



Una formación de calidad  
en ingeniería para el futuro

Centro de Convenciones Cartagena de Indias  
15 al 18 de Septiembre de 2015

# MEDIDAS DE RESTAURACIÓN PARA EL RÍO ABURRÁ - MEDELLÍN EN UN TRAMO DEL ALTO DE SAN MIGUEL, CALDAS

**Juan Fernando Barros Martínez, Andrés Felipe Marín Muñoz**

**Escuela de Ingeniería de Antioquia  
Envigado, Colombia**

## **Resumen**

La cuenca del río Aburrá-Medellín está localizada sobre la cordillera central, en el centro del departamento de Antioquia. El río nace en el Alto de San Miguel en el municipio de Caldas y atraviesa 10 municipios hasta finalmente unirse con el río Grande, donde cambia de nombre a río Porce.

El tramo del río Aburrá-Medellín comprendido entre el nacimiento y su entrada a la vereda La Clara en el municipio de Caldas ha sufrido grandes alteraciones en sus condiciones naturales debido a la explotación de materiales para construcción. También se ha visto afectado por la deforestación de su cuenca y la introducción de fauna no nativa que han afectado la disponibilidad del recurso y su calidad.

El proyecto tiene como objetivo formular alternativas de restauración para el tramo del río Aburrá-Medellín comprendido entre su nacimiento y 1 km aguas arriba de la vereda La Clara que presentan un alto grado de afectación antrópica. Para el análisis hidrológico e hidráulico se utilizaron los programas HEC-HMS e Iber como soporte técnico para establecer las medidas de restauración. Para el establecimiento de las medidas de restauración se tuvieron en cuenta metodologías internacionales que soportan las posibles intervenciones. Se espera que los resultados de este proyecto sirvan como apoyo para otros de mayor alcance como el POMCA, el proyecto Bio 2030 y los Parques del Río Medellín.

**Palabras clave:** restauración de ríos; desarrollo sostenible; modelación hidráulica

## Abstract

*The watershed of Aburrá-Medellín river is located at the central range, in the center of the department of Antioquia, the river is born in the Alto de San Miguel at the Caldas municipality and it goes through 10 municipalities until it finally merges with Grande river, where it changes its name to Porce river.*

*The stretch of Aburrá-Medellín river included between the source and its entrance to La Clara settlement in the Caldas municipality has suffered severe degradations of its natural conditions due to the construction material exploitation. It has also affected the resource availability and its quality.*

*The project aims to formulate river restoration alternatives for the stretch of Aburrá-Medellín river between its source and 1 km upstream of La Clara settlement that present elevated levels of anthropic affectation. For the hydrologic and hydraulic analysis it was used the programs HEC-HMS and Iber as technical support to establish the restoration measures. For the establishment of the restoration techniques there were used international methodologies to support the interventions. The results of this project will help as support for other major projects such as the POMCA, Bio 2030 project and Medellín River Parks.*

**Keywords:** *river restoration; sustainable development; hydraulic modelling*

## 1. Introducción

A lo largo de la historia del manejo de aguas urbanas y rurales, se ha pensado en una corriente como un sistema que limita el desarrollo y que debe ser controlada ante eventos de inundación; en lugar de esto, debe verse como un sistema que involucra tanto su cauce como su cuenca y que el uso que se le dé al territorio impacta su dinámica y afecta su estado.

Las componentes hidrológica, hidráulica y geomorfológica en un sistema asociadas a una corriente, abarcan el manejo de las condiciones ambientales; ellas incluyen: el transporte de sedimentos y nutrientes, el manejo de la calidad del agua, la regulación hídrica de la cuenca (que abarca el manejo de acuíferos) y la atenuación de eventos extremos. La intervención de corrientes dentro de los planes de ordenación del territorio no ha involucrado adecuadamente el entendimiento del sistema hídrico como parte fundamental del crecimiento sostenible.

El manejo de las intervenciones en las corrientes ha ocasionado un incremento en la magnitud y frecuencia de los eventos extremos y en el aporte de sedimentos y contaminantes, así como pérdida de la biodiversidad vegetal y animal, olvidando los beneficios ambientales asociados a la cuenca.

En la Figura 1 se presenta el impacto negativo recurrente que ha sufrido el río Aburrá-Medellín a lo largo de los años de crecimiento del Valle de Aburrá. En la imagen de la

izquierda se ve la extracción manual de material fino (arenas) en la parte media de la cuenca, cerca de la Universidad de Antioquia en el año 1959, mientras la imagen de la derecha presenta la extracción de material granular en la parte alta de la cuenca, en el alto de San Miguel en el año 2014.

“En el ámbito académico se hace distinción entre las estrategias de control y las de recuperación de un ecosistema con base en el efecto esperado con su implementación frente a la condición o escenario presente. Aquellas que garantizan el mantenimiento de las condiciones actuales en el futuro son estrategias que permiten el control de la situación. Aquellas que permiten restaurar componentes y procesos de un ecosistema a un estado anterior se entienden como estrategias de recuperación” (Zapata, 2014).

En la Figura 1 se aprecia el impacto negativo que tiene la extracción de material en el lecho y las márgenes del río, generando una degradación en la corriente que se va magnificando a lo largo de los años y que se debe abordar de forma integral debido al prolongado periodo de tiempo en el que se ha presentado esta afectación.



Fuente: Fluidos.eia.edu.co

Fuente propia

Figura 1. Extracción de material en el río Aburrá-Medellín

En la Figura 2 se muestra el estado del río Aburrá-Medellín entre su nacimiento y la vereda La Clara debido a las obras realizadas a lo largo del tramo y la extracción de material para la construcción, recurrente en la zona.



Figura 2. Vertedero en el río Aburrá-Medellín vereda La Clara

Las obras hidráulicas presentadas en la Figura 2 buscan controlar el transporte de sedimentos en el río Aburrá-Medellín y habilitar esas zonas como puntos de recarga para la posterior extracción de material del lecho, pero estas obras impactan negativamente en la corriente alterando su recorrido natural y generando límites físicos para la fauna y la flora. Este tipo de estructuras ejercen control sobre la corriente de forma negativa y requieren de obras complementarias para mitigar sus impactos.

“No se puede mejorar lo que no se conoce”. Esta frase demuestra la situación actual del río Aburrá-Medellín en el tramo del proyecto de investigación, donde no existen estudios del comportamiento físico de la corriente que ayuden a plantear medidas de restauración ante las afectaciones que se presentan, con el fin de dar soluciones.

Con este proyecto de investigación se busca desarrollar un diseño orientado al control de la corriente de forma natural, conscientes del valor de la corriente y de los beneficios ambientales y sociales que pueden alcanzarse al cambiar las prácticas de diseño que continúan hasta el presente. Es necesario proponer medidas de protección y recuperación en esta corriente que aún no se ha visto tan afectada por los procesos de ocupación del territorio y ejemplarizar con este caso de planeación y diseño futuras obras de recuperación.

## 2. Metodología

La metodología empleada para cumplir satisfactoriamente los objetivos propuestos abarca la ejecución en orden cronológico de las siguientes actividades:

### **Recolección de información**

El proyecto cuenta con toda la información disponible para su desarrollo, pero con el fin de presentar los resultados de la forma más actualizada posible, se hará un recuento de la información que pueda presentar un mejoramiento en su detalle, confiabilidad y calidad, para buscar el cumplimiento de los objetivos bajo características de información actuales.

Esta búsqueda se hizo en la biblioteca EPM, la Corporación Autónoma Regional de Antioquia (Corantioquia), Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), Corporación Autónoma Regional Río Negro – Nare (CORNARE), al igual que por medio de medios electrónicos como bases de datos institucionales y gubernamentales como la NASA (National Aeronautics and Space Administration), el METI (Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan), el IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), la base de datos EBSCO, la página de la Escuela de Ingeniería de Antioquia, la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín y el DAPARD (Entidad de prevención y atención del riesgo en el departamento de Antioquia).

### **Visitas técnicas de campo**

Se han realizado visitas a la zona de estudio durante el transcurso del proyecto, con el fin de identificar las diferentes características que componen el tramo y cómo estos van evolucionando. Ya se habían realizado varias salidas de campo al tramo específico de estudio por lo que la revisión no solo abarcaría la evolución de las condiciones durante el proyecto sino un intervalo de tiempo mayor.

Durante las salidas de campo y utilizando la información recopilada a lo largo del estudio se logran determinar los parámetros necesarios para clasificar la corriente.

### **Caracterización topográfica y geomorfológica**

Se utilizó la información topográfica mencionada en el marco teórico con apoyo de los programas ArcGIS y AutoCAD civil 3D. El primero se utilizó para visualizar y caracterizar las zonificaciones con escala de información de un tamaño de 1:5.000 a 1:10.000, el cual se considera apropiado para el análisis de la cuenca, mientras el segundo fue utilizado como herramienta de diseño técnico del canal de detalle en la delimitación del proyecto como se muestra en la Figura 3.

El procesamiento de la información topográfica va desde verificación de las características hasta el cambio de las condiciones que afecten el comportamiento hidráulico. La topografía de detalle de 12 cm X 12 cm es primordial para el buen cálculo de las condiciones hidráulicas, por esta razón se le pondrá especial atención a los errores que se puedan presentar en las zonas, corrigiendo la sección del río por medio de corredores de AutoCAD Civil 3D contruidos a partir de secciones

transversales tomadas en campo de las zonas específicas en las cuales se presenten esos errores.

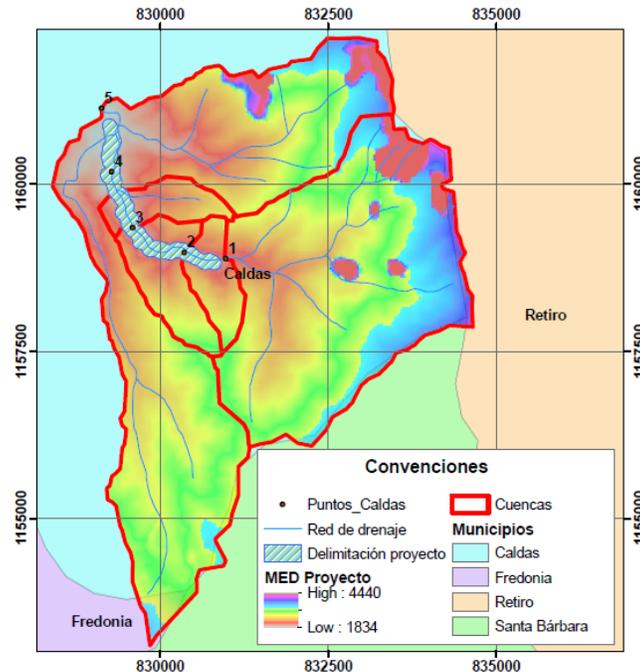


Figura 3. Delimitación de la cuenca del proyecto (Elaboración propia)

El modelo de elevación de la topografía de detalle de 12 cm X12 cm también cuenta con una ortofotografía de igual calidad, que permitirá mejorar la zonificación detallada cerca al cauce principal, mejorando el detalle de información de zonas con baja cobertura vegetal, pérdida de su cauce, etc., como se presenta en la Figura 4.

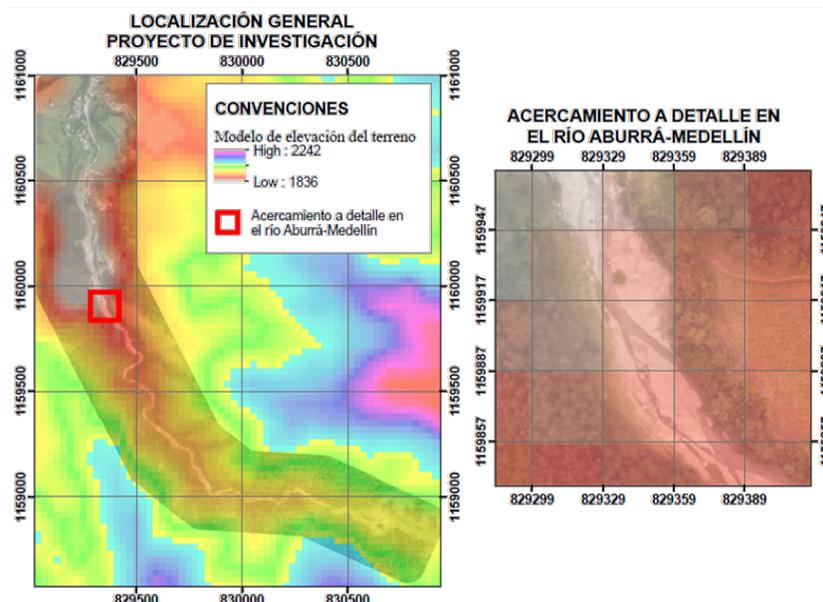


Figura 4. Localización del proyecto de investigación (Elaboración propia)

### **Caracterización hidrológica e hidráulica**

La información de estaciones pluviométricas, pluviográficas y agrometeorológicas permite el cálculo de valores que son insumo para la modelación hidráulica; para la zona de estudio se contará con información primaria y secundaria de estaciones pertenecientes a EPM (Empresas Públicas de Medellín) y el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales).

Se contó con información de cuatro estaciones pluviométricas, pluviográficas y agrometeorológicas ubicadas a lo largo del río Aburrá-Medellín en esa zona de Caldas, las cuales fueron procesadas con el fin de obtener los insumos necesarios para el desarrollo de la hidrología.

Los valores obtenidos fueron comparados con valores de estudios hidráulicos relacionados cercanos a la zona del proyecto con el fin de verificar los caudales obtenidos.

### **Configuración de Iber y HEC-HMS**

El HEC-HMS fue la herramienta escogida para la modelación hidrológica de las subcuencas a lo largo del tramo de estudio. La configuración de la modelación hidrológica requiere información obtenida de las estaciones y mapas de información. El modelo hidráulico Iber 2.2 cuenta con un nuevo módulo de modelación hidrológica distribuida espacialmente con mayores ventajas con respecto al modelo HEC-HMS, ya que es posible asignar valores de condiciones hidrológicas del terreno y lluvia a cada celda de información, mejorando el detalle de los resultados.

Se utilizarán ambos modelos con el fin de identificar los resultados arrojados y seleccionar el modelo que mejor se acomode a las condiciones esperadas de creciente.

### **Modelación hidrológica con Iber y HEC-HMS**

Esta actividad permitió obtener el caudal de creciente para puntos específicos en el río. El tiempo de procesamiento es una variable que para los modelos con las herramientas HEC no es relevante, pero que para Iber empieza a ser determinante debido a la escala de información procesada.

El modelo Iber desarrolla el modelo hidrológico de forma simultánea al modelo hidráulico, permitiendo disminuir el tiempo en procesos externos de los modelos, como procesamiento en Excel. Debido a que trabajan de forma simultánea, el tiempo de procesamiento interno del modelo se incrementa considerablemente, ya que el detalle de la información sumado a la condición bidimensional de flujo hace que se requiera de mayor tiempo para la resolución de las ecuaciones.

### **Modelación hidráulica con Iber**

El modelo hidráulico entrega como resultado las características de flujo que sirven como insumo al establecimiento de las medidas de restauración, al igual que permite profundizar en el conocimiento del comportamiento de la corriente. Requiere un tiempo de procesamiento considerablemente alto, por lo que se espera trabajar una

cantidad de modelación que sea suficiente como para tener confiabilidad de los resultados obtenidos.

### **Selección de técnicas de restauración**

Las medidas de restauración se plantearon de acuerdo con la guía técnica "Hydraulic Design of Stream Restoration Projects" (HEC, 2001) que presenta los lineamientos hidrológicos, hidráulicos y de control de transporte de sedimentos que permiten diseñar y dimensionar las diferentes estructuras que componen el cauce.

Igualmente se utilizó la guía elaborada por Zapata (2012) como parte del convenio de Jóvenes Investigadores de Colciencias del año 2010 "Manejo y Restauración de Cauces - Estudio de Casos en los Municipios de la Ceja y de Marinilla". En este estudio se presenta la metodología para diseñar medidas de restauración para corrientes similares a las presentes en el tramo del Alto de San Miguel.

Se seleccionaron los métodos del tipo de restauración, utilizando los resultados de las modelaciones con los modelos que presentaron los mejores resultados esperados. Después de seleccionar los métodos de restauración se procedió a simular nuevamente el evento con los cambios respectivos, para determinar la eficacia del método utilizado y en caso de no ser apropiado replantear el método.

Se consideraron varias alternativas de restauración acordes con los diseños que buscan alcanzar un nivel de equilibrio en la corriente; cada alternativa tuvo diferentes escalas de factibilidad de acuerdo con el mejoramiento de las condiciones de flujo esperadas. Al igual que las alternativas de restauración, se planteó una modelación bajo condiciones anteriores a la afectación antrópica actual, siguiendo alineamientos anteriores del cauce y teniendo en cuenta la excesiva extracción de material de su lecho para establecer el alineamiento natural esperado.

### **Análisis de resultados**

La falta de información topográfica e hidrológica, o el poco detalle de la misma, puede traer dificultades en la obtención de ciertos resultados específicos como en este caso ocurrió con el cálculo de los caudales máximos. Para ello se hizo uso de otros criterios complementarios, como por ejemplo que para un periodo de retorno de 2,33 años, el caudal debe corresponder con la condición de banca llena. También se alcanzan distintos niveles de confiabilidad en los resultados según el periodo de retorno, debido a que por la escala de la información, no se cuentan con registros de caudal para periodos de retorno superiores a 50 años.

Se encontró una alternativa de procesamiento de la información topográfica mediante el uso de herramientas de Iber que permitió trabajar con un detalle de 12 cm x 12 cm en el mapa para la modelación hidráulica.

En cuanto a las medidas para la restauración del río se pudo caracterizar la corriente y definir con ello distintos niveles de intervención a lo largo del tramo, algunos de mayor escala (cambios en el alineamiento y en la sección transversal) y otros de menor escala (en sitios donde se hace posible la autorecuperación).

### 3. Referencias

- Álvarez, L.M. (2005). Propuesta de calibración de un modelo para el tránsito de crecientes en un tramo del río Medellín. Estación Puente de Girardota – Puente de El Hatillo. Envigado, Antioquia.
- Chow, V.T. (2004). Hidráulica de canales abiertos. Colombia. Nomos S.A.
- Chow, V.T. (1994). Hidrología Aplicada.
- EAFIT (2014) Bio 2030, Plan director de Medellín y el Valle de Aburrá. <http://www.eafit.edu.co/minisitios/bio2030/Paginas/inicio.aspx>
- EDU. (2014). Parque Botánico del río Medellín. <http://www.edu.gov.co/index.php/proyectos/parque-vial-del-rio>
- EPA. (2008). Fundamentals of the Rosgen Stream Classification System. Recuperado el 2014, de U.S. Environmental Protection Agency:
- FISRWG. (1998). Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices. Estados Unidos: Federal Interagency Stream Restoration Working Group.
- FLUMEN and GEAMA (2012). Iber, Manual de referencia. España.
- IDEAM (2010). Leyenda nacional de cobertura de la tierra. Bogotá S.C. Scripto Ltda.
- IGAC (2005). Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Medellín: Departamento de Antioquia. Bogotá, Colombia
- Jaramillo, C. (2011). Modelación del tránsito de crecientes con el HEC-RAS en un tramo del río Medellín. Envigado, Antioquia, Colombia.
- USDA-NRCS (2007). Part 654- National Engineering Handbook. Chapter 11 Rosgen geomorphic channel design. Recuperado el 2014, de United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. <http://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17771.wba>
- MACDT, AMVA, CORNARE, CORANTIOQUIA, UNAL (2008). Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del río Aburrá (POMCA). Medellín, Antioquia.
- Marín, A. (2013). Modelación del tránsito de creciente con el HEC-HMS y HEC-RAS en un tramo del río Medellín. Envigado, Antioquia.
- Mi Río. (2001). Segunda Evaluación Biológica del Río Medellín. Imprenta Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- NRCS (2007). Part 654- National Engineering Handbook. Chapter 11 Rosgen geomorphic channel design. Recuperado el 2012, de United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. <http://policy.nrcs.usda.gov/viewerFS.aspx?id=3491>
- Rosgen, D.L. (1994). A classification of natural rivers. Catena (22), 169-199.
- US Army Corps of Engineers (2001). Hydraulic Design of Stream Restoration Projects. Washington DC.
- US Army Corps of Engineers (2012). Hydrologic modeling system HEC-HMS. User's Manual. Washington DC.
- Zapata, J., Barros, J. and Vallejo, L. (2012). Fundamentos de restauración de ríos para las políticas públicas colombianas. Envigado, Antioquia.
- Zapata, J., Barros, J. and Vallejo, L. (2012). Manejo y restauración de cauces. Estudio de casos en el municipio de La Ceja y de Marinilla. Envigado, Antioquia.

## Sobre los autores

- **Juan Fernando Barros Martínez:** Ingeniero Civil, Máster en Recursos Hidráulicos, Doctor en Educación de la Universidad de Antioquia. Profesor de Hidráulica de la Escuela de Ingeniería de Antioquia. [pfjubar@eia.edu.co](mailto:pfjubar@eia.edu.co)
- **Andrés Felipe Marín Muñoz:** Ingeniero Civil, Investigador de la Escuela de Ingeniería de Antioquia. [anmamun71@eia.edu.co](mailto:anmamun71@eia.edu.co)

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2015 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)