



HIDRÁULICA FLUVIAL: PROCESOS DE EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN, OBRAS DE CONTROL Y GESTIÓN DE RÍOS  
Hector Daniel Farias, José Daniel Brea, Carlos Marcelo García (Editores)

Memorias del Quinto Simposio Regional sobre HIDRÁULICA DE RÍOS  
Santiago del Estero, Argentina. 2-4 Noviembre de 2011  
ISBN 978-987-1780-05-1 (Libro + CD-ROM)

## **PROPUESTA PARA EL MANEJO DE CAUCES URBANOS. ESTUDIO DE CASO EN MEDELLÍN (COLOMBIA)**

**Juan Fernando Barros Martínez, Juliana Zapata Giraldo, Luz Eliana Vallejo Giraldo**

Escuela de Ingeniería de Antioquia. Grupo de investigación Espiral  
Km 2+200 variante al aeropuerto José María Córdova. Las Palmas. Envigado- Antioquia. Colombia  
Teléfonos: (57 4) 3549090 ext. 244, 694, 299  
E-mail: pfjubar@eia.edu.co, juzagir@eia.edu.co, lvallejo@eia.edu.co – Web: <http://www.eia.edu.co/>

### **RESUMEN**

En este artículo se proponen alternativas diferentes a las prácticas tradicionales que se han implementado en Colombia para el manejo de ríos y cauces, en especial en las grandes ciudades, de manera que se posibilite una recuperación integral que considere aspectos geomorfológicos propios de la naturaleza de las corrientes hídricas y su relación con el medio natural biológico, con el paisaje y con la interacción social. Se presentan las tendencias actuales resultado de la revisión de casos internacionales y de artículos de revistas científicas y se proponen algunas consideraciones que deben complementar los actuales lineamientos nacionales considerados en los planes de ordenamiento de cuencas y microcuencas (POMCA y PIOM). Finalmente se presenta un ejemplo en el cual podría hacerse una intervención en un tramo de la quebrada La Presidenta de la red hídrica de Medellín siguiendo los métodos biotécnicos.

### **ABSTRACT**

In this paper different alternatives are proposed to traditional practices which have been implemented in Colombia for the management of rivers and streams, especially in large cities, so in this way it is possible an integral recovery that considers geomorphic aspects inherent to the nature of the water currents and their relation to the biological environment, landscape and social interaction. Current trends are presented, result of the review of international cases and articles from scientific journals and some considerations are suggested that should complement existing national guidelines considered in watershed management plans (POMCA and PIOM are the abbreviations of these watershed management plans in Spanish). Finally, an example is presented in which an intervention following biotechnical methods could be done on a section of La Presidenta stream of Medellín stream network.

## INTRODUCCIÓN

Las prácticas profesionales merecen una revisión continua. Si bien son una representación de las ideas y las voluntades de ciertas comunidades en determinados periodos, no son estáticas ni permanentes, sino evolutivas como la sociedad misma. También cambian los criterios que en alguna época marcaron y orientaron la concepción, los diseños y las ejecuciones de las obras, y han de hacerlo no solo desde las luces que proveen los avances científicos y tecnológicos sino también desde la conciencia surgida, por las evidencias mostradas en el tiempo, de los efectos indeseables generados por algunas prácticas.

Este artículo invita a pensar acerca de ciertas prácticas de la ingeniería civil, a reevaluar los criterios y las acciones que aún están dominando en nuestro medio local, regional y nacional, y a proponer alternativas para el cambio. El contexto principal será la situación de la ciudad de Medellín, contexto en el que puede incluirse el resto de municipios del Valle de Aburrá y en general las grandes ciudades de Colombia. Se discute aquí específicamente sobre la práctica de la canalización y la rectificación de las corrientes superficiales, que se observa en especial en la zona urbana de los asentamientos humanos.

En Medellín se ha adoptado la canalización en concreto para el “control” de su río principal y de sus quebradas afluentes, con la justificación de que estas obras requieren poco mantenimiento y de que ofrecen una protección más efectiva ante situaciones de riesgo, en especial por inundación. Sin embargo, esta opción no es del todo efectiva y tiene otras implicaciones más bien perjudiciales desde otros puntos de vista, en particular por la afectación que se produce sobre la ecología, el paisajismo y otros aspectos del bienestar humano relacionados con la construcción de cultura y del imaginario social.

Resulta sorprendente que la gran riqueza hídrica natural de nuestra ciudad haya sido desaprovechada para el sostenimiento de los sistemas bióticos y paisajísticos, de ambientes recreativos, y que en lugar de ello las corrientes fueran por mucho tiempo vías de transporte para las aguas residuales y hasta para los residuos sólidos. Esta práctica provocó que los asentamientos vecinos a las corrientes se sintieran afectados y prefirieran aislarlas mediante coberturas en box culvert o tubería. Surgió también una problemática por la ocupación del territorio, donde los asentamientos humanos han competido con las corrientes de agua queriendo utilizar cada espacio para urbanizar o hasta para levantar un “rancho” donde establecerse. La corriente natural se ha visto desde esta perspectiva como un elemento perjudicial para el asentamiento entre otras cosas por el riesgo que puede significar para la estabilidad de la construcción. Uno de estos casos ha sido identificado por actualizaciones de la red hídrica de Medellín, en las cuales se evidencia que hay viviendas ubicadas sobre coberturas de quebradas que llegan a trabajar incluso en condiciones de flujo confinado generando riesgo para la estabilidad de las estructuras, y causando problemas de salud en aquellas personas que deben convivir en contacto con las aguas contaminadas provenientes de las infiltraciones del agua en la cobertura.

El objetivo de este artículo es presentar otra opción para aprovechar la riqueza hídrica de las corrientes superficiales de las ciudades colombianas de forma que pueda representar un recurso de sostenibilidad ambiental y un elemento cultural que represente bienestar en especial para quienes tienen una cercanía con él. Esta opción requiere cambiar las prácticas

que se han llevado a cabo hasta el presente, como son las canalizaciones en concreto y las coberturas, por otras más apropiadas según los nuevos fines que se proponen. Se pretende presentar aquí una breve descripción de la situación actual y de las posibilidades técnicas con el fin de preparar el camino para la utilización de estas nuevas prácticas.

## ANTECEDENTES

### RESTAURACIÓN, REHABILITACIÓN Y MEJORA

Un sistema fluvial funciona dentro de rangos normales de flujo, transporte de sedimentos, temperatura y otras variables, en lo que es llamado “equilibrio dinámico”. Cuando ocurren cambios en alguna de estas variables, el equilibrio natural puede perderse, resultando generalmente en ajustes del ecosistema que pueden entrar en conflicto con las necesidades de la población cercana (FISRWG, 1998). Los canales en concreto o canalizaciones se han construido tal vez con el fin de minimizar el proceso de erosión natural en el tramo de una corriente o de reducir la sinuosidad, generalmente buscando la protección de alguna infraestructura existente en las llanuras de inundación. Sin embargo, estas medidas traen consecuencias negativas como la afectación negativa al componente biótico, el cambio en el régimen hidráulico por el impedimento del intercambio de aguas subterráneas con las superficiales y por el cambio en la rugosidad que origina la aceleración del flujo, lo cual causa a su vez erosión aguas abajo (Li & Eddleman, 2002).

Desde los años 60 en Estados Unidos comenzó la preocupación por el deterioro causado a los sistemas fluviales, esta situación se evidenció en los ajustes a la legislación y mejora de sistemas de tratamiento para la recuperación de la calidad del agua (Franco, 2010). En los años siguientes cuando se comienzan a estudiar las corrientes superficiales, se extiende la idea de que “transformar las corrientes en sistemas artificiales es contaminarlas completa y persistentemente”. Como resultado, se adoptaron prácticas más amigables con el medio ambiente y el paisaje, conocidas ahora como ingeniería naturalista, bio-ingeniería o métodos biotécnicos (Franco, 2010).

En los años 90 se generaron nuevos conocimientos de geomorfología y ecología, se impusieron conceptos de sostenibilidad y conservación de la biodiversidad, lo cual en conjunto con el deseo de las comunidades de tener ríos más naturales impulsaron el desarrollo de los primeros proyectos de restauración en Alemania, Dinamarca, Países Bajos y el Reino Unido, y la consolidación de diferentes asociaciones como el Centro Europeo para la Restauración de Ríos (ECRR, por sus siglas en inglés), red conformada por los diferentes centros para restauración de diferentes países, como por ejemplo el Centro de Restauración de Ríos en el Reino Unido (RRC, por sus siglas en inglés), y el Centro Italiano para la Restauración Fluvial (CIRF) (Franco, 2010).

En Estados Unidos, Canadá y Australia, los trabajos de restauración comenzaron en la misma época (Franco, 2010). En Estados Unidos surgen múltiples agencias para la restauración y conservación de sus ríos, entre estas están el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos con la dependencia del Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (NRCS), la institución American Rivers, US Fish & Wildlife Service (conformado por 8 estados), the Nature Conservancy, entre otros. Por su parte en Australia se crea el Centro Australiano para la Restauración de Ríos (ARRC, por sus siglas en inglés); en Asia se encuentra conformada desde el 2006 la Red Asiática de Restauración de Ríos, la cual se constituye por los centros de

Japón (Japan River Restoration Network, JRRN), China (China Centre for River Restoration) y Corea (Korea River Restoration Network).

Estas agencias y organizaciones han impulsado el desarrollo de un gran número de proyectos; en Europa por ejemplo se destaca el caso del río Isar en Alemania, en el cual se han desarrollado varios proyectos en tramos rurales y urbanos. El tramo urbano rehabilitado se encuentra ubicado en la ciudad de Múnich, tiene una longitud de 8 km y su finalidad fue el restablecimiento de meandros, el reemplazo de vertederos con rampas de roca para la migración de peces, la ampliación del lecho, la disminución de pendientes de las bancas con el fin de hacer accesible el río, y la purificación de las aguas a través de un tratamiento con un sistema de rayos UV (Binder, 2006). En el río Skerne en Inglaterra se desarrolló un proyecto piloto de restauración, con el fin de recuperar la condición meándrica de la corriente y para experimentar el funcionamiento de diferentes métodos biotécnicos para la estabilización de las bancas a lo largo de 2 km de longitud; otras técnicas fueron aplicadas también en los ríos Cole y Thames en Inglaterra como parte de los objetivos del Centro para la Restauración de Ríos (The River Restoration Centre, 2002). En el río Thur en Suiza, la restauración incluyó el restablecimiento de meandros para el control de las inundaciones y la protección de bancas con métodos biotécnicos (ECRR, 2008); un tratamiento similar se hizo para el río Skjern y el arroyo Holmehave en Dinamarca. En este país también se desarrollaron proyectos en las corrientes para la remoción de vertederos, reemplazo de canales en concreto por bancas de grava (para facilitar la reproducción de peces), y recuperación de meandros; se aplicaron estas intervenciones en los ríos Brede y Odense, en las corrientes Lilleå y Esrum, y en el arroyo Lamebæk (Hansen, 1997). En Asia se han desarrollado varios proyectos, entre ellos se destaca la rehabilitación del río Cheonggyecheon en la zona urbana de Seúl en Corea; otros proyectos de restauración incluyen casos como el del río Itachi en Yokohama, el río Nuki en la ciudad de Kitakyushu, y el río Tama en la región de Tokyo, los cuales tuvieron como objetivo recuperar la vegetación en las bancas, los hábitats acuáticos y mejorar los senderos a lo largo del río. Se calcula que en Japón se han desarrollado aproximadamente 23000 intervenciones fluviales con un enfoque natural desde 1990, y han sido impulsados por la corrección en la Ley de ríos en 1997 en la cual se promueve la conservación y el mejoramiento del ambiente fluvial (Nakamura, et.al., 2006). En Estados Unidos, se ha buscado aplicar herramientas a través de puntos de vista multidisciplinarios como el geomorfológico, hidráulico, biológico, social y económico; se reportaron allí más de 37000 proyectos entre 1990 y el 2004 en los que se invirtieron aproximadamente 17 billones de dólares (Franco, 2010). Algunas experiencias de restauración fueron la del río Chicago en Illinois, río Elizabeth en Virginia, río Los Angeles y la quebrada Strawberry en California (Franco, 2010).

En el desarrollo de estos proyectos las experiencias son de restauraciones, otros de rehabilitaciones y otros de mejora del sistema fluvial. Estos conceptos tienen una definición determinada en el momento de concretar las medidas de manejo que se tomarán para la intervención de una corriente. La palabra restauración es definida como el conjunto de actividades que pretenden devolverle la estructura y funcionamiento al río como ecosistema, de acuerdo con algunos procesos y con dinámicas equivalentes a las condiciones naturales (González y García, 2007 citados por Franco, 2010). Implica conocer profundamente estas características y el contexto en el que se desarrollan, con el fin de tenerlas como objetivo a alcanzar. No se puede hablar de restauración en aquellos casos en los que la actuación tenga objetivos antrópicos, debe estar encaminada al restablecimiento de procesos responsables de crear y mantener patrones que proporcionen beneficios para el ecosistema (Saldi-Caromile et

al., 2004; Magdaleno, 2005).

Por otro lado, la rehabilitación es devolverle al sistema o a una parte del sistema un estado que no necesariamente será el que tenía previo a la perturbación, a través de la restauración de ciertas funciones y características del ecosistema con el fin de establecer escenarios que alberguen los sistemas ecológicos naturales (Saldi-Caromile et al., 2004; Magdaleno, 2005). La prioridad de la rehabilitación debe ser el establecimiento de un ecosistema autosostenible, resiliente en su recuperación ante un régimen perturbador. Se usa en sistemas donde la infraestructura existente, especies invasivas, limitación en la abundancia y extinción de especies nativas, y el uso del suelo pasado y presente, impiden que se logre una restauración (Saldi-Caromile et al., 2004). Similar a la rehabilitación pero en menor escala, el mejoramiento o la mejora de una corriente hace referencia la manipulación del hábitat en un pozo individual, un rápido, o un tramo aislado. Como resultado, el mejoramiento alcanza menores beneficios para el ecosistema en su totalidad, a menos de que este suceda para intervenir la característica más significativa que haya sido degradada (Saldi-Caromile et al., 2004).

Dado que la urbanización es un proceso irreversible que cambia la superficie y usos de la tierra, las corrientes urbanas cambian también de forma permanente para ajustarse a las nuevas condiciones impuestas (Chin, 2006). Por lo tanto para una corriente urbana es difícil obtener una restauración del sistema, generalmente las obras que se realizan tienen enfoques de rehabilitación o mejoramiento de ciertas condiciones de la corriente.

#### SITUACIÓN EN COLOMBIA Y EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN

En Colombia se presenta una problemática en el manejo de los recursos hídricos asociado a la planificación del territorio. Se evidencia esta situación en las temporadas de lluvia intensa en las que las consecuencias por las deficiencias en la previsión y en los estudios obligan al desplazamiento de comunidades y generan pérdidas millonarias de cultivos y ganado por inundaciones. Desde el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial se reconoce en cuanto al manejo de los recursos hídricos que “si bien el desarrollo normativo ha sido importante, el desarrollo de guías metodológicas y cajas de herramientas para su aplicación se ha quedado corto, lo cual ha limitado su aplicación; por lo tanto, se requiere seguir avanzando en la implementación de este tipo de herramientas, tanto a nivel nacional como local” (MAVDT, 2010). Por lo tanto es necesario implementar desde ahora un programa de instrumentación para los ríos del país, se necesitan también estudios detallados para el conocimiento de las corrientes locales y con esto tener una base para planificar el territorio, crear medidas de prevención del riesgo y darle el espacio suficiente a los ríos para el desarrollo de su dinámica fluvial; con esto será posible pensar en las necesidades de cada río y las medidas técnicas que requiera para llevar a cabo una completa restauración que le devuelva la integridad ecológica.

Por su parte, en la ciudad de Medellín el proceso de urbanización ha afectado tanto el cauce como las márgenes de las corrientes y por consiguiente la vegetación, los sistemas bióticos y la calidad del agua. Esta afectación ocurre cuando se ocupa el cauce y sus zonas de inundación de una manera no controlada, lo cual se ha convertido en una práctica común en la ciudad, y las zonas aledañas a las quebradas han pasado a ser de zonas naturalmente inundables pertenecientes a la corriente, a zonas de riesgo para la población que ha invadido algún cauce natural.

En la actualidad en la ciudad de Medellín se consideran como opciones de intervención de las quebradas la canalización, box culvert o cobertura, conducirla a través de una tubería, o simplemente no intervenirla en su lecho si no se requiere. En este último caso lo que sí se hace es estabilizar aún las zonas geológicamente inestables, en las bancas o cerca a sus márgenes, con métodos rígidos por no conocer ni tener una base técnica concreta para aplicar los métodos de bioingeniería y biotécnica, ocasionando una afectación en el sistema fluvial, en la función ecológica de la corriente, generando riesgos adicionales por el tipo de obras que se construyen, imposibilitando el acceso de la comunidad a la corriente y a su vez creando una concepción de que las quebradas son canales de desagüe y de disposición de contaminantes antes que espacios limpios para la recreación.

La Secretaría de Medio Ambiente de Medellín (2009) encontró en el segundo levantamiento integrado de cuencas hidrográficas las siguientes problemáticas de las cuencas las cuales inciden directamente en el estado de las quebradas:

#### *CULTURA AMBIENTAL*

Existe una falta de sensibilidad de la comunidad en el aspecto de los temas ambientales, ya que la percepción que tienen algunos habitantes de las quebradas (sobre todo en las partes altas de las comunas) es negativa, viéndolas como una amenaza por el riesgo que implican para los asentamientos (que se encuentran en peligro por no conservar los debidos retiros), y utilizándolas como depósito de aguas residuales y basuras.

#### *INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA*

Se encontraron problemas en cuanto a que en algunos tramos de quebradas el cauce no tiene la capacidad para las crecientes que le llegan, hay arrastre de sedimentos, y hay zonas vulnerables a inundaciones por taponamientos de estructuras hidráulicas con basuras y escombros. Las inundaciones en estos casos serán inminentes, ya que los caudales son mayores por los vertimientos y el espacio que ocupa el agua es mayor por los sólidos ajenos a la corriente que son depositados en ella.

#### *SANEAMIENTO*

Para muchas viviendas aún no existe la conexión a la red de alcantarillado, por lo cual las quebradas son una fuente de disposición de aguas residuales, esto ocasiona el aumento del caudal, la contaminación del agua y la generación de una fuente de malos olores y enfermedades; de este modo, la percepción de los habitantes en este caso es que prefieren la intervención de la quebrada con un cubrimiento de la misma para evitar la cercanía a todos los problemas mencionados que se ocasionan en la corriente.

#### *RIESGO GEOLÓGICO*

En algunos sectores se presenta incisión del cauce y socavación de orillas y asociados a estos procesos se presentan deslizamientos debido a la remoción de la base de la vertiente.

Por estos motivos se implementó por parte del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) en el 2006 el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá – POMCA- , este constituye un conjunto de “normas de superior jerarquía que parten de un diagnóstico y terminan en la planificación del uso y manejo sostenible de los recursos naturales en la unidad hidrográfica, con el objetivo de garantizar la cantidad y calidad de la

oferta ambiental” (MAVDT, 2010). Además, se han implementado los Planes Integrales de Ordenamiento y Manejo de las microcuencas –PIOM-desarrollados por la Secretaría de Medio Ambiente en conjunto con el AMVA, como herramientas para lograr una formulación concertada entre instituciones y comunidad para la ordenación del territorio en las microcuencas. Dado que los PIOM son instrumentos de menor jerarquía que el POMCA, deben ir acorde y contribuir con la ordenación y manejo del Río Medellín o Aburrá. Aun así, las recomendaciones y lineamientos dados por ambos no han llegado al punto de brindar propuestas concretas para el tratamiento de los cauces de una forma natural.

En la aplicación que se hizo en este proyecto para un tramo de la quebrada La Presidenta, el manejo y la recuperación, estará dirigido al establecimiento de técnicas que permitan cierto control del cauce y de las riberas de la corriente permitiendo el establecimiento de las condiciones ambientales que mejoren tanto el sistema ecológico como aspectos paisajísticos, proporcionando con ello mejores posibilidades de integración entre las corrientes y los asentamientos humanos. Por ser una corriente urbana la propuesta no tiene pues el alcance de una restauración sino más bien el de mejoramiento de la estabilidad del cauce en sentido físico.

## CONSIDERACIONES TÉCNICAS

En el desarrollo de este trabajo se realizó una recopilación bibliográfica de aquellas fuentes que describían casos y métodos de restauración. Se tomaron como base tres fuentes para el caso de aplicación en la ciudad de Medellín, debido a sus detalles y a la analogía con los objetivos que se buscan, estas son: la metodología de diseño propuesta por Doll et al., (2003) de North Carolina Stream Restoration Institute y North Carolina Sea Grant, diseños para la estabilización de bancas propuestos y aplicados por The River Restoration Centre para el Río Skerne en County Durham, Inglaterra y los diseños recopilados en los artículos de Li & Eddleman (2002) y Landphair & Li (2001).

### METODOLOGÍA PARA LA RESTAURACIÓN DE CORRIENTES PROPUESTA POR DOLL, ET AL. (2003) DE NORTH CAROLINA STREAM RESTORATION INSTITUTE Y NORTH CAROLINA SEA GRANT

Según Doll et al. (2003) antes de comenzar el proceso de diseño del tramo de la corriente a restaurar es necesario haber considerado los siguientes aspectos:

- Área de drenaje de la cuenca
- Evaluación de los usos del suelo
- Identificación de banca llena del cauce
- Dimensiones, en cuanto a ancho, profundidad y secciones transversales
- Patrón de la corriente, que comprende las medidas de sinuosidad (k), longitud de onda del meandro, radio de curvatura y ancho del cinturón del meandro
- Perfil
- Análisis del sustrato
- Estimación del caudal y velocidad en condiciones de banca llena
- Evaluación de la condición riparia, la cual analiza topografía, características prominentes en la llanura de inundación, fertilidad del suelo e inventario de especies de vegetación de la zona.
- Determinación de los objetivos de restauración y el tipo de corriente que será intervenida.
- Identificación de un tramo de referencia, este es un segmento estable del río que representa un canal estable en una morfología particular de valle; estos tramos proporcionan una plantilla numérica que puede ser aplicada a tramos inestables, ésta contiene relaciones morfológicas adimensionales que se pueden aplicar posteriormente a cualquier lugar de la corriente así el área de la cuenca y las medidas de su canal asociado sean diferentes. Estos tramos de referencia no deben tener uso del suelo significativo por lo menos 5 años atrás; un canal con banca llena en el borde de la banca y sin signos aparentes de incisiones o cortes; estable, con buena vegetación, con pendientes suaves en sus bancas, y propiamente localizados los aspectos del lecho del cauce (rápidos, pozos, escalones, etc.).

Una vez obtenida esta información se puede proceder a los pasos de diseño, los cuales son un proceso iterativo hasta ajustarse a las dimensiones apropiadas, patrón y perfil de la corriente basada en los datos del tramo de referencia, los objetivos de la restauración y las restricciones existentes del sitio. El procedimiento consta de tres pasos claves: (Doll et al., 2003):

1. Determinar la nueva dimensión: con los datos el área a banca llena, caudal a banca llena,



relación ancho profundidad (mayor que 9 preferiblemente), se calcula el ancho propuesto y la profundidad media.

2. Darle un nuevo patrón a la corriente: con la medida de sinuosidad esperada y pendiente del valle se calcula la pendiente promedio. Posteriormente se valida hasta este punto si la corriente tendrá capacidad de transporte de los sedimentos, si no será necesario variar la relación ancho profundidad y/o la sinuosidad.

Se calcula también la longitud de onda del meandro, el radio de curvatura y el ancho del cinturón del meandro con base en los datos existentes del tramo de referencia. Además se calculan en pasos posteriores, áreas, anchos y longitudes de pozos y rápidos.

3. Desarrollo del perfil longitudinal: Se determinan nuevas secciones, y para éstas los cortes y llenos necesarios. Se seleccionan los métodos para la estabilización de las bancas los cuales deberán ser localizados tanto en la planta como en el perfil y las secciones del tramo a restaurar. Se debe desarrollar además un plan de plantación y construcción de los sistemas naturales escogidos para la estabilización. Por último se deben verificar esfuerzo cortante y las condiciones de inundación, para evitar de este modo erosión, colmatación por sedimentos e inundaciones en viviendas vecinas, lugares comerciales o carreteras.

#### MÉTODOS BIOTÉCNICOS

En la actualidad ha surgido una tendencia que manifiesta la inquietud de la degradación que causa el urbanismo en las corrientes y la motivación por recuperar las mismas (Chin, 2006). Esto es posible y se han desarrollado metodologías y medidas orientadoras hacia este fin. Una de las medidas que se recomienda tomar para la estabilización de las bancas es conocida como métodos biotécnicos, de bioingeniería o ecotecnología. Estos alcanzan las metas de estabilización de las bancas de las corrientes que ha buscado la práctica ingenieril tradicional, reponen la morfología natural de la corriente, y ayudan a la recuperación del aspecto ecológico y estético de la misma a través del uso de la vegetación en combinación con materiales geosintéticos (Li & Eddleman, 2002).

Según Landphair & Li (2001) y Li & Eddleman (2002), cuatro aspectos pueden destacarse entre las ventajas de la implementación de la biotécnica:

- Geotécnico: la cobertura vegetal refuerza el suelo con las raíces y brinda protección superficial a la erosión; mantiene la infiltración en eventos de lluvia, disminuye la velocidad del flujo superficial debido a los tallos y follajes que son los responsables de la disipación de la energía redistribuyendo el patrón de flujo; incrementa los tiempos de concentración y reduce las tasas de flujos pico; restringe el desprendimiento de partículas del suelo superficial, reduciendo en consecuencia el transporte de sedimentos y retarda la saturación del suelo a través de la transpiración.
- Ecológico: debido a que la vegetación usada en los métodos biotécnicos ofrece la posibilidad de recuperar el sistema ecológico y la biodiversidad de los sistemas acuáticos en fuentes de agua.
- Económico: a pesar de que los costos de instalación de la estabilización biotécnica pueden ser mayores que la de los métodos tradicionales, la experiencia sugiere que los costos durante la vida útil de la obra son menores. Mientras los métodos tradicionales

experimentan deterioro con el tiempo, las plantas tienen la habilidad de ser autorecuperables.

- Estético: se obtiene una mejora en el paisaje, al mismo tiempo que se logra una estructura estable con los conceptos de ingeniería, a diferencia de la dramática transformación estética que ocurre cuando el ambiente natural es alterado con el uso de concreto, enrocado y metal.

A pesar de contar con estos beneficios, también es importante resaltar las desventajas que puede tener este tipo de estabilización como: limitaciones en cuanto a la disponibilidad de la vegetación requerida y en su supervivencia, la cual depende mucho de la manipulación en la instalación, las condiciones climáticas y el mantenimiento que se le proporcione; además, la estabilización biotécnica requiere más tiempo para obtener su resistencia completa, por tal motivo ésta es susceptible a fallar por grandes inundaciones o sequías en un momento incipiente del proyecto cuando aún no se ha desarrollado lo suficiente la vegetación que le da estabilidad al sistema (Landphair y Li, 2001).

En los artículos de Li & Eddleman (2002), y Landphair & Li (2001), se presentan 12 propuestas de diseño para la estabilización de las bancas de un río, producto de una recopilación bibliográfica hecha por los autores. En esta recopilación se muestra un esquema de cada uno de los métodos, una matriz costo vs. resistencia con valores aproximados (en niveles de alto, medio y bajo en cada eje), la descripción y recomendaciones para la aplicación de cada uno. Se resalta el uso de materiales como: estacas vivas, cortes de ramas vivas, materiales de lleno de reemplazo, madera no tratada para la conformación de estructuras en las bancas, árboles muertos y troncos.

Por otro lado, el Centro para la restauración de Ríos en Inglaterra publicó un manual con las experiencias y técnicas usadas en el Río Skerne y en el Río Cole en 1995, posteriormente en el 2002 publicó una segunda edición en la que se incluyen técnicas adicionales tomadas de 15 proyectos (The River Restoration Centre, 2002). Se tomaron como referencia para la aplicación en la quebrada La Presidenta los diseños para la estabilización de las bancas presentados para el Río Skerne, se muestra para cada uno de ellos un esquema con las dimensiones y materiales usados en la restauración. Se destaca el uso de materiales como estacas de madera, fibras vegetales, geotextil, roca para llenos, alambre galvanizado, y red o malla para recubrimiento de taludes y conformado de rollos de rocas; estos materiales se usan dependiendo de la condición del lugar donde se vayan a aplicar y el diseño que sea adecuado para el mismo.

### **CASO DE ESTUDIO: TRAMO DE LA QUEBRADA LA PRESIDENTA**

Para la aplicación de las propuestas de diseño se escogió la quebrada La Presidenta en un tramo localizado a la altura del parque lineal que lleva el mismo nombre. Este se encuentra localizado en zona urbana entre la carrera 43 A (avenida El Poblado) y la carrera 39, y entre la calle 7D y calle 8. La quebrada en este sector se encuentra en 3 estados: canalizada, sin canalizar y en otras zonas tiene un margen sin canalizar y la otra con obras de contención como muros de concreto o muros de gavión.

Se seleccionó este tramo porque se contó con información necesaria como el PIOM de la

cuenca de la quebrada la Presidenta, el cual comprende estudios hidráulicos, hidrológicos, geomorfológicos, geotécnicos y topográficos previamente desarrollados; se tienen los planos usados para el diseño del parque lineal los cuales son un insumo importante; y en este tramo hay zonas que son susceptibles de ser atendidas con métodos naturales.

Para la quebrada se intentó seguir la metodología propuesta por Doll et al. (2003), esta fue adaptada a las condiciones de la corriente y de los tramos a restaurar y se hizo de acuerdo con la información que estuviera contenida en el PIOM, información de campo y datos obtenidos de los planos de los diseños del parque lineal. Aun así, la información del PIOM es insuficiente, ya que se proporcionan datos muy generales de la quebrada en su totalidad, y para la aplicación de la metodología se hace necesario tener datos precisos de la zona a restaurar.

Por ejemplo, la metodología mencionada requiere que se tenga información acerca de los usos históricos y actuales de la cuenca; en el PIOM a pesar de que si se describen los usos y estados actuales en cada una de las zonas de la microcuenca, no se muestra en detalle la evolución histórica de los usos del suelo a través de mapas topográficos. Se necesita además tener el dato del caudal en condiciones de banca llena y el período de retorno correspondiente, el PIOM proporciona solamente un caudal medio para toda la quebrada, y por otro lado presenta una lista de caudales para diferentes períodos de retorno a la salida de la cuenca, este dato no es muy útil ya que es muy diferente el caudal en el tramo que se restaurará, localizado en la zona media de la cuenca, al caudal a la salida de la cuenca ya que la corriente en este punto tiene el aporte de otros afluentes.

Por otro lado, es necesario obtener parámetros morfométricos tanto del tramo a restaurar como del tramo de referencia, este punto fue el de mayor carencia de información ya que el PIOM escoge un tramo de referencia y para este obtiene algunos valores, sin embargo los criterios de selección del tramo de referencia difieren totalmente de los de la metodología; el tramo representativo en el PIOM se localiza en la zona alta de la corriente con el fin de poder analizar las secuencias escalón-pozo, “Estas conformaciones dan cuenta de varias características morfológicas de las quebradas y es por ello que fueron analizadas”...”la selección se realizó basándose en criterios tales como características similares de los elementos morfológicos en una longitud considerable y la facilidad para realizar las mediciones; lo anterior con el fin de obtener tramos que permitieran generalizar el comportamiento del flujo con las formas del lecho presentes. Así mismo, los tramos seleccionados para cada quebrada se escogieron de tal forma que en cada uno existieran por lo menos 9 saltos (escalones) consecutivos” (AMVA. Secretaría de Medio Ambiente de Medellín, 2005). Por tal motivo los datos proporcionados por el PIOM no son de utilidad para aplicar a la restauración del tramo ubicado en la zona del parque lineal. Aún, si estos fueran a usarse faltarían datos de: profundidad media a banca llena, se presentan algunos datos de esta profundidad pero no se explica en detalle dónde se encuentran ubicadas las secciones en la que se obtuvieron estas medidas; con respecto al área de rápidos y pozos, sólo se encontró información de ancho de rápidos y pozos mas no área; no se encuentran datos de alturas de banca, perfil de la superficie del agua y datos de patrón de la corriente como sinuosidad. Con relación a la pendiente entre rápidos y pozos, el PIOM sólo brinda distancia entre rápidos pero no proporciona cotas para poder obtener las pendientes. Adicionalmente, se tienen resultados de ensayos de granulometría, conteo aleatorio de piedras de Wolman y datos de diámetros característicos. Todos los datos requeridos por la metodología que estaban disponibles, no

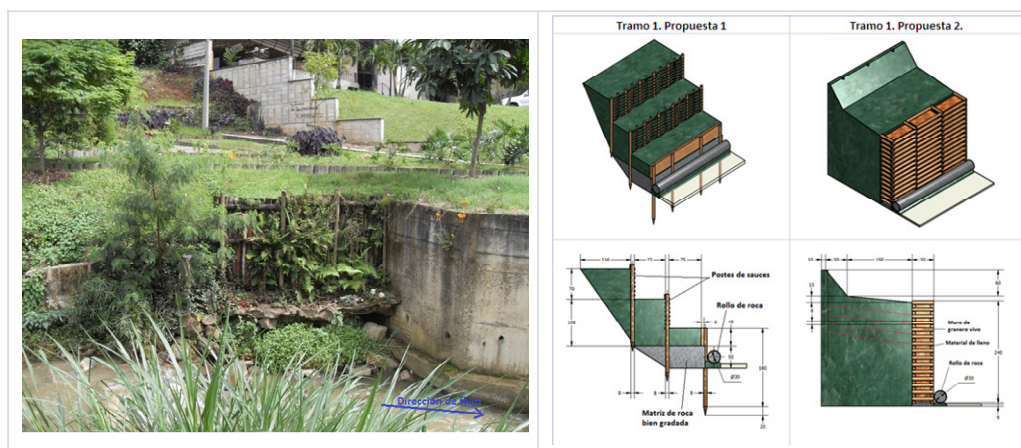
correspondían a la zona seleccionada para la restauración.

Igualmente, hay carencia de información para determinar el índice de riesgo de erosión de las bancas ya que se necesita que haya una descripción específica de la banca para determinar la densidad de raíces, la vegetación que protege la banca y el ángulo de la misma, con esta información se puede determinar el índice según una guía de la metodología basada en los conceptos de Rosgen (2001) (Doll et al., 2003).

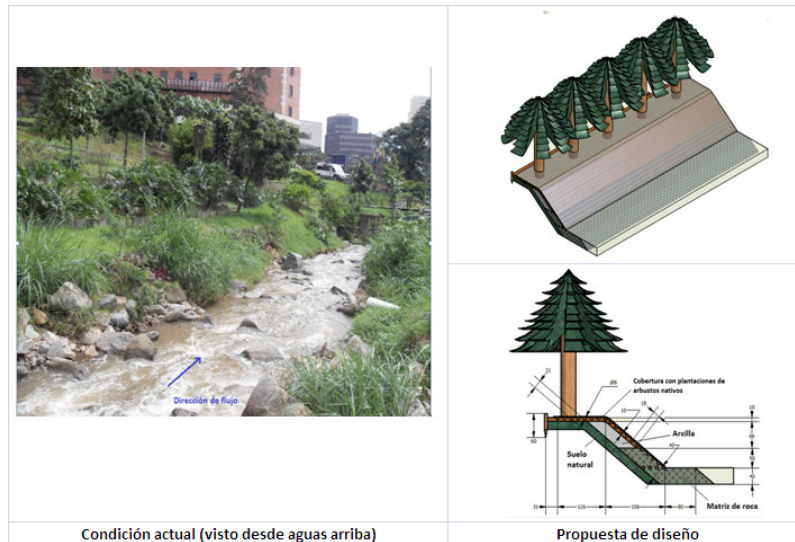
Es necesario determinar también el volumen de movimiento de tierras que será necesario en el proyecto, el PIOM no proporciona insumos de secciones transversales en la zona del parque lineal, por lo tanto se recurrió a los planos del parque de los que no se obtuvo información ya que las secciones transversales no eran suficientes para determinar volúmenes de cortes y llenos según los diseños planteados.

Finalmente, es importante resaltar que incluso en el PIOM mismo se resalta la escasez en la información que se puede obtener para la cuenca, ya que no existen registros limnigráficos ni limnimétricos y tampoco se tienen estaciones de precipitación en la microcuenca lo cual hace que se origine una fuente de error por el uso de datos de otras estaciones fuera de la microcuenca obteniendo solamente aproximaciones. Para las corrientes de Medellín se puede decir entonces que es preciso llevar a cabo estudios detallados que den la información necesaria para desarrollar un proyecto de restauración con pleno conocimiento de la corriente para la obtención de resultados satisfactorios.

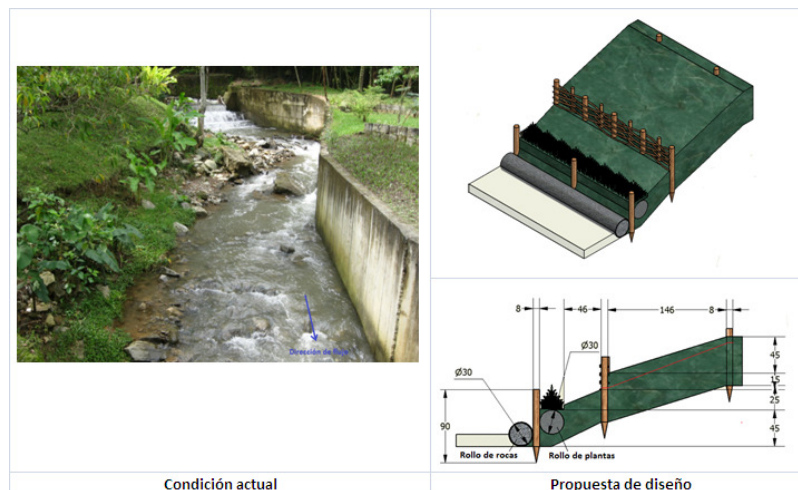
Para el tramo elegido de la quebrada La Presidenta se decidió entonces proponer una serie de alternativas para la estabilización de las bancas, estas se diseñaron con base en los métodos biotécnicos aplicados en el Río Skerne en Inglaterra. Estas propuestas para el tramo seleccionado tienen como el fin mostrar una posible intervención natural en las laderas del cauce diferente a los métodos rígidos. En el tramo de la quebrada en el parque lineal se ubicaron 3 zonas: zona alta (cerca de la carrera 39), zona media y zona baja (contigua a la carretera 43A). La zona alta tiene un tramo a restaurar y un árbol que necesita rehabilitación, la zona media en 2 tramos y la zona baja en 3 tramos. Se destaca el uso de materiales como estacas de madera vivas e inertes, arcilla, roca, geotextil, alambre. En las figuras 1, 2, 3 y 4 se pueden observar algunos de los diseños propuestos para diferentes tramos de la quebrada La Presidenta en el parque lineal.



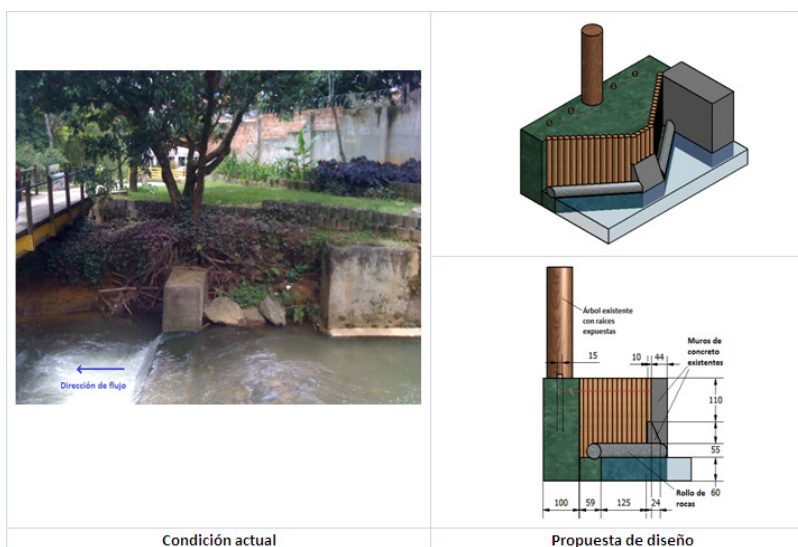
**Figura 1.-** Propuestas de diseño para estabilización de banca de la quebrada La Presidenta en la zona baja del parque lineal. Se basaron en las técnicas de estacas escalonadas (propuesta 1) y muro de granero vivo (propuesta 2).



**Figura 2.-** Propuestas de diseño para estabilización de banca de la quebrada La Presidenta en la zona baja del parque lineal. El diseño se realizó basado en la técnica de revestimiento usando una matriz de sauces.



**Figura 3.-** Propuestas de diseño para estabilización de banca de la quebrada La Presidenta en la zona media del parque lineal. El diseño se realizó basado en la combinación de técnicas de rollos de plantas, rollos de rocas y estacas escalonadas.



**Figura 4.-** Tratamiento para las raíces expuestas de un árbol de mango. Se basa en una técnica específica para la protección de raíces en las márgenes de una corriente y se combina con rollos de rocas en la parte en contacto con el agua.

## CONCLUSIONES

Es necesario entender que las quebradas son sistemas que incluyen el canal activo, la llanura de inundación y la biodiversidad que los ocupa, y que cualquier perturbación en uno de sus componentes desequilibrará la dinámica del sistema y el canal se volverá inestable intentando ajustarse a las nuevas condiciones que se le imponen, por lo tanto cualquier intervención que se le haga tendrá consecuencias negativas, que serán de menor impacto si se hace una intervención orientada a la conservación natural de la corriente.

Los métodos rígidos para la estabilización de las bancas de una corriente se han usado en todo el mundo a lo largo del tiempo por la confiabilidad hidráulica que éstos proporcionan, sin embargo están siendo reevaluados por los inconvenientes ecológicos que presenta así como el deterioro y fallas en el tiempo tanto de capacidad hidráulica como de resistencia, lo cual representa riesgos potenciales de hundimientos superficiales por infiltración de aguas subterráneas, sumado a los costos de mantenimiento que trae consigo.

La restauración de corrientes es el restablecimiento de la estructura general, función y comportamiento autosostenible de la corriente que tenía antes de la perturbación sufrida por fuentes antrópicas. Una rehabilitación por su parte, no pretende devolver a la corriente el estado natural por las restricciones de urbanismo que presente, pero restaura parcialmente sus aspectos geomorfológicos, hidráulicos y ecológicos. Dentro de las medidas que se toman en ambos casos se encuentra la instalación de estructuras con materiales naturales y plantación de vegetación para la protección de las bancas.

Los métodos biotécnicos, de bio ingeniería o de eco tecnología ofrecen ventajas en el aspecto geológico, ecológico, estético y en riesgos, ya que además de estabilizar las márgenes de la quebrada, favorece la infiltración natural, reduciendo la amenaza por inundaciones aguas abajo de la obra realizada. Sin embargo tienen limitaciones que se deben tener en cuenta para escoger la época de instalación, las zonas donde se puede aplicar, y la disponibilidad de la vegetación que se usará.

Para un proyecto de restauración es necesario el apoyo de la comunidad, este aspecto es lo que diferencia aun el contexto internacional de los países que llevan a cabo este tipo de trabajos con el contexto local. Por esta razón es importante mostrarle a la comunidad del municipio de Medellín que hay otras opciones de intervención que propician espacios para la recreación, el descanso y con un ambiente natural.

La aplicación hecha en la quebrada La Presidenta no tiene el alcance de una restauración en sentido estricto, sino que con las propuestas de diseño se pretende darle un control y manejo al cauce con métodos biotécnicos que permitan un restablecimiento de las condiciones ambientales y la integración de las quebradas urbanas con los asentamientos humanos cercanos.

Para el desarrollo de un proyecto de restauración no basta con los datos proporcionados por los PIOM desarrollados para las quebradas, es necesario el estudio detallado de todos los aspectos hidráulicos, geológicos y geomorfológicos de la corriente, el perfil y las secciones en el tramo a restaurar, tener insumos de históricos de usos del suelo y comportamiento de la quebrada, y conocer los factores físicos y bióticos de la cuenca.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMVA. Secretaría de Medio Ambiente de Medellín.** (2005). *Formulación del plan de manejo de la microcuenca de la quebrada La Presidenta. Zona Suroriental de Medellín.* Medellín.
- Binder, W.** (2006). "Case study: River restoration projects along the Isar (Germany)". *Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics* (págs. 51-60). Lisboa: Taylor & Francis group.
- Chin, A.** (2006). "Urban transformation of river landscapes in a global context". Recuperado el 30 de agosto de 2010, de *Sciencedirect*: <http://www.sciencedirect.com/>
- Doll, B. A., Grabow, G. L., Hall, K. R., Halley, J., Harman, W. A., Jennings, G. D., Wise, D. E.** (2003). *Stream Restoration: A Natural Channel Design Handbook.* Raleigh, NC: NC Stream Restoration Institute, NC State University.
- ECRR.** (2008). "ECRR Adressing practitioners". Recuperado el mayo de 2011, de European Centre for River Restoration: [www.ecrr.org](http://www.ecrr.org)
- FISRWG.** (1998). *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices.* Estados Unidos: Federal Interagency Stream Restoration Working Group.
- Franco, F. L.** (2010). *Urban river restoration in Colombia. Viewed as whole in order to reduce hydraulic and risk pollution.* Milán, Italia: Politecnico di Milano. Dipartimento BEST.
- Hansen, H.-O.** (1997). "Restauración de ríos. Experiencias y ejemplos de Dinamarca". Recuperado el abril de 2011, de *Ministerio del Medio Ambiente y de la Energía*: [www.dmu.dk](http://www.dmu.dk)
- Landphair, H. C., & Li, M.-H.** (2001). "Regional applications for biotechnical methods of streambank stabilization in Texas": A literature review. Recuperado el 26 de abril de 2010, de *Texas Transportation Institute. Texas A&M.*: <http://tti.tamu.edu/documents/1836-3.pdf>
- Li, M.-H., & Eddleman, K. E.** (2002). "Biotechnical engineering as an alternative to traditional engineering methods. A biotechnical streambank stabilization design approach". *Landscape and Urban Planning*, 225-242.
- Magdaleno, F.** (2007). "Principios y técnicas de restauración fluvial". *I Seminario de voluntariado para la conservación de Ríos y Riberas*, (p 13). Valsáin.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.** (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.* Bogotá, D.C., Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Nakamura, K., Tockner, K., & Amano, K.** (2006). "River and wetland restoration: Lessons from Japan". *BioScience*, 419-429.

**Saldi-Caromile, K., Bates, K. K., Skidmore, P., Barenti, J., & Pineo, D.** (2004). *Stream Restoration Guidelines*. Olympia, Washington: Washington Departments of Fish and Wildlife and Ecology y U.S. Fish and Wildlife Service.

**Secretaría de Medio Ambiente de Medellín.** (2009). *Segundo levantamiento integrado de cuencas hidrográficas del Municipio de Medellín*. Medellín.

**The River Restoration Centre.** (2002). "Revetting and supporting river banks". En *T. r. centre, Manual of river restoration techniques*. Cranfield.

**Zapata, J., Acevedo, J. D.** (2010). *Manejo y restauración de cauces. Estudio de casos en el municipio de Medellín*. Envigado.





Instituto de Recursos Hídricos



Facultad de Ciencias Exactas y Tecnológicas



Universidad Nacional de Santiago del Estero



Instituto Nacional del Agua



Subsecretaría de Recursos Hídricos



Agencia Nacional de Promoción Cient. y Tec.



Gobierno Prov. de Santiago del Estero



Ministerio de la Producción



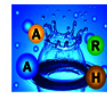
Secretaría del Agua



Secretaría de Desarrollo, Ciencia y Tecnología



Consejo Prof. de la Ingeniería y Arq.



Asociación Argentina de Recursos Hídricos



Asoc. Internacional de Invest. Hidroamb.



Comisión Regional del Río Bermejo



CORPORACION ARGENTINA TECNOLÓGICA s.a. INGENIERIA CIVIL E HIDRAULICA

