

# Lineamientos para la recuperación ambiental de cauces urbanos en las zonas de montaña

## Guidelines for environmental recovery of urban riverbeds in mountain zones

ALBERTO POLO CUETO<sup>1</sup> - RUBÉN DARÍO OCHOA ARBELÁEZ<sup>2</sup>

1. Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Recursos Hidráulicos y Medioambiente.

2. Magíster en Recursos Ambientales.

alberto.polo@mail.escuelaing.edu.co - ruben.ochoa@escuelaing.edu.co

Recibido: 02/02/2018 Aceptado: 01/03/2018

Disponible en [http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones\\_revista](http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista)  
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

### Resumen

En muchas de las poblaciones colombianas es posible observar el deterioro ambiental de los cuerpos hídricos, la invasión de las rondas hidráulicas y los cauces que ocasionan riesgos a los habitantes de los sectores más vulnerables de la población.

En la actualidad, la recuperación del medio natural es un objetivo de las autoridades encargadas de la planeación de las ciudades. Se requiere generar espacios de vida para mitigar los efectos ambientales y propiciar el desarrollo sostenible en los sectores vulnerables de las ciudades (Pomca, Decreto 1640 de 2012, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). De este modo, es necesario plantear lineamientos para el análisis de la situación y el manejo del problema ambiental, con el propósito de establecer acciones que recuperen el paisaje, que sean sostenibles y se adecuen a la realidad de las ciudades.

Desde este punto de vista y teniendo en cuenta los problemas que se presentan en la periferia de las ciudades se plantean en forma general los aspectos que pueden considerarse en la caracterización de los cauces urbanos en la zona de montaña y una metodología que puede implementarse en procesos de recuperación de cauces urbanos.

**Palabras claves:** recuperación ambiental, rehabilitación, recuperación.

### Abstract

In many Colombian settlements, it is possible to observe an environmental decay in water bodies, invasion of riparian corridors and riverbeds that create risks for the most vulnerable inhabitants of the area.

Currently, environmental recovery is a goal of all urban planning authorities. It is necessary to generate life areas to ameliorate the environmental effects and foster sustainable development in vulnerable sectors of cities (Pomca, Decreto 1640 de 2012, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). Therefore, it is needed to establish guidelines to analyze situations and deal with environmental problems, in order to set out actions that rebuild landscapes, in a sustainable manner and coherent with the reality of cities.

Considering the above and all problems present in the outskirts of cities, an outline of the aspects to be considered for characterizing urban riverbeds in mountain zones is presented as well as a methodology that can be implemented in the process of recovering urban riverbeds.

**Keywords:** environmental recovery; rehabilitation; recovery.

## INTRODUCCIÓN

Desde hace siglos, las orillas de los ríos han sido lugares atractivos para el desarrollo urbano.

El conflicto producido por la urbanización desordenada en las zonas altas de las cuencas ha de gestionarse, con el fin de evitar daños a la vida humana y a la propiedad, pero se requiere una metodología de intervención, con actividades orientadoras a los profesionales interesados en la recuperación ambiental de quebradas intervenidas que atraviesan poblaciones en las zonas de montaña. Ese fue el motivo para desarrollar un trabajo de grado en la maestría con la Escuela Colombiana de Ingeniería, cuyos resultados se socializan en el presente artículo.

## METODOLOGÍA Y LINEAMIENTOS PARA LA RECUPERACIÓN DE CAUCES EN ZONAS DE MONTAÑA

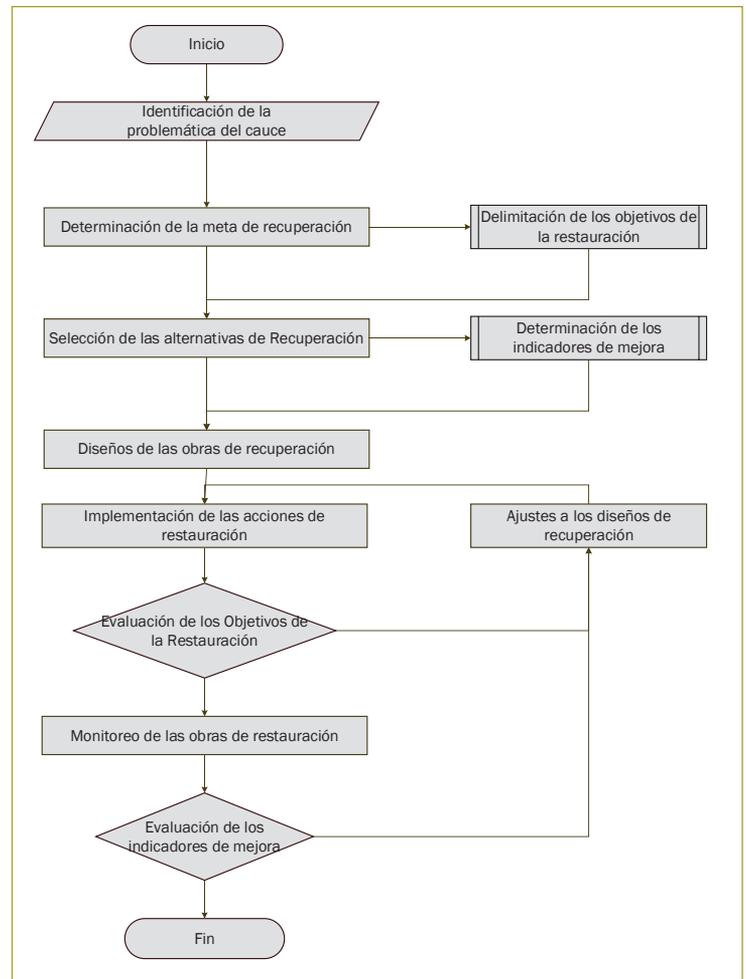
Para lograr los objetivos propuestos hay que tener claro que la recuperación de cauces no es una acción concreta, sino un proceso que comprende múltiples iteraciones que le deben permitir al ingeniero establecer los mecanismos de optimización y comprobación de las soluciones que proyecte; eso supone la dificultad que presentan estos procesos, pues deben evaluarse constantemente durante la implementación de las acciones propuestas, debido a la dinámica fluvial de los cauces.

El proceso metodológico que permitirá la identificación del problema, su evaluación, el planteamiento de las acciones de recuperación y su monitoreo, se resume más adelante (figura 1).

Los aspectos fundamentales propuestos en la metodología para la recuperación de cauces urbanos en las cuencas altas se describen a continuación:

**Paso 1: Identificación del problema del cauce.** Antes de un proceso de recuperación de cauces y cuencas intervenidas, es necesario hacer un diagnóstico en el que se establezca una línea base con el objetivo de determinar hasta dónde es posible llegar en el proceso de recuperación del cauce.

El grado de alteración del cauce determinará las intervenciones requeridas para alcanzar el grado de recuperación que se desee. Esto plantea la necesidad de fijar unas metas y objetivos en la recuperación, las cuales se deberán sopesar para establecer la viabilidad de lograr tales objetivos.



**Figura 1.** Diagrama de flujo. Proceso de recuperación de cauces en zonas de montaña.

En el diagnóstico preliminar se deberán determinar las condiciones actuales del cauce, determinando mediante recorridos previos aspectos generales que pueden ayudar a definir el grado de intervención antrópica y el establecimiento de una condición restaurada posible.

Desde este punto de vista en el establecimiento de la línea base (diagnóstico) se deberán contemplar los siguientes análisis:

**Análisis hidrológico.** Se efectúa con el propósito de fijar los caudales de flujo y la caracterización de la respuesta hidrológica de la cuenca. Dentro de este análisis debe tenerse en cuenta que es necesario implementar un modelo de lluvia escurrentía para caudales máximos (puede aplicarse el método racional para cuencas pequeñas menores de 80 ha), determinar el caudal base, aplicar modelos para definir caudales mínimos (caudal

ecológico) y calcular los caudales de importancia morfológica (caudal generador o de *bank-full*).

**Análisis hidráulico.** Su propósito es determinar los caudales de flujo y la delimitación de las zonas inundables del cauce. Para ello puede utilizarse un modelo unidimensional o bidimensional de flujo (por ejemplo, el HEC-RAS, para lo cual se deberán verificar resultados con las limitaciones del modelo). Para el análisis hidráulico, hay que determinar los coeficientes de resistencia al flujo mediante verificaciones de campo (aforos en secciones de flujo para calibrar el modelo).

**Análisis geomorfológico.** Se debe hacer para definir los aspectos que afectan la morfología del cauce. Hay que recopilar la información aerofotogramétrica existente con el propósito de realizar un análisis multitemporal de la morfología del cauce, mediante visitas de campo; hacer el reconocimiento de las unidades litológicas y geomorfológicas, y describir en forma detallada y sistemática afloramientos, medición y análisis de estructuras geológicas; se deberá hacer el levantamiento del perfil de meteorización y los depósitos de vertiente o aluviales involucrados, así como establecer si los cambios geomorfológicos dentro del cauce están asociados a procesos de degradación lateral, degradación vertical, y variaciones de las márgenes y fondo del cauce; se efectuará la identificación de procesos morfodinámicos activos, inactivos y potenciales, tales como deslizamientos, caídas de roca, inundaciones, avenidas torrenciales y, en general, toda clase de procesos de origen geológico o geomorfológico que puedan afectar la zona de interés y las obras de estabilización; habrá que caracterizar las obras de arte y estructuras que se encuentren en el área de estudio del cauce, tales como puentes, pontones, contenciones y demás que ameriten un análisis de estabilidad. También deberán caracterizarse el suelo del canal (erosionable, cohesivo, no cohesivo), los perfiles de las riberas y el material de las bancas; finalmente, deben determinarse las condiciones de inestabilidad de las bancas y fijar los controles geológicos y de las estructuras de control (alcantarillas, pasos bajo agua, etc.).

**Análisis desde los puntos de vista biológico, ambiental y social.** Desde el punto de vista biológico se desea la recuperación de hábitats para los animales, el restablecimiento de corredores de flora y fauna, la recu-

peración de las interacciones lógicas y el mejoramiento estético y visual del entorno. De esta forma, se hace necesario identificar los eventos que hayan generado impactos negativos en los corredores ecológicos de ronda, relacionados con eventos de inundación o de remoción en masa; realizar la revisión detallada de la bibliografía técnica y científica existente sobre la vegetación (vegetación riparia, vegetación acuática, especies invasoras, plantaciones, jardinería); elaborar el diagnóstico ambiental de campo, para definir la tipología y caracterización de los tipos de vegetación y de flora más representativa; generar el mapa de coberturas vegetales a escala detallada, así como hacer el inventario forestal de la ronda hidráulica y la zonificación ambiental del cauce.

**Caracterización socioeconómica.** Permitirá determinar las expectativas comunitarias y lograr, mediante talleres de socialización, la integración de la comunidad al proyecto de recuperación.

Más adelante se muestra la interrelación de las actividades requeridas en el proceso de identificación del problema del cauce (figura 2).

**Paso 2: Determinación de las metas y objetivos de la recuperación.** La definición de la realidad posible dentro del proceso de recuperación dependerá de condicionantes técnicos, sociales y económicos.

Desde el punto de vista técnico, deberán tenerse en cuenta los aspectos que pueden modificarse para recuperar la calidad de las aguas en el cauce o minimizar el impacto de las aguas de escorrentía provenientes de las zonas urbanas, o identificar situaciones de inestabilidad geotécnica o morfológica que se puedan mitigar o no.

Desde el punto de vista social, cabe anotar que en un proceso de recuperación es incluyente con la comunidad, ya que ésta debe ser partícipe activo del proceso, y se requiere que se apropie del espacio y valore su función ambiental. Actividades que generan problemas en el cauce, como el pastoreo, cultivos en la zona de ronda, o asentamientos de población indigente en las orillas del cauce, se deben eliminar si se espera conseguir un proceso sostenible en el tiempo.

En lo económico, se destaca que las metas y objetivos de una recuperación se definen de acuerdo con los recursos requeridos y la realidad económica de las administraciones municipales, que deberán establecer y priorizar los rubros de inversión en recuperación del

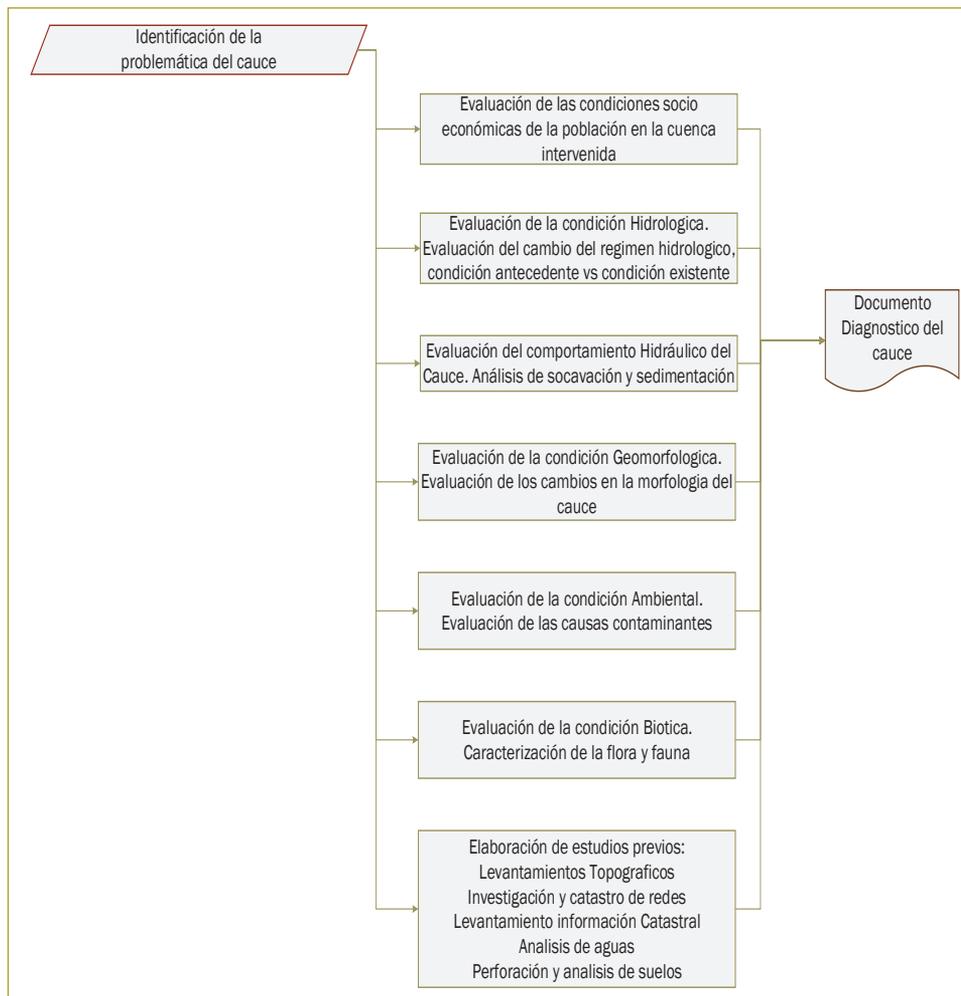


Figura 2. Diagrama de flujo. Paso 1: Identificación del problema del cauce.

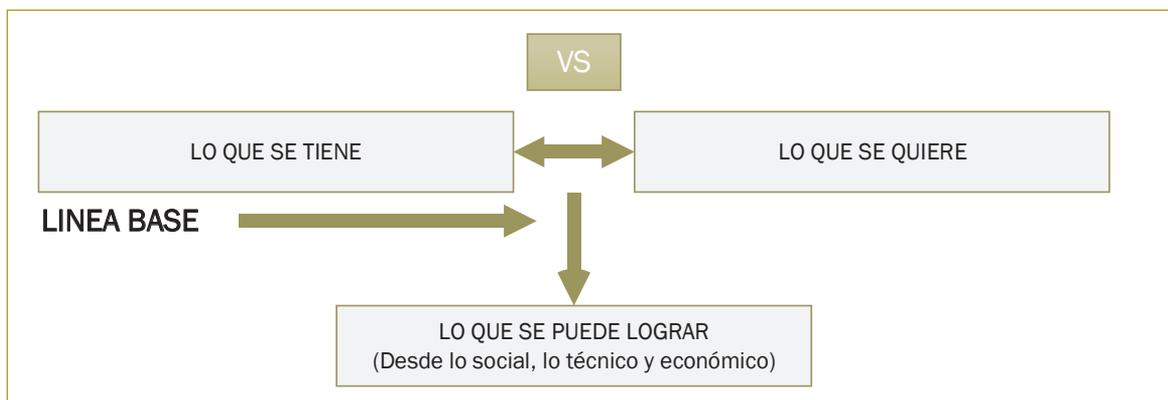


Figura 3. Determinación de los objetivos de la recuperación del cauce.

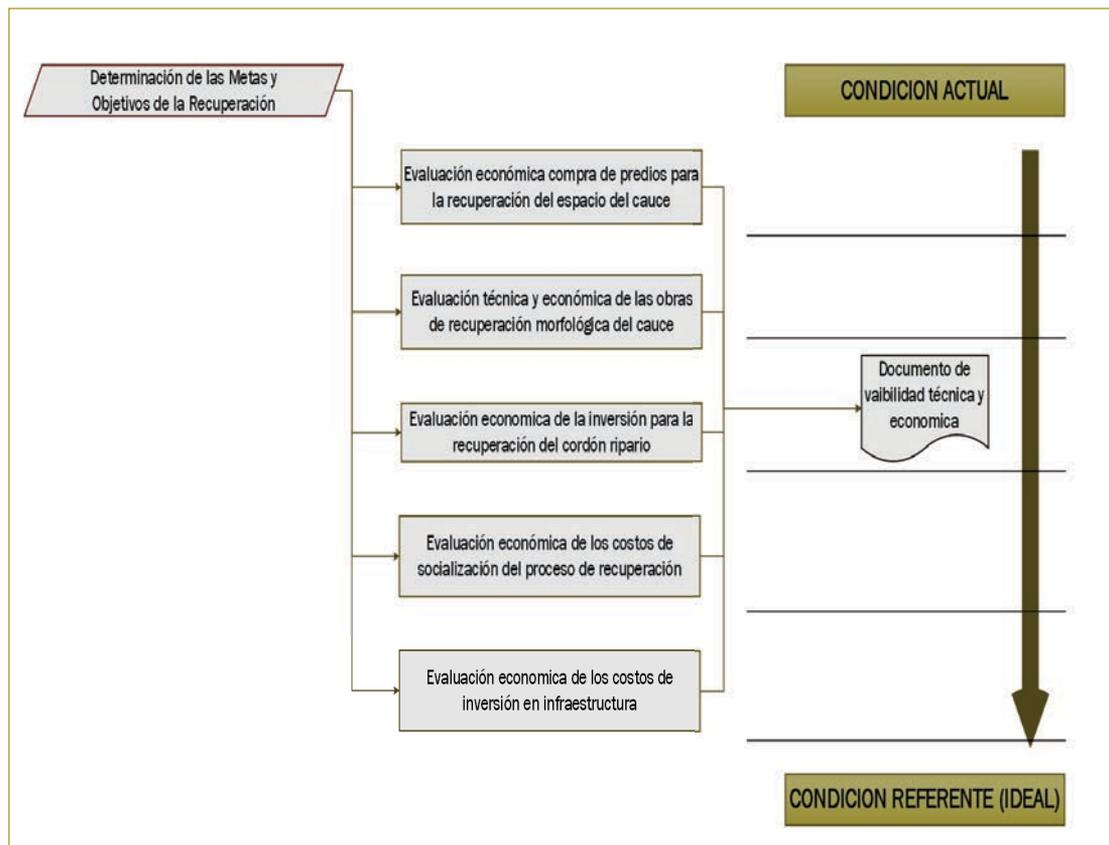
espacio público y obras de infraestructura necesarias, según la condición referente deseada.

Un proceso de recuperación dependerá, entonces, de la perspectiva real evaluada; es decir, de las conclusiones a las que se llegó en el análisis de la línea base, en la cual se definió exactamente hasta dónde se puede llegar dentro de la recuperación que se pretende realizar.

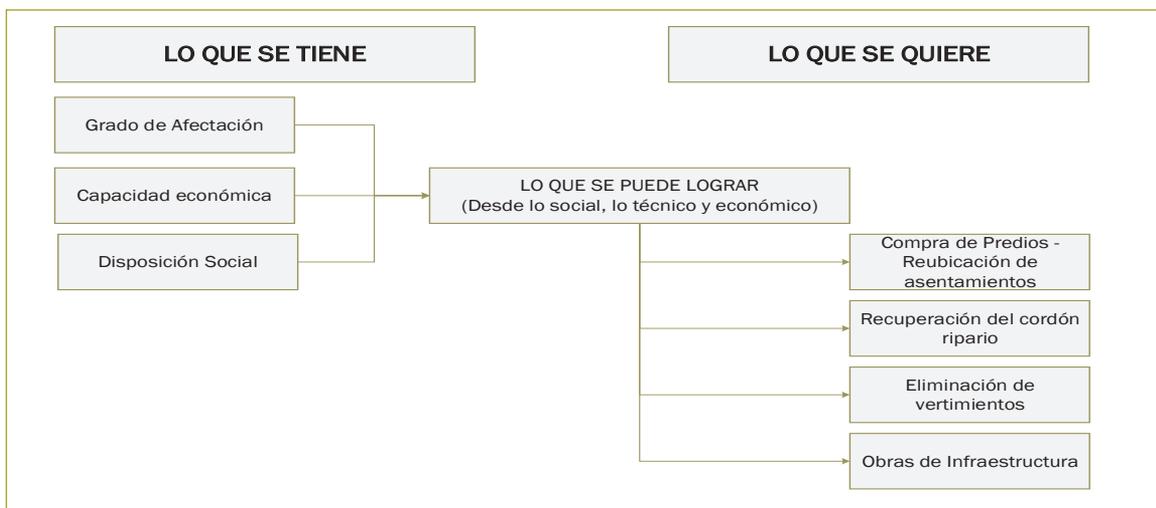
Así el alcance de un proceso de recuperación dependerá, entonces, de poder delimitar aquellos aspectos que representen la realidad del proceso de recuperación; es posible que un proceso no se pueda ejecutar porque no se cuenta con los recursos suficientes para realizar las acciones de recuperación o que la comunidad no presente ningún interés en el mejoramiento de las condiciones de su entorno.

Sin embargo, cabe anotar que una vez que se plantea un proceso de recuperación debe considerarse, en primer término, que un proceso de recuperación requiere la participación de la comunidad aledaña localizada en la

ronda del cauce y que es importante la apropiación del espacio por parte de la comunidad, para que ella misma sea garante de la sostenibilidad de las posibles intervenciones que se hagan en el cauce; en segundo lugar, que un proceso de recuperación comprende una serie de intervenciones continuas y sostenidas en el tiempo y que la inversión de recursos se hará en etapas programadas a corto, mediano y largo plazo. Las inversiones a corto plazo se encaminarán a solucionar problemas que generen peligro a la integridad de la comunidad (por ejemplo, en la recuperación de la ronda hidráulica mediante la compra de predios en la zona de ronda para eliminar asentamientos en las zonas inundables del cauce o la eliminación de vertimientos, y su reubicación); las inversiones a mediano plazo estarán representadas en la recuperación del cordón ripario mediante obras de protección del cauce y acciones de revegetalización, y capacitación a la comunidad. Las inversiones a largo plazo tienen que ver con el ordenamiento urbano y



**Figura 4.** Paso 2: Determinación de las metas y objetivos de la recuperación.



**Figura 5.** Prioridades en los objetivos de la recuperación de cauces.

obras de infraestructura que eliminen definitivamente los problemas asociados a la contaminación y deterioro del cauce.

**Paso 3: Diseño de las alternativas de recuperación.**

En el diseño de los procesos de recuperación se plantean tres etapas en el diseño que permitirán establecer el proceso del diseño de recuperación.

**Etapas 1: Restablecimiento de la condición hidrológica.**

Esto en atención a que el régimen de caudales determina los cambios ecomorfológicos, los cuales inciden de manera directa sobre los parámetros ecológicos. El análisis de la morfología y dinámica fluvial ofrecerá los determinantes para manejar los caudales y limitar los procesos de erosión.

**Etapas 2: Restablecer el espacio del cauce.**

Se plantea en cauces urbanos la recuperación del territorio fluvial. El territorio fluvial delimitado ha de ser coherente con las simulaciones hidráulicas realizadas para diferentes periodos de retorno, con el fin de caracterizar e identificar las zonas inundables y favorecer la reducción de los riesgos asociados a las crecidas fluviales. La integración de estas simulaciones con los estudios de régimen de caudales ambientales aporta la base para un éxito funcional sostenible del sistema posterior a las actuaciones.

**Etapas 3: Restablecimiento del cordón ripario.**

A partir del diagnóstico de la vegetación se pueden diseñar

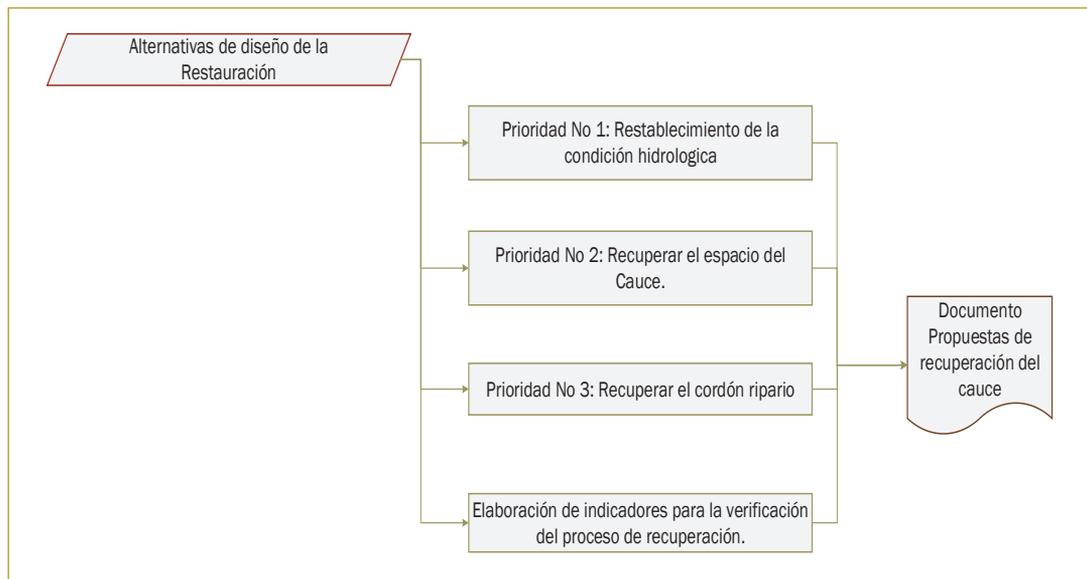
las actuaciones necesarias para mejorar su composición específica, al igual que la estructura y funcionamiento de los bosques riparios. Entre otras, se destaca la utilización en entornos urbanos y periurbanos de técnicas de bioingeniería que permiten solventar problemas de estabilidad de los cauces, sin prescindir de la existencia de una formación vegetal riparia que permita el desarrollo de varios procesos ecológicos.

Las soluciones de recuperación están enfocadas en eliminar la causa que las origina. Es claro que la urbanización no ha de desaparecer para que el ecosistema se recupere, pero en la actualidad existen técnicas que permiten la minimización del impacto, y con un sistema de indicadores (hidrológicos, hidráulicos, geomorfológicos y ambientales), establecer el grado de recuperación que pueda llegar a lograrse sobre el cauce.

Los diseños que se propongan en un proceso de recuperación deberán ser dinámicos, pensados en los procesos y funciones del río. El objetivo es ayudar a que el río consiga un equilibrio dinámico sostenible. Esto implica tratar de dar continuidad al río para que recupere su forma, eliminando los obstáculos en el cauce y propendiendo a plantear obras que mitiguen los procesos de degradación. Además, en la etapa de diseño los componentes ecológicos deben identificarse claramente, y evaluarse para generar indicadores que puedan medir la mejora llevada a cabo por el proyecto de recuperación en el ecosistema.

**Paso 4: Proceso de implementación de las obras de recuperación.**

De manera similar a lo expresado en

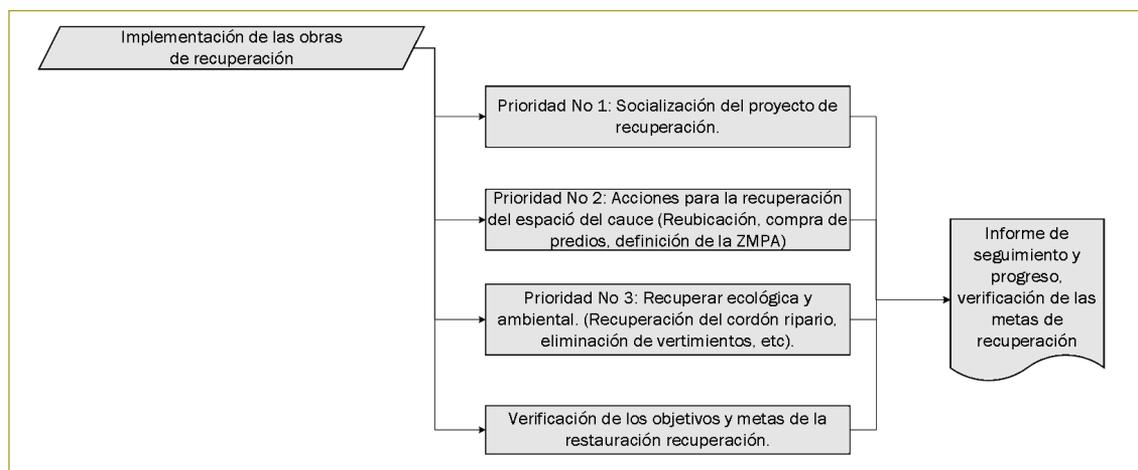


**Figura 6.** Paso 3: Diseño de alternativas para la recuperación de cauces.

los diseños de alternativas de recuperación, es necesario presentar un orden lógico para su implementación.

En primer término, la comunidad debe adoptar y socializar los procesos de recuperación. Lo que implica realizar una serie de talleres con la comunidad para poder reubicarla en zonas donde no se invada el espacio del cauce. También debe capacitarse a las comunidades aledañas, fuera de las zonas de ronda, para evitar que arrojen basuras a los cauces y soslayan prácticas que atenten contra el sistema ecológico que va a recuperarse. Esto es fundamental en el sostenimiento de las soluciones que se vayan a implementar.

En segundo lugar, es necesario restablecer el espacio del cauce, lo que implica la compra de predios en zonas de ronda hidráulica. En especial, debe recuperarse el espacio público definido como la ronda hidráulica, para generar el espacio al río y el lugar donde se deberán efectuar las actuaciones para mitigar el impacto producido por los cambios hidrológicos en la cuenca. En esta zona también se construirán interceptores de alcantarillado que eliminen los vertimientos de aguas residuales a los cauces, lo que significa que en esta zona se construirán obras de infraestructura bajo tierra que permitan la recuperación del cauce.



**Figura 7.** Paso 4: Implementación de las obras para la recuperación de cauces.

Las actuaciones siguientes dentro del proceso de recuperación serán las obras que mitiguen el impacto hidrológico (entre éstas las obras de drenaje urbano no convencional, como los sistemas urbanos de drenaje sostenible [SUDS], que eliminan los picos de lluvia y permiten la entrega de las aguas pluviales urbanas sin erosionar la zona de ronda y entregar las aguas lluvias por infiltración al cauce).y las obras que mitiguen la erosión en la zona de ronda, seguidas por obras de protección de la banca para la estabilización geomorfológica del cauce. Estas obras están encaminadas a mitigar los efectos de las inundaciones en el cauce.

Posteriormente, el proceso deberá centrarse en la recuperación ecológica y ambiental, aunque es de anotar que las medidas adoptadas en pasos anteriores propenden a la recuperación ecológica. En esta instancia, se efectuarán las labores tendientes a la recuperación del cordón ripario y los hábitats que conforman la zona del cauce.

Una vez establecidas las etapas primarias de la recuperación, es posible plantear obras que integren el espacio natural con la comunidad y elaborar diseños paisajísticos y florísticos para constituir un ámbito urbano integrado con la condición natural del cauce.

**Paso 5: Monitoreo de las obras de recuperación.** Los programas de evaluación y seguimiento de los procesos de recuperación constituyen una parte importante del proceso.

Un programa de seguimiento debe cumplir las siguientes funciones:

- Contar con indicadores que permitan evaluar el éxito de las actuaciones sobre el cauce.
- Considerar las interacciones entre la cuenca y el tramo del cauce que se interviene, y los efectos que se podrían producir en los tramos no intervenidos aguas arriba y aguas abajo del sector que se vaya a intervenir.
- Tener en cuenta la variabilidad en el tiempo del comportamiento del sistema. Esto se logra mediante el análisis de la evolución histórica del comportamiento del sistema fluvial y, planteando su funcionamiento futuro, por medio de simulaciones y planes de seguimiento de las actuaciones desarrolladas.

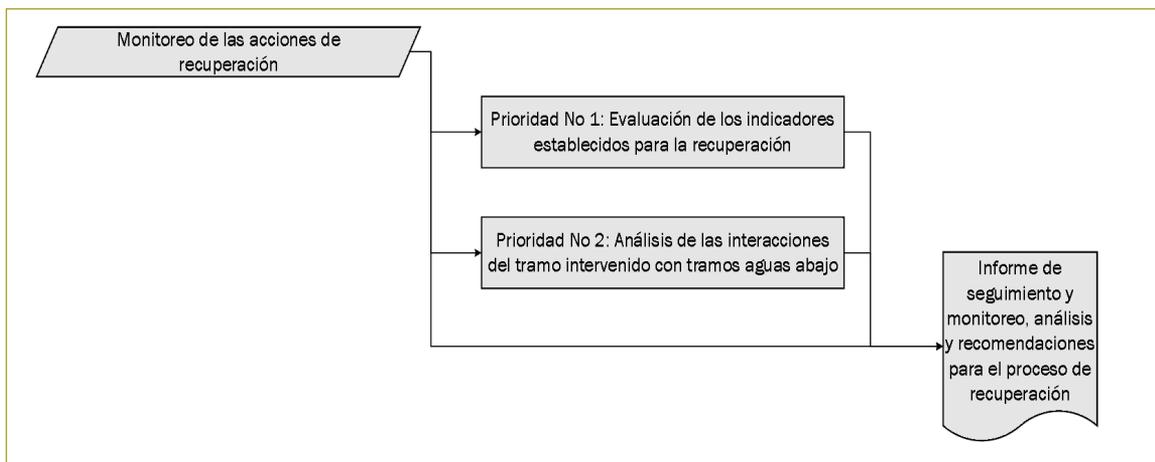
El monitoreo deberá ser constante y contrastado con los indicadores establecidos en el diagnóstico inicial (línea base).

## CONCLUSIONES

Los procesos de recuperación pluvial buscan el desarrollo sostenible, integrando el entorno urbano al entorno natural para mitigar las afectaciones de políticas inadecuadas para uso y manejo de los recursos.

En lo referente a los cauces, estos procesos permitirán mejorar el hábitat fluvial y recuperar especies vegetales y animales, reducir el riesgo de inundaciones, mejorar la conectividad longitudinal y transversal del cauce, y recobrar los valores sociales, culturales y paisajísticos del río.

Para la intervención de los cauces, teniendo en cuenta los criterios de recuperación ecológica, es necesario



**Figura 8.** Paso 5: Monitoreo de las obras para recuperación de cauces.

definir el grado de recuperación al cual puede llevarse el cauce intervenido, lo que corresponde a una decisión de la autoridad responsable del manejo del recurso, apoyada por el grupo interdisciplinario de diseño.

Para la implementación de las obras de recuperación es fundamental evaluar la situación previa, pues el proceso de recuperación se definirá una vez que se establezcan los costos de las intervenciones requeridas en gestión social, compra de predios, obras de infraestructura, obras de estabilización y recuperación de zonas inestables, obras de recuperación del cordón ripario y la recuperación del hábitat.

Con la propuesta metodológica presentada se pretende ofrecer un procedimiento ordenado para afrontar el análisis y solución que representa la recuperación de cauces en zonas de montaña. Cabe señalar que esta metodología puede aplicarse en cauces urbanos en zonas bajas, teniendo en cuenta que los lineamientos en las evaluaciones hidráulicas e hidrológicas serán diferentes; así mismo, deberán considerarse las variaciones morfo-

lógicas del cauce y las variaciones en la biota presente en el sector de la cuenca que se evalúe.

## REFERENCIAS

- Artículo (2013) [en línea]. Disponible en [http://www.minambiente.gov.co/index.php /component/content/article/536-plantilla-gestion-integral-del-recurso-hidrico-23](http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/536-plantilla-gestion-integral-del-recurso-hidrico-23) Colombia.
- Artículo (2015) [en línea]. Disponible en US Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center: Coastal and Hydraulics Laboratory. Vicksburg, MS.
- Doll, B. (1999). *Stream restoration* (1st ed.). Chapel Hill, N.C.: North Carolina Stream Restoration Institute.
- Doyle, M.W., Boyd, K.F. & Skidmore, P.B. (1999). *River Restoration Channel Design: Back to the Basics of Dominant Discharge*. Second International Conference on Natural Channel Systems. Niagara Falls, Canada.
- Gregory, K.J. (2006). The Human Role in Changing River Channels [en línea]. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/215524372\\_The\\_Human\\_Role\\_in\\_Changing\\_River\\_Channels](https://www.researchgate.net/publication/215524372_The_Human_Role_in_Changing_River_Channels).
- National Engineering Handbook, part 654 (2007) [en línea]. Disponible en <https://www.nrcs.usda.gov> EE.UU.
- Wohl, E.E. & Merritt, D. (2005). Prediction of mountain stream morphology. *Water Resources Research*.