

# Restauración morfológica de ríos en Colombia: guía para la conservación, mejora y reconfiguración de hábitats nativos

## *Morphological restoration of rivers in Colombia: guide to conservation, improvement and restoration of native habitats*

(Recepción 05/12/2016; Aceptación 17/02/2017)

Zapata, J.<sup>1</sup>; Noack, M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Esfera Ambiente y Paisaje S.A.S, Calle 45D No. 72-59, Medellín, Colombia

<sup>2</sup>Universidad de Stuttgart, Pfaffenwaldring 61, 70569 Stuttgart, Alemania

Teléfono: (+49) 176 84848537

Email: juliana.zapata@esferambiente.com

**Resumen.** Esta guía es un análisis hidromorfológico completo de un río o tramo, cuyo propósito es hacer en primer lugar un estudio en la macro y mesoescala para identificar los “cuello de botella” del sistema, es decir las zonas con las condiciones menos naturales y más afectadas de un río, para luego hacer un estudio detallado de dichas zonas en la microescala a través de simulaciones hidromorfodinámicas y del hábitat. Finalmente se proponen medidas de restauración y mejoramiento de las condiciones físicas del río y del hábitat de las especies nativas.

**Palabras clave.** Restauración de ríos; hidromorfología; escala; modelación hidráulica 2D; modelación del hábitat

**Abstract.** This guide is a complete hydromorphological analysis of a river (or river reach), with the purpose of identifying the “bottle necks” of the system, this means the less natural and most affected zones; then perform a detailed study of the mentioned zones in the micro scale through hydromorphodynamic and habitat simulations; and finally, with the obtained results, propose measures to improve and restore the physical river conditions and therefore the habitat of the native species.

**Keywords.** River restoration; hydromorphology; scale; 2D hydraulic modeling; habitat modeling

## 1. Introducción

La necesidad de entender la relación entre los sistemas físicos y la ecología de los sistemas fluviales se ha convertido en un tema que cobra relevancia, por una parte por el incremento de la conciencia ambiental, que ha permitido llegar a reconocer la falta de una normativa para poder alcanzar el buen estado de los ríos. Este es el caso de la Directiva Europea Marco del Agua, la cual introdujo la hidromorfología como un aspecto indispensable para evaluar las condiciones ecológicas de un sistema fluvial. Como respuesta a la Directiva, los países miembros de la Unión Europea han desarrollado y adaptado métodos para cumplirla. Los elementos de dichos métodos fueron recopilados y se usaron para la construcción de una metodología que llene los vacíos de la actual normativa del agua en Colombia y que sea un soporte para la toma de decisiones en la planeación ambiental y la evaluación de impactos ambientales.

## 2. Contexto nacional e internacional

Para este proyecto se tomaron en cuenta las metodologías de Inglaterra, Alemania e Italia así como literatura científica reconocida para el análisis fluvial en la macro y mesoescala.

Después del estudio de normativas existentes en Colombia se identificó que es necesaria una metodología que contribuya al buen estado de las corrientes superficiales y a mantener el caudal mínimo después de su aprovechamiento, que garantice la oferta hídrica y la restauración ambiental. La nueva metodología deberá evaluar las condiciones hidromorfológicas, con la posibilidad de hacer un análisis antes y después de llevar a cabo un proyecto que afecte el sistema fluvial. Por otro lado, se identificó que se necesita una guía que considere las preferencias de hábitat de las especies nativas con el fin de tener una referencia de las condiciones del hábitat que se deben alcanzar o mantener. Finalmente es importante desarrollar una metodología que considere los tipos de morfologías que se presenten en Colombia y no restringir su aplicación a una sola.

## 3. Metodología para la restauración morfológica de ríos

La metodología comienza con el estudio en la macroescala, para identificar las condiciones generales de la zona de estudio (**paso 1**); luego en la mesoescala, con el fin de clasificar la corriente e identificar el sector con las condiciones más críticas de acuerdo con un sistema de puntuación (**paso 2**); por último se realiza un análisis en la microescala para determinar, a través de la modelación hidromorfodinámica y del hábitat, los problemas de



fondo que presente el tramo o los tramos críticos y con los resultados determinar las soluciones para mejorar las condiciones físicas del río y el estado ecológico de la corriente superficial (**paso 3**). Un esquema del procedimiento se presenta en la Fig. 1.

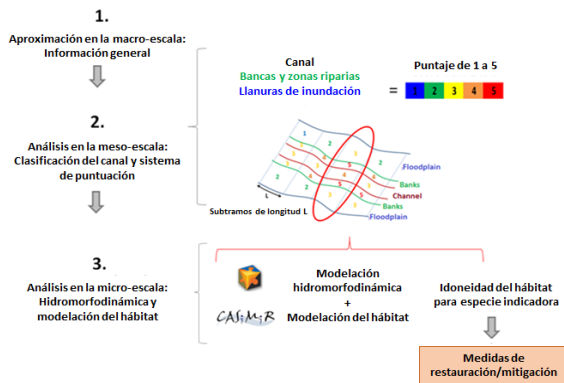


Figura 1.- Esquema de la metodología propuesta.

**Paso 1: Aproximación en la Macroescala – información general**

Este paso da una idea inicial de las características de la cuenca y la morfología fluvial, permite organizar y priorizar la evaluación, e ilustrar la distribución de ríos que pueden ser encontrados en el área de estudio. El tramo de estudio se divide en subtramos de una longitud aproximada de 20 veces el ancho del canal. Las subdivisiones deben tener en cuenta cambios significativos en la morfología, con el fin de que cada uno de ellos sean tan homogéneos como sea posible. Para cada una de las subdivisiones se debe identificar: longitud, área de la cuenca, pendiente, características del uso del suelo, número de canales (único o múltiple), material típico del lecho del río, patrón del lecho del río, elementos que dominan la rugosidad, fuentes dominantes de sedimentos y zonas de deposición, confinamiento.

**Paso 2: Análisis en la Mesoescala – clasificación del canal y sistema de puntuación**

En la mesoescala se pretende hacer una aproximación más cercana al tramo de estudio, para lo cual se hace una subdivisión del tramo, se clasifica el río con base en los esquemas de clasificación de ríos de Rosgen (1994), Montgomery & Buffington (1997) y Flores et al. (2006).

El análisis en la mesoescala comprende la puntuación de cada uno de los subtramos en tres componentes del sistema fluvial: canal, laderas y llanura de inundación. De esta forma, después de recorrer los parámetros del sistema de puntuación, se obtienen tres puntajes para cada una de las subdivisiones del tramo. Para este paso pueden usarse imágenes aéreas o satelitales en una escala entre 1:5000 y 1:10000, así como visitas de campo que ayuden a tener más información del sector.

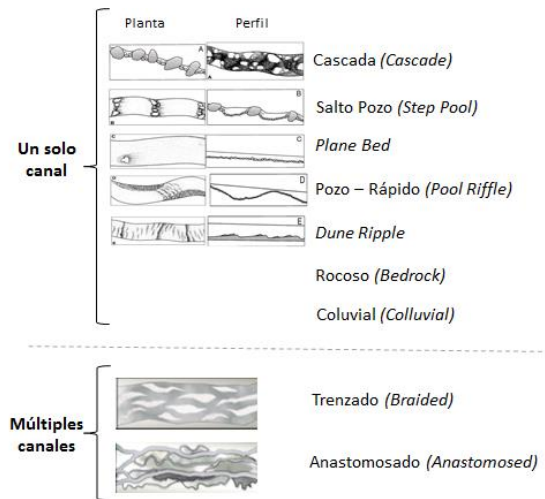


Figura 2.- Clasificación morfológica del canal.

**Canal:** La evaluación del canal incluye geometría del canal (G), patrón de erosión o depósito de sedimentos (E), sustrato (S), régimen de flujo o caudal (F), restos de material orgánico (árboles, ramas, estructuras para refugio de peces) (W) y continuidad longitudinal (L). Se observa en la Tabla 1 un ejemplo de los aspectos a evaluar de la geometría (G), las puntuaciones correspondientes y los tipos de morfología que aplican en la evaluación.<sup>1</sup>

Tabla 1. Ejemplo de tabla.

	<b>G1: Modificaciones al patrón natural del canal</b>	<b>Puntaje</b>	<b>Aplicación</b>
Geometría del canal (G)	Ausencia de cambios artificiales en la heterogeneidad natural esperada para el tipo de río	1	Todos los tipos
	Alteración de una porción limitada del tramo ≤33%	3	
	Alteración de una porción significativa del tramo >33%	5	
	<b>G2: Sección transversal</b>	<b>Puntaje</b>	<b>Aplicación</b>
	Perfil natural - irregular	1	Todos los tipos
	Secciones transversales estándar – perfiles de cajón con superficie libre sin refuerzo	3	
	Secciones transversales estándar - perfiles de cajón con superficie libre con refuerzo	5	
	Secciones transversales estándar – traapezoidal, doble trapecio	5	
	<b>G3: espaciamiento de los pozos</b>	<b>Puntaje</b>	<b>Aplicación</b>
	Espaciamiento natural esperado de pozos de acuerdo con el tipo de río	1	Tipo dune ripple; Pool riffle; step pool; cascade
Espaciamiento de los pozos por fuera del rango normal	3-5		

**Bancas:** El análisis de las bancas está compuesto por estructuras de protección de bancas (BS) y tipo de vegetación o estructuras en la zona riparia (BV).

**Llanura de inundación:** se valora por los usos del suelo adyacente (A), las características de las zonas inundables (W) y el grado de libertad lateral que tenga el río hacia ambos lados (M).

<sup>1</sup> Ver Tablas de puntuación y factores ponderados completos en: Zapata, J., Noack, M., Wieprecht, S. (2015). "Guide for the river morphological restoration in Colombia: exemplary hydromorphological and habitat modeling". Stuttgart.

Cada uno de los puntos descritos incluyen factores ponderados<sup>1</sup> que se combinan para dar un solo puntaje en cada sector por subtramo, es decir cada uno de los subtramos tendrá 3 puntuaciones (canal, bancas y llanuras de inundación si aplica) y se escogerá aquel que presente las condiciones más críticas (ver Tabla 2).

Tabla 2. Representación y significado del puntaje que define el estado morfológico en el canal, laderas y llanuras de inundación.

Puntaje	Color	Estado
1	Azul	Excelente
2	Verde	Bueno
3	Amarillo	Aceptable
4	Naranja	Pobre
5	Rojo	Malo

**Paso 3: Análisis en la Microescala – Modelación hidromorfodinámica y del hábitat**

El tramo (o tramos) con la puntuación más baja serán los cuellos de botella del sistema que necesitan un análisis más detallado para identificar las medidas que ayudarían a mejorar el sistema fluvial. Este paso se enfoca en un análisis enfocado en los procesos que ocurren en la microescala, por lo cual se requiere información detallada como datos de entrada para hacer modelación hidráulica bidimensional (o hidromorfodinámica en caso de tener información de sedimentos) y del hábitat. Para el modelo hidromorfodinámico son necesarias curvas de caudal, mediciones de niveles de agua con su respectiva información de caudal (con fines de calibración), secciones transversales o modelo de elevación digital y caracterización de sedimentos. Para el modelo del hábitat se debe disponer de los resultados del modelo hidromorfodinámico como datos de entrada (profundidad, velocidad y distribución de sedimentos. Ver Fig. 3 y Fig. 4), selección de una especie nativa de peces como indicador, y requerimientos del hábitat de la especie con respecto a profundidad, substrato y velocidad del río.

La información de la especie objetivo puede estar dada por curvas de preferencias o se pueden formar conjuntos difusos (*fuzzy sets*), que representan las preferencias de la especie de acuerdo a la evaluación de un experto. Los conjuntos a su vez conforman reglas difusas que se combinan en CASiMiR y dan como resultado una distribución de colores en una vista en planta del tramo, que indican desde el área más óptima del hábitat ilustrada con azul, pasando por verde, amarillo, rojo y finalmente gris que representa las peores condiciones del hábitat. Un ejemplo de una regla difusa y del proceso de CASiMiR y se ilustra en la Fig. 3 y Fig. 4 respectivamente.



Figura 3. Ejemplo de una regla difusa para CASiMiR

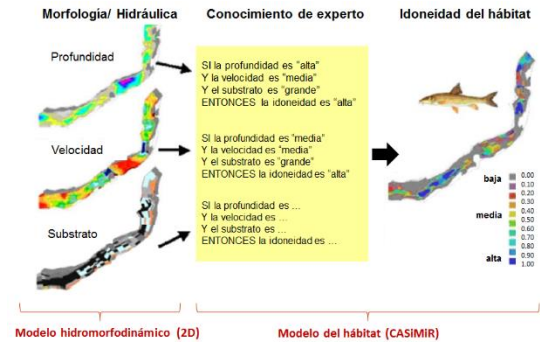


Figura 4. Aproximación de lógica difusa en el uso de CASiMiR (Schneider et al., 2010).

Además de la vista en planta, se puede evaluar la idoneidad del hábitat a través del Área Ponderada Usable (WUA, *Weighted Usable Area*) y el índice de idoneidad del hábitat (HHS, *Habitat Suitability Index*), ambos parámetros se muestran en forma gráfica y tabular. Un ejemplo de los resultados de la idoneidad del hábitat para la trucha en la fase de desove se presenta en la Fig. 5. En esta fase se observa que a medida que aumenta el caudal, disminuye la idoneidad del hábitat (a) y disminuyen las áreas aptas (áreas verdes y amarillas) para las huevas de truchas (c y d), las cuales necesitan tanto profundidades y velocidades bajas, como también un mínimo caudal para sobrevivir.

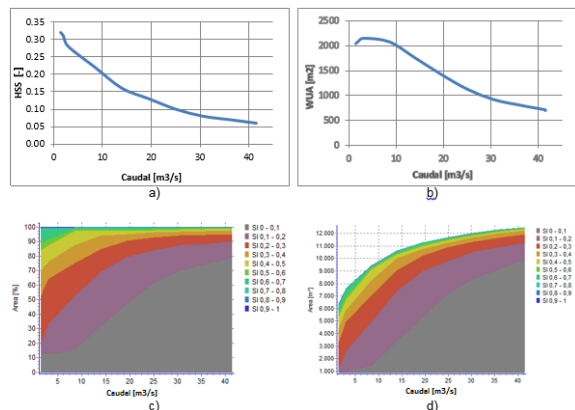


Figura 5. Resultados del cálculo de las áreas de desove de la trucha en CASiMiR. a) Variación del HSS con el caudal; b) Variación del WUA con el caudal; c) número de áreas con el mismo SI; d) proporción de las áreas con el mismo SI.

## 4. Conclusiones

La metodología para el análisis morfológico de ríos se ha desarrollado con la intención de que sea aplicable para todo tipo de morfologías, a fin de que sea un elemento orientador hacia las medidas que se deben tomar para alcanzar unas condiciones físicas cercanas a las naturales. Con estas medidas se garantiza que el aspecto hidromorfológico sea un soporte para el biológico a través de la creación y mejoramiento del hábitat. Puede ser útil en cualquier tipo de proyecto en el que se pretenda hacer una restauración para saber cuáles medidas se deben tomar para que el proyecto sea exitoso y autosostenible. Es además de gran aplicabilidad para proyectos hidroeléctricos, en los que se deben evaluar y predecir las condiciones ecológicas antes y después de la intervención. Con esta herramienta junto con los modelos hidráulicos y del hábitat se puede encontrar tanto un caudal óptimo para garantizar el buen estado ecológico o los impactos de las actividades de descarga de sedimentos.

## Referencias

- Flores, A. N., Bledsoe, B. P., Cuhaciyán, C. O., & Wohl, E. E. (2006). "Channel-reach morphology dependence on energy, scale, and hydroclimatic processes with implications for prediction using geospatial data". *Water Resources Research*, 42, 1-15
- Montgomery, D. R., & Buffington, J. M. (2013). "Geomorphic Classification of Rivers". [http://www.fs.fed.us/rm/pubs\\_other/rmrs\\_2013\\_buffington\\_j001.pdf](http://www.fs.fed.us/rm/pubs_other/rmrs_2013_buffington_j001.pdf)
- Schneider, M., Noack, M., Gebler, T., Ianina, K. (2010). "CASiMiR". [http://www.casimir-software.de/data/CASiMiR\\_Fish\\_Handb\\_EN\\_2010\\_10.pdf](http://www.casimir-software.de/data/CASiMiR_Fish_Handb_EN_2010_10.pdf)
- Zapata, J., Noack, M., Wieprecht, S. (2015). "Guide for the river morphological restoration in Colombia: exemplary hydromorphological and habitat modeling". Stuttgart.