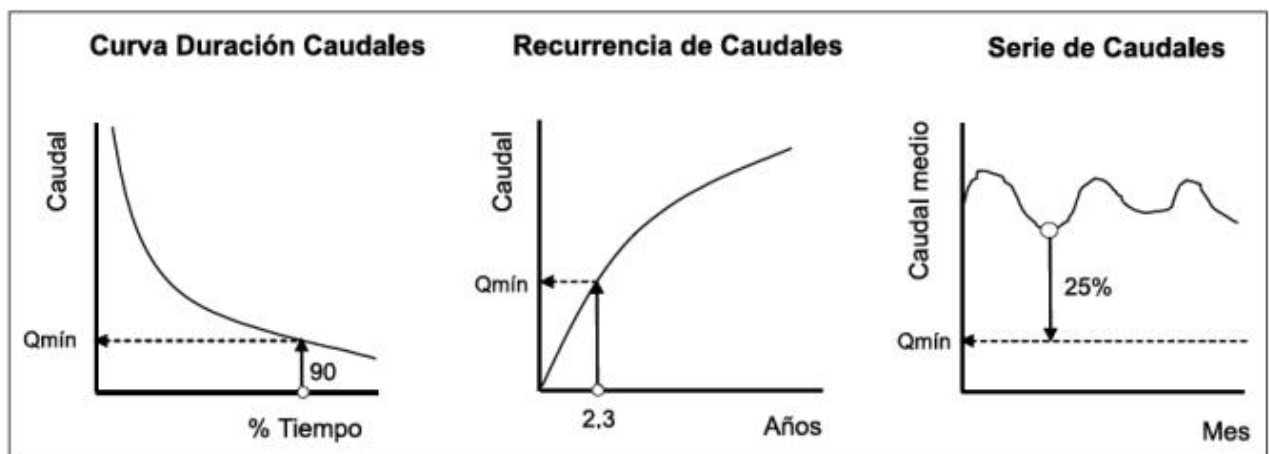
Con el método “Arkansas”, el cual divide el año hidrológico en tres períodos y recomienda el 80%, el 70% y el 50% del caudal medio mensual, para los caudales altos, medios y bajos, respectivamente, se obtuvo lo siguiente: en la estación Puente Rojo el caudal de mantenimiento

para caudales bajos (de julio a septiembre y de diciembre a marzo) es de  $1.45 \text{ m}^3/\text{s}$ , para caudales medios (abril, junio y octubre),  $2.03 \text{ m}^3/\text{s}$  y para caudales altos (mayo y noviembre),  $2.32 \text{ m}^3/\text{s}$ . En la estación Puente Arbeláez el caudal de mantenimiento para caudales bajos (de enero a febrero y de julio a septiembre),  $1.80 \text{ m}^3/\text{s}$ , para caudales medios (marzo, junio y octubre),  $2.52 \text{ m}^3/\text{s}$  y para caudales altos (de abril a mayo y de noviembre a diciembre),  $2.88 \text{ m}^3/\text{s}$ . Vale la pena anotar que los registros de caudales obtenidos de estas estaciones, se utilizaron para analizar su variación en el tiempo y para obtener las curvas de duración que posteriormente se aplicaron en el cálculo de los caudales mínimos necesarios para la conservación del ecosistema, de acuerdo con otros métodos.

Con el método de la curva de permanencia, se calculó el caudal de mantenimiento como el  $Q_{90}$  disminuido en un 5%. Dentro del área de estudio, se obtuvo un valor de  $1.43 \text{ m}^3/\text{s}$ , para el tramo aguas arriba de la estación Puente Rojo y para el tramo aguas arriba de la estación Puente Arbeláez, se obtuvo un valor de  $1.52 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La Resolución 0865 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial indica la metodología para la determinación del índice de escasez y plantea dos formas de cálculo para el caudal ecológico (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial 2004). La primera está basada en el Estudio Nacional del Agua (IDEAM 2000) y utiliza el caudal medio diario promedio de 5 a 10 años, cuya duración es igual o mayor del 97.5%, (que se comprobó) correspondiente a un período de retorno de 2.3 años. La segunda forma de cálculo vincula el caudal mínimo a un porcentaje en torno al 25% del caudal medio mensual multianual menor de la corriente estudiada (Díez 2005). (figura 2). De esta manera, se obtiene un caudal ecológico de  $0.90 \text{ m}^3/\text{s}$ , para el tramo aguas arriba de la estación Puente Rojo y de  $1.88 \text{ m}^3/\text{s}$  para el tramo aguas arriba de la estación Puente Arbeláez.

De los resultados arrojados por los diferentes métodos y metodologías analizadas y algunas calculadas, se pudo observar que en todos ellos se aplica como concepto central el mantenimiento de los regímenes naturales de la corriente y no se otorga cuota adicional de agua; cuando ésta se encuentra en mayores cantidades, ello significa que intencionalmente o no, estos métodos tienen en cuenta el ciclo de vida de las especies, ya que sus requerimientos varían de acuerdo con la etapa en que se encuentren, sea freza, alevín, juvenil o adulto.



**Figura 2.** Curvas de cálculo del caudal ecológico. (fuente: Díez 2005)

No es clara en las alternativas utilizadas, la advertencia sobre si lo que se establece es un caudal único o un régimen de caudales; aun así, no se quiere sugerir metodologías tan complejas de implementar, pues resulta prácticamente imposible su utilización. Se considera importante realizar el mayor número de cálculos por diferentes métodos, de acuerdo con la disponibilidad de los datos y luego analizar los resultados, o simplemente, recomendar el caudal de mayor valor.

En forma general, se definieron las prácticas de manejo de regulación de la escorrentía a través de índices morfométricos de la cuenca del río Cuja, con la utilización de su forma, su densidad de drenajes y su pendiente media ponderada.

La finalidad del Índice de forma (*IF*) es conocer las formas de captación de aguas lluvias; la fórmula es:

$$IF = \text{Área}/L^2 \quad (1)$$

donde: *Área* es la extensión de la cuenca y *L* es la longitud del río central o axial.

De esta forma se obtuvo un valor de *IF* de 0.47. El resultado se interpretó a través de las categorías establecidas para el análisis, (IGAC 2002), así: para valores de *IF* menores de 0,4 la forma de la subcuenca es alargada; es oblonga si *IF* está entre 0,4 y 0,7; y redonda si *IF* es mayor que 0,7. De acuerdo con lo anterior, la cuenca del río cuja tiene forma oblonga.

Para determinar la densidad de drenajes, fue necesario digitalizar los drenajes secundarios y primarios representados en la cartografía escala 1:25.000. Este indicador se relaciona con la dureza del material geológico, la intensidad de las lluvias, la pendiente y la geomorfología. La fórmula utilizada fue:

$$DD = Lt/Ac \quad (2)$$

donde: *DD* = Densidad de drenaje  
*Lt* = Longitud total de los cursos de aguas (km)  
*Ac* = Área cuenca (km<sup>2</sup>)

Así:  $DD = 784.44 \text{ km} / 378.77 \text{ km}^2 = 2.13 \text{ km} / \text{km}^2$ .

Con los indicadores sugeridos (IGAC 2002) se hace la siguiente interpretación:

Si  $DD > 2.5$  - Densidad de drenaje alta = Alta tendencia a la erosión

Si  $DD$  está entre 2.5 y 0.5 - Densidad de drenaje media = Moderada tendencia a la erosión

Si  $DD < 0.5$  - Densidad de drenaje baja = Baja tendencia a la erosión

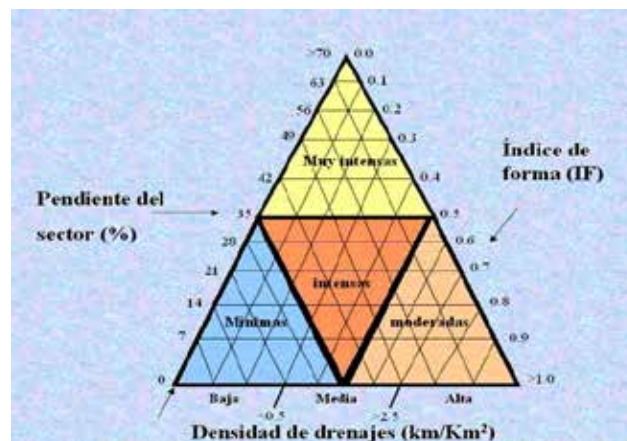
Según lo anterior, la cuenca del río Cuja tiene una densidad de drenaje media.

El indicador de Pendiente Media Promedio de escurrimiento (*PMP* en %), proviene de información reportada en las unidades de tierras y es importante para determinar el grado de susceptibilidad de los suelos a la erosión por escurrimiento hídrico superficial. El tercer indicador se interpreta de la siguiente forma, (IGAC 2007) para valores de *PMP* mayores de 35%, se califica como de alto desnivel y representa altos índices de escurrimientos de aguas; para valores de *PMP* entre 12% y 35%, se califica como de moderado desnivel y representa moderados índices de escurrimientos de aguas; finalmente, para valores de *PMP* menores de 12%, se califica como de bajo desnivel y se interpreta como bajo índice de escurrimientos de aguas.

La cuenca del río Cuja tiene una pendiente media ponderada de alto desnivel ( $PMP=36.52\%$ ). La interpretación de los índices morfométricos a nivel de cuencas se realizó con el triángulo guía

(IGAC 2002) y se obtuvieron los siguientes resultados, a partir de los datos reportados en el Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Cundinamarca (IGAC 2000): Índice de forma oblonga, densidad de drenajes media, pendiente ponderada de escurrimiento de alto desnivel y prácticas de manejo intensa, ver figura 3.

Desde el contexto general, la cuenca hidrográfica del río Cuja es muy susceptible a la pérdida de regulación de aguas cuando se deforesta, debido a que sus condiciones hidráulicas determinadas por la forma de la cuenca, son moderadas; las aguas escurren con facilidad dados los altos índices de pendiente y la densidad de drenajes que se encuentra en grado moderado, lo cual indica que hay algún deterioro ocasionado por procesos erosivos. En consecuencia se requieren prácticas intensas de manejo, conservación y recuperación de las coberturas vegetales, si se quiere mantener los caudales en condiciones óptimas.



**Figura 3. Triángulo guía para la determinación de las prácticas de manejo y conservación de las cuencas** (Fuente: IGAC 2007).

En relación con la influencia del cambio climático sobre las características de la cuenca, se infiere una alta vulnerabilidad de la cuenca al desabastecimiento de agua, no solo por la presión de uso que ejerce la población flotante, que aumenta en número los fines de semana, sino por los evidentes cambios de uso que se han generado en los últimos 50 años y que conllevan una disminución de las coberturas vegetales naturales para dar paso a los condominios turísticos, incrementos en los cultivos de ciclo corto y procesos de extensión de pastizales que causan deterioro de las tierras por sobrepastoreo; esto impide que el suelo y las coberturas vegetales regulen los caudales, los que, con la variabilidad climática tienden a minimizarse. Esto afecta sensiblemente los caudales de aprovechamiento.

Dada su importancia en el turismo local, se considera el río Cuja como de un alto valor patrimonial y en los planteamientos que se realicen en torno a su manejo, debe incluirse el compromiso de los pobladores en áreas de generación del recurso y el de aquellos que ocupan las zonas bajas donde ocurre el uso intensivo de los recursos de la cuenca.

Desde el punto de vista funcional del manejo hídrico, se contempla la recuperación de la cuenca del río Cuja, en referencia al impacto generado por la localización de viviendas en el tramo Pasca – vía Fusagasugá – Arbeláez; de ello se encarga la Corporación Autónoma regional de Cundinamarca (CAR), para lo cual ya está articulado un programa controlado del aprovechamiento de las aguas del río Cuja.

Esta primera fase de la investigación, ofrece una visión holística del manejo del recurso hídrico, específicamente en ríos, lo que se traduce en la formulación de estrategias que permitan manejarlo racionalmente. Este trabajo presenta herramientas que pueden utilizarse para diferentes fines, entre otros, mantener la biodiversidad de especies autóctonas de fauna y flora, conservar la pesca, fuente de alimento de las poblaciones ribereñas, es decir, garantizar la seguridad alimentaria en sectores rurales, preservar la calidad estética del paisaje fluvial racionalizando el uso de las aguas superficiales, de manera que se disminuyan los procesos de desertificación y, finalmente, también proteger tramos de ríos que representen un interés científico y cultural.

Los resultados de esta investigación han de permitir evaluar las posibles sinergias entre diferentes disciplinas y estudiar la posibilidad de articularlos con otras propuestas de investigación que en conjunto conforman un nuevo espacio para fortalecer las competencias analíticas mediante la aproximación conceptual con grupos de investigación y comunidades científicas.

Evidentemente, la academia contará con nuevas herramientas para la gestión de los recursos hídricos, y ello permitirá dar a las cátedras un nuevo enfoque del desarrollo sostenible en una forma práctica y tangible, según el cual se logre de este concepto, mejor asimilación que la producida por los lineamientos teóricos o las políticas, incomprensibles a veces para algunos profesionales y técnicos en las áreas de la ingeniería y la productividad que permitan su aproximación teórica con otras profesiones del orden ambiental.

## CONCLUSIONES

Los planes de manejo del recurso fluvial con fines de aprovechamiento racional del recurso hídrico, deben contemplar dentro de un ambiente de equidad y bien común, los requerimientos de todos los usuarios, incluido el ecosistema, para garantizar su disponibilidad futura en momentos de crisis sin dejar de lado el desarrollo socioeconómico. Dentro de este contexto, se presenta como propuesta de manejo, iniciar de forma simultánea con dos frentes: en primer lugar, la regulación de caudales considerando las afectaciones por el cambio climático referido y la organización de las concesiones de agua y, en segundo lugar, *el control de la contaminación en la fuente*.

*La regulación de caudales* se plantea bajo la consideración de tres aspectos: reubicación de usos, reforestación y conservación del cauce y orilla del río. Estos tres aspectos conducen a determinar cuáles son las prácticas de manejo, que para el caso de estudio resultaron intensivas (el mejor de los casos), es decir, se incluye reforestación con especies nativas, cambios de usos no adecuados y aumento en la protección de cauces, para proporcionar un hábitat deseable para el retorno de las especies naturales del río. El peor de los casos (prácticas de manejo no intensas) conllevaría mayor producción y transporte de sedimentos en los flujos de aguas, picos extremos de caudal, pérdida de macroinvertebrados y hábitat no adecuado para las especies autóctonas.

· Como medidas de protección del páramo se han determinado áreas de amortiguación del parque Nacional Natural de Sumapaz, pero en virtud de que causaría un impacto social muy alto, no se ha decidido sobre su implementación; es necesario también entender que en aquellas ciudades ubicadas muy cerca a los ecosistemas de alta montaña, no deben programarse actividades con fines industriales, agropecuarios o turísticos, ya que ello incrementaría la demanda y presión creciente de uso del agua. La protección del páramo comienza con una adecuada gestión en las cuencas próximas, para impedir que el recurso hídrico se vuelva escaso en ellas y se recurra al aprovechamiento de aguas en las áreas protegidas.



- Es necesario considerar un plan de gestión para la demanda por uso agrícola, ya que en esta se presentan los mayores porcentajes, principalmente en zonas donde el recurso hídrico es escaso. Los nuevos distritos de riego deben programarse de acuerdo con la disponibilidad del recurso para que sean modernos, técnicamente eficientes y se eviten o reduzcan las pérdidas de agua.

- En cuanto a la organización de las concesiones de agua, es necesario en primer lugar determinar los caudales para la preservación del ecosistema y otros fines ambientales, incluyendo conservación de paisaje, turismo y aspectos culturales, entre otros. Hay que promover una cultura del agua, de uso racional, que tenga como base el control público y social, apoyado en instrumentos económicos y normativos adecuados y vincular en este proceso a los grandes usuarios: empresas de servicios de acueductos y alcantarillados, administradores de distritos de riego, industriales, entre otros. En los sitios de escasez de agua dulce superficial, estudiar las otras alternativas de suministro de agua, tales como los acuíferos, construcción de reservorios, reutilización de aguas residuales tratadas, entre otros. También se pueden establecer tarifas con criterios de solidaridad que estimulen y regulen el uso eficiente del agua y minimicen los vertimientos sin tratamiento adecuado.

En lo que se refiere al *control de la contaminación en la fuente*, es necesario vigilar y mejorar la calidad de las aguas y la conservación de los hábitats, minimizar los vertimientos de agentes contaminantes a las fuentes y en caso de ser necesario, exigir el tratamiento de estos vertimientos. Algunas de las gestiones por realizar para mejorar las condiciones ecohidráulicas, están orientadas a establecer programas de reforestación con especies nativas en los abanicos aluviales y en las partes altas para inducir una mayor infiltración y regulación de aguas; conservar las rondas del río a menos de 30 metros; redistribuir los usos agrícolas y prohibir otros; normatizar sobre los efluentes y distancias de industrias avícolas; repoblar del río Cuja con especies ícticas nativas, y distribuir las concesiones con normas que no superen el caudal mínimo establecido para que en épocas de estiaje la oferta de agua, aunque menor, sea suficiente para la vegetación riparia.

Sea cual fuere el escenario de análisis, es importante la incorporación de programas de monitoreo que permitan medir las respuestas de las estrategias adoptadas, de forma tal que su flexibilidad las haga susceptibles de mejorar, a través de la compatibilización del desarrollo económico con la protección ambiental.

## REFERENCIAS

- Agualimpia, Y. y Castro, C.** (2006). “Metodologías para la determinación de los caudales ecológicos en el manejo de los recursos hídricos”. Revista Tecnogestión, Universidad Francisco José de Caldas, Bogotá-Colombia. Vol. 3, No. 1, Julio 2006, pp. 1-13.
- Carrizosa, J.** (1992). “La política Ambiental en Colombia (Desarrollo sostenible y democratización)”. Ed. CEREC. Bogotá-Colombia. 220p.
- Castillo, E.** (2011). “Ley del Agua. Agua: eje articulador de vida”. Universidad Industrial de Santander. Cátedra LOW MAUS, pp.15-42. Colombia.
- Díez, J.** (2005). “Bases metodológicas para el establecimiento de caudales ecológicos en el ordenamiento de cuencas”. Revista Ingeniería y Competitividad, vol. 7, No 2, p. 11 – 18. Colombia.

- IDEAM** (2010). “Estudio Nacional del Agua. Bogotá”. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Extraído en noviembre 2011 de: <http://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?conID=910&catID=188>.
- IDEAM** (2000). “Estudio Nacional del Agua”. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, Segunda Versión. 233p.
- IGAC** (2000). “Estudio General y Zonificación de Tierras del Departamento de Cundinamarca”. Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC y Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá, D.C. Colombia. Tres tomos.
- IGAC** (2002). “Definición de Formas Alternativas y Sostenibles de Uso de la Tierra”. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, D.C. Colombia. 161p.
- IGAC** (2007). “Definición de Usos Alternativos y Sostenibles Para la Ocupación de las Tierras a Nivel Nacional (Colombia)”. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, D.C. Colombia.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.** (2004). “Resolución no. 0865 (22 julio - 2004)”. Extraído en marzo 2012 de: [http://www.cenicana.org/pdf/otros/regulaciones\\_uso\\_agua/res\\_0865\\_22\\_07\\_2004.pdf](http://www.cenicana.org/pdf/otros/regulaciones_uso_agua/res_0865_22_07_2004.pdf).
- Ministerio del Medio Ambiente.** (1996). “Lineamientos de política para el manejo integral del agua”. 29 pp. Extraído en noviembre 2011 de: [http://www.humboldt.org.co/iavh/documentos/politica/politicas\\_ambientales/2003LineamientosPoliticaIntegralAgua.pdf](http://www.humboldt.org.co/iavh/documentos/politica/politicas_ambientales/2003LineamientosPoliticaIntegralAgua.pdf).
- Ministerio del Medio Ambiente, IDEAM, PNUD.** (2001). “Colombia - Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”. Extraído en mayo 2009 de: <http://unfccc.int/resource/docs/natc/colnc1.pdf>.
- Tennant, D.** (1976). “Instream flow requirements for fish, wildlife, recreation, and environmental resources”. Proc. Symposium on Instream Flow Needs. Editors: Osborn J. and Alman C. Bethesda. USA. pp. 359-373.
- USTA** (2004). “Diagnóstico y Alternativas de Solución para Mejorar el Rendimiento y Calidad del Recurso Hídrico en la Cuenca Media del Río Sumapaz”. Tesis de Especialización en Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Universidad Santo Tomás. Colombia.
- Viceministerio de Ambiente** (2010). “Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico”. Colombia. Extraído en noviembre 2011 de: [http://www.minambiente.gov.co/documentos/5774\\_240610\\_libro\\_pol\\_nal\\_rec\\_hidrico.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/5774_240610_libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf).